

筑波大学審査学位論文（博士）

呈示刺激の組み合わせが ADHD 児の反応制御過程に及ぼす影響

に関する生理心理学的研究

人間総合科学研究科障害科学専攻

中野 泰伺

呈示刺激の組み合わせが ADHD 児の反応制御過程に
及ぼす影響に関する生理心理学的研究

筑波大学大学院 人間総合科学研究科 障害科学専攻

中野泰伺

第1部 ADHD 児の反応制御過程に関する理論的背景

第1章 注意欠如多動症 (ADHD) の概要と認知的特徴	1
第1節 ADHD の概要	1
1. ADHD とは	1
2. ADHD の評価スケール	1
3. ADHD の生物学的特徴	2
第2節 ADHD の認知的特徴	4
1. 衝動性	4
2. 実行機能と反応抑制	4
3. ADHD の機能評価法	6
第2章 反応制御過程の測定と評価	7
第1節 反応制御課題遂行時の ERP 研究	7
1. 電気生理学的評価	7
2. Stop-signal 課題とは	9
3. 定型発達児・者を対象とした反応制御過程に関する検討	9
4. ADHD 児・者を対象とした反応制御過程に関する検討	10
第2節 Stop-signal 課題における課題変数	12
1. Stop 刺激の出現頻度と Go 刺激および Stop 刺激の SOA	12
2. 呈示刺激の違い	12
3. プライミング	13
第3章 本研究の目的と構成	14
第1節 第1部のまとめと本研究の目的	14
第2節 本研究の構成	15

第2部 刺激特性や刺激の組み合わせが異なる Stop-signal 課題を用いた予備的検討	
第1章 目的	16
第2章 定型発達成人における刺激特性に関する検討 (研究1)	17
第1節 方法	17
1. 対象者	17
2. 課題と実施手続き	17
3. 脳波記録	18
4. 分析	18
4.1) 行動成績	18
4.2) 脳波	18
4.3) 統計処理	19
第2節 結果	21
1. 行動成績	21
2. ERP	23
2.1. Go 試行における ERP 成分動態	23
2.2. Stop 試行における ERP 成分動態	26
2.2.1. N2 成分	26
2.2.2. P3 成分	29
第3節 考察	32
1. 刺激特性の違いが行動成績に及ぼす影響	32
2. ERP からみた刺激特性の反応制御への影響	33
2.1 Go 試行	33
2.2 Stop 試行	34
第3章 定型発達成人における Go 刺激と Stop 刺激の関連性に関する検討 (研究2)	35
第1節 方法	35
1. 対象者	35
2. 課題と実施手続き	35
3. 脳波記録	35
4. 分析	35
4.1) 行動成績	35
4.2) 脳波	35
4.3) 統計処理	35

第2節 結果	37
1. 行動成績	37
1-1. Go 刺激に対する正反応時の平均反応時間（以下，RT）	37
1-2. RT-SD	37
1-3. 左右エラー率	37
1-4. 見逃し率	37
1-5. 抑制率	38
1-6. SSRT	38
2. ERP	45
2.1. Go 試行における ERP 成分動態	45
2.2. Stop 試行における ERP 成分動態	50
2.2.1. N2 成分	50
2.2.2. P3 成分	50
第3節 考察	57
1. Go 刺激と Stop 刺激の関連性が行動成績に及ぼす影響	57
2. ERP からみた Go 刺激と Stop 刺激の関連性の反応制御への影響	58
2.1 Go 試行	58
2.2 Stop 試行	59
第4章 第2部のまとめ	61

第3部 刺激特性とADHD症状との関連性に関する生理心理学的検討

第1章 目的	63
第2章 定型発達成人におけるADHD傾向の高低と刺激特性との関連の検討（研究3）	64
第1節 方法	64
1. 対象者	64
2. 課題と実施手続き	64
3. 脳波記録	64
4. 分析	64
4.1) 行動成績	64
4.2) 脳波	65
4.3) 統計処理	65
第2節 結果	66
1. 行動成績	66
2. ERP	68
2.1. Go 試行におけるERP成分動態	68
2.2. Stop 試行におけるERP成分動態	70
2.2.1. N2成分	70
2.2.2. P3成分	72
第3節 考察	74
1. 刺激特性の違いが行動成績に及ぼす影響	74
2. ERPからみた刺激特性の反応制御への影響	75
2.1 Go 試行	75
2.2 Stop 試行	75
第3章 ADHD児における刺激特性に関する検討（研究4）	77
第1節 方法	77
1. 対象者	77
2. 課題と実施手続き	77
3. 脳波記録	77
4. 分析	77
4.1) 行動成績	77
4.2) 脳波	77
4.3) 統計処理	77

第2節 結果	78
1. 行動成績	78
1-1. RT	78
1-2. RT-SD	78
1-3. 左右エラー率	78
1-4. 見逃し率	78
1-5. 抑制率	79
1-6. SSRT	79
2. ERP	86
2.1. Go 試行における ERP 成分動態	86
2.2. Stop 試行における ERP 成分動態	90
2.2.1. N2 成分	90
2.2.2. P3 成分	94
第3節 考察	98
1. 刺激特性の違いが行動成績に及ぼす影響	98
2. ERP からみた刺激特性の反応制御への影響	99
2.1 Go 試行	99
2.2 Stop 試行	100
第4章 定型発達成人における ADHD 傾向の高低からみた Go 刺激と Stop 刺激の関連性に関する検討 (研究5)	102
第1節 方法	102
1. 対象者	102
2. 課題と実施手続き	102
3. 脳波記録	102
4. 分析	102
4.1) 行動成績	102
4.2) 脳波	102
4.3) 統計処理	102
第2節 結果	104
1. 行動成績	104
1-1. RT	104
1-2. RT-SD	104

1-3. 左右エラー率	104
1-4. 見逃し率	104
1-5. 抑制率	104
1-6. SSRT	104
2. ERP	111
2.1. Go 試行における ERP 成分動態	111
2.2. Stop 試行における ERP 成分動態	116
2.2.1. N2 成分	116
2.2.2. P3 成分	117
第3節 考察	124
1. Go 刺激と Stop 刺激の関連性が行動成績に及ぼす影響	124
2. ERP からみた Go 刺激と Stop 刺激の関連性の反応制御への影響	124
第5章 ADHD 児における Go 刺激と Stop 刺激の関連性に関する検討（研究6）	127
第1節 方法	127
1. 対象者	127
2. 課題と実施手続き	127
3. 脳波記録	127
4. 分析	127
4.1) 行動成績	127
4.2) 脳波	127
4.3) 統計処理	127
第2節 結果	128
1. 行動成績	128
1-1. RT	128
1-2. RT-SD	128
1-3. 左右エラー率	128
1-4. 見逃し率	128
1-5. 抑制率	128
1-6. SSRT	128
2. ERP	135
2.1. Go 試行における ERP 成分動態	135
2.2. Stop 試行における ERP 成分動態	140

2.2.1. N2 成分	140
2.2.2. P3 成分	140
第 3 節 考察	145
1. Go 刺激と Stop 刺激の関連性が行動成績に及ぼす影響	145
2. ERP からみた Go 刺激と Stop 刺激の関連性の反応制御への影響	146
第 6 章 第 3 部のまとめ	148
第 4 部 総合考察と今後の課題	
第 1 章 総合考察	151
第 1 節 刺激特性や刺激の組み合わせが ADHD 児の行動成績に及ぼす影響について	152
第 2 節 刺激特性や刺激の組み合わせが ADHD 児の生理指標に及ぼす影響について	155
第 3 節 教育的示唆	158
第 2 章 今後の課題	159
文献	
謝辞	

第 1 部

ADHD 児の反応制御過程に関する理論的背景

第1章 注意欠如多動症（ADHD）の概要と認知的特徴

第1節 ADHDの概要

1. ADHDとは

注意欠如・多動症（Attention Deficit Hyperactivity Disorder；以下，ADHD）は，衝動性，注意散漫や多動を特徴とする神経発達症（American Psychiatric Association, 2013）であり，近年では実行機能の観点より ADHD が示す本質的な認知行動特徴の理解に迫ることが可能となってきた（大村，2011）。ADHD の基本的な症状は，不注意（inattention），多動性（hyperactivity），衝動性（impulsivity）であり，その特性に起因して生じる種々の困難の背景には，主に前頭葉が関与する認知処理過程の機能不全が明らかになってきている（岡崎，2012）。

ADHD は，小児の注意障害として代表的なものであり，学齢期の小児において3～7%の有病率と考えられている（Shen, Tsai, & Duann, 2011）。現在，ADHD の診断に用いられているのは，主に DSM-5 であり，ADHD の主症状が12歳以前に，2つ以上の状況においてみられる場合に診断がなされる（齊藤，2016）。DSM-IV-TR までに採用されていた ADHD のサブタイプ（不注意優勢型，多動性・衝動性優勢型，混合型）という分類がなくなり，現在は「不注意優勢に存在」「多動・衝動優勢に存在」「混合して存在」といった，その人の現状の状態像を示す言い方になってきている（American Psychiatric Association, 2013）。

2. ADHD の評価スケール

ADHD の診断には高い専門性が必要なこと，多動や衝動性といった用語の不明瞭性といった問題があり，不適切な診断も多い（榊原，2003）。そのような問題点を解決するために，さまざまな評価スケールが開発されているが，中でも，Conners3 日本語版（Conners, 2008；田中・坂本，2011）のスケールは広く認知され，利用されている。コナーズのスケールは，ADHD をはじめとする小児期の問題において第一人者といえる Conners, C. K. によって開発され，日本語版は2011年に作成された。従来のコナーズの評価スケールは主に ADHD の説明と特定を目的に使用されてきたが，Conners3 のスケールでは，臨床家が ADHD のほかに，抑うつ，不安，攻撃性，学習上の問題，友人関係の問題などが存在する可能性も判断できるように構成されており，家庭，社会，学校環境における6～18歳の子どもおよび青年を包括的に評価するために，臨床診断や教育上の適格認

定、介入計画の作成や観察、調査研究、スクリーニングにおいて重要な役割を果たす。得られた回答結果を解釈するためには素点を標準得点に変換する必要があるが、Conners3ではTスコアやパーセンタイルに変換することで各スコアの比較が可能となる。

Conners3のTスコアは各スケールの平均値が50で、標準偏差が10になる。平均値から ± 1 標準偏差内(40~59)は平均範囲内とされ、Tスコアが1標準偏差以上(60 \leq)になると、通常は臨床的に有意と解釈される(田中・坂本, 2011)。ADHDは当初、小児期から思春期に特有の症状と考えられていたが、近年、成人になってからもADHD症状が慢性的に続く場合が少なくないことから「コナーズ成人ADHD評価スケール」

(Conners' Adult ADHD Rating Scale; 以下, CAARS) (Conners, Erhardt, & Sparrow, 1999; 中村・染木・大西, 2012) が出版された。そのほかに、臨床有用性を考慮した「ADHD評価スケール(ADHD Rating Scale; ADHD-RS)」(DuPaul, Power, Anastopoulos, & Reid, 1998) や「子どもの日常生活チェックリスト(Questionnaire-Children with Difficulties; QCD)」(後藤・山下・宇佐美, 2011) など、国内においてもさまざまな評価スケールが利用可能となっている。

3. ADHDの生物学的特徴

ADHDでは、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)が指摘されており、定型発達(Typically Development; 以下, TD)児と比較して、ドーパミン作動性の機能不全から強化によって動機づけが引き起こされにくく、通常の強化水準では十分な動機づけがなされないことも指摘されている(Dovis, Van der Oord, Wiers & Prins, 2012)。

脳機能に関しては、目的に向かって自分の行動をコントロールすることに関与する、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)。このような実行機能にかかわる脳領域はドーパミン系の調整を受けており(Heinrich, Grunitz, Stonawski, Frey, Wahl, Albrecht, Goecke, Beckmann, Kornhuber,

Fasching, Moll & Eicher (2017) , 多動性や衝動性, 不注意といった行動上の問題に表出されることが想定されている (Chandler, 2010) 。

第2節 ADHDの認知的特徴

1. 衝動性

衝動性 (Impulsivity) は、ADHDの主症状の一つであり、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 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) 。

衝動性は、日常生活において正の側面と負の側面があるが、しばしば、負の側面として捉えられる傾向にある (Winstanley, Eagle, & Robbins, 2006) 。また、暴力や犯罪などの反社会的行動、薬物またはアルコールなどへの物質依存、さらには「衝動買い」や「衝動食い」といった用語にみられるような逸脱行動の基底にあるとされる。こうした衝動性は複数の精神疾患の特徴の一つに位置づけられており、アメリカ精神医学会が定義する精神疾患の分類、診断のマニュアルである DSM-IV (the fourth edition Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders : American Psychiatric Association, 1994) の中で少なくとも 18 もの異なる疾患の診断項目においても関連づけられている。本研究では用いていないが、衝動性に関する質問紙調査で用いられる代表的なものとして、Barratt Impulsiveness Scale 11th version (BIS-11; Patton, Stanford, & Barratt, 1995) があげられる。BIS-11 は適切に注意をコントロールすることができない“attentional impulsiveness (注意性衝動) ”, 行動の素早さを測定する“motor impulsiveness (運動性衝動) ”, セルフコントロールに関連する“non-planning impulsiveness (無計画性衝動) ”という 3つの側面から衝動性を測定する。一方で、行動科学的アプローチにおいて衝動性は、中長期的な大きな報酬より目先の小さな報酬を選択し、それを優先する“reward-discounting impulsivity”と、しかるべき状況において、自分自身のしかるべき行動を抑制することができない“rapid-response impulsivity”の 2つのサブタイプに大別されている (増井・野村, 2010) 。

2. 実行機能と反応抑制

前頭葉-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) , ワ

ーキングメモリと文脈情報の統合によって、現在の状況に対処して最適な行動を導き出し、遂行するための選択肢に関する情報を維持しながら意思決定を促進するトップダウン処理である（大村，2008）。実行機能を構成する機能には、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があり（Goldstein, Naglieri, Princiotta, & Otero, 2014），行動調節にはとりわけ重要な機能と考えられている（Barkley, 1997）。これらのプロセスの困難さを ADHD にあてはめて考えると，①適切な刺激を選択し，その刺激に対して注意を向け，課題を遂行すること，②目先の新奇な刺激や，感覚的により強い刺激に対する反応を抑制する（反応抑制）が難しく，刺激の強い課題へと関心が移ってしまい，注意を保持することに難しさがあつたり，衝動的な行動に出てしまったりすることなどが想定される。

Barkley (1997) は，神経心理学，発達心理学，行動分析学における実行機能に関連する研究的知見をメインとした反応抑制の働きに関しての自己制御過程についてのハイブリッドモデルを提唱した。このモデルでは，自己制御を大きく3つの構成要素（行動抑制，中央実行系，運動制御・流暢性・シンタックス）に分け，中央実行系はさらに，作業記憶，感情・動機・覚醒の自己調整，内言化，再構成，の4つの機能からなると考えられている。また，中央実行系の働きは行動抑制に関連し，運動制御・流暢性・シンタックスの働きは中央実行系に関連しているという因果関係が仮定されている。行動抑制の働きは，生起しやすい行動を抑制し，継続中の行動を停止させ，さらにその抑制を維持することであり，この働きによって，中央実行系の4つの機能の能率が向上する。中央実行系は，一度にこなせる作業量に限界があるために，余分な作業を抑制できなければ，効率が低下してしまうとされる。

つまり，実行機能は何かの活動を行う際の意図，プラン，目標などの内的表象を維持し続ける心理過程であると言えるが，実際に実行機能を検討していく上で，目に見えない内的表象そのものを計測することはできない。そのため，内的表象の維持が必要不可欠な種々の運動制御課題での行動成績から実行機能は調べられてきている（van Aken, van der Heijden, Oomens, Kessels, & Egger, 2017）。このように，近年では，Barkley (1997) のモデルだけで ADHD における一連の認知コントロールを表現するのは不十分である可能性（Neely, Wang, Chennavasin, Samimy, Tucker, Merida, Perez-Edgar, & Huang-Pollock, 2017）とともに，先述した ACC や IFG といった認知制御機能に関する神経イメージング研究も考慮した多次元的なアプローチが必要であること（Duncan, 2013）が指摘されている。

3. ADHD の機能評価法

ADHD をはじめとする発達障害は、近年、しばしばメディアに取り扱われるようになりつつある。ADHD の主症状の一つである行動抑制の概念は、小児精神障害の要因として注目を集めている (Shen et al., 2011)。行動抑制とそれに付随する注意機能を中心とした実行機能を測定する認知課題として、MFFT (Matching Familiar Figure Test) や Continuous Performance Test (CPT), Go/NoGo 課題, そして Stop-signal 課題などが挙げられ、それぞれの課題は抑制能力の異なる側面を測定している (Nigg, 2000)。その中でも、Logan and Cowan (1984) が提唱した Stop-signal 課題は、行動を停止するための能力を測定する実験室課題として、広く利用されており (Shen et al., 2011), 課題遂行時の行動成績および生理指標から抑制過程の検討がしばしば行われている。実行機能は多岐な心理機能から構成されるが、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 et al., 2017; McLoughlin, Albrecht, Banaschewski, Rothenberger, Brandeis, Asherson, & Kuntsi, 2010) が指摘されている。また、本課題遂行時における脳内処理過程について機能的核磁気共鳴画像法 (functional magnetic resonance imaging; fMRI) を用いて検討した研究では、背側前部帯状回 (dorsal anterior cingulate cortex; dACC) や右下前頭回 (right inferior frontal gyrus; rIFG), pre-SMA の関連が指摘されている (Aron, & Poldrack, 2006; Aron, Behrens, Smith, Frank, & Poldrack, 2007; Enriquez-Geppert, Konrad, Pantev, & Huster, 2010; Verbruggen, & Logan, 2008)

第2章 反応制御過程の測定と評価

第1節 反応制御課題遂行時のERP研究

1. 電気生理学的評価

生きているヒトの頭部に2つの電極を貼りつけると、その間にわずかな電位差（電圧）が生じる。その大きさは数十マイクロボルト（1 μ Vは100万分の1V）にすぎないが、脳波計で数万倍に増幅すると、リズムをもった波として観察できる。これが脳波（electroencephalogram : EEG）である。脳波は1929年、ハンス・ベルガーによって発見され、「脳への窓」と解釈された。その後、ドーソンによって脳波を平均化するという手法が開発され、認知研究に活用されるようになった（Michel, Koenig, Brandeis, Gianotti, & Wackermann, 2009）。また光・音などの刺激や指の曲げ伸ばしのような運動に対応して生じる脳の電気活動を事象関連電位（event-related potentials）または、事象関連脳電位（event-related brain potentials）と呼び、ERPと略記する（入戸野・堀, 2000）。ERPは刺激の物理特性のみならず、刺激に対する内因的な認知処理も反映し、刺激受容後の認知機能や行動の実行にかかわる準備や定位反応といった認知機能を反映するものである（根来・飯田, 2007）。

ERPの長所と短所について、入戸野（2005）は、以下のように述べている。ERPの長所としてはまず第1に、課題の構造を変えずに注意を向けていない刺激の処理を検討できるため、実験参加者の認知過程を歪めずに並行して記録できることである。第2に、時間分解能が非常に高いため、心理活動を非侵襲的に、時間経過に沿って正確なタイミングでかつ客観的に分析できることである。一方で、ERPの短所として、加算平均処理を行うため、1回しか起こらない事象に対するERPは検討できないということ、アーチファクト（脳波以外のノイズ）が混入しやすいため、実験参加者の動作（まばたきや体動）を制限する必要があること、を挙げている。また、頭皮上で記録される電位は、複数の脳領域で発生した電位の総和であり、直下の脳組織の活動を反映しているわけではないということも挙げている。頭蓋骨は、脳や脳脊髄液、頭皮に比べて、電流を通しにくく（インピーダンスが60～80倍高い）、電極直下で生じた電流は、頭蓋骨をまっすぐに通過して頭皮上に現れるのではなく、抵抗の低い部分を迂回しながら、最終的に頭皮上に到達するため、頭皮上脳波からその脳内発生源を推測することは難しい。これは、立花（1996）においても同様に述べられている。

内因的な認知処理における反応制御に関連する成分として、N2 や P3 成分などがあるが、用いられる実験課題によって各成分に対する意味づけは異なる。N2 成分は、刺激呈示後 200ms から 250ms の潜時で頭皮上の前頭領域に形成される成分で、TD 児群よりも ADHD 児群において小さな振幅を示し、呈示された刺激に対するモニタリングや反応コンフリクトを反映しているとされる（大村，2008）。また、Go/NoGo 課題や CPT においては、対象者は標的刺激に対して反応し、非標的刺激に対しては反応しないように求められる。Go/NoGo 課題では、非標的刺激における N2 成分の振幅が標的刺激に比べて高くなる。この「NoGo N2 成分」は 300~400ms、かつ、前頭部で最大ピークを示すことから、前頭葉機能を反映していると考えられており、前頭前野における抑制処理のトリガーとなる“red flag”という前頭前野における抑制処理の指標となることが指摘されている（Kok, Ramauter, Ruiter, Band, & Ridderinkhof, 2004）。また、Stop 刺激に対する N2 (Stop-N2) に関しては、認識しやすい呈示刺激条件ほど成分振幅値が増大すること（Yeung, Botvinick, Cohen., 2004）より、コンフリクトモニタリング仮説が支持されている（Gehring, Gratton, Coles, & Donchin, 1992）。

P3 成分は、刺激呈示後およそ 300ms の潜時で頭皮上の頭頂領域において最大の陽性頂点を形成する成分であり、呈示された刺激の処理結果のモニタリングに関連していると考えられる。また、P3 成分は、電位が 5~20 μ V と大きく、計測もしやすいため、幅広く研究される（宮田・藤沢・山崎・柿木，1998），ADHD 研究の実行機能を検討するのに適した指標と考えられている（恵羅，2005）。P3 は抑制過程のモニタリングを反映する成分（Senderecka, Grabowska, Szewczyk, Gerc, & Chmylak, 2012）と考えられており、弁別の難易度が高いほど、P3 潜時値が延長することも報告されている（恵羅，2005）。P3 成分は前頭中心部付近で、かつ Go 試行よりも NoGo 試行において大きな振幅を示す成分である（Falkenstein, Hoorman, Hohnsbein, 2000）。ADHD 児は、特に抑制失敗時において NoGo-P3 振幅値が有意に低下すること（Overtoom, Kenemans, Verbaten, Kemner, van der Molen, van Engeland, Buitelaar, & Koelega, 2002），ADHD 児・者における Stop-signal 課題およびストループ課題を用いた fMRI による研究では、特に抑制失敗時において、dACC における賦活が小さくなることが示されている（Pliszka, Glahn, Semrud-Clikeman, Franklin, Perez III, Xiong, & Liotti, 2006）。この理由として、NoGo-P3 は、抑制処理結果のモニタリングに関連していることが想定されている（Nieuwenhuis, Yeung, van den Wildenburg, & Ridderinkhof, 2003）。

2. Stop-signal 課題とは

Stop-signal 課題は、Go/NoGo 課題や CPT のように、反応する場合と抑制する場合がはじめてから分かれている課題と異なり、一度形成された反応を必要に応じて抑制する課題であるために、抑制機能に特化したプロセスを追跡することができる点で特徴的である（増井ら，2010）。また，Kok et al. (2004) も，Stop-signal 課題について，反応刺激によって引き起こされた運動反応の撤回，反応の中止が求められるため，Go/NoGo 課題よりも反応過程において，より抑制が困難であると述べている。

Stop-signal 課題は，繰り返し呈示される実行信号（Go 刺激）に応じてボタン押しを行う中で，時々呈示される停止信号（Stop 刺激）に応じてボタン押しを止めるように要求する課題で，ADHD 児の行動抑制メカニズムを検討する課題の一つとして，競合モデル（Logan & Cowan, 1984）を基盤に発展してきた。実行信号に対する反応が早く完了した場合には運動反応が行われ，停止信号に対する反応が早く完了した場合には運動反応が抑制されるというように，反応の実行や停止のプロセスがモデルで説明できる点が特徴である。また，この課題では反応の停止に要する反応時間（stop-signal reaction time：以下，SSRT）を推定することが可能であり，SSRT が長いほど課題に対する反応抑制が弱いという一定した知見を得ている（坂尻・前川，2007）。このように，Stop-signal 課題における反応抑制と衝動性との関連は多く示唆されており，メタ分析からも ADHD 児の反応抑制を検討する課題として有効性が確認されている（坂尻・岡崎・前川・立川・市川・二上，2005）。Logan, Schachar, and Tannock (1997) は TD 成人 136 名を対象に Stop-signal 課題を行い，衝動性に関連する質問紙である Eysenck Personality Inventory（Eysenck & Eysenck, 1969）の得点によって対象者を高得点群と低得点群に分け，SSRT を比較した。その結果，衝動性の得点が高い群は SSRT が長いことから，低い群に比べて反応制御能力が弱いことが明らかになった。

3. 定型発達児・者を対象とした反応制御過程に関する検討

Dupuis, Indralingam, Chevrier, Crosbie, Arnold, Burton, and Schachar (2019) は，6 歳から 17 歳の 13709 名を対象に，Stop-signal 課題における反応時間（Reaction Time；以下，RT）調整および SSRT の発達的变化と反応実行との関連性を検討した。対象者は Go 刺激に対する不正確な反応後よりも正確な反応後に RT が短縮したこと，抑制成功試行（Successful Stop Trial；以下，SST）の後よりも抑制失敗試行（Unsuccessful Stop Trial；以下，UST）の後に RT が短縮したことを報告した。また，6 歳から 7 歳の

児童は反応に対して方略的な調整が難しいこと、10歳から青年期にかけての対象者は先行試行の結果を受けて方略的な反応調整を行うことも報告され、RTは先行事象の結果に基づいて試行ごとに変化することが示唆された。

TD成人12名を対象にStop-signal課題遂行時のERPを検討した研究(Kok et al., 2004)では、N2/P3の振幅値がGo刺激よりもStop刺激に対して増大することが報告されている。あわせて、Stop刺激に対するN2/P3の振幅値は、SSTに比べてUSTにおいて、増大することも報告されている。

Wodushek and Neumann (2003)は、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, Liau, & 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。

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。

4. ADHD児・者を対象とした反応制御過程に関する検討

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。ADHD児を対象とした研究では、TD児群と比較してADHD児群におけるRTやSSRTの有意な延長、左右エラー率の有意な上昇が、一貫して報告されている(Lijffijt, Kenemans, Verbaten, & Engeland, 2005; Liotti, Pliszka, Higgins, Perez, & Semrud-Clikeman, 2010)。ERPについては、P3振幅値がADHD児群において有意に低下するということが報告されている(e.g. Brandeis, van Leeuwen, Rubia, Vitacco, Steger, Pascual-Marqui, & Steinhausen, 1998; Overtom et al., 2002)。

N2成分の結果について、Stop-signal課題を用いた研究では、TD児群に対してADHD児群では、前頭部のNoGo-N200の振幅値が有意に低下することが報告されている(Albrecht, Banaschewski, Brandeis, Heinrich, Rothenberger, 2005; Liotti, Pliszka,

Perez, Luus, Glahn, & Semrud-Clikeman, 2007; Pliszka, Liotti, Woldorff, 2000)。加えて、右前頭部における N2 振幅は、UST に対して SST において有意に大きく、このモジュレーションは TD 児群ではみられたものの、ADHD 児群ではみられなかったこと (Liotti et al., 2007)、fMRI を用いた研究では、抑制機能に右中/下前頭回が大きく関与していること (Konishi, Nakajima, Uchida, Kikyo, Kameyama, & Miyashita, 1999; Rubia, Smith, Brammer, Toone, Taylor, 2005) が示されている。10 代の ADHD 児・者では、右中/下前頭回の賦活が特に SST において弱いということも報告されており (Rubia et al., 2005)。ADHD における抑制機能の障害は、前頭前野へとつながる回路の構造的および機能的な崩壊によって引き起こされている可能性がある。これらの報告に対して、ADHD 児群における SST の N2 振幅値が増大し、潜時が延長した報告も存在する (Johnstone, Barry, & Clarke, 2007; Senderecka et al., 2012)。これらの結果の不一致について、ACC の不活性化や右背外側前頭前野、rIFG、pre-SMA の賦活を反映したものではないかと先行研究において考えられているが、依然として議論されており、検討の余地があると考えられる。

TD 児群に対して ADHD 児群における反応抑制の困難さは、これまで一貫して報告されてきたが、近年、ADHD 児群では反応抑制の困難さを知覚処理で補っている可能性について、指摘されている (e.g. Janssen, Heslenfeld, van Mourik, Geladé, Maras, & Oosterlaan, 2018)。

第2節 Stop-signal 課題における課題変数

1. Stop 刺激の出現頻度と Go 刺激および Stop 刺激の SOA

Ramautar, Kok, and Ridderinkhof (2004) は, Stop 刺激の出現頻度によって起こる反応制御過程の違いについて ERP を用いて検討している。18 歳から 23 歳の TD 成人 14 名を対象とし, Stop-signal 課題遂行時の行動成績および ERP を分析した。眼前 90 cm の黒色背景画面に Go 刺激として四角または丸の青色図形が, Stop 刺激として青色十字形が呈示された。注視点が 250ms 間呈示された後, 画面中央に Go 刺激が 100ms 呈示された。Stop 刺激は, Go 刺激の呈示後 100ms, 150ms, 200ms, 250ms, 300ms からランダムに呈示され, Stop 刺激の呈示時間は 100ms とされた。刺激間隔は 3500~4500ms の間でランダムに変化させた。Stop 刺激については, Go 刺激呈示後 20% の頻度で呈示される条件 (low probability stop signals) と 50% の頻度で呈示される条件 (high probability stop signals) の 2 条件に分けて実施された。20% 条件においては 100 試行を 1 ブロックとして 25 ブロック実施した (全 2500 試行)。50% 条件においては, 120 試行を 1 ブロックとして 12 ブロック実施した (全 1440 試行)。その結果, Stop 刺激の出現頻度が低いほど, Go 刺激に対する RT が短縮し, Stop 刺激に対するコミッションエラー率が上昇すること, ERP では N2, P3 のいずれも SST よりも UST において潜時値の延長, 振幅値の増大が報告されている。

また, Go 刺激と Stop 刺激との間のインターバル (Stimulus Onset Asynchrony ; 以下, SOA) をランダムに変化させた Kok et al. (2004) では, Go 刺激と Stop 刺激とのインターバルが短ければ短いほど, Stop 刺激に対する反応はしやすくなり, インターバルが長ければ長いほど, Stop 刺激に対する反応が難しくなることを報告した。

これらの研究から, Stop 刺激の出現頻度や Go 刺激や Stop 刺激の SOA によって, 行動成績および ERP が変化することが想定された。

2. 呈示刺激の違い

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、CPT を用いた研究のメタ分析 (Riccio, Reynolds, & Lowe, 2001) では、対象群の違いはあるものの、物や人の絵、単語を呈示した場合、数字を用いた場合よりも RT の延長やエラー率の上昇が報告されている。

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 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。

これらの研究から、Go 刺激や Stop 刺激として呈示する刺激の特性や刺激の種類を変化させることによって、行動成績および ERP が変化することが想定された。

3. プライミング

プライミング効果とは先に入ってきた情報処理の仕方によって、後から入ってきた情報の処理速度に影響があるというもので、心理学領域において実証されている理論である (Oldenburg, Roger, Asseondi, Verbruggen, & Fias, 2012)。先述したように、Dupuis et al. (2019) は、Stop-signal 課題を用いた大規模な研究で、直前の試行の影響を受けて後続の試行のパフォーマンスが調整されることについて報告している。また、Rieger and Gauggel (1999) は、Stop 刺激に対する抑制ができなかった UST の直後の試行では、RT が有意に延長することを報告しており、このことをネガティブプライミングと呼んでいる。そのほか、Ramautar et al. (2004) や Verbruggen and Logan (2009a) も Go 刺激と Stop 刺激との間には経時的な関係があることを報告しているものの、それらはいずれも行動成績のみの検討にとどまっており、Go 刺激と Stop 刺激との関係性が ERP に及ぼす影響についてはこれまで報告されていない。これらの研究から、Go 刺激と Stop 刺激の組み合わせや刺激間のプライミングによって行動成績が変化することが想定される。

第3章 本研究の目的と構成

第1節 第1部のまとめと本研究の目的

第1章では、本研究で対象とする ADHD 児の生物学的・認知的特徴やその機能評価法について述べた。また、ADHD 児の反応制御過程を担う脳機能、主に ACC や IFG といった前頭前野の機能不全ならびに、それらが ERP によって検討可能であることを述べた。

第2章では、反応制御過程の評価課題としての Stop-signal 課題を用いた研究方法とその結果について示した。先行研究間においてある程度一貫して報告されている結果とともに、先行研究間においても結果の一致がみられない ERP 成分があること、その要因として Stop-signal 課題における課題変数（呈示刺激の出現頻度、刺激特性の違い、Go 刺激と Stop 刺激の組み合わせなど）の違いが行動成績および ERP に影響する可能性があることを指摘した。また、行動成績に表出しない刺激処理過程について、時間分解能に優れた ERP を用いることで、反応制御過程をリアルタイムに、かつ客観的に測定することができる可能性について述べた。さらに、ADHD 児においては、反応抑制の困難さが一貫して報告されてきているが、その困難さを知覚処理によって補っている可能性があることも指摘した。

Stop-signal 課題は ADHD の臨床症状である衝動性や不注意の検討に適しており、ADHD 児のみならず、ADHD 成人や TD 成人の ADHD 傾向によっても行動成績や ERP に有意な差として現れることが先行研究から示唆された。また、反応抑制は刺激に対する単一の処理過程ではなく、直前の試行の影響を受けて変動する可能性があること、その経時的効果には呈示刺激の特性が影響する可能性があることも先行研究から示唆された。

呈示する刺激特性の異なる Go/NoGo 課題を用いた課題遂行時の行動成績および ERP については、これまで検討がなされてきているが、Stop-signal 課題とは異なるパラダイムであり、刺激処理過程も異なる課題であることが先行研究から示唆された。また、Stop-signal 課題を用いて、刺激特性の違いや Go 刺激と Stop 刺激の組み合わせの違いが行動成績に及ぼす影響については、いくつか報告されているものの、ERP を用いた研究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。

以上を踏まえ本研究では、刺激特性の異なる視覚刺激を用いた Stop-signal 課題遂行時の行動成績と ERP を通して、異なる刺激種やその組み合わせが ADHD 児の反応制御過程に及ぼす影響を検討することを目的とする。

第2節 本研究の構成

本研究は、4部から構成される。ADHDの認知的な特徴や反応制御過程に関する理論的な背景を概観し、本研究における目的を述べた第1部に続き、第2部では、刺激特性やGo刺激とStop刺激の組み合わせが異なるStop-signal課題における反応制御過程について、TD成人を対象とした予備的検討を、第3部では、TD成人のADHD傾向、TD児およびADHD児といった小児の反応制御過程と刺激特性および刺激の組み合わせとの関連性について実験的検討を、第4部では、それらを踏まえた総合的な考察を行う。

第2部および第3部では、Ramautar et al. (2004)を参考に作成したStop-signal課題を実施する。各部の第1章ではそれぞれの部で行う検討の目的を述べる。

第2部は研究1および研究2で構成され、ともにTD成人を対象とした予備的な検討を行った。研究1ではGo刺激およびStop刺激が異なる2種類のStop-signal課題を、研究2では、Go刺激として用いる刺激種（車刺激条件、飛行機刺激条件、電車刺激条件）およびGo刺激とStop刺激の組み合わせの違いが、反応制御過程に及ぼす影響について検討を行った。

第3部は研究3から研究6で構成され、研究3では、Stop-signal課題における刺激特性およびその組み合わせの違いが反応制御過程に及ぼす影響について、TD成人におけるADHD傾向の高低との関連性から検討すること、研究4では、そのような呈示刺激の違いがADHD児やTD児といった小児の反応制御過程に及ぼす影響について検討することを目的とする。また、研究5では、呈示されるStop刺激の違いとTD成人におけるADHD傾向の高低との関連性について検討することを目的とする。研究6では、Stop刺激の違いが小児の反応制御過程に及ぼす影響について検討することを目的とする。

第4部は、2章から構成される。第1章では、第2部において示されたStop-signal課題における刺激特性とGo刺激およびStop刺激の組み合わせについて考察し、それらと第3部において検討されたADHD症状との関連性について考察を行う。また、本研究で得られた知見から考えられる教育的示唆についても第1章で述べる。第2章では、今後の課題と展望について述べる。

第 2 部

刺激特性や刺激の組み合わせが異なる

Stop-signal 課題を用いた予備的検討

第 2 部 刺激特性や刺激の組み合わせが異なる Stop-signal 課題を用いた予備的検討

第 1 章 目的

第 1 部において概観したような反応制御過程の測定と評価に用いられる実験室課題のうち、本研究では、刺激特性および Go 刺激と Stop 刺激の組み合わせが異なる Stop-signal 課題を用いることとする。

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（加賀ら，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 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。

以上より，本研究では，Stop-signal 課題における刺激特性およびその組み合わせの違いと反応制御過程との関連について，Stop-signal 課題遂行時の行動成績と生理指標を用いて検討することを目的とする。

第 2 部は研究 1 および研究 2 で構成され，ともに TD 成人を対象とした予備的な検討を行った。研究 1 では Go 刺激および Stop 刺激が異なる 2 種類の Stop-signal 課題を，研究 2 では，Go 刺激として用いる刺激種（車刺激条件，飛行機刺激条件，電車刺激条件）および Go 刺激と Stop 刺激の組み合わせの違いが，反応制御過程に及ぼす影響について検討を行った。

第2章 定型発達成人における刺激特性に関する検討（研究1）

第1節 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 TD 成人 23 名（男性 18 名，女性 5 名，平均年齢 22.6 歳，年齢幅 18.5 - 28.7 歳）を対象とした。対象者については，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，精神科受診歴がない者とした。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 26・49）を受けた。

2. 課題と実施手続き

課題は，Ramautar et al. (2004) を参考に作成した Stop-signal パラダイムを用いた (Fig.2.2.1.1)。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 $1.8^{\circ} \times 1.8^{\circ}$) 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 (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あるいは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。対象者には，Go 刺激に対して反応し一つ，Go 刺激呈示後に Stop 刺激が出現したら，ボタンを押さないよう求めた。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 et al. (2012) を参考に Go 刺激とプ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) のいずれかで変化させ，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）を行った。CRT課題とStop-signal課題のいずれにおいても、各試行間隔は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. 脳波記録

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

4.1) 行動成績

刺激条件ごとに、正反応時のRT、RTの標準偏差（以下、RT-SD）、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算出した。SSRTについてはBand, van der Molen, and Logan（2003）を参考に、以下のよう算出した。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）。

4.2) 脳波

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

一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（アベレージリファレンス）した後，全電極の標準偏差（standard deviation; SD）である Global Field Power（以下，GFP）も算出した（Skrandies,1990）。

ERP 成分の同定にあたっては，各刺激呈示後 175-225msec に陰性方向へシフトする電位を N2 成分（Liotti et al., 2010），230-400msec に陽性方向へシフトする電位を P3 成分とした（Senderecka et al., 2012）。これらの成分は Ramautar et al.（2004）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 における 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刺激条件について求めた。

4.3) 統計処理

行動成績および GFP 潜時値，ピーク値については刺激条件を被験者内要因とする 1 要因分散分析を行った。ERP については，2（刺激）×3（部位）の 2 要因分散分析を行った。分析には，SPSS v. 24.0 を用いた。

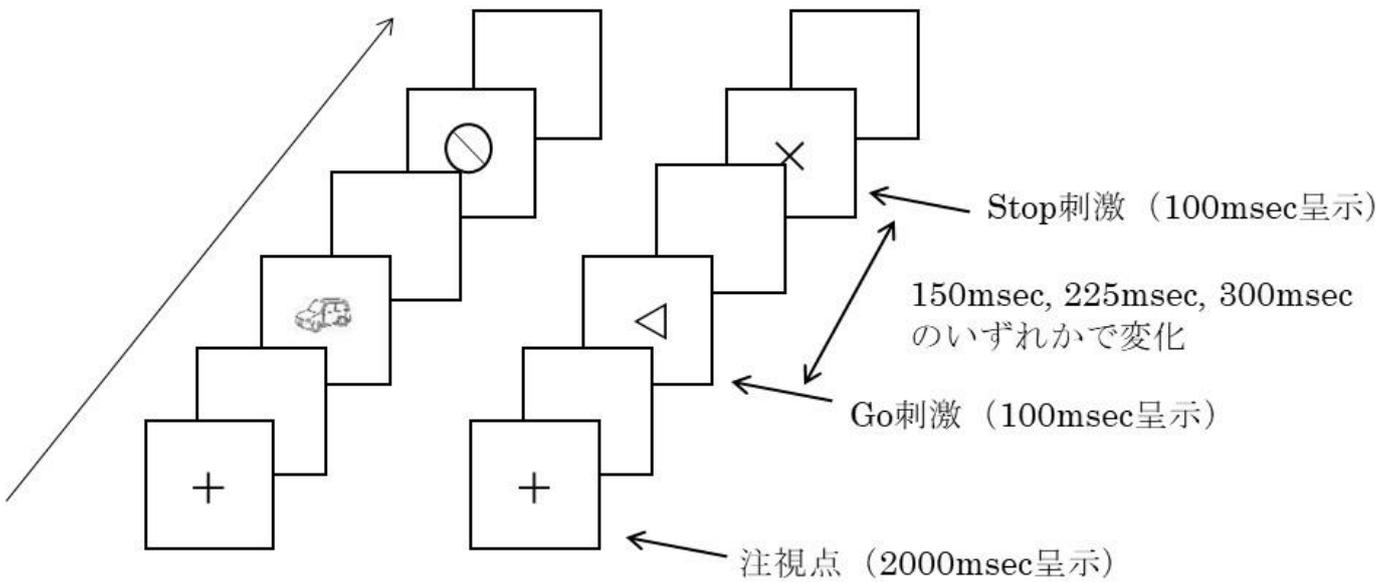


Fig. 2.2.1.1 クルマ刺激条件(左)と記号刺激条件(右)のダイアグラム

第2節 結果

1. 行動成績

Table 2.2.2.1 に各刺激条件における行動成績を示した。分散分析の結果、RT ($F(1,22) = 5.067, p < .05$) , 左右エラー率 ($F(1,22) = 8.470, p < .01$) , 300msec 条件における SSRT ($F(1,22) = 4.357, p < .05$) において、有意な主効果がみられ、記号刺激条件よりもクルマ刺激条件で RT や SSRT が有意に延長し、左右エラー率が有意に上昇した。300msec 条件以外の SSRT や見逃し率、抑制率では有意差がみられなかった。

Table 2.2.2.1 各刺激条件における行動成績

	クルマ刺激条件	記号刺激条件	<i>p</i> 値
Go-RT (msec)	408.0 ± 32.4	395.9 ± 39.9	< .05
左右エラー率 (%)	0.9 ± 1.5	0.1 ± 0.3	< .01
見逃し率 (%)	2.1 ± 3.9	2.1 ± 3.7	.966
150msec条件	326.0 ± 86.6	312.0 ± 89.4	.229
225msec条件	221.4 ± 65.4	207.4 ± 85.3	.189
300msec条件	101.7 ± 64.1	79.2 ± 79.1	< .05
150msec条件	82.6 ± 13.0	80.9 ± 16.2	.433
225msec条件	70.1 ± 13.6	69.7 ± 19.5	.880
300msec条件	46.7 ± 12.5	43.1 ± 20.1	.299

2. ERP

2.1. Go 試行における ERP 成分動態

Fig.2.2.2.1 に Go 刺激呈示時を起点とした正中 3 部位の総加算平均波形および GFP 曲線を, Fig.2.2.2.2 に正中 3 部位から導出された Go 刺激呈示時の N2 (以下, Go-N2) 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。N2 の出現潜時とした, Go 刺激呈示後 175msec から 225msec までの GFP ピーク値および潜時値について, 分散分析を行ったところ, GFP ピーク値 ($F(1,21)=14.523, p<.01$) および潜時値 ($F(1,21)=5.991, p<.05$) において有意な主効果がみられ, 記号刺激条件よりもクルマ刺激条件で GFP ピーク値が有意に上昇し, かつ GFP 潜時値が有意に延長した。一方, 正中 3 部位から導出された Go-N2 振幅値および潜時値について刺激と部位の 2 要因の分散分析を行った結果, いずれにおいても有意差はみられなかった。P3 の出現潜時とした Go 刺激呈示後 230msec から 400msec までの GFP ピーク値および潜時値, 正中 3 部位から導出された P3 振幅値, 潜時値については, いずれも有意差がみられなかった。

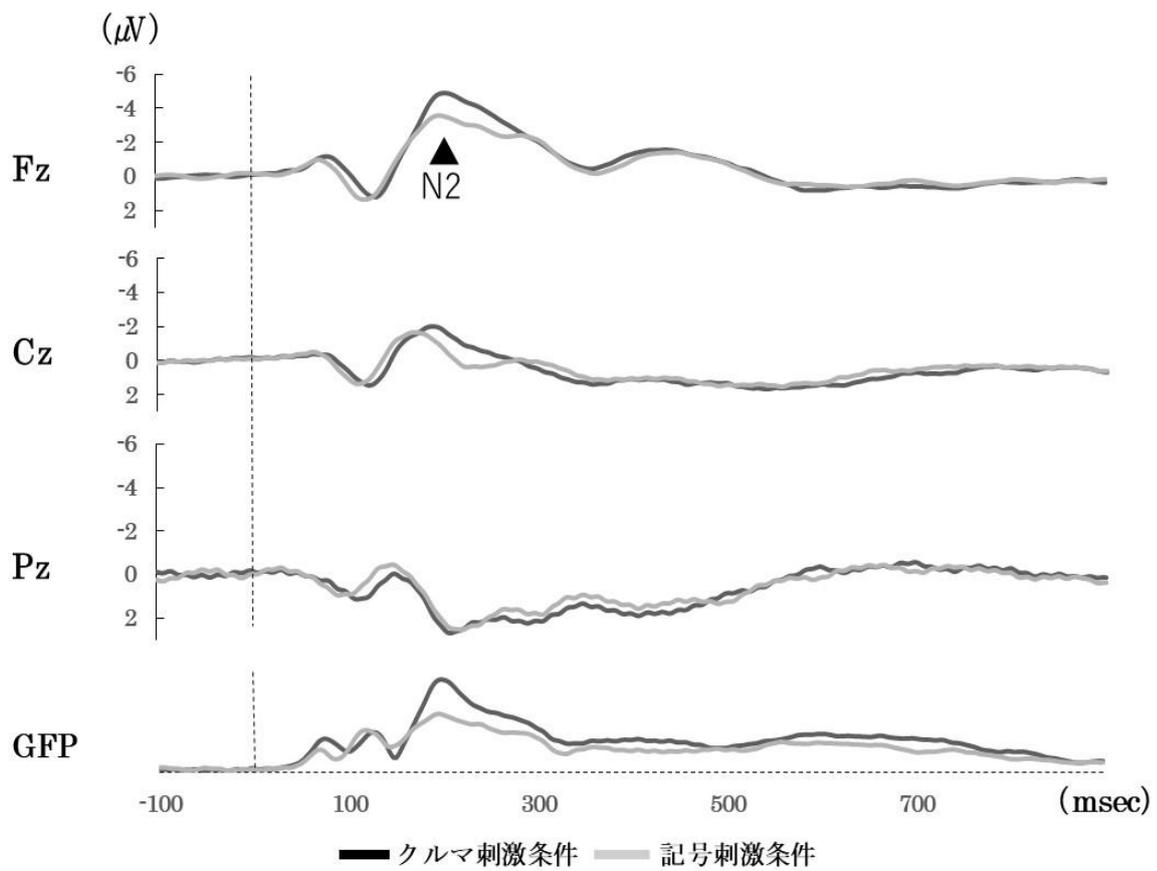


Fig. 2.2.2.1 各刺激条件におけるGo刺激呈示時を起点とした総加算平均波形とGFP曲線

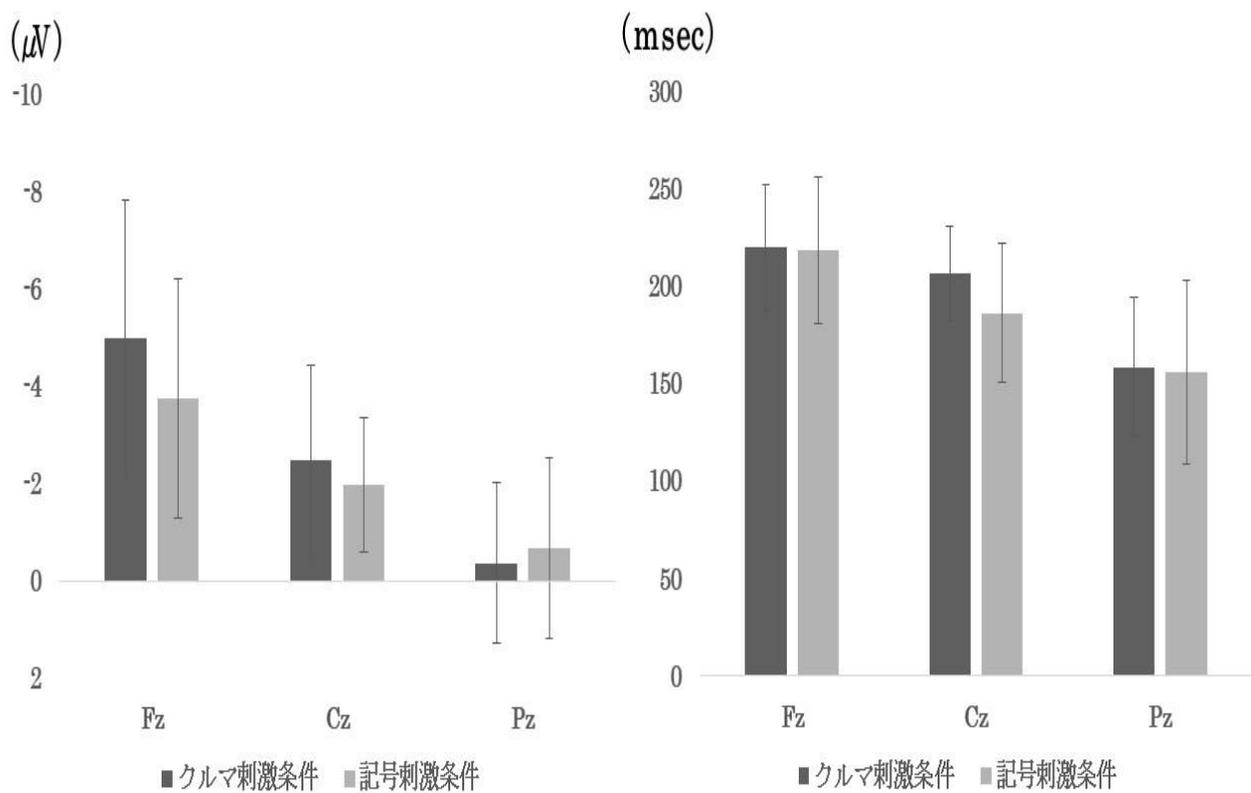


Fig. 2.2.2.2 各刺激条件におけるGo刺激に対するN2成分の振幅値 (左) と潜時値 (右)

2.2. Stop 試行における ERP 成分動態

2.2.1. N2 成分

Stop 試行における有効加算回数は、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、UST の有効加算回数は各刺激条件ともに平均 10 回に満たなかったため分析対象から除外し、SST の試行のみを分析した。

Fig.2.2.2.3 に Stop 刺激呈示時 (150msec 条件) を起点とした SST 時の正中 3 部位の総加算平均波形と GFP 曲線を、Fig.2.2.2.4 に 150msec 条件の SST 時における N2 (以下、SST-N2) 振幅値および潜時値をそれぞれ示す。SST 時の各 Stop 刺激条件における Stop 刺激呈示後 175msec から 225msec までの GFP ピーク値および潜時値について、分散分析を行ったところ、150msec 条件における GFP ピーク値において有意な主効果がみられ、記号刺激条件よりもクルマ刺激条件で GFP ピーク値が有意に上昇した ($F(1,21)=5.837, p<.05$)。一方、正中 3 部位から導出された 150msec 条件における SST-N2 振幅値および潜時値について刺激と部位の 2 要因の分散分析を行ったところ、いずれにおいても有意差はみられなかった。あわせて 225msec 条件、300msec 条件における Stop 刺激呈示後 175msec から 225msec までの GFP ピーク値および潜時値、正中 3 部位から導出された SST-N2 振幅値、潜時値については有意差がみられなかった。

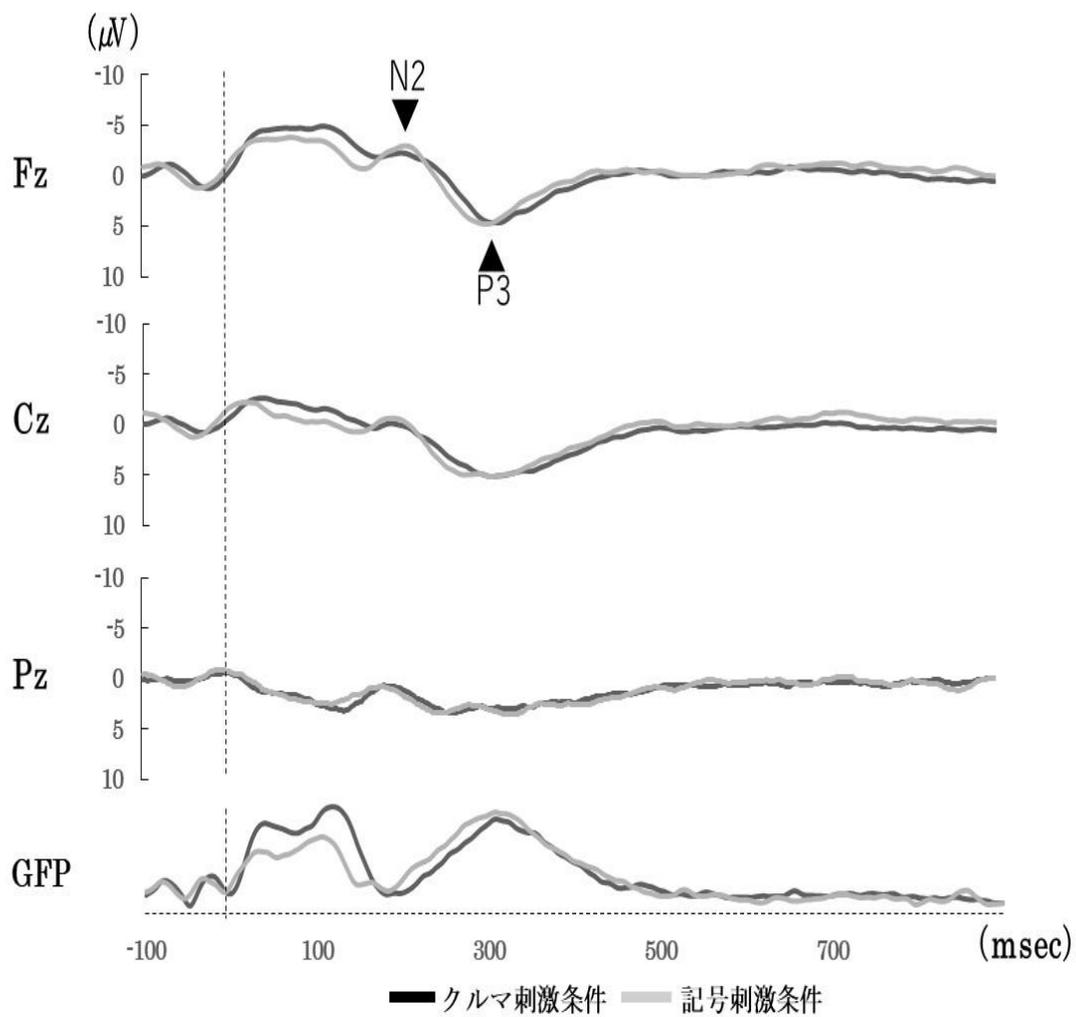


Fig. 2.2.2.3 150msec呈示条件におけるSST時のStop刺激呈示を起点とした刺激条件ごとの総加算平均波形とGFP曲線

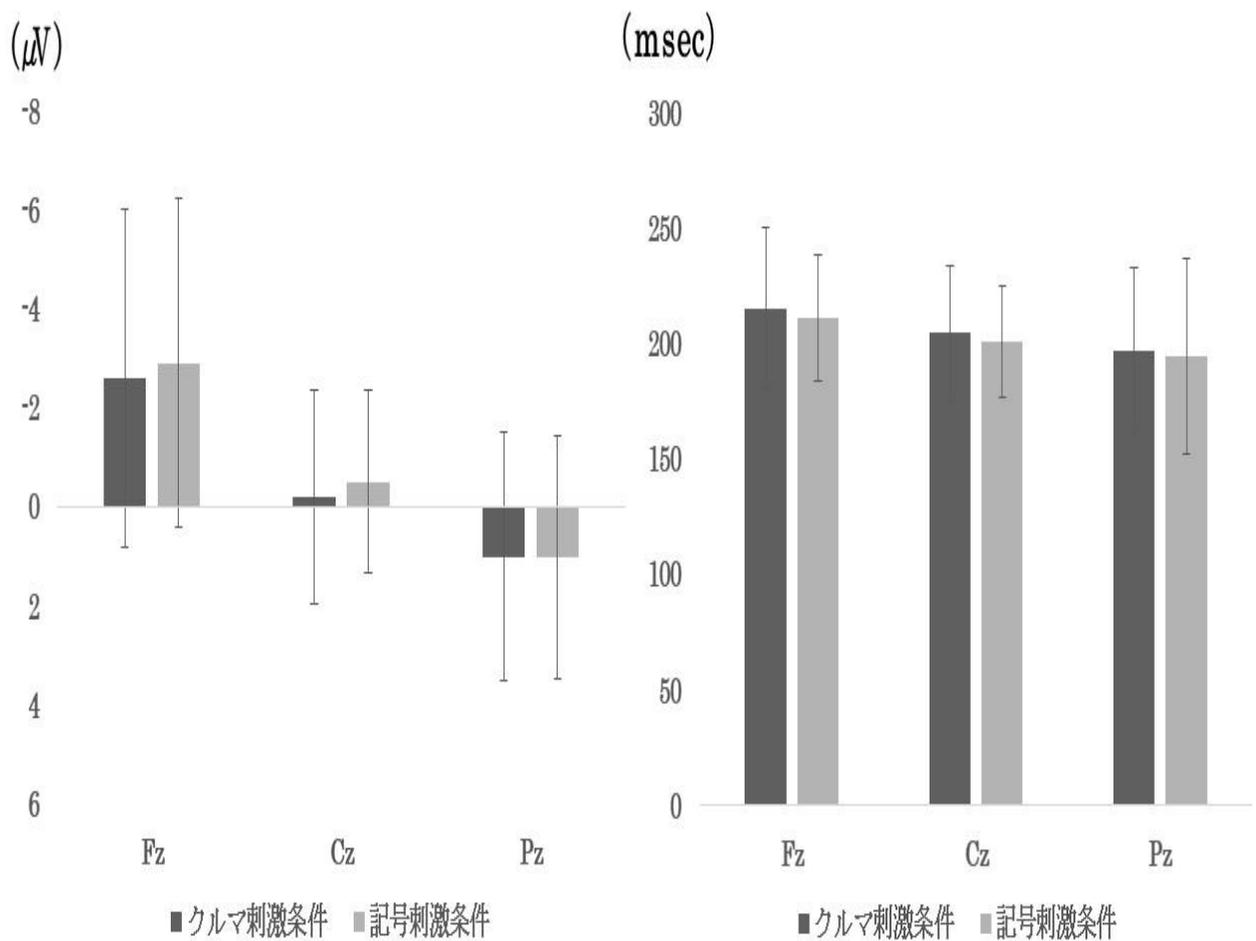


Fig. 2.2.2.4 150msec Stop刺激呈示条件のSST時におけるN2成分の振幅値 (左) と潜時値 (右)

2.2.2. P3 成分

Fig.2.2.2.5 に Stop 刺激呈示時 (225msec 条件) を起点とした SST 時の正中 3 部位の総加算平均波形と GFP 曲線, Stop 刺激呈示後 230msec から 400msec における頭皮上電位分布図を, Fig.2.2.2.6 に 225msec 条件の SST 時における P3 (以下, SST-P3) 振幅値および潜時値をそれぞれ示す。SST 時の各 Stop 刺激条件における Stop 刺激呈示後 230msec から 400msec までの GFP ピーク値および潜時値について, 分散分析を行ったところ, 225msec 条件における GFP ピーク値において有意な主効果がみられ, クルマ刺激条件よりも記号刺激条件で GFP ピーク値が有意に上昇した ($F(1,21)=8.985$, $p<.01$)。正中 3 部位から導出された 225msec 条件における SST-P3 振幅値および潜時値について刺激と部位の 2 要因の分散分析を行ったところ, 振幅値について刺激の主効果がみられ, 記号刺激条件よりもクルマ刺激条件で振幅値が有意に低下した ($F(1,21)=6.395$, $p<.05$)。150msec 条件, 300msec 条件における Stop 刺激呈示後 230msec から 400msec までの GFP ピーク値および潜時値, 正中 3 部位から導出された SST-P3 振幅値, 潜時値については, いずれも有意差がみられなかった。

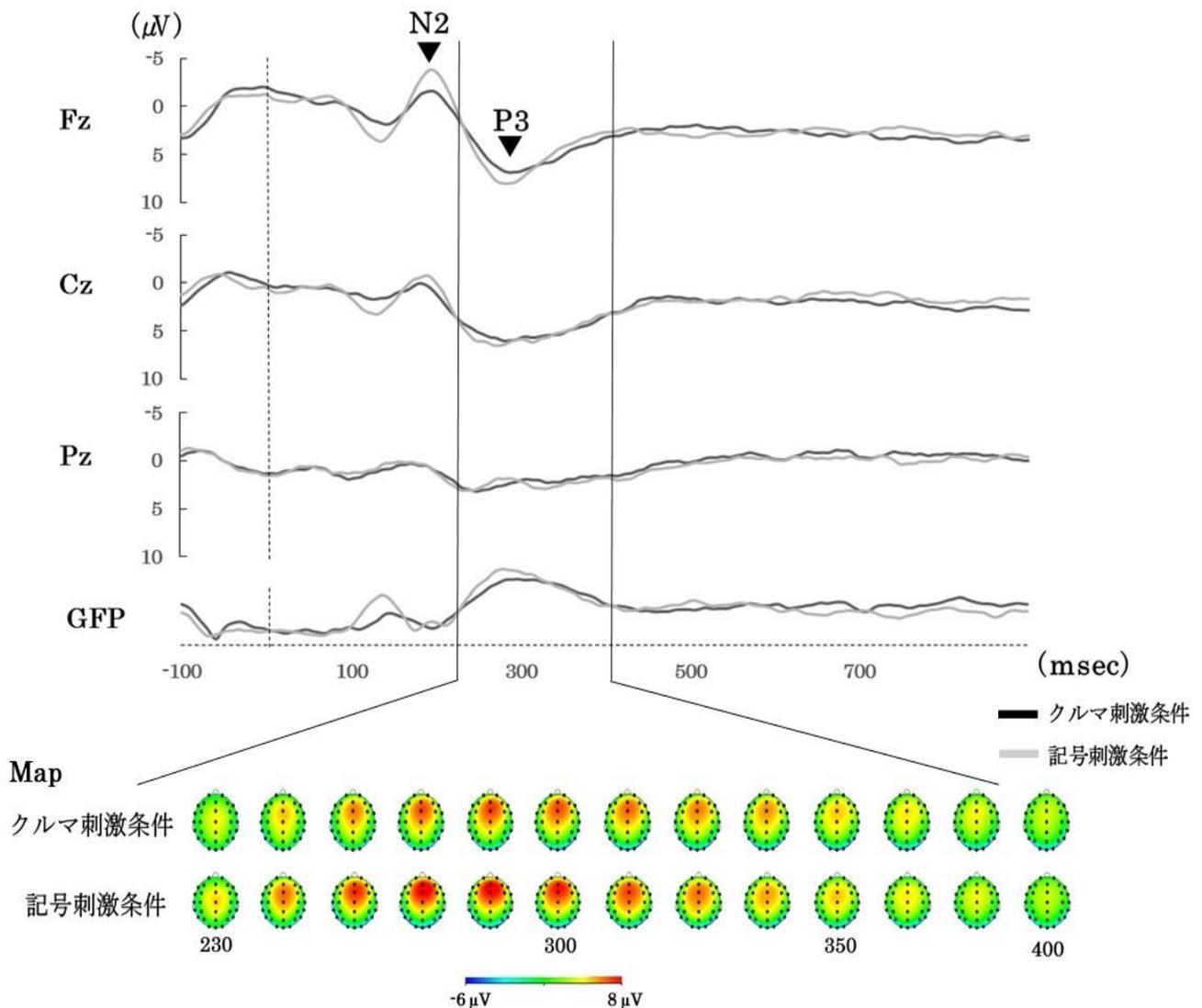


Fig. 2.2.2.5 Stop刺激呈示時を起点とした総加算平均波形（225msec条件）とGFP曲線、Stop刺激呈示後230msecから400msecにおける頭皮上電位分布図

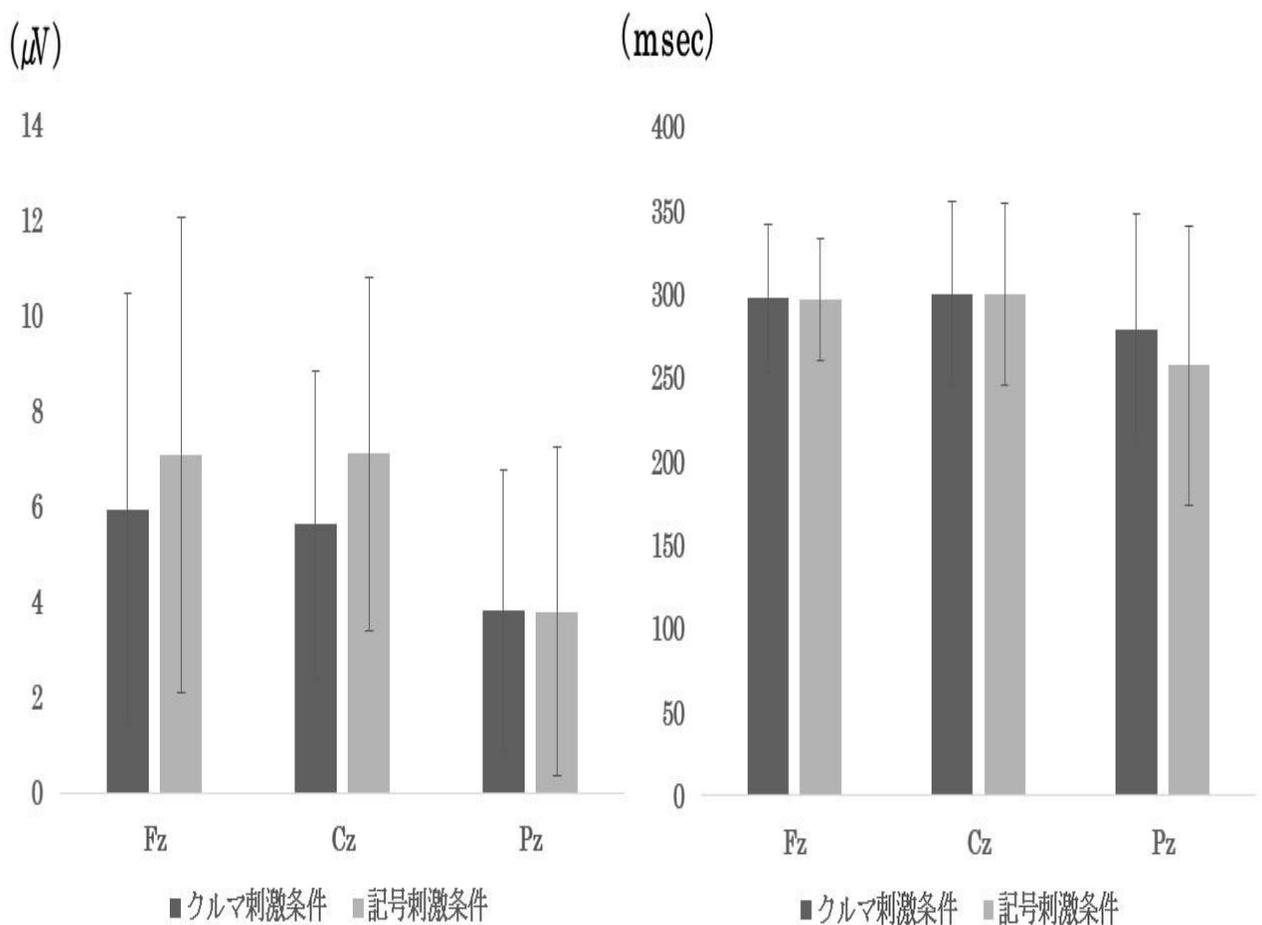


Fig. 2.2.2.6 225msec Stop刺激呈示条件のSST時におけるP3成分の振幅値 (左) と潜時値 (右)

第3節 考察

本研究では、TD成人を対象に、Stop-signal課題におけるGo刺激とStop刺激の組み合わせの違いが反応制御過程に及ぼす影響について、行動成績と課題行動時のERPから検討した。その結果、行動成績では記号刺激条件に比べてクルマ刺激条件におけるRTやSSRTの延長、左右エラー率の上昇がみられた。ERPでは、記号刺激条件に比べてクルマ刺激条件におけるGo刺激呈示後175-225msecまでの区間でのGFPピーク値の有意な上昇、GFP潜時値の有意な延長がみられた。同様に、クルマ刺激条件におけるStop刺激呈示後175-225msecまでの区間でのGFPピーク値の有意な上昇、230-400msecまでの区間でのGFPピーク値の有意な低下、SST-P3振幅値の有意な低下が、それぞれみられた。

1. 刺激特性の違いが行動成績に及ぼす影響

CPTの行動成績に関するメタ分析(Riccio et al., 2001)では、刺激条件の違いによって、RTやエラー率に差が生じることが指摘されている。一方、Go/NoGo課題を用いた先行研究(加賀ら, 2008)では刺激条件による行動成績への特別な影響はみられなかったことがそれぞれ報告されており、反応制御の評価課題を用いた研究間でも結果が一致していない。本研究では、Stop-signal課題を用い、刺激特性の違いが行動成績に及ぼす影響を検討したところ、クルマ刺激条件に比べて記号刺激条件の行動成績が高く、用いる刺激の違いによって、行動成績に影響を及ぼす結果が得られた。この理由として、刺激以外の条件設定の違いが挙げられる。CPTは、反応制御の評価課題であるとともに、長時間にわたって課題行動に対する持続的注意を要するが、本研究のStop-signal課題は1ブロックを約1分50秒程度としており、持続的注意への負荷は相対的に低いと考えられる。あわせて、Go/NoGo課題では、Go刺激処理過程とNoGo刺激処理過程が課題に応じてそれぞれ独立して存在していることが想定されている(西澤・小松, 2002)のに対し、Stop-signal課題ではGo刺激処理過程とStop刺激処理過程との間には競合が生じることを前提としている。そのため、Stop-signal課題では、これらの課題と異なり、反応制御能力を反映するとされるSSRTを推定することが可能であり、SSRTが長いほど課題に対する反応制御が弱いといった一定した知見が得られている(坂尻ら, 2007)。これらのことから、刺激条件の異なるStop-signal課題ではRTやSSRT、左右エラー率といった行動成績に有意な差が認められたと考えられ、それらは持続的注意よりもむしろ刺激間の競合下における反応制御能力をも反映している可能性がある。

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) においては、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 刺激を呈示した際における 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。本研究では、記号刺激条件に比べてクルマ刺激条件における RT や左右エラー率が上昇した。これは、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いて用いたクルマの絵の左右を弁別することは、三角の記号の左右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。

また、Chikazoe, Jimura, Hirose, Yamashita, Miyashita, and Konishi (2009) は、SSRT を反応制御の効率性を反映する指標とし、Stop 刺激処理時における rIFG の活動と負の相関がみられること (Aron & Poldrack, 2006) を報告している。あわせて、SSRT や抑制率などの Stop 刺激処理に関する行動成績は Stop 刺激処理過程をモニタリングし、反応の実行や抑制を調整する働きに寄与すること (Verbruggen & Logan, 2009a) も報告されている。本研究では、記号刺激条件に比べてクルマ刺激条件における SSRT が有意に延長していた。そのため、本研究のクルマ刺激条件で Stop 刺激として用いた駐車禁止用の図は、記号刺激条件で Stop 刺激として用いたバツ印に比べて、刺激処理結果のモニタリングがしづらい可能性が示唆された。

2. ERP からみた刺激特性の反応制御への影響

2.1 Go 試行

本研究で ERP データの空間分析のために用いた GFP は活動量の指標である (Skrandies, 1990) とともに、注意の処理資源の配分を反映しているとされる (Sallard, Barral, Chavan, & Spierer, 2014)。Go/NoGo 課題において複数の刺激条件を用いた研究 (加賀ら, 2008) では、色や図形といった刺激よりも、見た目が複雑な漢字刺激において NoGo-N2 振幅値の低下が報告されている。本研究では、記号刺激条件に比べてクルマ刺激条件に対する Go-N2 出現潜時の GFP ピーク値が上昇し、GFP 潜時値が延長した。また、先述したように、Go 刺激に対する行動成績について、クルマ刺激条件における RT が記号刺激条件と比べて有意に延長し、左右エラー率が有意に上昇した。これらのことから、本研究においても CPT や Go/NoGo 課題を用いた先行研究 (加賀ら, 2008 ; Riccio et al., 2001) と同様に、先述した行動成績とともに ERP における N2 にも、刺激条件の違

い、とりわけ弁別難易度の違いが、刺激に対する注意処理資源の配分に影響を及ぼすことが反映されたものと推察された。

2.2 Stop 試行

Ramautar et al. (2004) は Go 刺激処理過程が Stop 刺激処理過程に関連し、Go 刺激処理が遅れると、それに付随する形で Stop 刺激処理も遅れることを報告している。本研究では、先述したように記号刺激条件に比べてクルマ刺激条件における Go 刺激処理時の N2 成分の GFP ピーク値および潜時値で有意差がみられたが、Stop 刺激処理時の N2 成分では GFP ピーク値のみ有意差がみられ、GFP 潜時値では有意差がみられなかった。

本研究におけるクルマ刺激条件では、Oldenburg et al. (2012) を参考に、Go 刺激としてクルマの絵を、Stop 刺激として駐車禁止用の図を呈示し、Go 刺激と Stop 刺激の関連性をもたせた。その結果、先行研究 (Oldenburg et al., 2012) から示唆されたようにプライミング効果が生じ、Stop 刺激に対する処理への処理資源配分が促進され、Stop 刺激処理時の N2 成分の GFP ピーク値に条件間で有意差がみられた可能性がある。

Banaschewski and Brandeis (2007) は、P3 を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と定義しており、Go 刺激に対する P3 が後頭領域で惹起するのに対して、NoGo 刺激に対する P3 (以下、NoGo-P3) は、前頭-頭頂領域で惹起することが報告されている (Brandeis et al., 1998)。また、TD 成人を対象に、Go/NoGo 課題の難易度が ERP に及ぼす影響について検討した研究 (Gajewski & Falkenstein, 2013) では、課題の難易度が高いほど FCz 導出の NoGo-P3 振幅値が低下することを報告している。本研究では、クルマ刺激条件、記号刺激条件ともに SST-P3 が前頭-頭頂領域にかけて惹起しているものの、記号刺激条件に比べてクルマ刺激条件における SST-P3 振幅値が有意に低下した。

これらの結果から、Stop 刺激においても、Go 刺激に対する行動成績や ERP と同様に、記号刺激条件と比べてクルマ刺激条件における弁別難易度が高いことが行動成績や ERP に反映されること、クルマ刺激条件において注意処理資源の配分やモニタリングが相対的に困難になる可能性が、それぞれ示唆された。

第3章 定型発達成人における Go 刺激と Stop 刺激の関連性に関する検討（研究2）

第1節 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 TD 成人 30 名（男性 22 名，女性 8 名，平均年齢 25.3 ± 2.8 歳）を対象とした。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 28-224）を受けた。

2. 課題と実施手続き

課題の流れは研究 1 と同様であるが，呈示する Go 刺激の呈示について，3 条件（車刺激条件，飛行機刺激条件，電車刺激条件）を設定した。Stop 刺激の呈示について，Go 刺激と意味的関連性のある刺激を呈示する条件（Priming 試行）と，バツ印を呈示する条件（Not-Priming 試行）の 2 条件を設定した（Fig. 2.3.1.1）。いずれの条件についても，Go 刺激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対象者に求めつつ，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た。

3. 脳波記録

研究 1 に準じた。

4. 分析

4-1) 行動成績

研究 1 に準じた。

4-2) 脳波

研究 1 に準じた。

4-3) 統計処理

行動成績および GFP 潜時値，ピーク値については，3（刺激条件） \times 2（プライミングの有無）の 2 要因分散分析を行った。ERP についても同様に，分析部位（Fz, Cz, Pz）ごとに 3（刺激条件） \times 2（プライミングの有無）の 2 要因分散分析を行った。分析には，SPSS v.24.0 を，多重比較には Bonferroni 法を用いた。

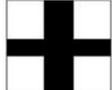
	Go刺激	Stop刺激	
		Priming試行	Not-Priming試行
車刺激条件			
飛行機刺激条件			
電車刺激条件			

Fig. 2.3.1.1 Go刺激およびStop刺激として用いた呈示刺激

第2節 結果

1. 行動成績

1-1. Go 刺激に対する正反応時の平均反応時間（以下，RT）

Stop-signal 課題遂行時の Go 刺激条件間およびプライミング試行間における RT を Fig.2.3.2.1 に示した。2 要因分散分析の結果，刺激条件の主効果，プライミングの主効果，交互作用ともに有意差は認められなかった。

1-2. RT-SD

Stop-signal 課題遂行時の Go 刺激条件間およびプライミング試行間における RT-SD を Fig.2.3.2.2 に示した。2 要因分散分析の結果，刺激条件の主効果，プライミングの主効果，交互作用ともに有意差は認められなかった。

1-3. 左右エラー率

Stop-signal 課題遂行時の Go 刺激条件間およびプライミング試行間における左右エラー率を Fig.2.3.2.3 に示した。2 要因分散分析の結果，刺激条件の主効果 ($F(2,27)=5.383, p<.05$)，プライミング試行の主効果 ($F(1,27)=5.659, p<.05$)，交互作用

($F(2,27)=3.928, p<.05$) が有意であった。刺激条件の主効果について，多重比較の結果，飛行機刺激条件，電車刺激条件に対して，車刺激条件における左右エラー率が有意に上昇した ($p<.01$)。また，交互作用について，刺激条件の単純主効果が有意であり（車刺激条件： $F(1,27) = 38.38, p<.001$ ，飛行機刺激条件： $F(1,27) = 3.70, n.s.$ ，電車刺激条件： $F(1,27) = 6.20, p<.05$)，多重比較の結果，Not-priming 試行に対して Priming 試行における車刺激条件の左右エラー率が有意に上昇した（車刺激条件： $F(1,27) = 12.53, p<.01$ ，電車刺激条件： $F(1,27) = 0.86, n.s.$ ）。

1-4. 見逃し率

Stop-signal 課題遂行時の Go 刺激条件間およびプライミング条件間における見逃し率を Fig.2.3.2.4 に示した。2 要因分散分析の結果，刺激の主効果，プライミングの主効果，交互作用ともに有意差は認められなかった。

1-5. 抑制率

各 Stop 刺激条件における抑制率を Fig.2.3.2.5 に示した。2 要因分散分析の結果、225msec 条件において、刺激条件とプライミング試行の交互作用 ($F(2,27)=4.140$, $p<.05$) が有意であった。交互作用について、すべての刺激条件における抑制率の単純主効果が有意であり (車刺激条件: $F(1,27) = 151.35$, $p<.001$, 飛行機刺激条件: $F(1,27) = 146.41$, $p<.001$, 電車刺激条件: $F(1,27) = 147.17$, $p<.001$) , 多重比較の結果, Not-priming 試行に対して Priming 試行における車刺激条件の抑制率が有意に低下した (車刺激条件: $F(1,27) = 5.36$, $p<.05$, 飛行機刺激条件: $F(1,27) = 0.68$, $n.s.$, 電車刺激条件: $F(1,27) = 2.25$, $n.s.$) 。その他の Stop 刺激条件においては、刺激条件の主効果, プライミング試行の主効果, 交互作用ともに有意差は認められなかった。

1-6. SSRT

各 Stop 刺激条件における SSRT を Fig.2.3.2.6 に示した。2 要因分散分析の結果、150msec 条件において、刺激条件とプライミングの交互作用 ($F(2,27)=4.514$, $p<.05$) が有意であった。交互作用について、すべての刺激条件における SSRT の単純主効果が有意であり (車刺激条件: $F(1,27) = 146.59$, $p<.001$, 飛行機刺激条件: $F(1,27) = 158.26$, $p<.001$, 電車刺激条件: $F(1,27) = 153.02$, $p<.001$) , 多重比較の結果, Not-priming 試行に対して Priming 試行における電車刺激条件の SSRT が有意に短縮した (車刺激条件: $F(1,27) = 0.36$, $n.s.$, 飛行機刺激条件: $F(1,27) = 0.11$, $n.s.$, 電車刺激条件: $F(1,27) = 10.27$, $p<.01$) 。その他の Stop 刺激条件においては、刺激の主効果, プライミングの主効果, 交互作用ともに有意差は認められなかった。

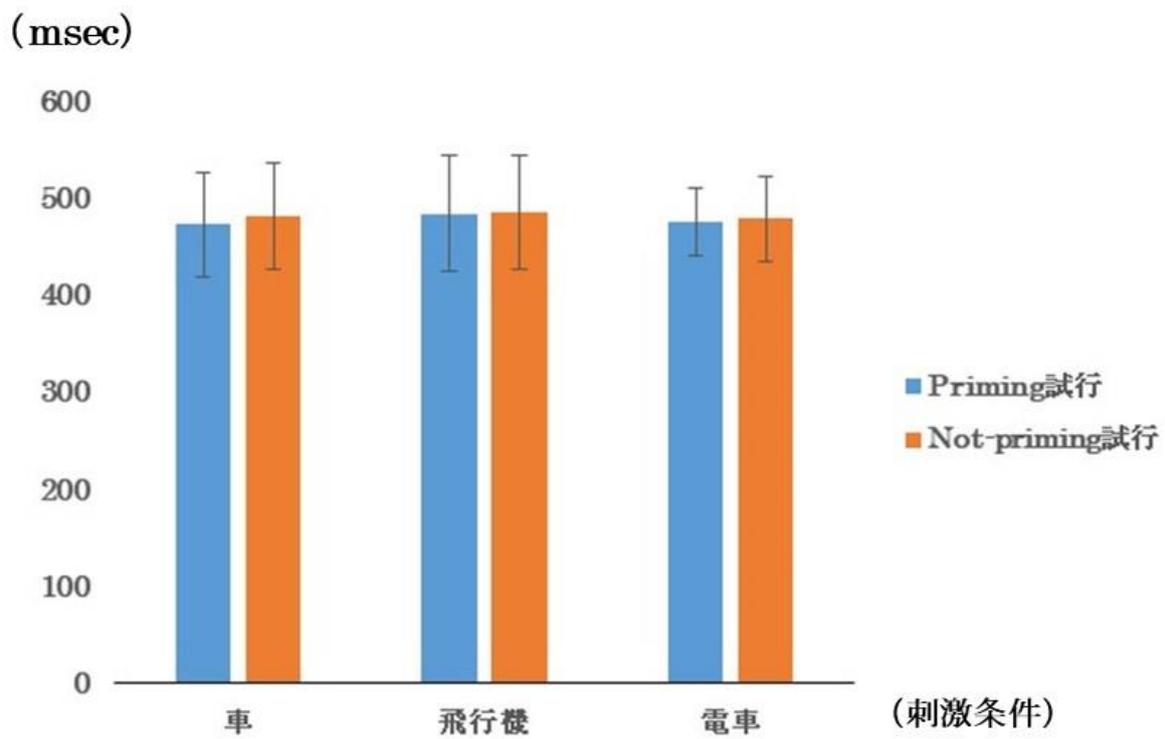


Fig. 2.3.2.1 各刺激条件および各プライミング試行における平均反応時間 (エラーバーは1標準偏差を示す)

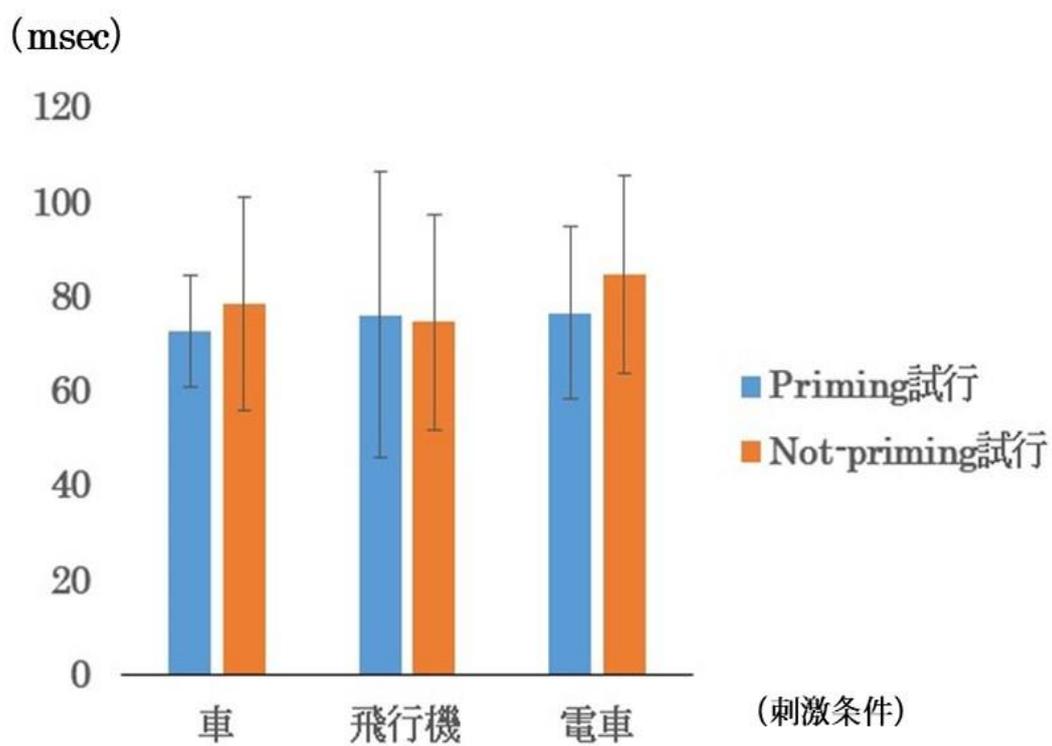


Fig. 2.3.2.2 各刺激条件および各プライミング試行における反応時間の標準偏差
(エラーバーは1標準偏差を示す)

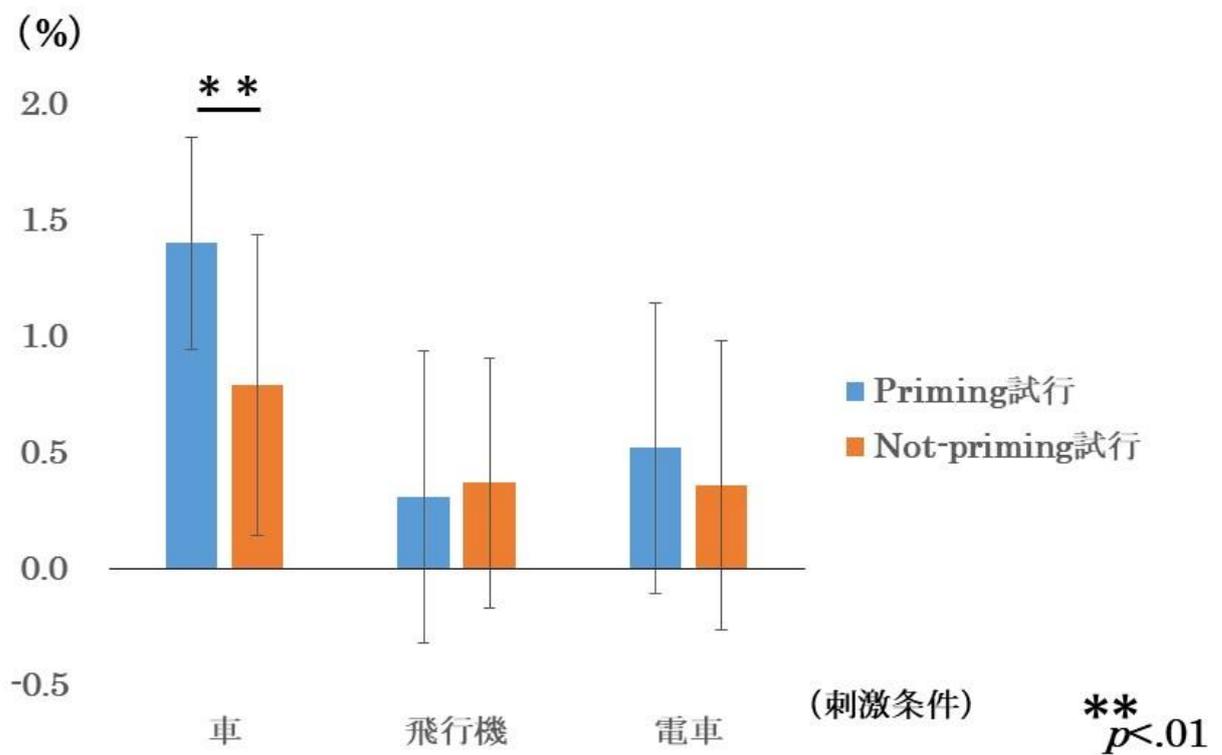


Fig. 2.3.2.3 各刺激条件および各プライミング試行における左右エラー率 (エラーバーは1標準偏差を示す)

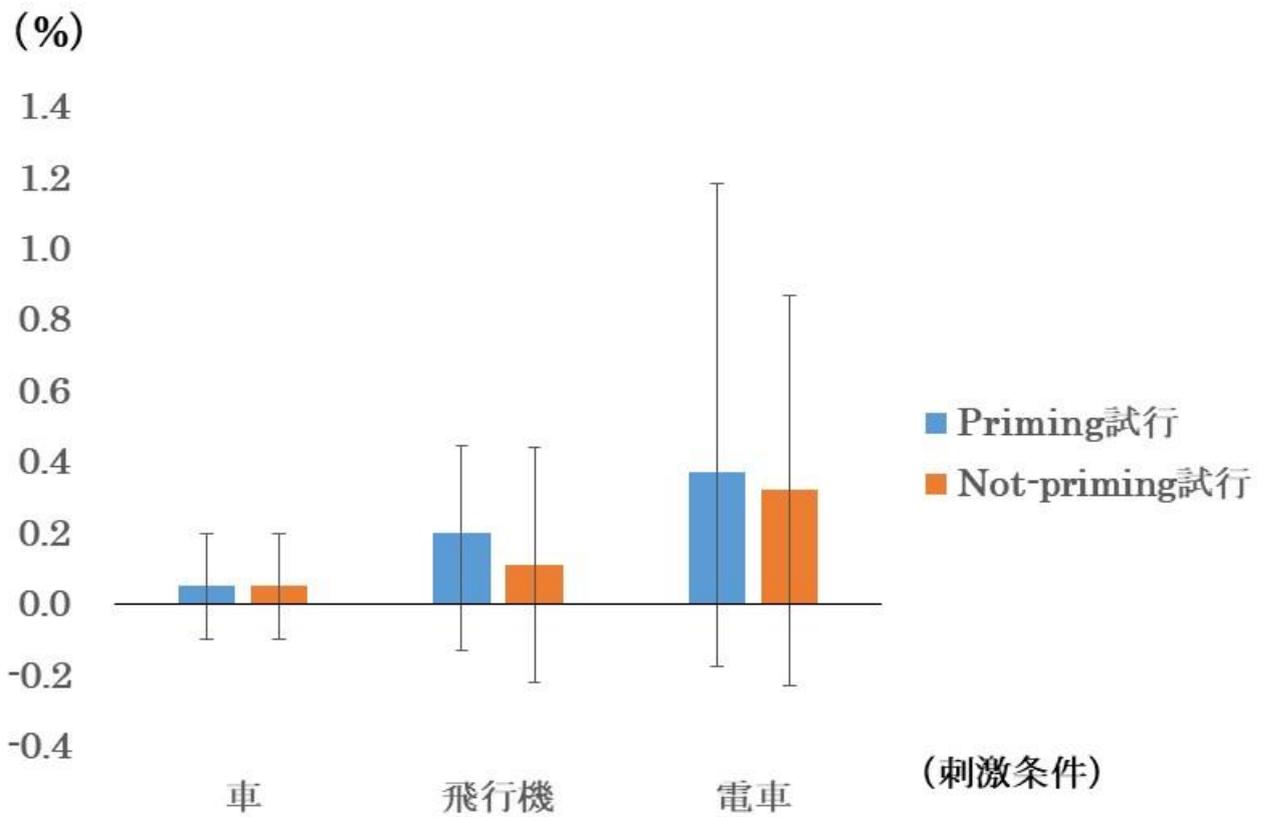


Fig. 2.3.2.4 各刺激条件および各プライミング試行における見逃し率 (エラーバーは1標準偏差を示す)

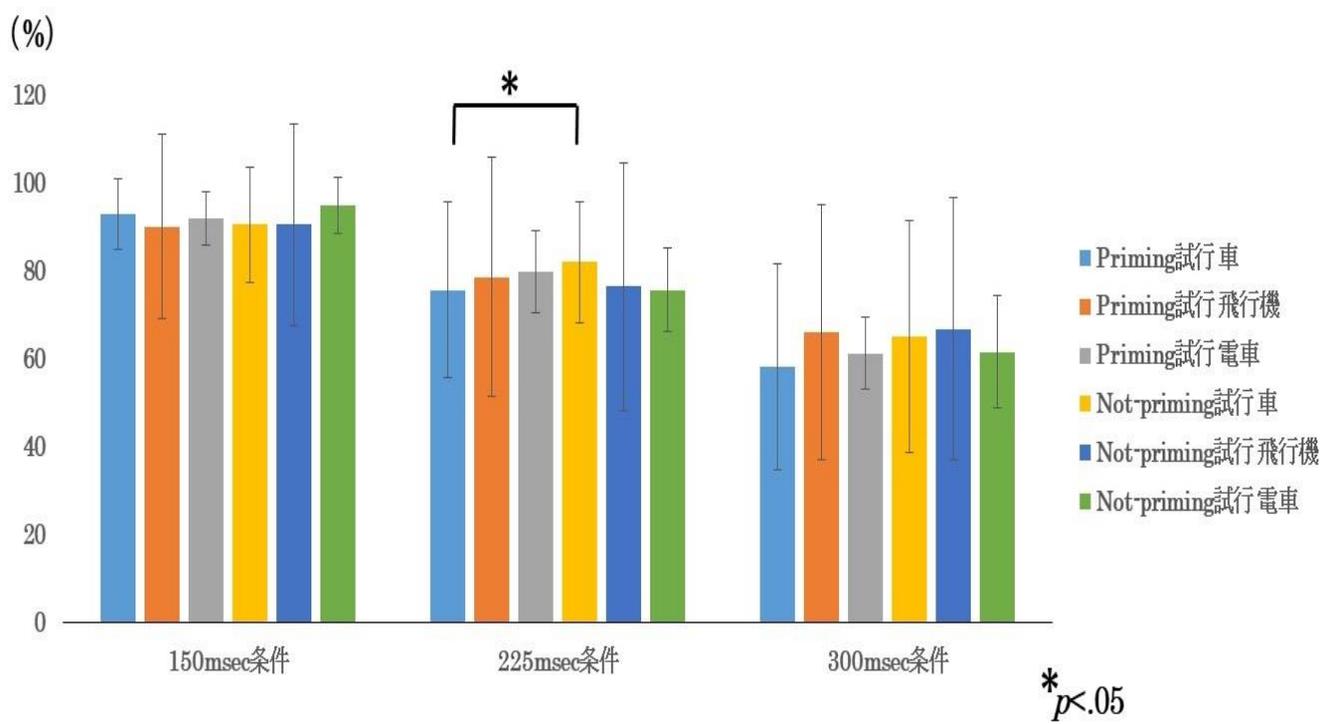


Fig. 2.3.2.5 各刺激条件および各プライミング試行におけるStop刺激呈示条件ごとの抑制率
(エラーバーは1標準偏差を示す)

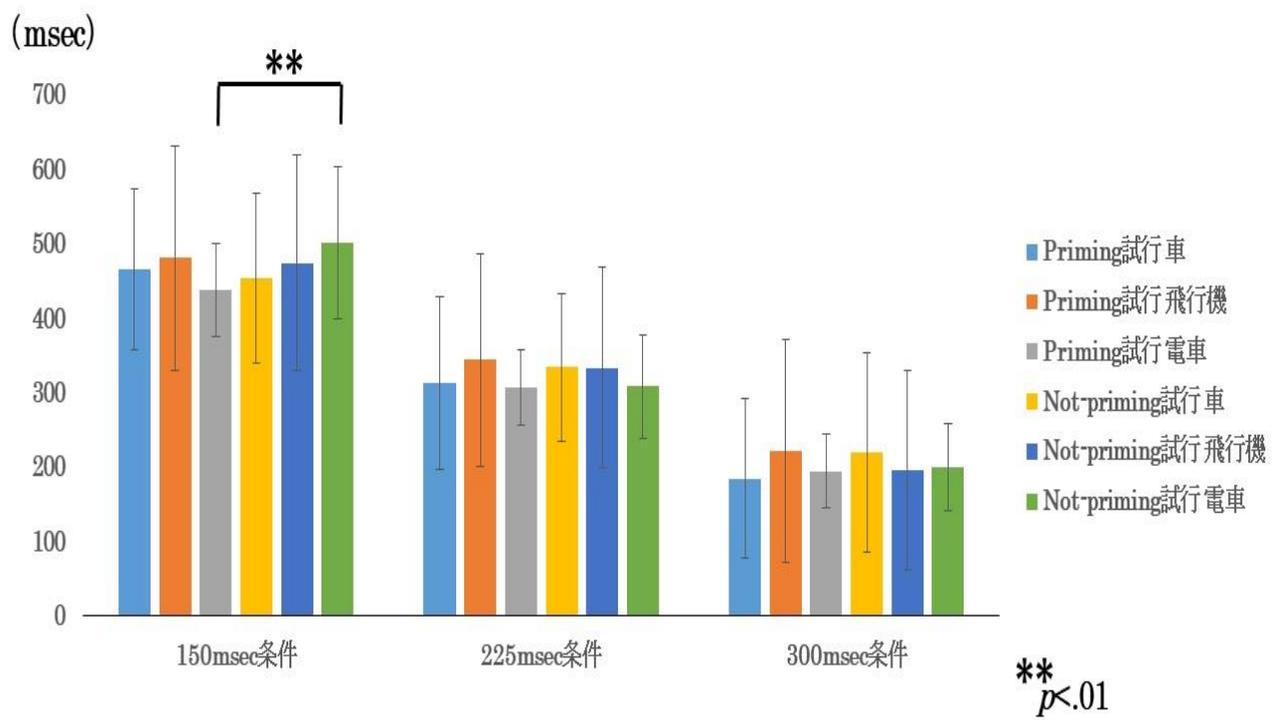


Fig. 2.3.2.6 各刺激条件および各プライミング試行におけるStop刺激呈示条件ごとのSSRT
(エラーバーは1標準偏差を示す)

2. ERP

2.1. Go 試行における ERP 成分動態

Fig.2.3.2.7 に Go 刺激呈示時を起点とした正中 3 部位の総加算平均波形および GFP 曲線を, Fig.2.3.2.8 に Go 刺激呈示後 200msec から 500msec における頭皮上電位分布図を示した。Go 刺激の呈示によって N2, P3 と考えられる成分の出現が確認された

(Fig.2.3.2.7 の矢印付近)。有効加算回数は平均 160 回であった。

Fig.2.3.2.9 に正中 3 部位から導出された平均 Go-N2 振幅値および潜時値を示した。N2 の出現潜時とした, Go 刺激呈示後 175msec から 225msec までの GFP ピーク値および潜時値について, 分散分析を行った結果, 刺激の主効果, プライミングの主効果, 交互作用ともに有意差は認められなかった。また, 正中 3 部位から導出された Go-N2 振幅値および潜時値について, 分散分析を行った結果, Fz 導出の Go-N2 振幅値 ($F(2,27)=3.361, p<.05$), Cz 導出の Go-N2 潜時値 ($F(2,27)=4.323, p<.05$) について交互作用が認められた。

N2 振幅値の交互作用について, すべての刺激条件における N2 振幅値の単純主効果が有意であり (車刺激条件: $F(1,27) = 77.27, p<.001$, 飛行機刺激条件: $F(1,27) = 93.74, p<.001$, 電車刺激条件: $F(1,27) = 71.92, p<.001$), 多重比較の結果, Priming 試行に対して Not-Priming 試行における電車刺激条件の Fz 導出の N2 振幅値が有意に低下した (車刺激条件: $F(1,27) = 0.09, n.s.$, 飛行機刺激条件: $F(1,27) = 1.00, n.s.$, 電車刺激条件: $F(1,27) = 6.10, p<.05$)。

N2 潜時値の交互作用について, すべての刺激条件における N2 潜時値の単純主効果が有意であり (車刺激条件: $F(1,27) = 593.07, p<.001$, 飛行機刺激条件: $F(1,27) = 508.16, p<.001$, 電車刺激条件: $F(1,27) = 578.04, p<.001$), 多重比較の結果, Not-priming 試行に対して Priming 試行における電車刺激条件の Cz 導出の N2 潜時値が有意に低下した (車刺激条件: $F(1,27) = 2.13, n.s.$, 飛行機刺激条件: $F(1,27) = 0.44, n.s.$, 電車刺激条件: $F(1,27) = 6.12, p<.05$)。

Fig.2.3.2.10 に正中 3 部位から導出された Go-P3 振幅値および潜時値を示した。P3 の出現潜時とした Go 刺激呈示後 230msec から 400msec までの GFP ピーク値および潜時値, 正中 3 部位から導出された Go-P3 振幅値および潜時値について, 分散分析を行った結果, 刺激の主効果, プライミングの主効果, 交互作用ともに有意差は認められなかった。

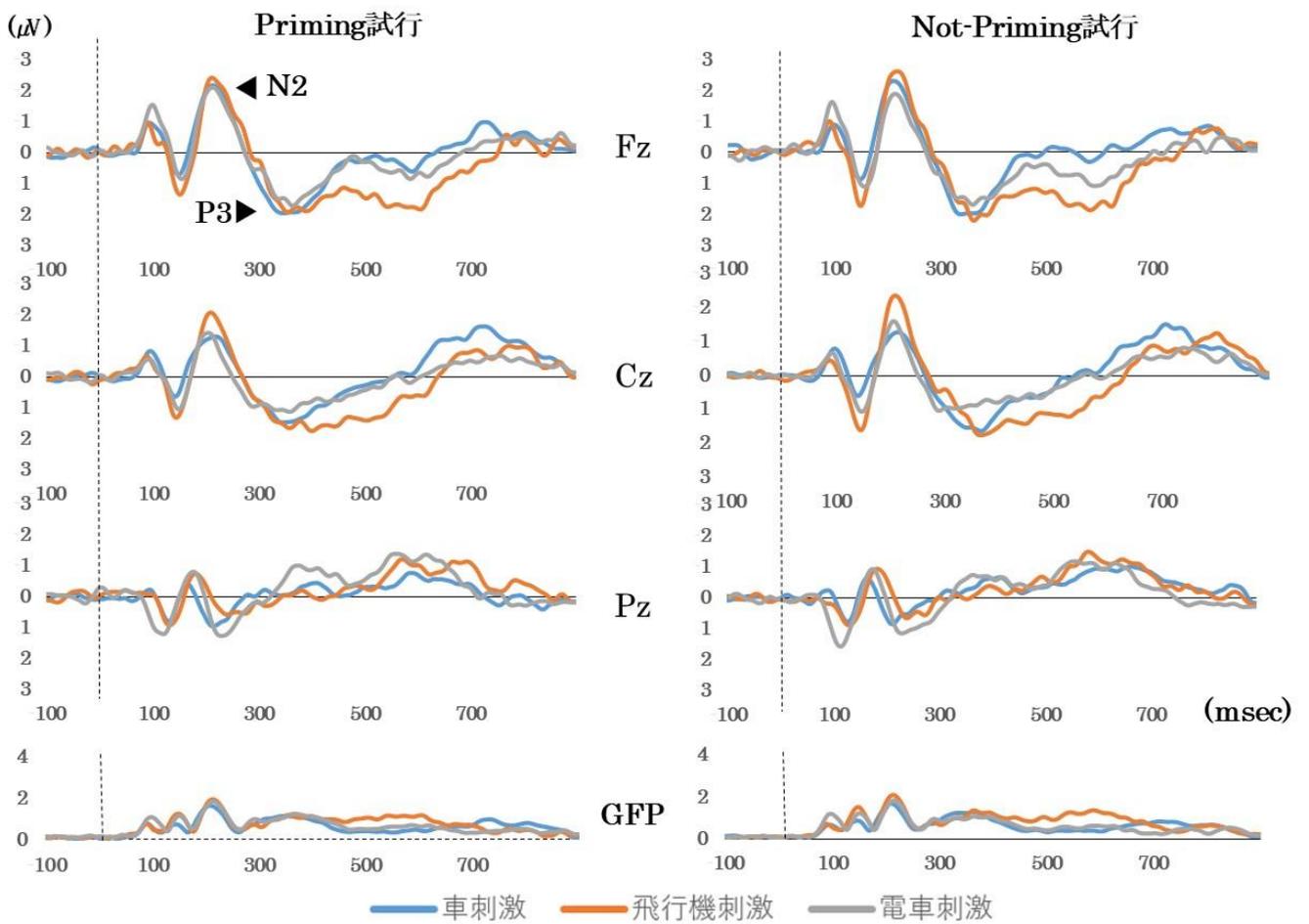


Fig. 2.3.2.7 各刺激条件および各プライミング試行におけるGo刺激呈示時を起点とした各部位における総加算平均波形およびGFP曲線

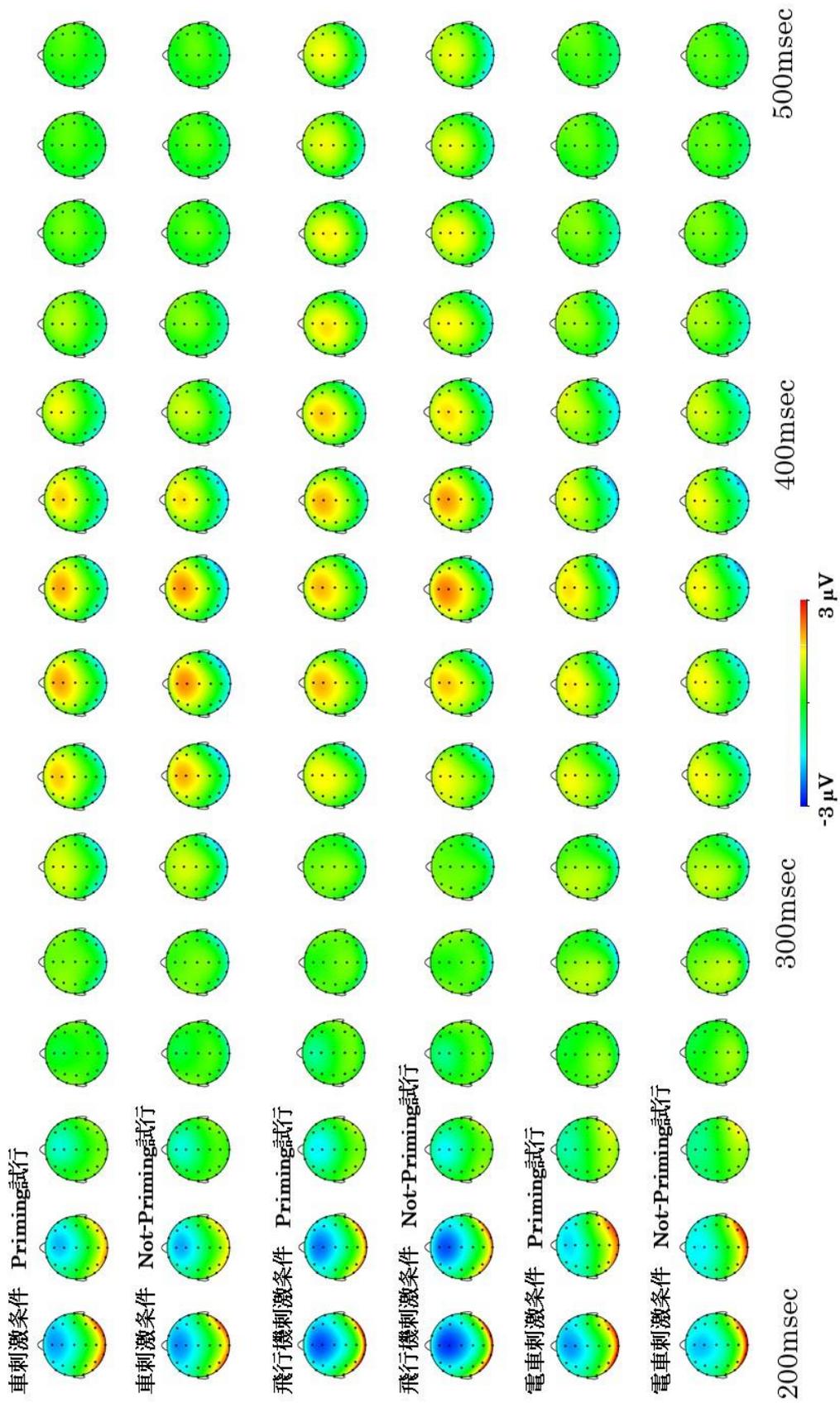


Fig. 2.3.2.8 Go刺激呈示後200msecから500msecにおける20msecごとの各刺激条件および各プライミング試行における頭皮上電位分布図

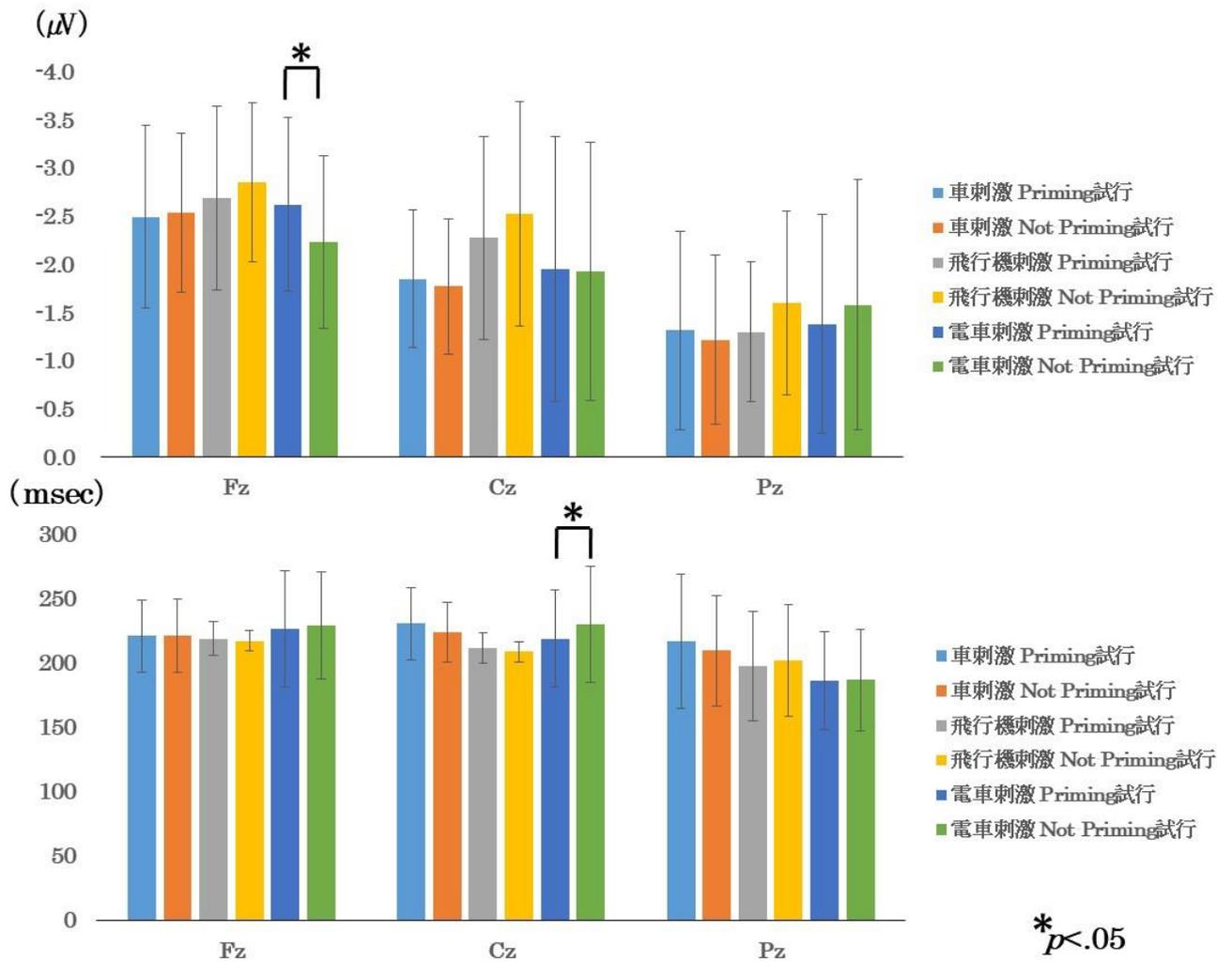


Fig. 2.3.2.9 正中3部位から導出した各刺激条件および各プライミング試行におけるGo-N2振幅値(上)と潜時値(下)
(エラーバーは1標準偏差を示す)

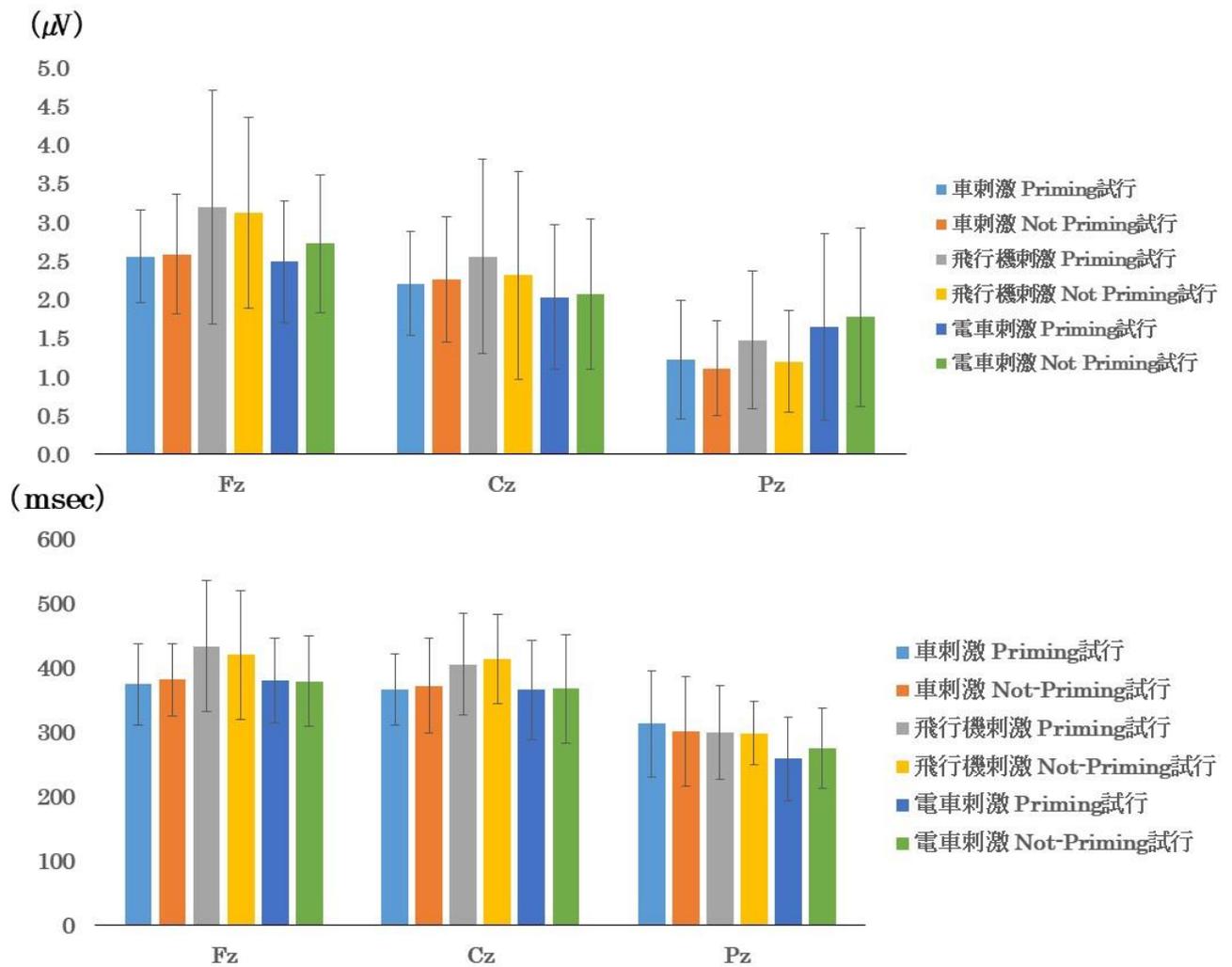


Fig. 2.3.2.10 正中3部位から導出した各刺激条件および各プライミング試行におけるGo-P3振幅値(上)と潜時値(下)
(エラーバーは1標準偏差を示す)

2.2. Stop 試行における ERP 成分動態

Fig.2.3.2.11 に Stop 刺激呈示時を起点とした 225msec 条件における正中 3 部位の総加算平均波形および GFP 曲線を, Fig.2.3.2.12 に Stop 刺激呈示後 200msec から 500msec における SST の頭皮上電位分布図 (225msec 条件) を示した。Stop 刺激の呈示によって N2, P3 と考えられる成分の出現が確認された (Fig.2.3.2.11 の矢印付近)。

2.2.1. N2 成分

Fig.2.3.2.13 に正中 3 部位から導出した SST の各刺激条件および各プライミング試行における Stop 刺激条件ごとの平均 N2 振幅値および潜時値 (225msec 条件) を示した。N2 の出現潜時とした, Stop 刺激呈示後 175msec から 225msec までの GFP ピーク値および潜時値について, 分散分析を行った結果, SST の 225msec 条件における GFP 潜時値について, プライミングの主効果 ($F(1,27)=5.784, p<.05$) が認められ, Not-priming 試行に対して, Priming 試行における GFP 潜時値が有意に延長した。

正中 3 部位から導出された SST の 225msec 条件における N2 振幅値および潜時値について, 分散分析を行った結果, Fz 導出の N2 潜時値 ($F(2,27)=3.437, p<.05$) について交互作用が認められた。N2 潜時値の交互作用について, すべての刺激条件における N2 潜時値の単純主効果が有意であり (車刺激条件: $F(1,27) = 2193.83, p<.001$, 飛行機刺激条件: $F(1,27) = 2115.94, p<.001$, 電車刺激条件: $F(1,27) = 2260.30, p<.001$), 多重比較の結果, Not-priming 試行に対して Priming 試行における車刺激条件の Fz 導出の N2 潜時値が有意に延長した (車刺激条件: $F(1,27) = 5.48, p<.05$, 飛行機刺激条件: $F(1,27) = 1.70, n.s.$, 電車刺激条件: $F(1,27) = 0.00, n.s.$)。

また, SST の 225msec 条件における Cz 導出 ($F(1,27)=4.336, p<.05$) および Pz 導出 ($F(1,27)=5.598, p<.05$) の N2 振幅値について, プライミングの主効果が認められ, Not-priming 試行に対して, Priming 試行における N2 振幅値が有意に低下した。

2.2.2. P3 成分

正中 3 部位から導出した SST の各刺激条件および各プライミング試行における Stop 刺激条件ごとの平均 P3 振幅値および潜時値 (150msec 条件) を Fig.2.3.2.14 に, 平均 P3 振幅値および潜時値 (225msec 条件) を Fig.2.3.2.15 に示した。P3 の出現潜時とした Stop 刺激呈示後 230msec から 400msec までの GFP ピーク値および潜時値について, 分散分析を行った結果, SST の 150msec 条件 ($F(1,27)=6.894, p<.05$) および 225msec 条

件 ($F(1,27)=4.277, p<.05$) における GFP ピーク値について、プライミングの主効果が認められ、Not-priming 試行に対して、Priming 試行における GFP ピーク値が有意に低下した。

正中 3 部位から導出された SST の 150msec および 225msec 条件における P3 振幅値および潜時値について、分散分析を行った結果、刺激の主効果、プライミングの主効果、交互作用ともに有意差は認められなかった。

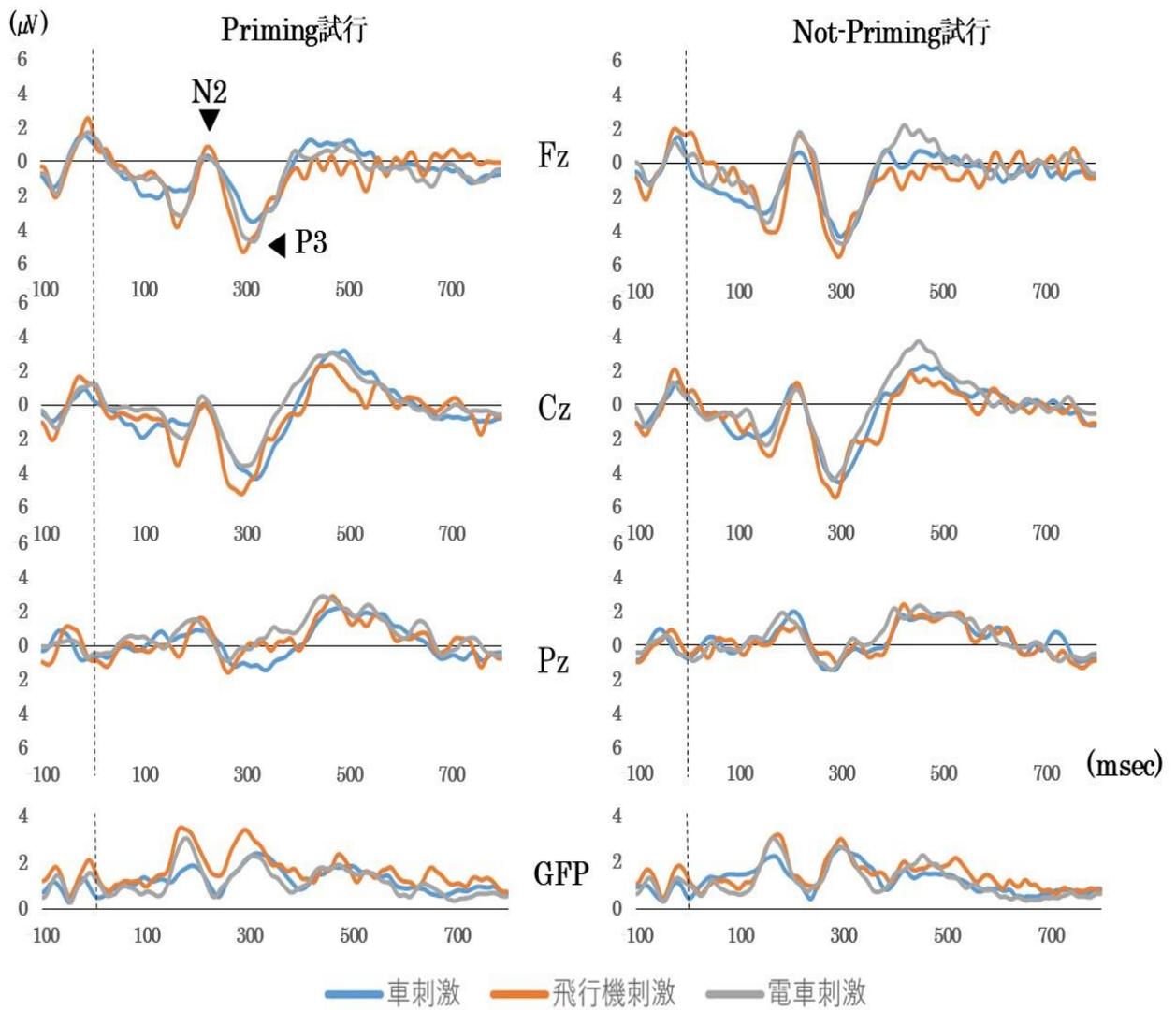


Fig. 2.3.2.11 各刺激条件および各プライミング試行におけるStop刺激呈示時を起点とした各部位における総加算平均波形およびGFP曲線 (225msec条件)

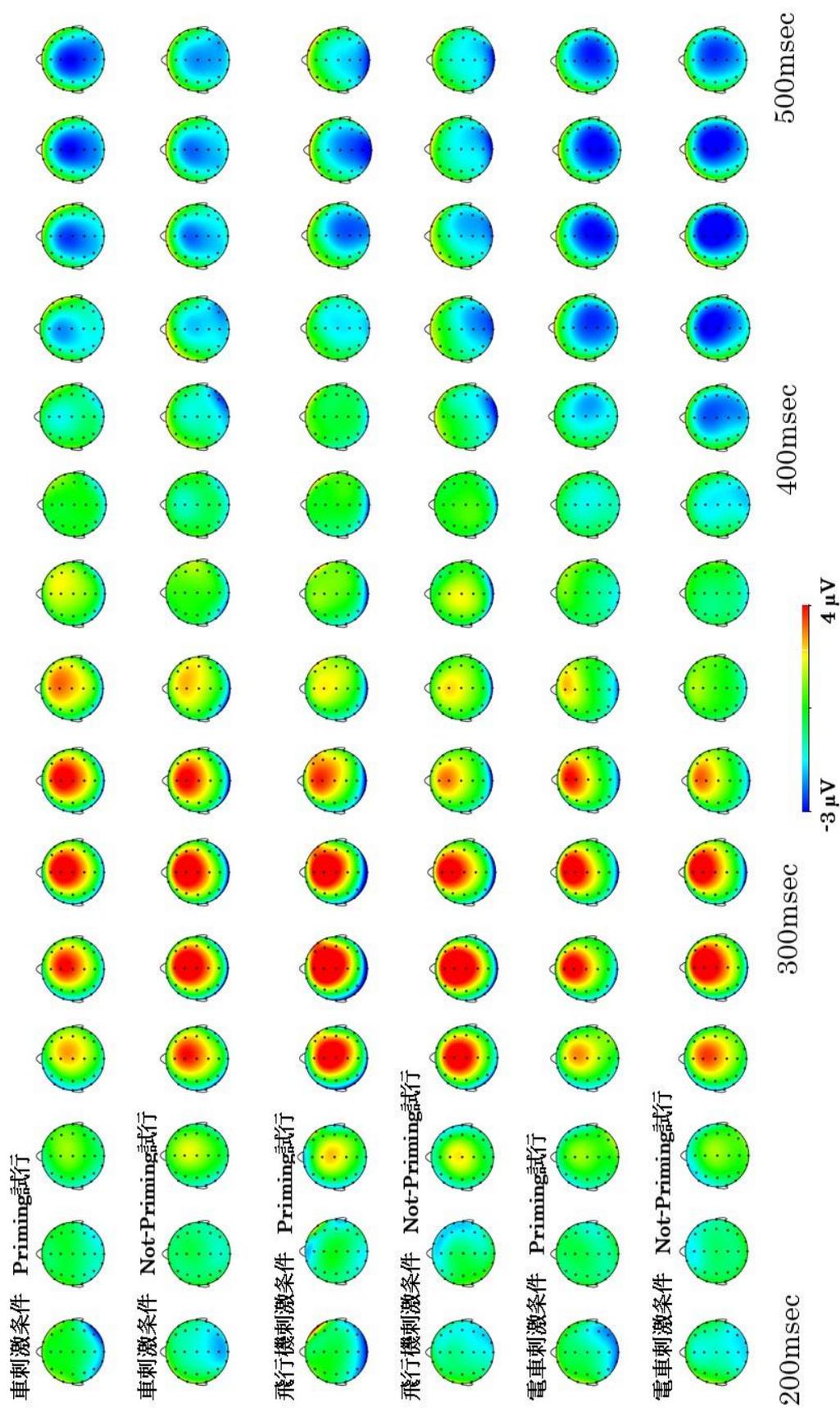


Fig. 2.3.2.12 Stop刺激呈示後200msecから500msecにおける20msecごとの各刺激条件および各プライング試行における頭皮上電位分布図 (225msec条件)

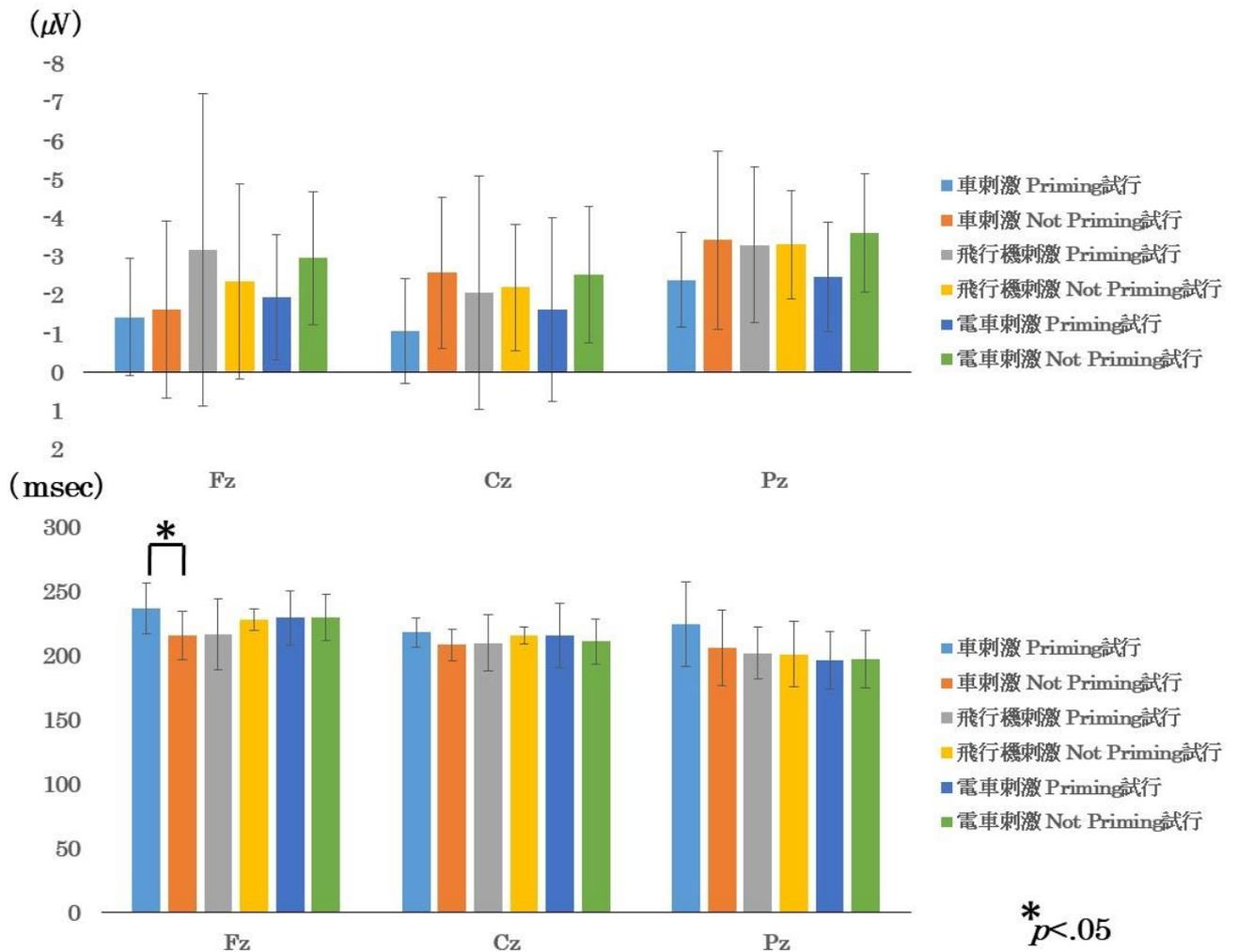


Fig. 2.3.2.13 正中3部位から導出した各刺激条件および各プライミング試行における SST-N2振幅値(上)と潜時値(下)(225msec条件)
(エラーバーは1標準偏差を示す)

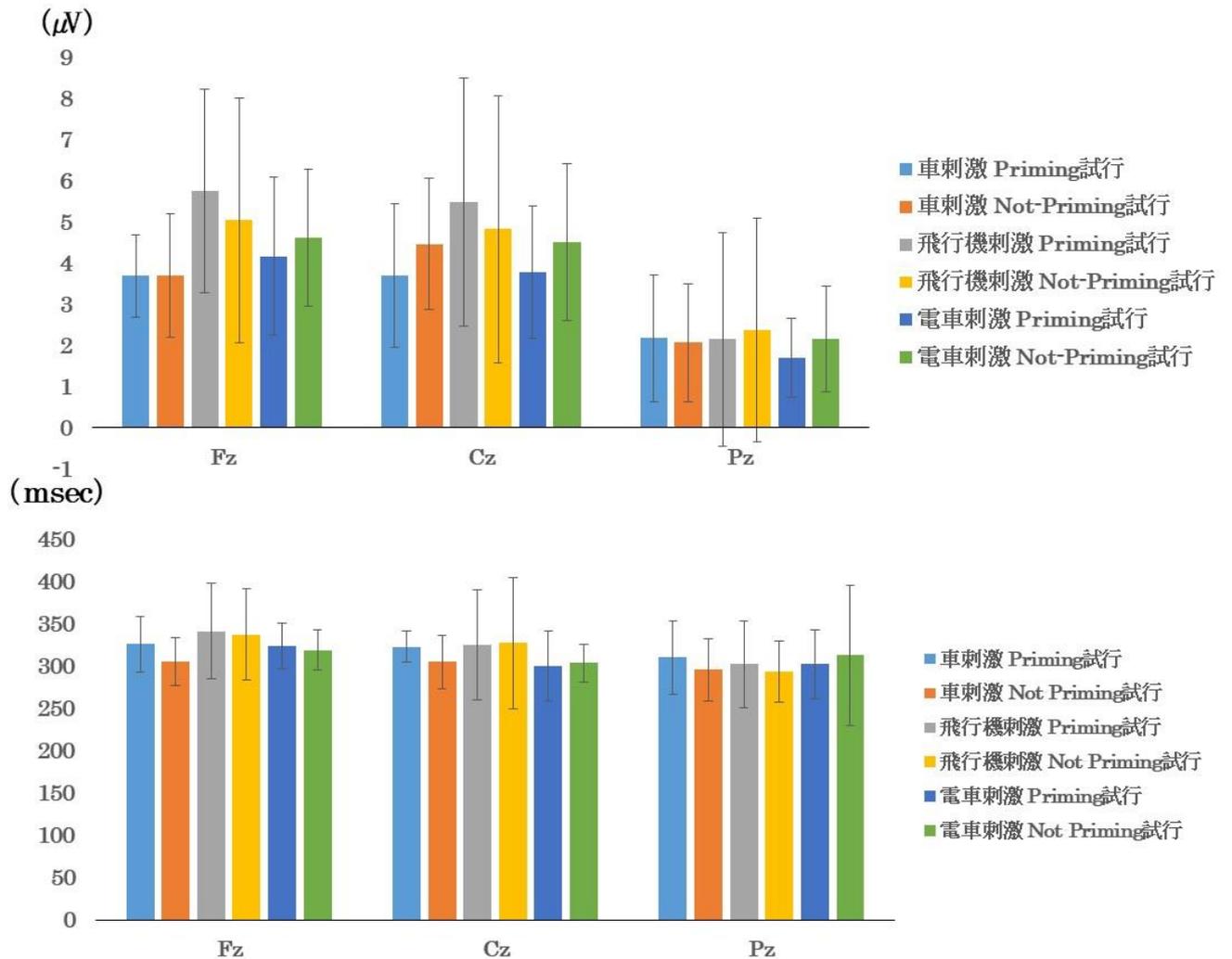


Fig. 2.3.2.14 正中3部位から導出した各刺激条件および各プライミング試行における SST-P3振幅値(上)と潜時値(下)(150msec条件)
(エラーバーは1標準偏差を示す)

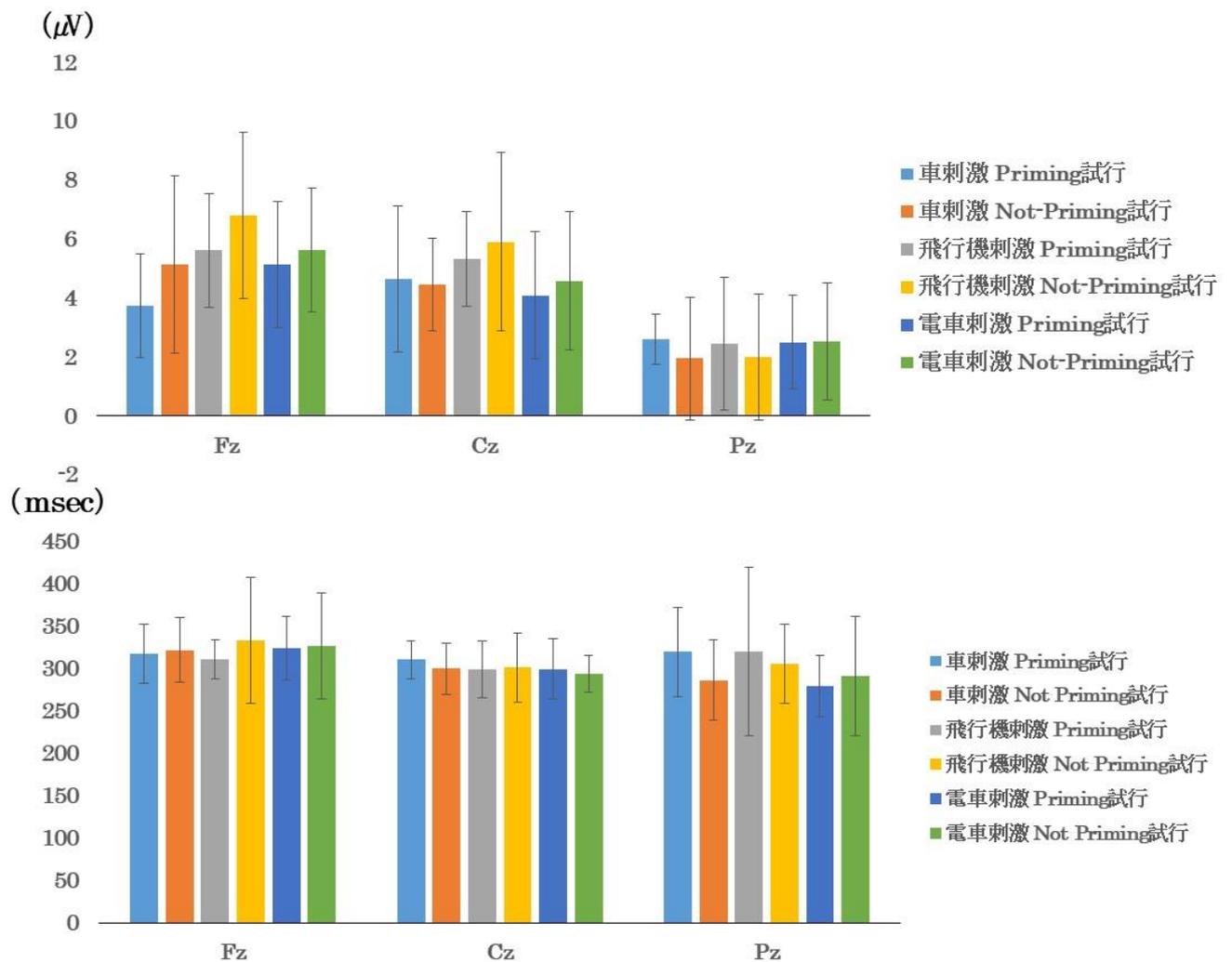


Fig. 2.3.2.15 正中3部位から導出した各刺激条件および各プライミング試行における SST-P3振幅値(上)と潜時値(下)(225msec条件)
(エラーバーは1標準偏差を示す)

第3節 考察

本研究では、TD 成人を対象に、Stop-signal 課題における Go 刺激として用いる刺激種（車刺激条件、飛行機刺激条件、電車刺激条件）および Go 刺激と Stop 刺激の組み合わせの違いが、反応制御過程に及ぼす影響について行動成績と課題遂行時の ERP から検討した。

1. Go 刺激と Stop 刺激の関連性が行動成績に及ぼす影響

本研究では、刺激の組み合わせにかかわらず、飛行機刺激条件、電車刺激条件に対して車刺激条件における左右エラー率が有意に上昇した。また、刺激条件にかかわらず、Not-Priming 試行に対して Priming 試行における左右エラー率が有意に上昇した。

左右エラー率、抑制率（225msec 条件）、SSRT（150msec 条件）については、刺激条件とプライミングの交互作用が有意であった。左右エラー率については、Not-priming 試行に対して Priming 試行における車刺激条件の左右エラー率が有意に上昇した。抑制率（225msec 条件）については、Not-priming 試行に対して Priming 試行における車刺激条件の抑制率が有意に低下した。さらに、SSRT（150msec 条件）については、Not-priming 試行に対して Priming 試行における電車刺激条件の SSRT が有意に短縮した。

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）においては、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 刺激を呈示した際における 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。また、本論文における研究 1 においても、弁別難易度が高いクルマ刺激条件における左右エラー率が記号刺激条件に対して有意に上昇していた。これらの研究から、左右の弁別判断を求める Go 刺激として用いる刺激を変えると、弁別判断の正確性に影響を及ぼす可能性が本研究においても示唆された。あわせて、本研究の車刺激条件において Go 刺激の左右の向きを弁別することは、飛行機刺激条件、電車刺激条件よりも困難であった可能性が示唆された。また、刺激条件にかかわらず、Not-Priming 試行に対して、Priming 試行における左右エラー率が有意に上昇した。このことから、同一の Go 刺激であっても、その刺激の後に異なる Stop 刺激が呈示されることによって、Go 刺激処理の正確性に影響を及ぼす可能性が示唆され、左右エラー率における交互作用から、とりわけ、その影響は車刺激条件において大きくなることが示唆された。

さらに、車刺激条件については、抑制率（225msec 条件）における刺激条件とプライミングの交互作用もみられ、Not-priming 試行に対して Priming 試行における抑制率が有意に低下した。このことから、RT には有意な差としては表れていないものの、Go 刺激の弁別難易度の高い車刺激条件では、対象者が Go 刺激に対してできる限り早く反応をしようと試みていた可能性があり、その結果として、その後の Stop 刺激への反応抑制が困難となった可能性が示唆された。

SSRT は、反応制御の効率性を反映する指標（Chikazoe et al., 2009）とされており、SSRT が長いほど課題に対する反応制御が弱いといった一定した知見が得られている（坂尻ら, 2007）。本研究では SSRT, とりわけ抑制が比較的容易とされる 150msec 条件で刺激条件とプライミングの交互作用がみられ、Not-priming 試行に対して Priming 試行における電車刺激条件の SSRT が有意に短縮した。本研究における電車刺激条件は、先述したように、車刺激条件よりも Go 刺激の弁別難易度が低かったことがまず想定される。また、電車刺激条件における Stop 刺激として、列車停止標識様の絵を用いたことから、Go 刺激と Stop 刺激の意味的関連性は、飛行機刺激条件よりも電車刺激条件の方がより強固であったことも想定される。これらのことから、反応抑制は、それ自体が単一の機能を果たしているのではなく、反応の実行の影響を受けやすいことが示唆された。また、反応抑制が比較的容易な状況では、反応の実行に用いられた呈示刺激と意味的関連性の強固な刺激を呈示した際に反応の抑制が促進される可能性も示唆された。

2. ERP からみた Go 刺激と Stop 刺激の関連性の反応制御への影響

2.1 Go 試行

Fz 導出の N2 振幅値、Cz 導出の N2 潜時値について、刺激条件とプライミングの交互作用がみられた。N2 振幅値については、Priming 試行に対して Not-Priming 試行における電車刺激条件の Fz 導出の N2 振幅値が有意に低下した。また、N2 潜時値については、Not-priming 試行に対して Priming 試行における電車刺激条件の N2 潜時値が有意に短縮した。

Stop-signal 課題遂行時の ERP について検討した先行研究（McLoughlin, Asherson, Albrecht, Banaschewski, Rothenberger, Brandeis, & Kuntsi, 2011）においては、Go 刺激呈示後 150-300msec に Fz 付近に出現する成分を Go-N2 と定義し、処理としては反応の実行に寄与し、処理資源の配分量を反映する成分としている。本研究では、Priming 試

行に対して、Not-Priming 試行における電車刺激条件の N2 振幅値 (Fz 導出) が有意に低下した。このことから、行動成績には反映されていないものの、電車刺激条件の左右の弁別は車刺激条件や飛行機刺激条件よりも容易であったことが示唆された。

Banaschewski et al. (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、反応実行と反応抑制は経時的な関係にあり、プライミング効果が生じること (Oldenburg et al., 2012) が指摘されている。さらに、本研究では、先述したように、電車刺激条件は車刺激条件や飛行機刺激条件よりも Go 刺激と Stop 刺激の意味的関連性がより強固である可能性が考えられた。これらのことから、電車刺激条件における Priming 試行では、プライミング効果が生じた結果として、Go 刺激処理が促進された可能性が示唆された。

2.2. Stop 試行

GFP 潜時値 (225msec 条件) について、プライミングの主効果がみられ、Not-priming 試行に対して、Priming 試行における GFP 潜時値が有意に延長した。また、Fz 導出の SST-N2 潜時値について、刺激条件とプライミングの交互作用がみられ、Not-priming 試行に対して Priming 試行における車刺激条件の Fz 導出の SST-N2 潜時値が有意に延長した。さらに、N2 振幅値 (Cz, Pz) について、プライミングの主効果がみられ、Not-priming 試行に対して、Priming 試行における SST-N2 振幅値が有意に低下した。

GFP は活動量の指標である (Skrandies, 1990) とともに、注意の処理資源の配分を反映しているとされる (Sallard et al., 2014)。研究 1 でも、Stop-signal 課題における刺激の弁別難易度が高いほど、GFP 潜時値が延長することを指摘した。これらのことから、意味的関連性のある Priming 試行よりもシンプルなバツ印を呈示した Not-Priming 試行の方が相対的に弁別難易度が低く、比較的早く注意を向けやすい可能性が示唆された。

Fz 導出の SST-N2 潜時値について、刺激条件とプライミングの交互作用がみられ、Not-priming 試行に対して Priming 試行における車刺激条件の SST-N2 潜時値が有意に延長した。行動成績から示唆されたように、車刺激条件は飛行機刺激条件、電車刺激条件よりも Stop 刺激への反応抑制が困難であり、その影響が SST-N2 潜時値の有意な延長として表れた可能性が考えられた。あわせて、GFP 潜時値の結果を考慮すると、組み合わせによる刺激処理のしやすさは刺激条件による影響が大きいことが示唆された。

Stop 刺激に対する N2 については、認識しやすい呈示刺激条件ほどエラー関連成分の振幅値が増大すること (Yeung et al., 2004) が指摘されている。本研究では、Cz および Pz 導出の SST-N2 について、プライミングの主効果がみられ、Not-priming 試行に対して、Priming 試行における N2 振幅値が有意に低下した。これらのことから、意味的関連性のある Priming 試行よりもシンプルなバツ印を呈示した Not-Priming 試行の方が相対的に弁別難易度が低いこと、呈示刺激の違いは刺激処理、とりわけ知覚処理に影響を及ぼし、視覚刺激処理を担うとされる頭頂 - 後頭領域における SST-N2 振幅値に有意差が認められることが示唆された。

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。本研究では、SST-P3 の出現潜時とした Stop 刺激呈示後 230msec から 400msec までの GFP ピーク値 (150msec, 225msec 条件) について、プライミングの主効果がみられ、Not-priming 試行に対して、Priming 試行における GFP ピーク値が有意に低下した。先述したように、GFP は注意の処理資源の配分を反映しているとされる (Sallard et al., 2014)。これらのことから、N2 成分における結果と同様に、意味的関連性のある Priming 試行よりもシンプルなバツ印を呈示した Not-Priming 試行の方が相対的に弁別難易度が低く、注意処理資源の配分やモニタリングが相対的にしやすい可能性が示唆された。

第4章 第2部のまとめ

第2部では、TD成人を対象に、刺激特性およびGo刺激とStop刺激の組み合わせが異なるStop-signal課題を用いた予備的な検討を行い、課題遂行時の行動成績と生理指標から刺激特性およびその組み合わせの違いと反応制御過程との関連について検討を行った。

行動成績については、刺激条件の異なるGo/NoGo課題を用いた先行研究（加賀ら、2008）とは異なる結果となり、本研究は、Go刺激の弁別難易度を操作したStop-signal課題を用いた先行研究（Ma & Yu, 2016）を支持する結果となった。研究1では、Stop-signal課題におけるGo刺激とStop刺激の組み合わせの違いが反応制御過程に及ぼす影響について検討を行った結果、Go刺激の弁別難易度が高いとされるクルマ刺激条件において、RTやSSRTの有意な延長および左右エラー率の有意な上昇が認められた。研究2では、Go刺激として用いる刺激種（車刺激条件、飛行機刺激条件、電車刺激条件）およびGo刺激とStop刺激の組み合わせの違いが、反応制御過程に及ぼす影響について検討を行った。その結果、まず、飛行機刺激条件、電車刺激条件に対して車刺激条件ではGo刺激の弁別難易度が高かったことが示唆された。また、同一のGo刺激であっても、その刺激の後に異なるStop刺激が呈示されることによって、Go刺激処理の正確性に影響を及ぼす可能性が示唆され、その影響は車刺激条件において大きくなること、反応抑制はそれ自体が単一の機能を果たしているのではなく、反応の実行と経時的な関係にある可能性が示唆された。

刺激条件の異なる抑制課題における生理指標を用いた研究について、Go/NoGo課題を用いてERPを検討した先行研究（加賀ら、2008）はこれまで行われていたが、Stop-signal課題を用いてERPを検討した研究はこれまで報告されていなかった。加賀ら（2008）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ており、本研究は加賀ら（2008）を支持する結果となった。研究1では、記号刺激条件に対してクルマ刺激条件における注意処理資源の配分量が増大し、配分時間が延長することに加え、刺激処理結果のモニタリングがクルマ刺激条件では相対的に困難になる可能性が示唆された。研究2では、意味的関連性のあるPriming試行よりもシンプルなバツ印を呈示したNot-Priming試行の方が相対的に弁別難易度が低く、比較的早く注意を向けやすいとともに刺激処理結果のモニタリングもしやすい可能性が示唆された。その一方で、電車刺激条件におけるPriming試行では、プライミング効果が生じた可能性が示唆されるなど、意味的関連性による刺激処理のしやすさは刺

激条件による影響が大きいことがまず示唆された。また、呈示刺激の違いは刺激処理、とりわけ知覚処理に影響を及ぼし、視覚刺激処理を担うとされる頭頂 - 後頭領域における有意差として顕現する可能性も示唆された。

第3部

刺激特性と ADHD 症状との関連性に関する

生理心理学的検討

第3部 刺激特性と ADHD 症状との関連性に関する生理心理学的検討

第1章 目的

第2部において、刺激特性や Go 刺激と Stop 刺激の組み合わせの違いが反応制御過程に及ぼす影響について、TD 成人を対象に予備的な検討を行った。その結果、研究1では、Stop-signal 課題における Go 刺激や Stop 刺激として呈示した刺激の特性、とりわけ刺激の弁別難易度が Go 刺激処理の正確性や Go 刺激および Stop 刺激処理に要する注意処理資源の配分量に影響を及ぼすことが示唆された。研究2では、Go 刺激として用いる刺激種（車刺激条件、飛行機刺激条件、電車刺激条件）および Go 刺激と Stop 刺激の組み合わせの違いが、反応制御過程に及ぼす影響について検討を行った。その結果、同一の Go 刺激であっても、その刺激の後に異なる Stop 刺激が呈示されることによって、Go 刺激処理の正確性に影響を及ぼす可能性が示唆され、その影響は車刺激条件において大きくなること、反応抑制はそれ自体が単一の機能を果たしているのではなく、反応の実行と経時的な関係にある可能性が示唆された。

呈示刺激の異なる Stop-signal 課題を用いた検討は、これまで報告されておらず、ADHD 傾向との関連や小児を対象とした研究も報告されていない。以上のことから、第3部においては、先行研究および第2部で得られた知見をふまえ、刺激特性および刺激の組み合わせと ADHD 症状との関連性についての検討を行うことを目的とする。第3部は研究3から研究6で構成され、研究3では、Stop-signal 課題における刺激特性およびその組み合わせの違いが反応制御過程に及ぼす影響について、TD 成人における ADHD 傾向の高低との関連性から検討すること、研究4では、そのような呈示刺激の違いが ADHD 児や TD 児といった小児の反応制御過程に及ぼす影響について検討することを目的とする。また、研究5では、Go 刺激として用いる刺激種（車刺激条件、飛行機刺激条件、電車刺激条件）および Go 刺激と Stop 刺激の組み合わせの違いが、反応制御過程に及ぼす影響について、TD 成人における ADHD 傾向の高低との関連性について検討することを目的とする。研究6では、そのような刺激の組み合わせの違いが小児の反応制御過程に及ぼす影響について検討することを目的とする。

第2章 定型発達成人における ADHD 傾向の高低と刺激特性との関連の検討 (研究3)

第1節 方法

1. 対象者

研究1と同様の対象者について、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 et al., 1999 ; 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) を求めた。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。対象者全体の平均 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 3.2.2.1)。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 ($p < .001$)。研究への同意手続きは研究1に準じた。

2. 課題と実施手続き

研究1に準じた。

3. 脳波記録

研究1に準じた。

4. 分析方法

4.1) 行動成績

分析指標は研究1に準じ, 各群および各刺激条件について求めた。

4.2) 脳波

研究 1 に準じたが、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。また、GFP については分析対象外とした。

4.3) 統計処理

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。

第2節 結果

1. 行動成績

Table 3.2.2.1 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。

Table 3.2.2.1 各群の年齢, CAARS得点及び各群, 各刺激条件の行動成績

年齢	DSM-IV ADHD症状	CAARS																
		クラマ刺激条件						記号刺激条件										
		go RT (msec)	左エラー 率(%)	見逃し 率(%)	SSRT(msec)	抑制率(%)	go RT (msec)	左エラー 率(%)	見逃し 率(%)	SSRT(msec)	抑制率(%)							
傾向高群 (N=11)	69.1 ± 9.6	1.6 ± 1.9	1.0 ± 2.8	150msec 条件 328.9 ± 111.5	225msec 条件 232.9 ± 67.9	300msec 条件 91.4 ± 60.4	150msec 条件 79.2 ± 15.1	225msec 条件 70.8 ± 15.1	300msec 条件 43.2 ± 13.9	150msec 条件 328.3 ± 107.1	225msec 条件 210.9 ± 92.9	300msec 条件 94.9 ± 70.4	150msec 条件 82.2 ± 17.2	225msec 条件 70.8 ± 22.9	300msec 条件 46.2 ± 16.0			
傾向低群 (N=12)	47.0 ± 7.2	0.4 ± 0.7	3.1 ± 4.7	150msec 条件 323.3 ± 66.2	225msec 条件 210.9 ± 67.0	300msec 条件 110.8 ± 71.9	150msec 条件 85.8 ± 11.0	225msec 条件 69.5 ± 13.2	300msec 条件 50.0 ± 24.5	150msec 条件 297.2 ± 76.1	225msec 条件 204.3 ± 85.7	300msec 条件 64.8 ± 90.0	150msec 条件 79.6 ± 16.6	225msec 条件 68.6 ± 17.9	300msec 条件 40.3 ± 24.5			
p値	<.001	<.05	.221	.883	.443	.494	.243	.818	.210	.374	<.05	.432	.428	.860	.384	.719	.798	.504

※ () は単位を示す

2. ERP

2.1. Go 試行における ERP 成分動態

Fig.3.2.2.1 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 ($F(1,123)=16.09, p<.01$) 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。

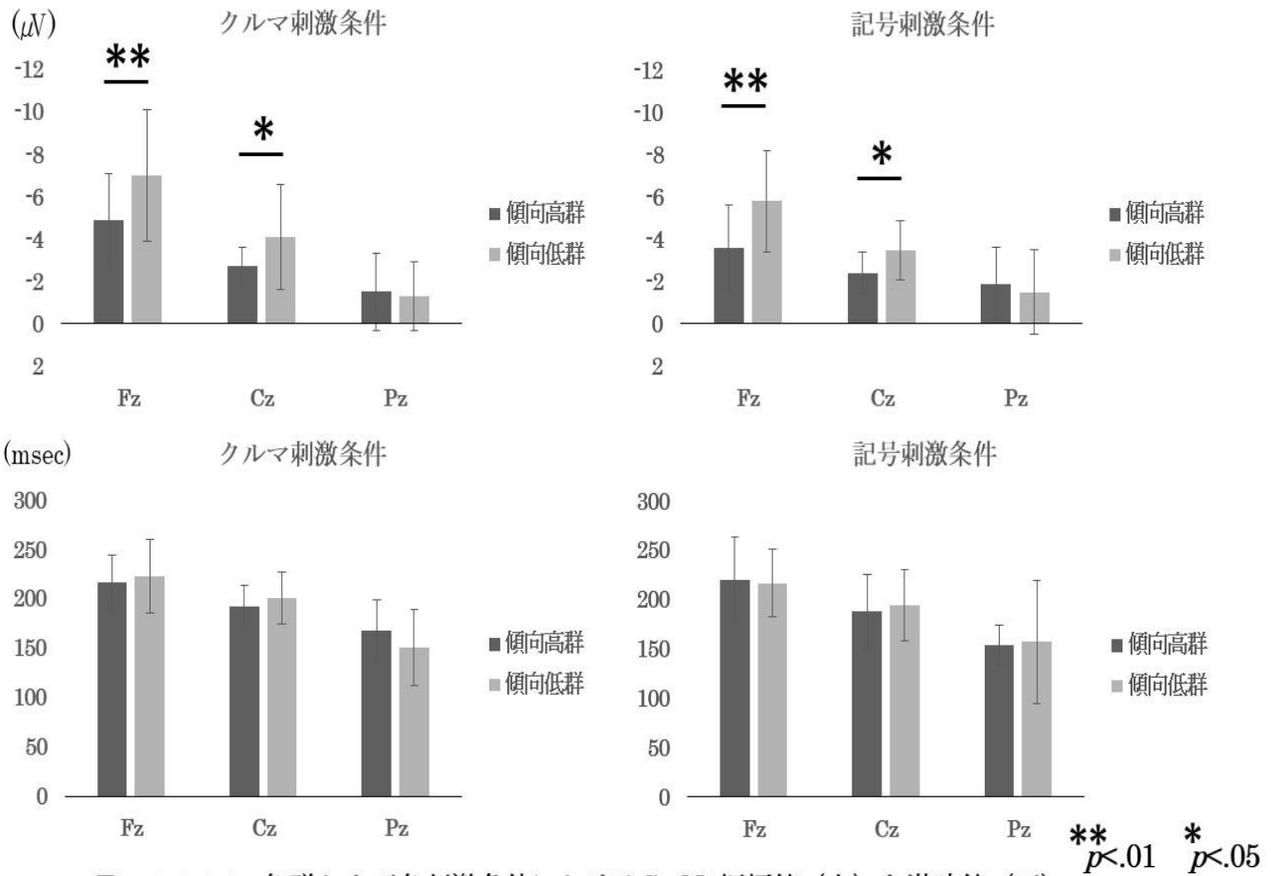


Fig. 3.2.2.1 各群および各刺激条件におけるGo-N2振幅値（上）と潜時値（下）

※エラーバーは標準偏差を示す

2.2. Stop 試行における ERP 成分動態

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, UST の有効加算回数は各刺激条件ともに平均 10 回に満たなかったため分析対象から除外した。

2.2.1. N2 成分

Fig.3.2.2.2 に Stop 刺激条件ごとに正中 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 N2 (以下, SST-N2) の振幅値および潜時値を示す。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。

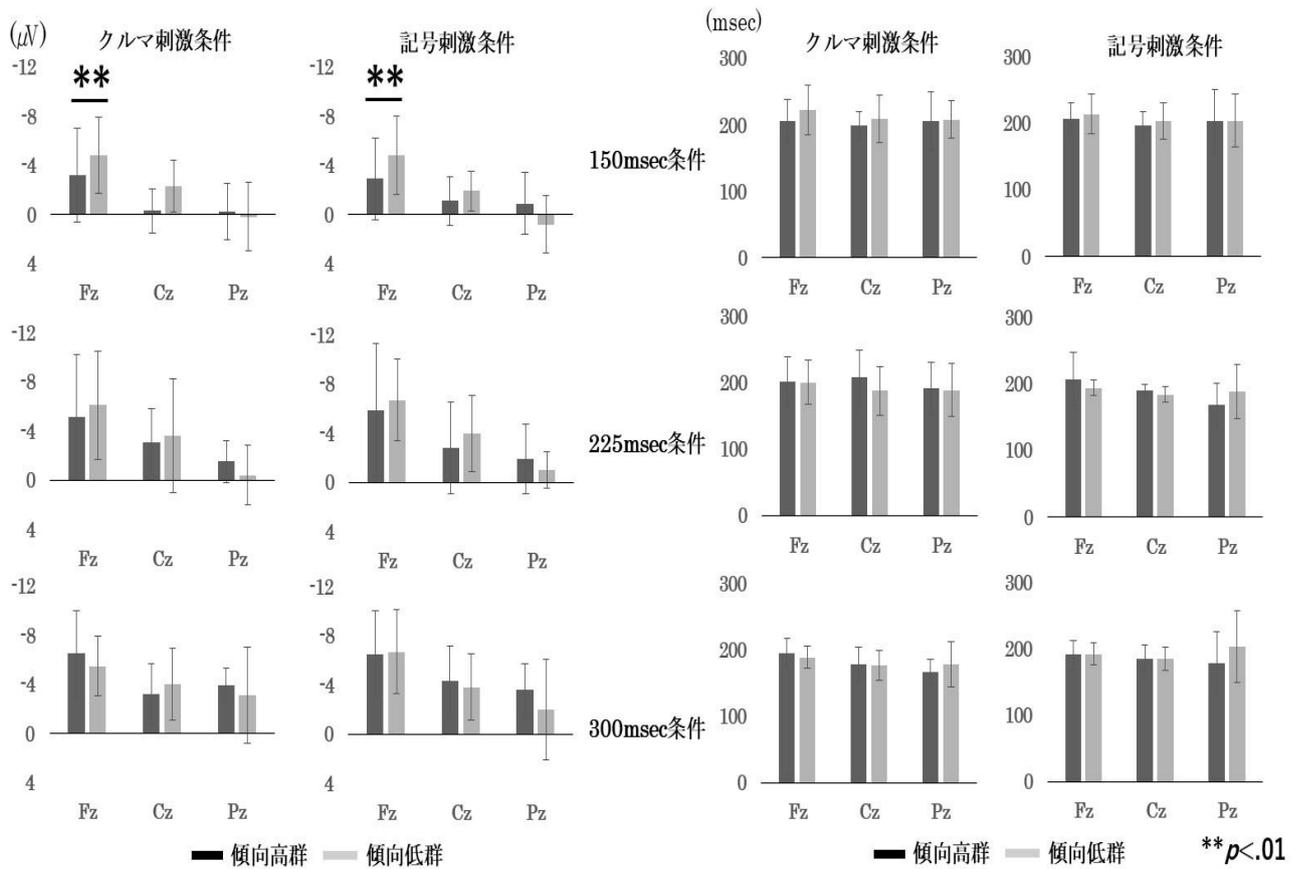


Fig. 3.2.2.2 各Stop刺激呈示条件における各群および各刺激条件のSST-N2振幅値(左)と潜時値(右)
 ※エラーバーは標準偏差を示す

2.2.2. P3 成分

Fig.3.2.2.3 に Stop 刺激条件ごとに正中 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。

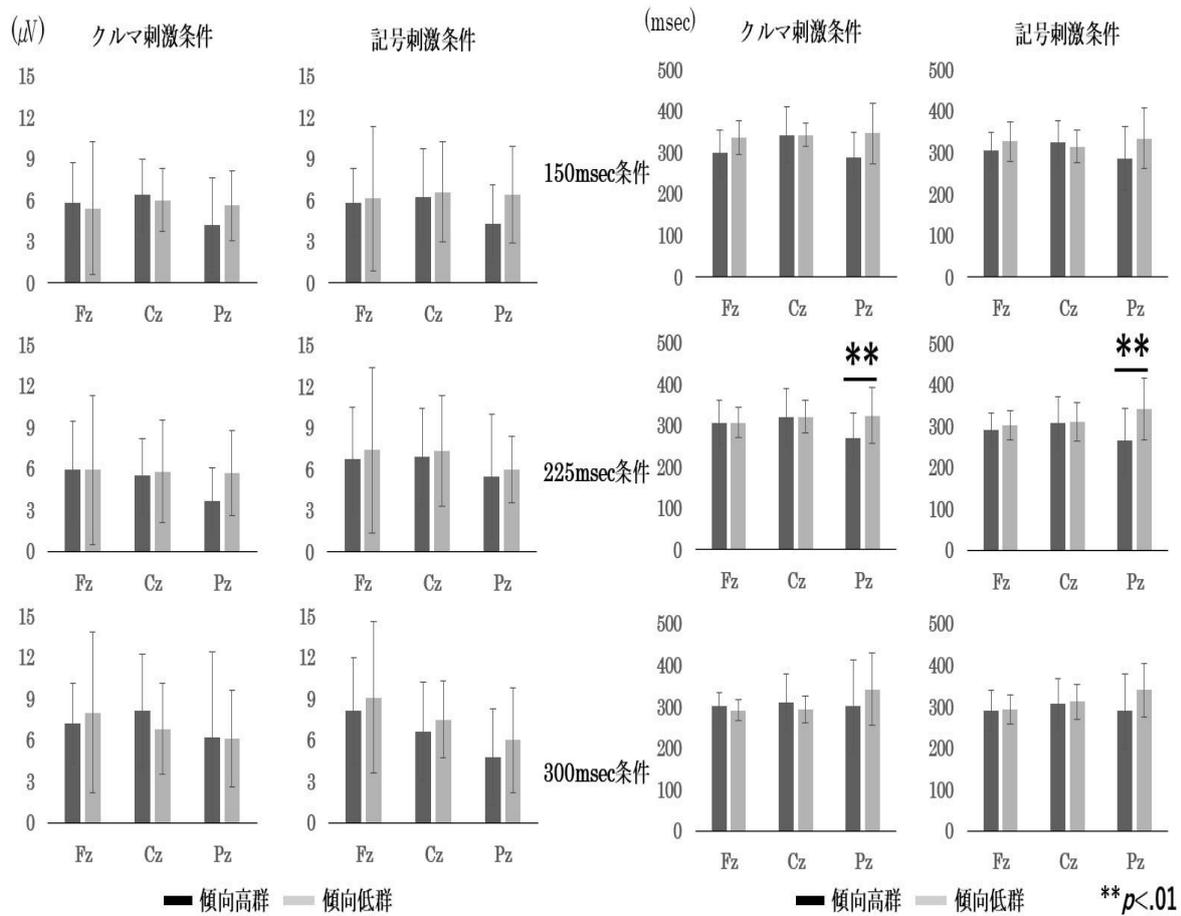


Fig. 3.2.2.3 各Stop刺激呈示条件における各群および各刺激条件のSST-P3振幅値 (左) と潜時値 (右)
 ※エラーバーは標準偏差を示す

第3節 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、刺激特性およびその組み合わせが異なる 2 種類の Stop-signal 課題と 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. 刺激特性の違いが行動成績に及ぼす影響

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。

2. ERP からみた刺激特性の反応制御への影響

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。

2.1 Go 試行

Banaschewski et al. (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 et al., 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之差が Go-N2 振幅値の差に反映された可能性が示唆された。

2.2 Stop 試行

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 et al., 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、反応制御過程にプ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。

第3章 ADHD児における刺激特性に関する検討（研究4）

第1節 方法

1. 対象者

TD児9名（男児8名，女児1名；平均年齢 11.8 ± 1.0 歳），および医療機関によりADHD混合型または混合型疑いの診断を受けたADHD児8名（男児7名，女児1名；平均年齢 12.3 ± 1.0 歳）とした。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26-49）を受けた。実施前に，対象児およびその保護者に書面及び口頭で研究の内容について説明を行い，同意を得た。

2. 課題と実施手続き

研究1に準じた。

3. 脳波記録

研究1に準じた。

4. 分析方法

4.1) 行動成績

研究1に準じた。

4.2) 脳波

研究1に準じた。

4.3) 統計処理

行動成績については群（ADHD児群，TD児群）×刺激条件（クルマ刺激条件，記号刺激条件）の2要因ANOVAを行った。ERPについても，部位ごと（Fz，Cz，Pz）に，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）の2要因ANOVAを行った。分析にはSPSS v. 24.0を用いた。

第2節 結果

1. 行動成績

1-1. RT

Stop-signal 課題遂行時の群間および刺激条件間における RT を Fig.3.3.2.1 に示した。2 要因分散分析の結果、刺激条件の主効果 ($F(1,14)=20.637, p<.001$) がみられ、群にかかわらず、記号刺激条件に対してクルマ刺激条件における RT が有意に延長した。

また、群と刺激条件の交互作用 ($F(1,14)=4.681, p<.05$) がみられ、刺激条件における群の単純主効果は ADHD 児群において有意 (ADHD 児群: $F(1,14) = 22.49, p<.001$, TD 児群: $F(1,14) = 2.83, n.s.$) であり、ADHD 児群では、記号刺激条件に対してクルマ刺激条件における RT が有意に延長した。群における刺激条件の単純主効果については有意差が認められなかった (クルマ刺激条件: $F(1,14) = 1.29, n.s.$, 記号刺激条件: $F(1,14) = 0.06, n.s.$)。

1-2. RT-SD

Stop-signal 課題遂行時の群間および刺激条件間における RT-SD を Fig.3.3.2.2 に示した。2 要因分散分析の結果、群の主効果 ($F(1,14)=16.369, p<.01$)、刺激条件の主効果 ($F(1,14)=13.656, p<.01$) が有意であった。刺激条件にかかわらず、ADHD 児群では TD 児群に対して RT-SD が有意に増大した。また、群にかかわらず、記号刺激条件に対してクルマ刺激条件における RT-SD が有意に増大した。

1-3. 左右エラー率

Stop-signal 課題遂行時の群間および刺激条件間における左右エラー率を Fig.3.3.2.3 に示した。2 要因分散分析の結果、刺激条件の主効果 ($F(1,14)=5.18, p<.05$) が有意であった。群にかかわらず、記号刺激条件に対してクルマ刺激条件における左右エラー率が有意に上昇した。

1-4. 見逃し率

Stop-signal 課題遂行時の群間および刺激条件間における見逃し率を Fig.3.3.2.4 に示した。2 要因分散分析の結果、群の主効果、刺激条件の主効果、交互作用ともに有意差は認められなかった。

1-5. 抑制率

各 Stop 刺激条件における群間および刺激条件間の抑制率を Fig.3.3.2.5 に示した。2 要因分散分析の結果，群の主効果，刺激条件の主効果，交互作用ともに有意差は認められなかった。

1-6. SSRT

各 Stop 刺激条件における群間および刺激条件間の SSRT を Fig.3.3.2.6 に示した。2 要因分散分析の結果，225msec 条件において，刺激条件の主効果 ($F(1,14)=12.687, p<.05$) が有意であった。群にかかわらず，記号刺激条件に対してクルマ刺激条件における SSRT が有意に延長した。その他の条件においては，刺激の主効果，刺激条件の主効果，交互作用ともに有意差は認められなかった。

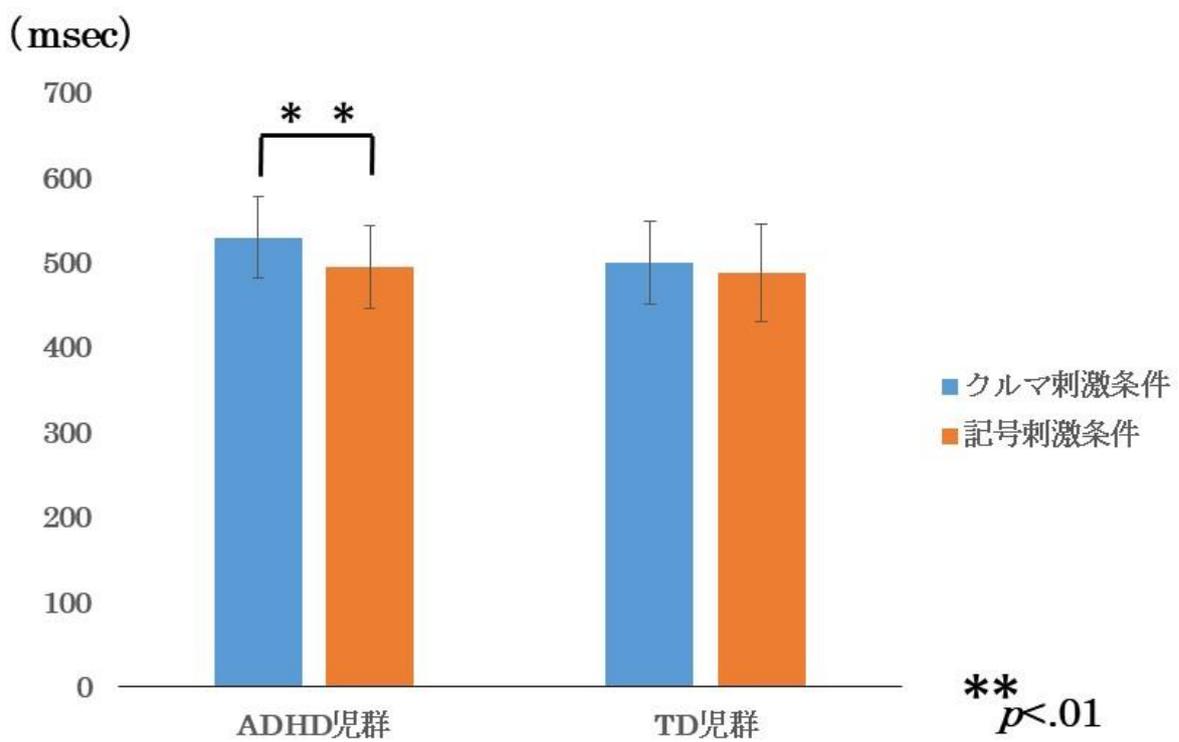


Fig. 3.3.2.1 各群および各刺激条件における平均反応時間
(エラーバーは1標準偏差を示す)

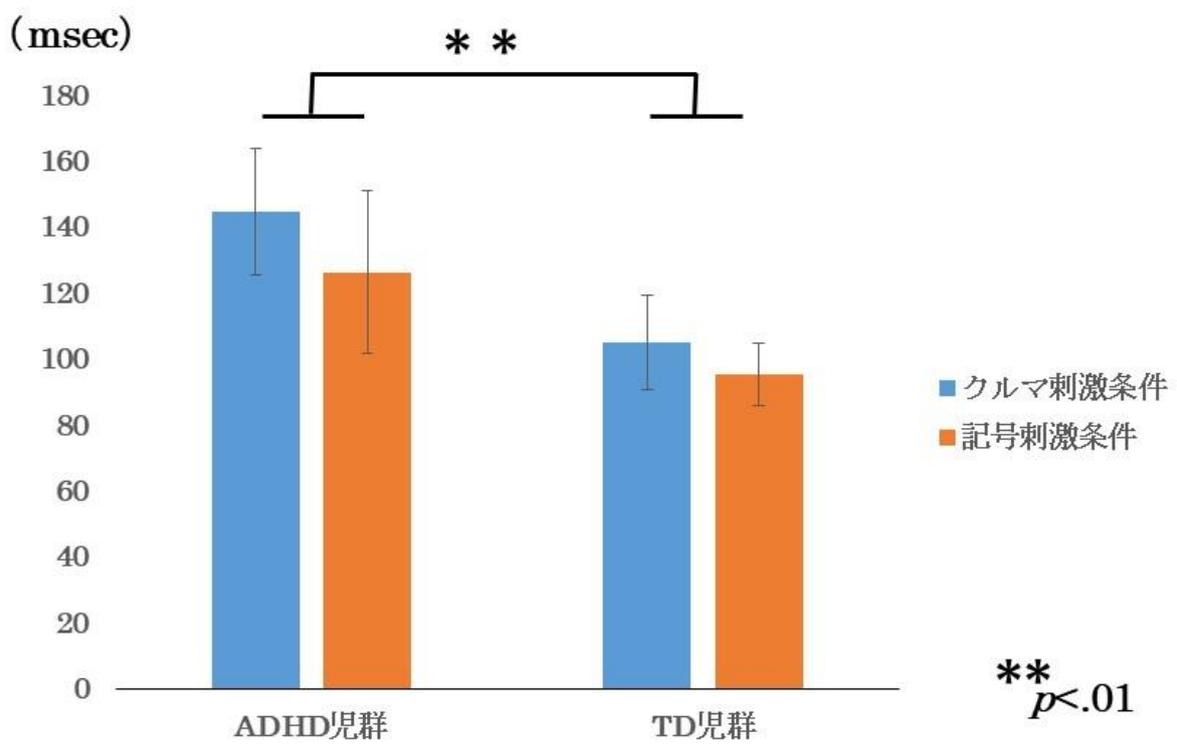


Fig. 3.3.2.2 各群および各刺激条件における反応時間の標準偏差
(エラーバーは1標準偏差を示す)

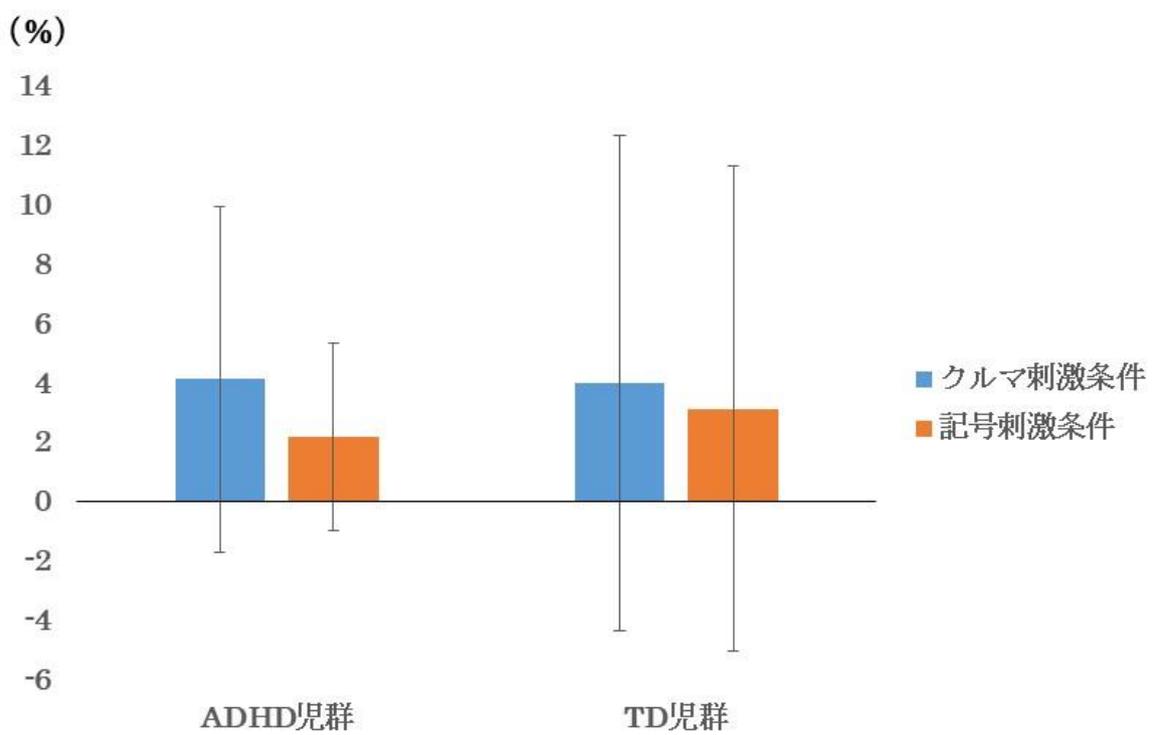


Fig. 3.3.2.3 各群および各刺激条件における左右エラー率
(エラーバーは1標準偏差を示す)

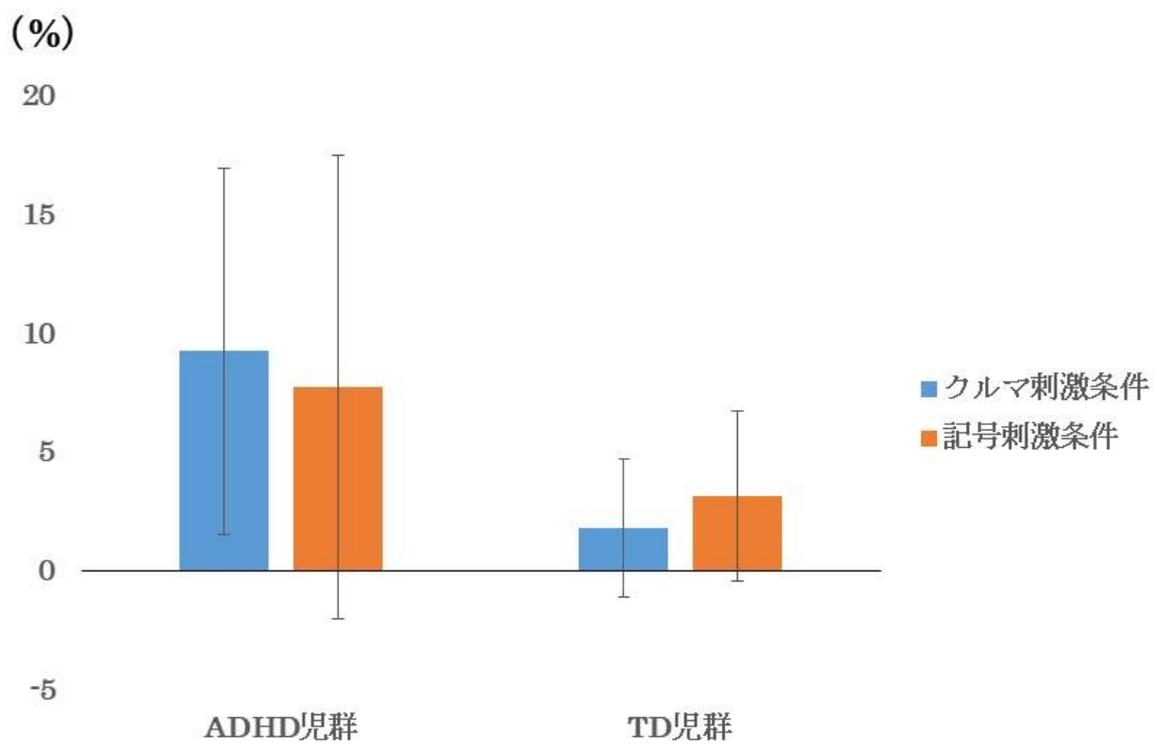


Fig. 3.3.2.4 各群および各刺激条件における見逃し率
(エラーバーは1標準偏差を示す)

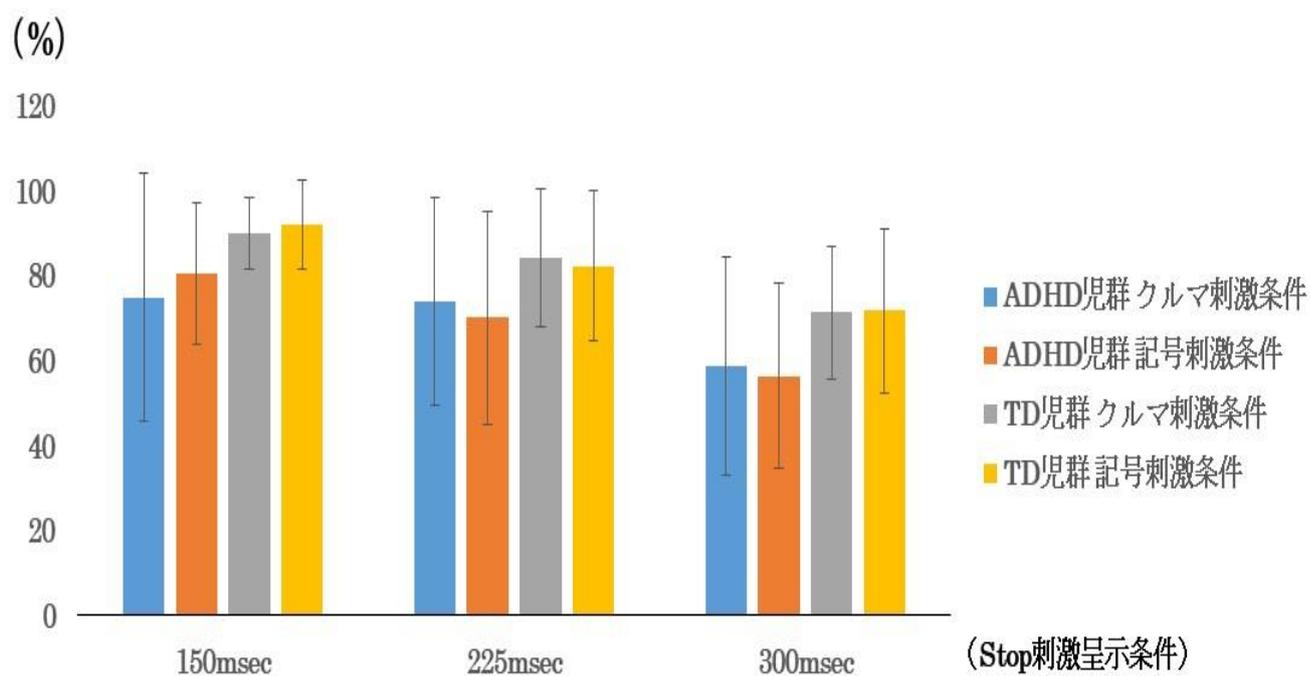


Fig. 3.3.2.5 各群および各刺激条件におけるStop刺激呈示条件ごとの抑制率
(エラーバーは1標準偏差を示す)

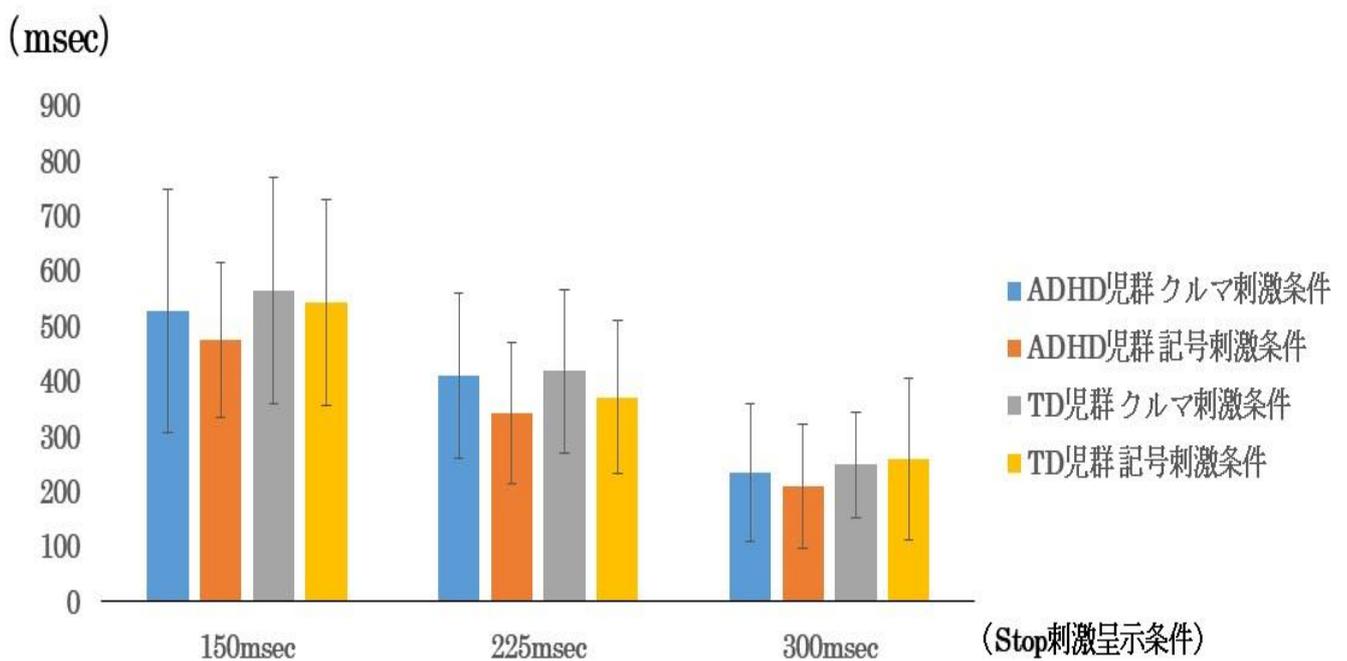


Fig. 3.3.2.6 各群および各刺激条件におけるStop刺激呈示条件ごとのSSRT
(エラーバーは1標準偏差を示す)

2. ERP

2.1. Go 試行における ERP 成分動態

Fig.3.3.2.7 に Go 刺激呈示時を起点とした正中 3 部位の総加算平均波形および GFP 曲線を, Fig.3.3.2.8 に Go 刺激呈示後 250msec から 550msec における頭皮上電位分布図を示した。Go 刺激の呈示によって N2 と考えられる成分の出現が確認された (Fig.3.3.2.7 の矢印付近)。有効加算回数は平均 124 回であった。

Fig.3.3.2.9 に正中 3 部位から導出された平均 Go-N2 振幅値および潜時値を示した。N2 の出現潜時とした, Go 刺激呈示後 190msec から 270msec までの GFP ピーク値および潜時値について, 分散分析を行った結果, 刺激の主効果, プライミングの主効果, 交互作用ともに有意差は認められなかった。また, 正中 3 部位から導出された Go-N2 振幅値および潜時値について, 分散分析を行った結果, Fz 導出の Go-N2 振幅値について交互作用 ($F(1,14)=6.015, p<.05$) が有意であった。

刺激条件における群の単純主効果は ADHD 児群において有意 (ADHD 児群: $F(1,14) = 8.78, p<.05$, TD 児群: $F(1,14) = 0.25, n.s.$) であり, ADHD 児群では, 記号刺激条件に対してクルマ刺激条件における N2 振幅値が有意に増大した。群における刺激条件の単純主効果については有意差が認められなかった (クルマ刺激条件: $F(1,14) = 4.55, n.s.$, 記号刺激条件: $F(1,14) = 0.07, n.s.$)。

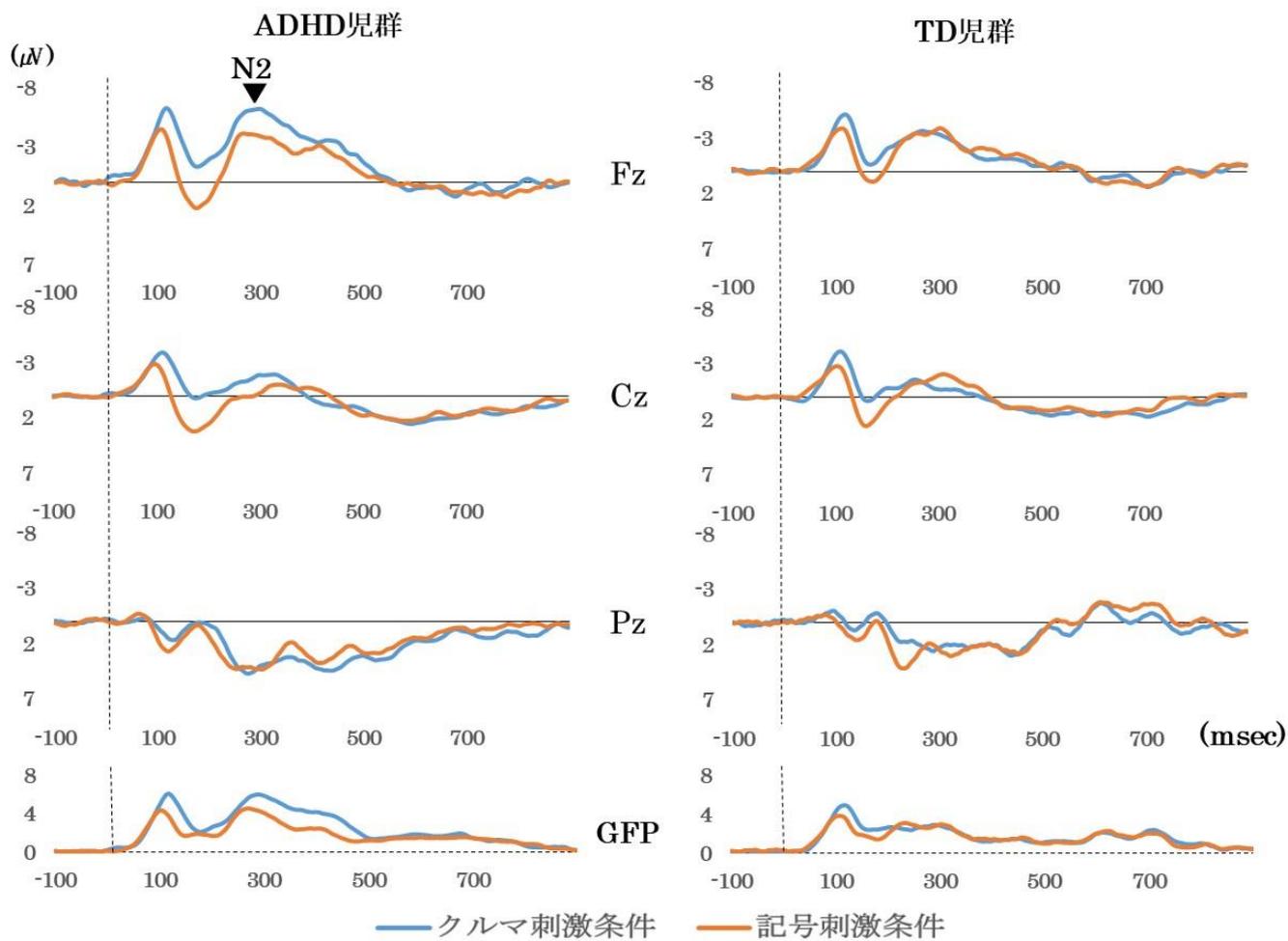


Fig. 3.3.2.7 各群および各刺激条件におけるGo刺激呈示時を起点とした各部位における総加算平均波形およびGFP曲線

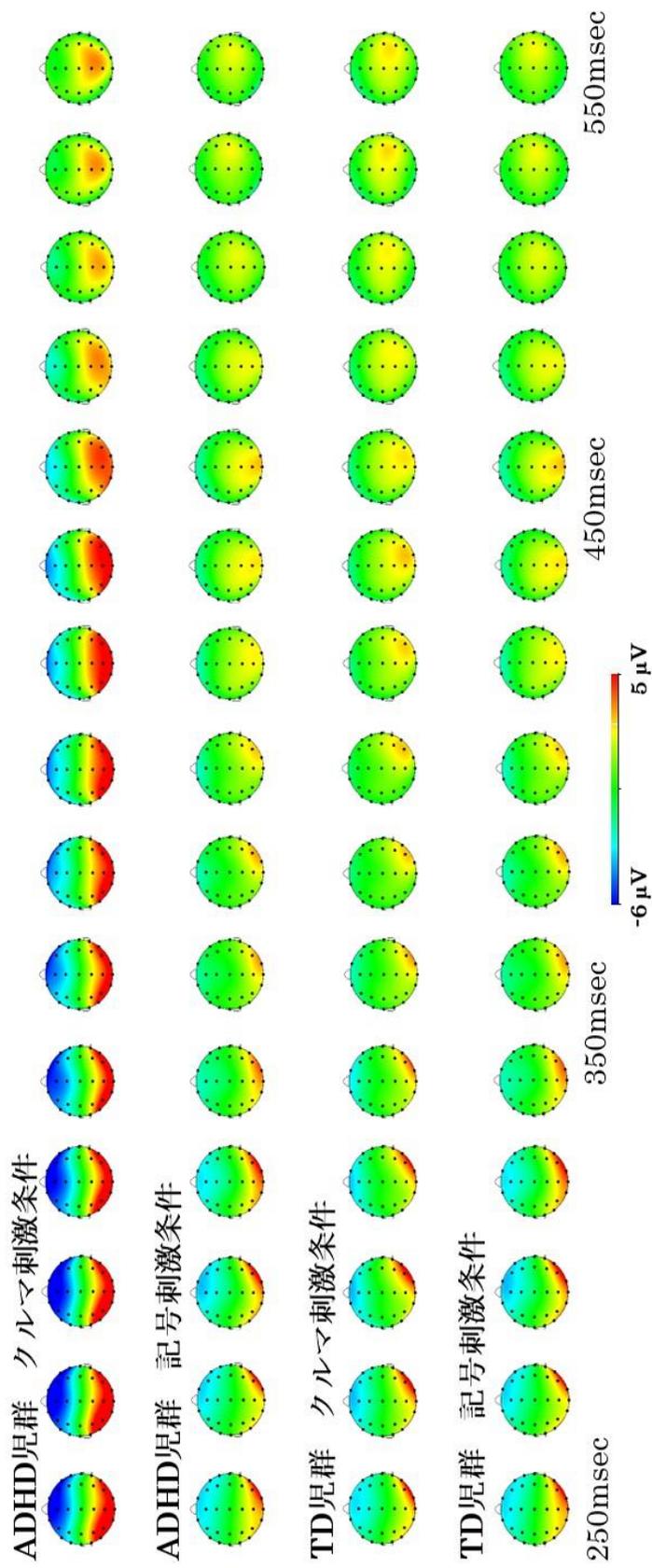


Fig. 3.3.2.8 Go刺激呈示後250msecから550msecにおける20msecごとの各群および各刺激条件における頭皮上電位分布図

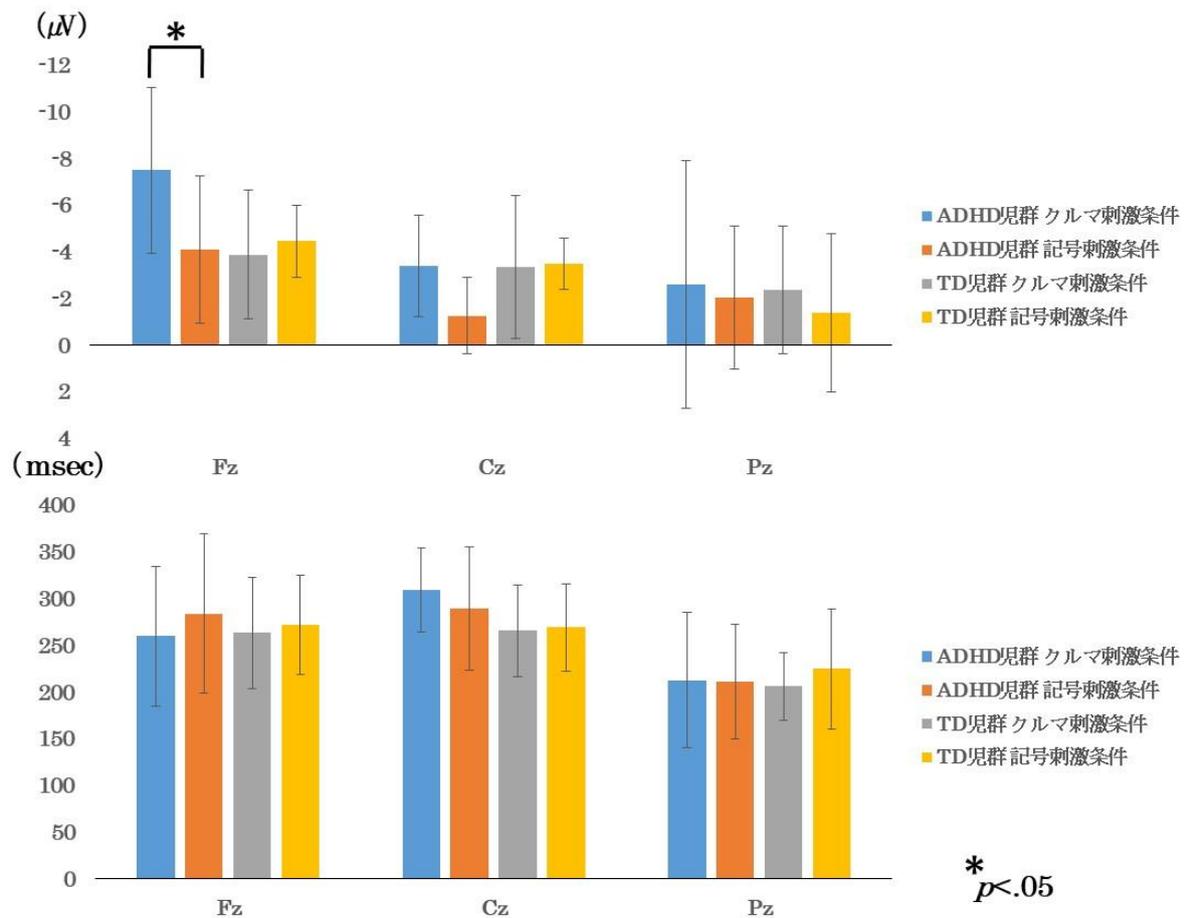


Fig. 3.3.2.9 正中3部位から導出した各群および各刺激条件におけるGo-N2振幅値(上)と潜時値(下)
(エラーバーは1標準偏差を示す)

2.2. Stop 試行における ERP 成分動態

Fig.3.3.2.10 に Stop 刺激呈示時を起点とした 225msec 条件における正中 3 部位の総加算平均波形および GFP 曲線を, Fig.3.3.2.11 に Stop 刺激呈示後 200msec から 500msec における SST の頭皮上電位分布図 (225msec 条件) を示した。Stop 刺激の呈示によって N2, P3 と考えられる成分の出現が確認された (Fig.3.3.2.10 の矢印付近)。

2.2.1. N2 成分

Fig.3.3.2.12 に正中 3 部位から導出した SST の各刺激条件および各プライミング試行における Stop 刺激条件ごとの平均 N2 振幅値および潜時値 (225msec 条件) を示した。N2 の出現潜時とした, Stop 刺激呈示後 190msec から 270msec までの GFP ピーク値および潜時値について, 分散分析を行った結果, SST の 225msec 条件における GFP ピーク値について, 群と刺激条件の交互作用 ($F(1,14)=4.770, p<.05$) が有意であった。

刺激条件における群の単純主効果では有意差が認められなかった (ADHD 児群: $F(1,14) = 2.49, n.s.$, TD 児群: $F(1,14) = 2.28, n.s.$)。群における刺激条件の単純主効果については記号刺激条件において有意であり (クルマ刺激条件: $F(1,14) = 0.98, n.s.$, 記号刺激条件: $F(1,14) = 5.03, p<.05.$) , 記号刺激条件では, TD 児群に対して ADHD 児群における GFP ピーク値が有意に上昇した。

正中 3 部位から導出された SST の 225msec 条件における Stop-N2 振幅値および潜時値について, 分散分析を行った結果, Cz 導出の N2 振幅値について刺激条件の主効果 ($F(1,11)=14.948, p<.01$) が有意であり, 群にかかわらず, クルマ刺激条件に対して記号刺激条件における N2 振幅値が有意に増大した。

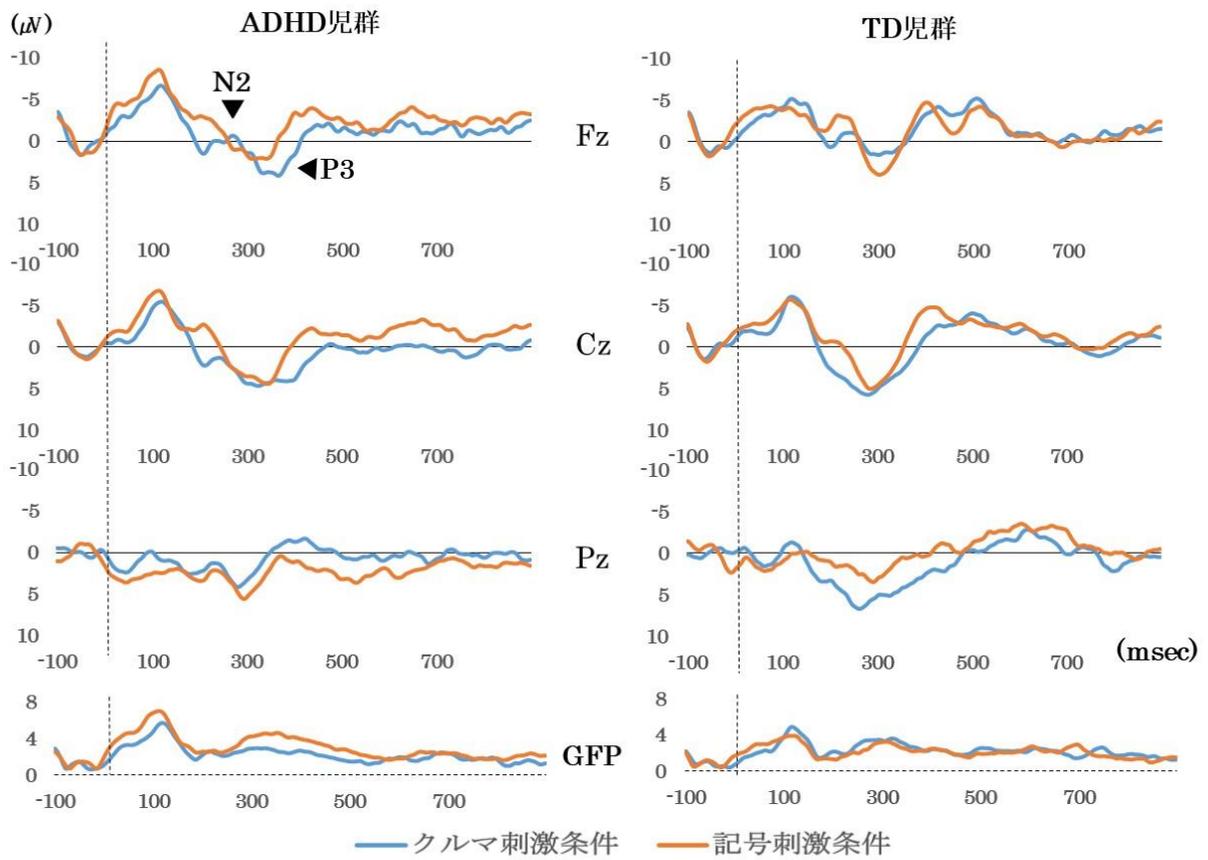


Fig. 3.3.2.10 各群および各刺激条件におけるStop刺激呈示時を起点とした各部位における総加算平均波形およびGFP曲線 (225msec条件)

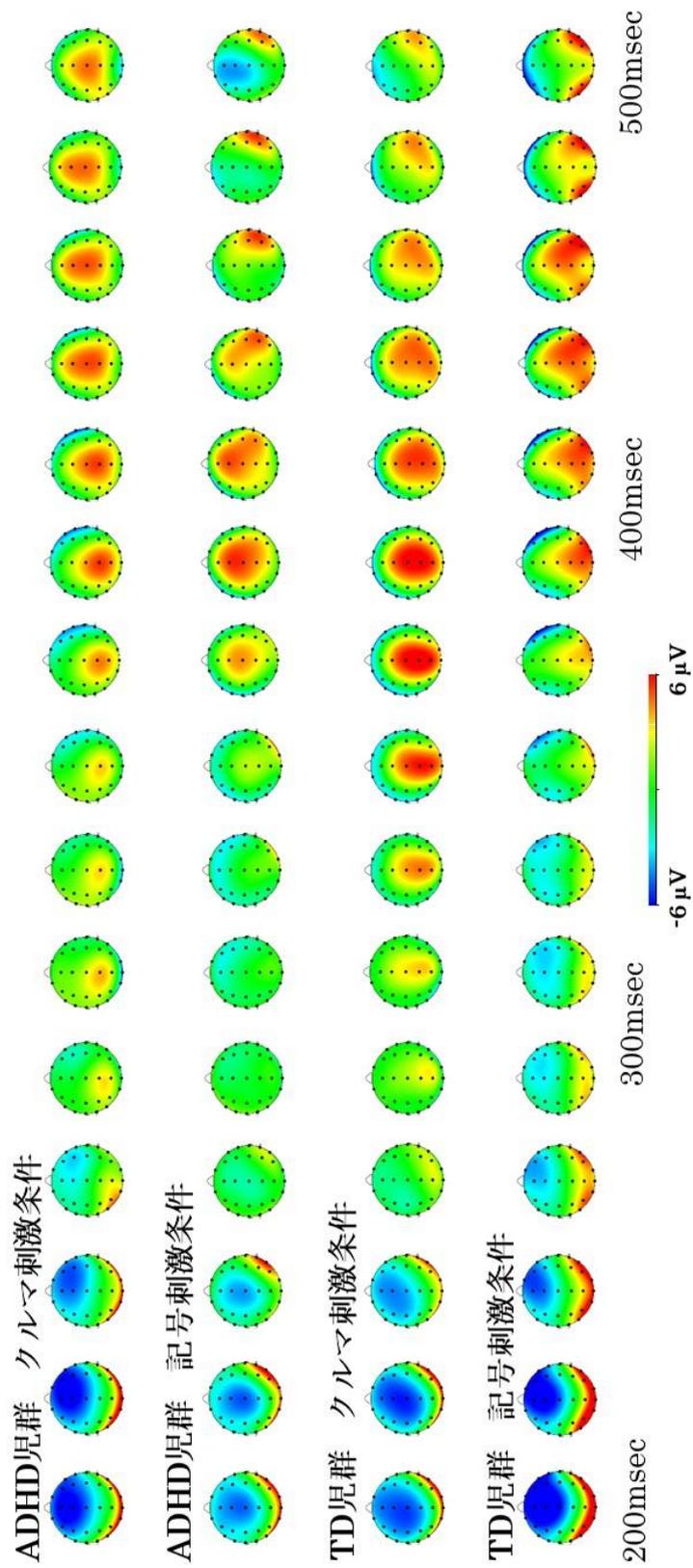


Fig. 3.3.2.11 Stop刺激呈示後200msecから500msecにおける20msecごとの各群および各刺激条件における頭皮上電位分布図 (225msec条件)

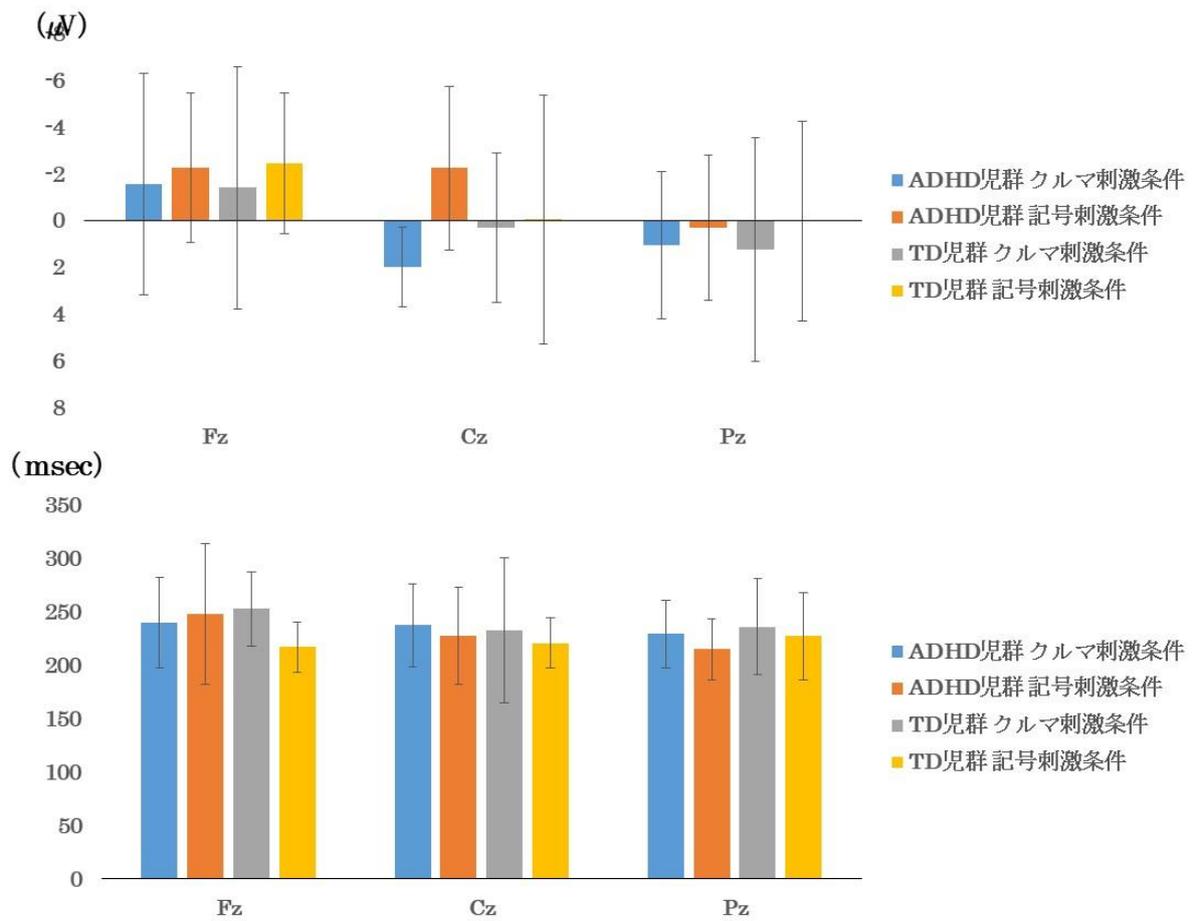


Fig. 3.3.2.12 正中3部位から導出した各群および各刺激条件における SST-N2振幅値(上)と潜時値(下)(225msec条件)
(エラーバーは1標準偏差を示す)

2.2.2. P3 成分

正中 3 部位から導出した SST の各刺激条件および各プライミング試行における Stop 刺激条件ごとの平均 P3 振幅値および潜時値 (150msec 条件) を Fig.3.3.2.13 に, 平均 P3 振幅値および潜時値 (225msec 条件) を Fig.3.3.2.14 に示した。P3 の出現潜時とした Stop 刺激呈示後 270msec から 500msec までの GFP ピーク値および潜時値, 正中 3 部位から導出された P3 振幅値および潜時値について, 分散分析を行った結果, SST の 150msec 条件における GFP ピーク値について, 刺激条件の主効果 ($F(1,14)=11.557$, $p<.01$) が認められ, 群にかかわらず, 記号刺激条件に対してクルマ刺激条件における GFP ピーク値が有意に上昇した。

また, SST の 150msec 条件における GFP 潜時値について, 群の主効果 ($F(1,14)=4.715$, $p<.05$) が認められ, 刺激条件にかかわらず, TD 児群に対して ADHD 児群における GFP 潜時値が有意に延長した。225msec 条件においては, 群と刺激条件の交互作用 ($F(1,14)=6.504$, $p<.05$) が有意であった。刺激条件における群の単純主効果については, ADHD 児群において有意 (ADHD 児群: $F(1,14) = 9.67$, $p<.01$, TD 児群: $F(1,14) = 0.25$, *n.s.*) であり, クルマ刺激条件では, TD 児群に対して ADHD 児群における GFP 潜時値が有意に延長し, 記号刺激条件では, TD 児群に対して ADHD 児群における GFP 潜時値が有意に短縮した。群における刺激条件の単純主効果についてはクルマ刺激条件において有意であり (クルマ刺激条件: $F(1,14) = 4.63$, $p<.05$, 記号刺激条件: $F(1,14) = 0.51$, *n.s.*), クルマ刺激条件では, TD 児群に対して ADHD 児群における GFP 潜時値が有意に延長した。

正中 3 部位から導出された SST の 150msec 条件における P3 振幅値および潜時値について, 分散分析を行った結果, Cz 導出の P3 潜時値で群の主効果 ($F(1,14)=4.904$, $p<.01$) が認められ, 刺激条件にかかわらず, TD 児群に対して ADHD 児群における P3 潜時値が有意に延長した。また, SST の 150msec 条件における Pz 導出の P3 潜時値で交互作用 (Pz 導出) ($F(1,14)=5.285$, $p<.05$) が有意であった。刺激条件における群の単純主効果について, 有意差は認められなかった (ADHD 児群: $F(1,14) = 3.53$, *n.s.*, TD 児群: $F(1,14) = 1.88$, *n.s.*)。群における刺激条件の単純主効果についても有意差は認められなかった (クルマ刺激条件: $F(1,14) = 0.03$, *n.s.*, 記号刺激条件: $F(1,14) = 1.94$, *n.s.*)。

正中 3 部位から導出された SST の 225msec 条件における Stop-P3 振幅値および潜時値について, 分散分析を行った結果, P3 振幅値における群と刺激条件の交互作用 (Fz 導

出) ($F(1,13)=10.656, p<.01$) が有意であった。刺激条件における群の単純主効果について、TD 児群において有意 (ADHD 児群 : $F(1,13) = 2.44, n.s.$, TD 児群 : $F(1,13) = 9.66, p<.01$) であり、クルマ刺激条件においては ADHD 児群に対して TD 児群における P3 振幅値が有意に低下した。記号刺激条件においては ADHD 児群に対して TD 児群における P3 振幅値が有意に上昇した。群における刺激条件の単純主効果については有意差が認められなかった (クルマ刺激条件 : $F(1,13) = 2.97, n.s.$, 記号刺激条件 : $F(1,13) = 2.73, n.s.$) 。

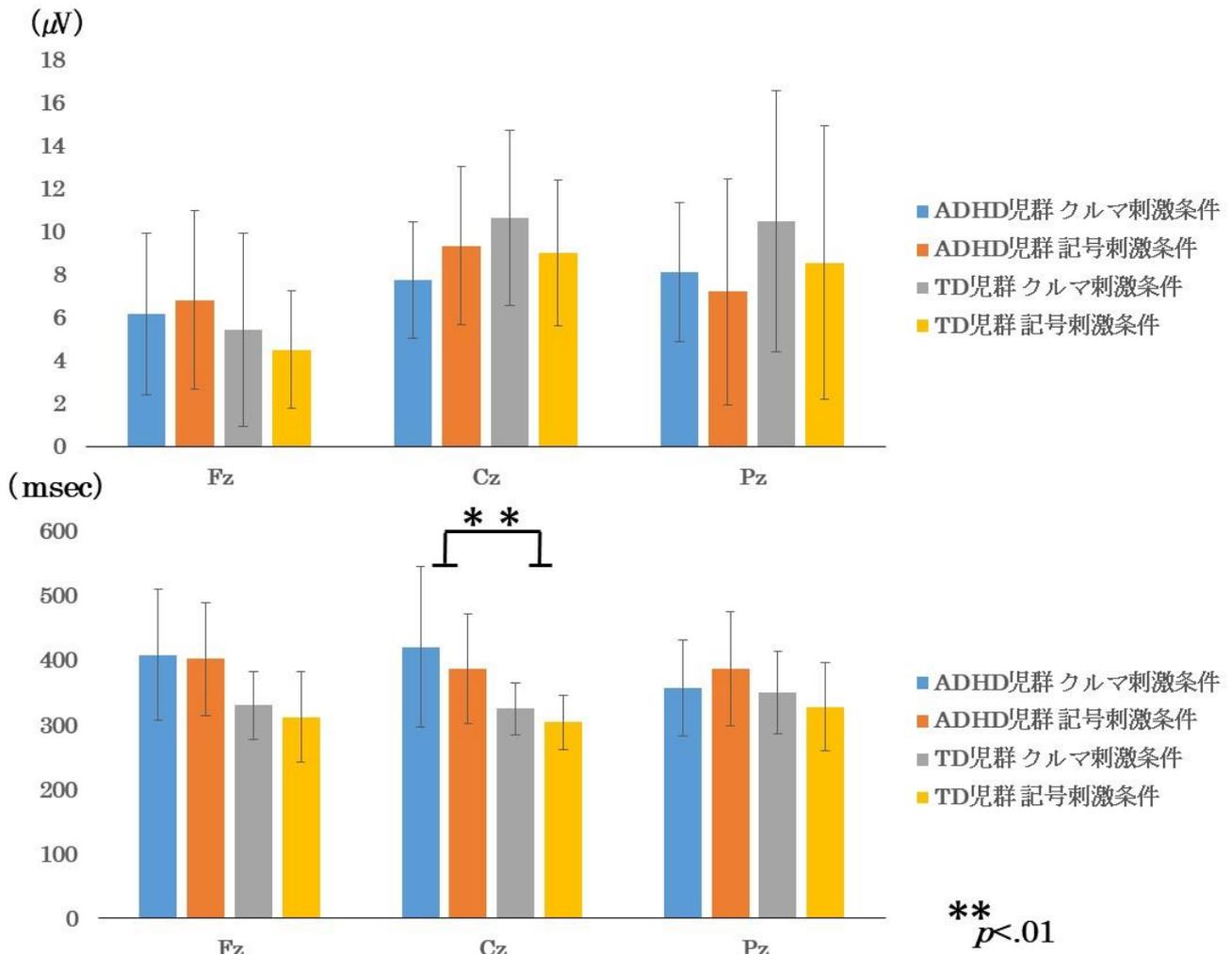


Fig. 3.3.2.13 正中3部位から導出した各群および各刺激条件における SST-P3振幅値(上)と潜時値(下)(150msec条件)
(エラーバーは1標準偏差を示す)

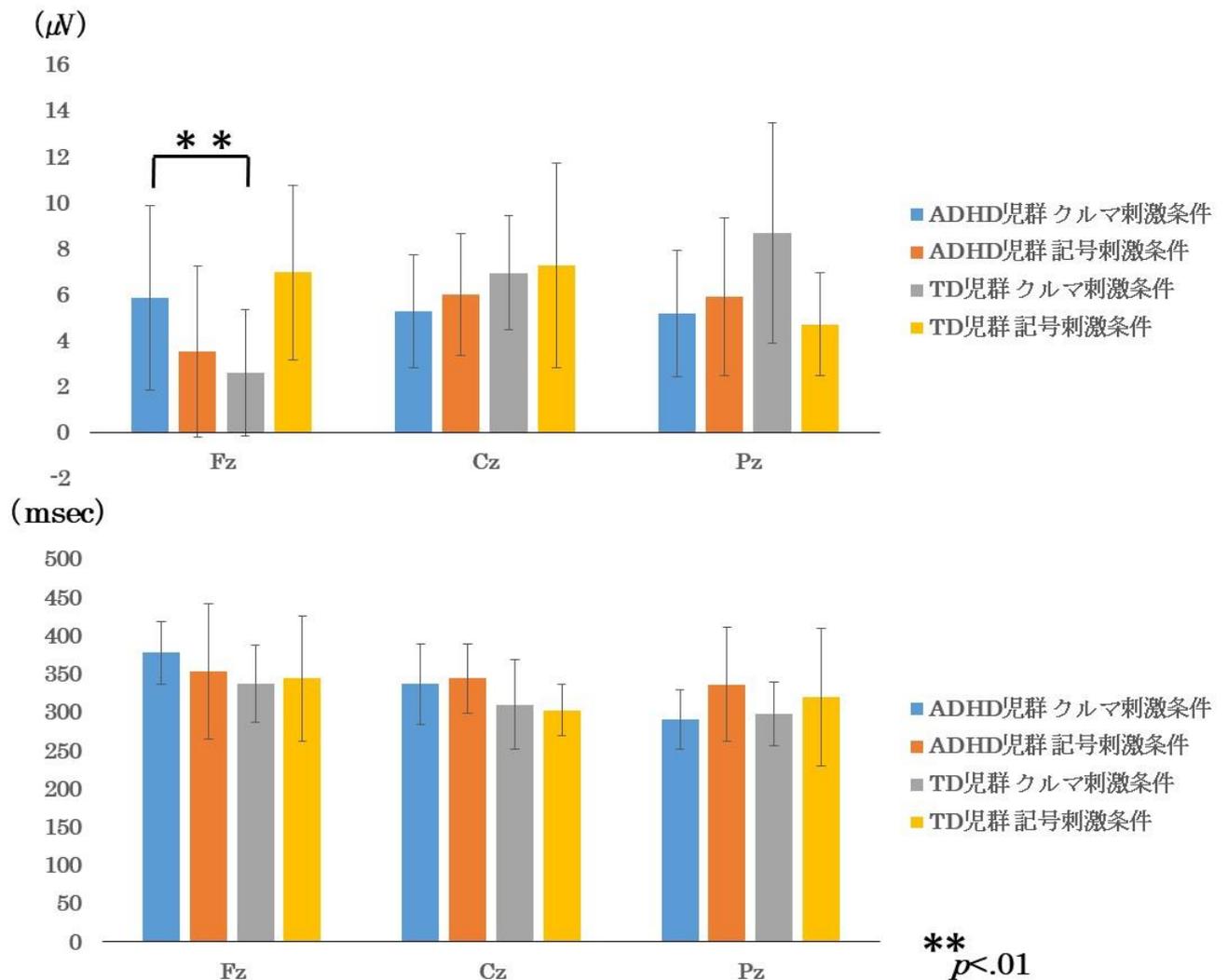


Fig. 3.3.2.14 正中3部位から導出した各群および各刺激条件における SST-P3振幅値(上)と潜時値(下)(225msec条件)
(エラーバーは1標準偏差を示す)

第3節 考察

研究4では、TD児およびADHD児を対象に、刺激特性およびその組み合わせが異なる2種類のStop-signal課題とADHD児やTD児といった小児の反応制御過程との関連について、課題遂行時の行動成績およびERPを用いて検討した。

1. 刺激特性の違いが行動成績に及ぼす影響

行動成績のうち、RT-SDにおいて、群の主効果がみられ、刺激条件にかかわらず、TD児群に対してADHD児群におけるRT-SDが有意に増大した。また、Go刺激に対するRT、RT-SD、左右エラー率、SSRT(225msec条件)においては、刺激条件の主効果がみられ、記号刺激条件に対してクルマ刺激条件におけるRT、SSRTの有意な延長、RT-SDの有意な増大、そして左右エラー率の有意な上昇が認められた。さらに、Go刺激に対するRTでは、群と刺激条件の交互作用もみられ、ADHD児群では、記号刺激条件に対してクルマ刺激条件におけるRTが有意に延長した。

これまで、TD児やADHD児といった小児を対象に刺激特性の異なる反応抑制課題を実施し、成績を比較した報告はされていない。研究1から示唆されたように、TD成人のみならず、小児を対象とした場合においても刺激特性の違いによって、RTに有意差が生じること、その要因としては刺激の弁別難易度が大きく影響する可能性が本研究において確認された。TD児およびADHD児を対象としたSenderecka et al. (2012)では、TD児群に対してADHD児群におけるRTの有意な延長が報告されており、本研究のRTの結果は、Senderecka et al. (2012)を支持する結果であった。本研究では、Go刺激に対するRTについて、群と刺激条件の交互作用がみられ、TD児群に対してADHD児群では記号刺激条件に対してクルマ刺激条件におけるRTが有意に延長したことから、刺激特性の異なる2種類のStop-signal課題遂行時の行動成績に及ぼす影響、とりわけ刺激の弁別難易度が刺激処理速度に及ぼす影響は、ADHD児群で相対的に大きいことが示唆された。

TD児およびADHD児を対象にStop-signal課題を実施したShen et al. (2011)では、TD児群に対してADHD児群におけるRT-SDが有意に増大したことを報告している。また、Stop-signal課題遂行時の行動成績に関するメタ分析を行った研究(Lipszyc & Schachar, 2010)では、ADHD児群におけるRT-SDの増大が一貫して認められることを報告しており、それはADHD児の不注意特性が大きく影響していること(Lijffijt, Kenemans, Verbaten, & van Engeland, 2005)も指摘されている。本研究では、先行研

究から示唆された通り、刺激に対する反応のバラつきには群間差がみられ TD 児群に対して ADHD 児群における RT-SD が有意に増大することが確認された。また、RT-SD については、刺激条件の主効果もみられ、群にかかわらず、記号刺激条件に対してクルマ刺激条件における RT-SD が有意に増大した。このことから、呈示刺激の弁別難易度は刺激処理速度だけではなく、反応の安定性にも影響を及ぼすことが示唆された。

TD 児や ADHD 児、広汎性発達障害（Pervasive Developmental Disorder, 以下、PDD）児を対象に Stop-signal 課題遂行時の反応制御過程を検討した坂尻ら（2007）では、左右の押し間違いを示すエラー率において、TD 児群と ADHD 児群との間に群間差がみられ、ADHD 児群で左右エラー率が有意に上昇したことを報告している。研究 3 では、傾向低群に対して傾向高群における左右エラー率が有意に上昇したことから、左右の押し間違いは 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た一方で、刺激条件の主効果もみられた。小児を対象とした本研究においても、群にかかわらず、記号刺激条件に対してクルマ刺激条件における左右エラー率が有意に上昇していることから、Go 刺激の弁別難易度は対象児・者の年齢にかかわらず、ADHD 症状にはあまり影響をしない可能性が示唆された。加えて、本研究で用いた 2 種類の刺激特性の弁別難易度は、記号刺激条件に対してクルマ刺激条件において相対的に大きいことが示唆された。

225msec 条件における SSRT について、群にかかわらず、記号刺激条件に対してクルマ刺激条件における SSRT が有意に延長していた。SSRT については、SSRT が長いほど、反応制御能力が困難であることが指摘されている（坂尻ら、2007）。これらのことから、両群ともに、クルマ刺激条件では反応の抑制制御が困難であること、Stop 刺激においても Go 刺激と同様に、見た目から反応の中止を喚起しやすいバツ印の方が抑制制御には効果的である可能性が示唆された。

2. ERP からみた刺激特性の反応制御への影響

2.1 Go 試行

Fz 導出の Go-N2 振幅値について交互作用がみられ、ADHD 児群では、記号刺激条件に対してクルマ刺激条件における N2 振幅値が有意に増大した。研究 3 では、傾向低群に対して傾向高群における Go-N2 振幅値の低下がみられ、本研究とは異なる結果となった。Banaschewski et al. (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 et al.,

2007) を反映する成分としており、反応の実行に大きく寄与することが想定される。これらのことから、ADHD 児群においては、反応の実行に要する処理資源の配分量が TD 児群よりも大きく、刺激特性の影響も相対的に大きいことが示唆された。それは、行動成績からも示唆されたように、刺激の弁別難易度による影響が大きいことが考えられた。

2.2 Stop 試行

SST の 225msec 条件における GFP ピーク値について、群と刺激条件の交互作用がみられ、記号刺激条件では、TD 児群に対して ADHD 児群における GFP ピーク値が有意に上昇した。また、Cz 導出の SST-N2 振幅値 (225msec 条件) について刺激条件の主効果がみられ、群にかかわらず、クルマ刺激条件に対して記号刺激条件における N2 振幅値が有意に増大した。

GFP は活動量の指標である (Skrandies,1990) とともに、注意の処理資源の配分を反映しているとされる (Sallard et al., 2014)。本研究における記号刺激条件では、TD 児群に対して ADHD 児群における GFP ピーク値が有意に上昇した。このことから、同一刺激に対する反応について、行動成績には有意な差としては表出しないまでも、呈示された刺激に対する注意処理資源の配分量には群間差があることが示唆された。

Nieuwenhuis et al. (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。本研究における SST-N2 振幅値については、群にかかわらず、クルマ刺激条件に対して記号刺激条件における N2 振幅値が有意に増大した。このことは、行動成績の SSRT から示唆されたように、両群ともに、クルマ刺激条件では反応の抑制制御が困難であることが ERP においても確認されたと考えられる。

SST の 150msec 条件における GFP ピーク値について、刺激条件の主効果が有意であり、群にかかわらず、記号刺激条件に対してクルマ刺激条件における GFP ピーク値が有意に上昇した。また、SST の 150msec 条件における GFP 潜時値について、群の主効果が有意であり、刺激条件にかかわらず、TD 児群に対して ADHD 児群における GFP 潜時値が有意に延長した。GFP 潜時値については、さらに、SST の 225msec 条件における群と刺激条件の交互作用が有意であり、クルマ刺激条件では、TD 児群に対して ADHD 児群における GFP 潜時値が有意に延長し、記号刺激条件では、TD 児群に対して ADHD 児群における GFP 潜時値が有意に短縮した。

Cz 導出の SST-P3 潜時値(150msec 条件)における群の主効果が有意であり、刺激条件にかかわらず、TD 児群に対して ADHD 児群における P3 潜時値が有意に延長した。Fz 導出の SST-P3 振幅値 (225msec 条件) における群と刺激条件の交互作用が有意であり、クルマ刺激条件においては ADHD 児群に対して TD 児群における P3 振幅値が有意に低下した。記号刺激条件においては ADHD 児群に対して TD 児群における P3 振幅値が有意に上昇した。

TD 児および ADHD 児を対象に Stop-signal 課題を実施し、課題遂行時の ERP を比較検討した Pliszka, Higgins, Perez and Semrud-Clikeman (2010) は、TD 児群に対して ADHD 児群における P3 振幅値が有意に低下することを報告している。SST-P3 には dACC の活動が関連することが指摘されており (Enriquez-Geppert, Konrad, Pantev & Huster, 2010) , ADHD 児群では dACC の機能不全も指摘されている (Pliszka, Glahn, Semrud-Clikeman, Franklin, Perez, Xiong & Liotti, 2006) 。本研究における P3 振幅値の結果は、これらの先行研究を支持するものであるとともに、クルマ刺激条件における刺激弁別度の影響がより顕著に現れた結果と示唆された。

GFP ピーク値や潜時値について、先述したように、GFP は注意の処理資源の配分を反映しているとされ (Sallard et al., 2014) , P3 は、呈示刺激のモニタリング機能を反映する成分 (Banaschewski et al., 2007) とされる。また、P3 潜時値は、刺激の評定時間の指標 (Wessel & Aron, 2015) とされ、弁別の難易度が高いほど、P3 潜時値は延長することも報告されている (恵羅, 2005) 。これらのことから、行動成績や N2 の結果と同様に呈示された刺激に対する注意処理資源の配分量やモニタリングのしやすさには刺激特性の違い、とりわけ弁別難易度が影響することが示唆された。また、行動成績の RT から示唆されたように呈示刺激の影響、とりわけ刺激の弁別難易度が刺激処理やモニタリング速度に及ぼす影響は、TD 児群に対して ADHD 児群で相対的に大きいことが示唆された。

TD 成人を ADHD 傾向の高低で群分けを行った研究 3 における SST-P3 潜時値においては、傾向低群に対して傾向高群における Pz 導出の SST-P3 潜時値が、刺激条件にかかわらず短縮し、反応制御過程でプライミング効果が生じた可能性が示唆された。一方、本研究では、そのような潜時値の短縮はみられず、小児における Stop 刺激の弁別は Go 刺激と同様に、弁別難易度に依存する部分が大きいことが示唆された。

第4章 定型発達成人における ADHD 傾向の高低からみた Go 刺激と Stop 刺激の関連性に関する検討（研究5）

第1節 方法

1. 対象者

研究2と同様の対象者について、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 et al., 1999；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）を求めた。本研究における対象者全体の平均 T 得点は 52.1 ± 12.8 点（最低37点，最高83点）であった。対象者の平均 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（13名；男性9名）の T 得点は 64.3 ± 9.6 点，傾向低群（17名；男性13名）の T 得点は 42.7 ± 4.1 点であった。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（ $p < .001$ ）。研究への同意手続きは研究2に準じた。

2. 課題と実施手続き

研究2に準じた。

3. 脳波記録

研究1に準じた。

4. 分析

4-1) 行動成績

研究1に準じた。

4-2) 脳波

研究1に準じた。

4-3) 統計処理

行動成績および GFP 潜時値，ピーク値については，2（群） \times 2（プライミングの有無）の2要因分散分析を行った。ERPについても同様に，分析部位（Fz, Cz, Pz）ごとに2

(群) × 2 (プライミングの有無) の 2 要因分散分析を行った。なお、車刺激条件、飛行機刺激条件、電車刺激条件はまとめて分析を行った。分析には、SPSS v.24.0 を用いた。

第2節 結果

1. 行動成績

1-1. Go 刺激に対する RT

Stop-signal 課題遂行時の Go 刺激条件間およびプライミング条件間における RT を Fig.3.4.2.1 に示した。2 要因分散分析の結果、群の主効果、プライミングの主効果、交互作用ともに有意差は認められなかった。

1-2. RT-SD

Stop-signal 課題遂行時の Go 刺激条件間およびプライミング条件間における RT-SD を Fig.3.4.2.2 に示した。2 要因分散分析の結果、群の主効果、プライミングの主効果、交互作用ともに有意差は認められなかった。

1-3. 左右エラー率

Stop-signal 課題遂行時の Go 刺激条件間およびプライミング条件間における左右エラー率を Fig.3.4.2.3 に示した。2 要因分散分析の結果、プライミングの主効果 ($F(1,28)=5.621, p<.05$) が有意であり、群にかかわらず、Not-priming 試行に対して Priming 試行における左右エラー率が有意に上昇した。

1-4. 見逃し率

Stop-signal 課題遂行時の Go 刺激条件間およびプライミング条件間における見逃し率を Fig.3.4.2.4 に示した。2 要因分散分析の結果、群の主効果、プライミングの主効果、交互作用ともに有意差は認められなかった。

1-5. 抑制率

各 Stop 刺激条件における抑制率を Fig.3.4.2.5 に示した。2 要因分散分析の結果、群の主効果、プライミングの主効果、交互作用ともに有意差は認められなかった。

1-6. SSRT

各 Stop 刺激条件における SSRT を Fig.3.4.2.6 に示した。2 要因分散分析の結果、群の主効果、プライミングの主効果、交互作用ともに有意差は認められなかった。

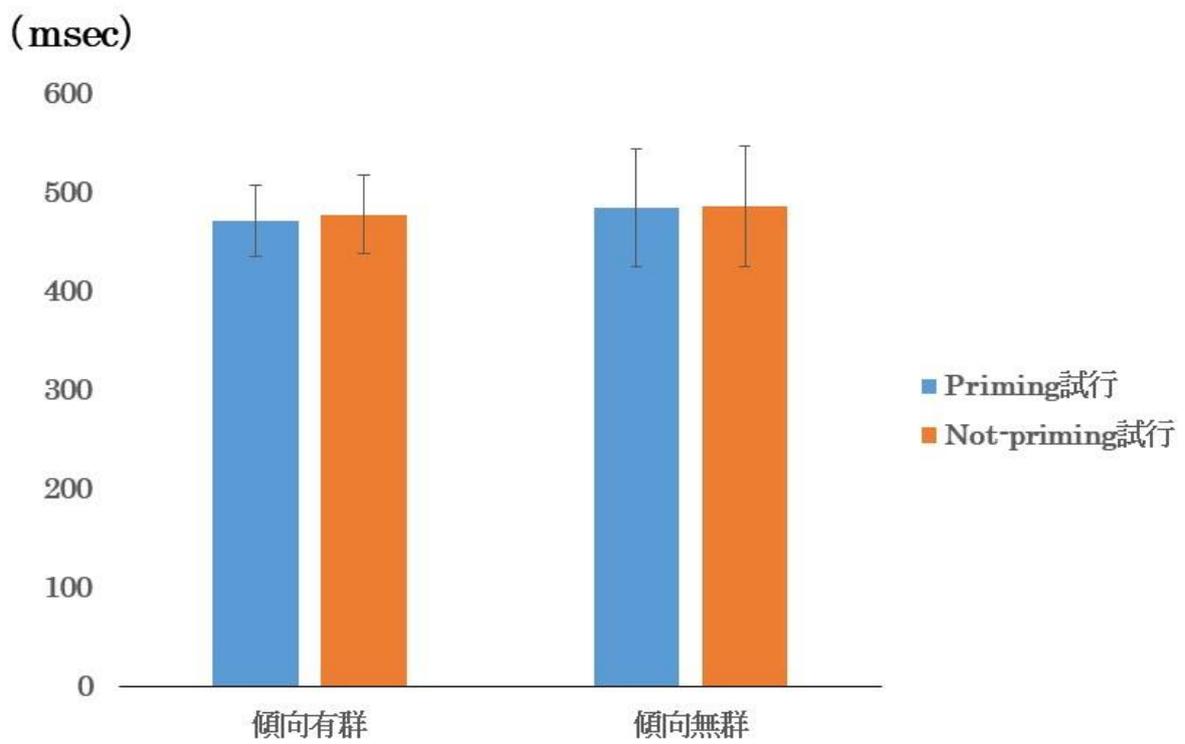


Fig. 3.4.2.1 各群および各プライミング試行における平均反応時間
(エラーバーは1標準偏差を示す)

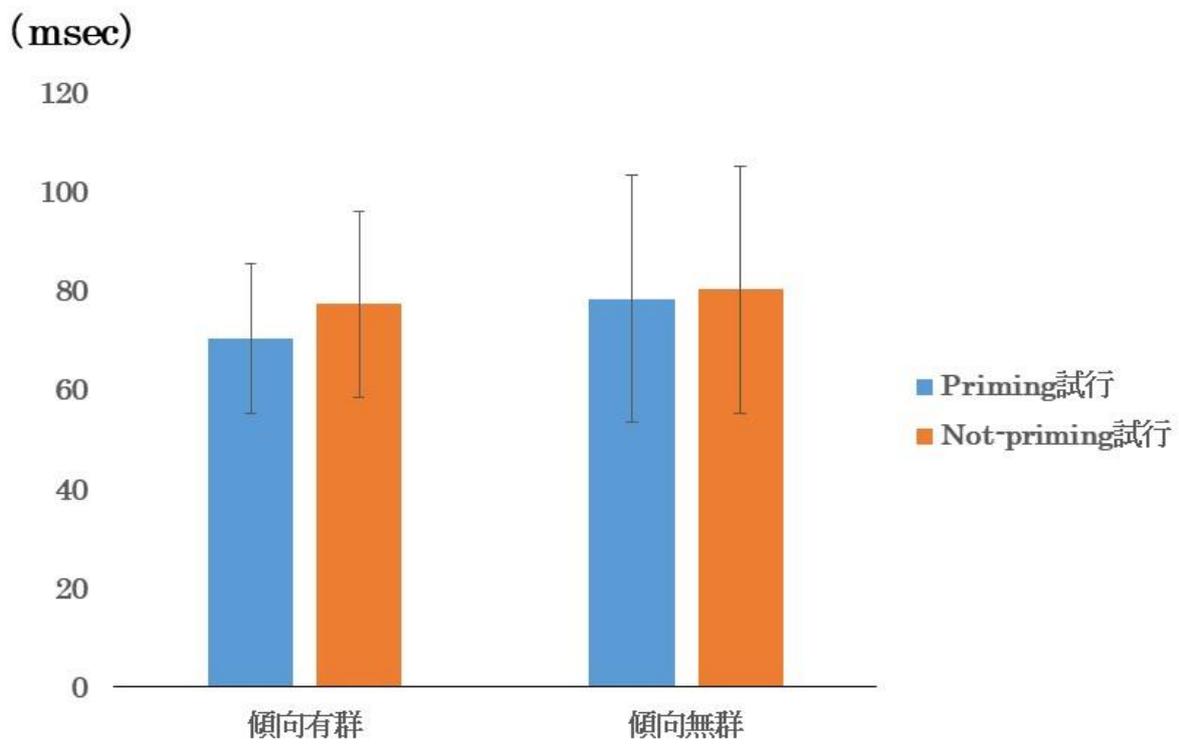


Fig. 3.4.2.2 各群および各プライミング試行における反応時間の標準偏差
(エラーバーは1標準偏差を示す)

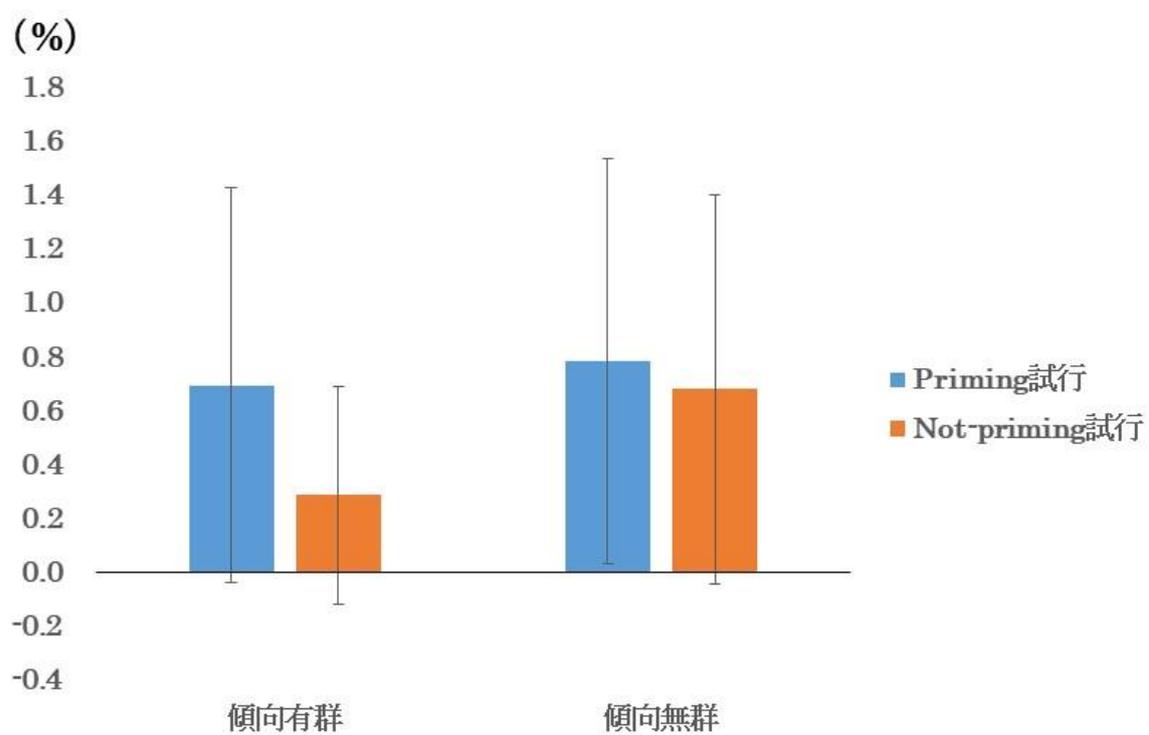


Fig. 3.4.2.3 各群および各プライミング試行における左右エラー率
(エラーバーは1標準偏差を示す)

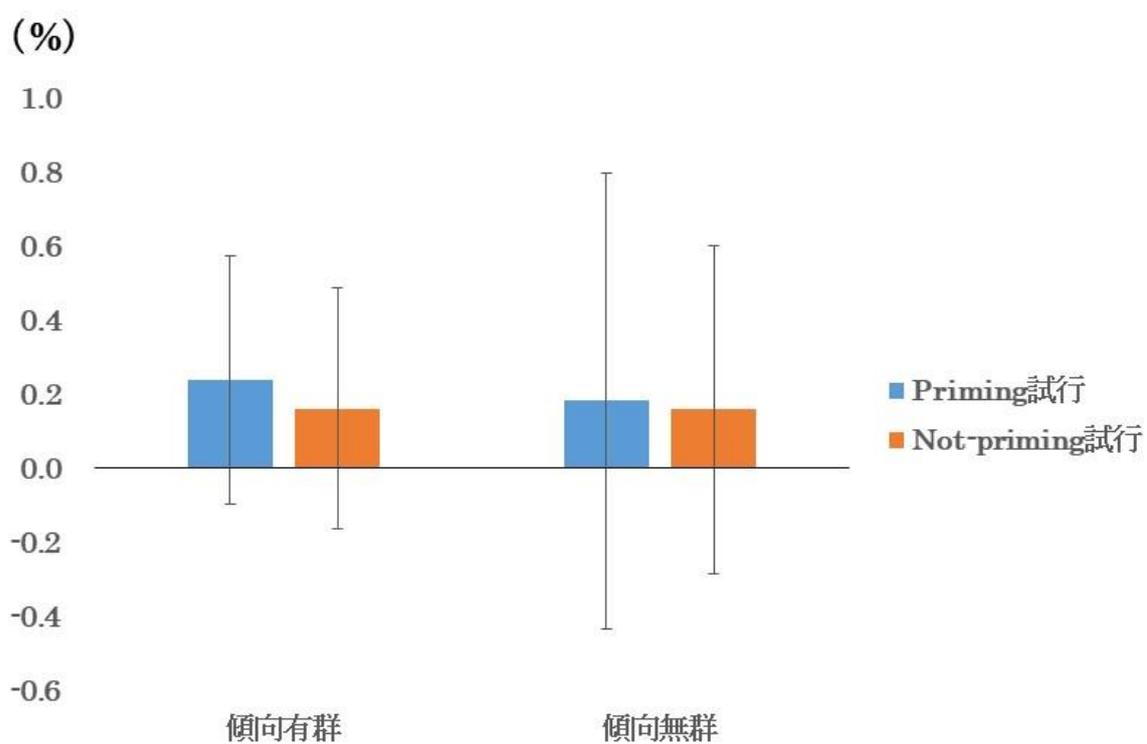


Fig. 3.4.2.4 各群および各プライミング試行における見逃し率
(エラーバーは1標準偏差を示す)

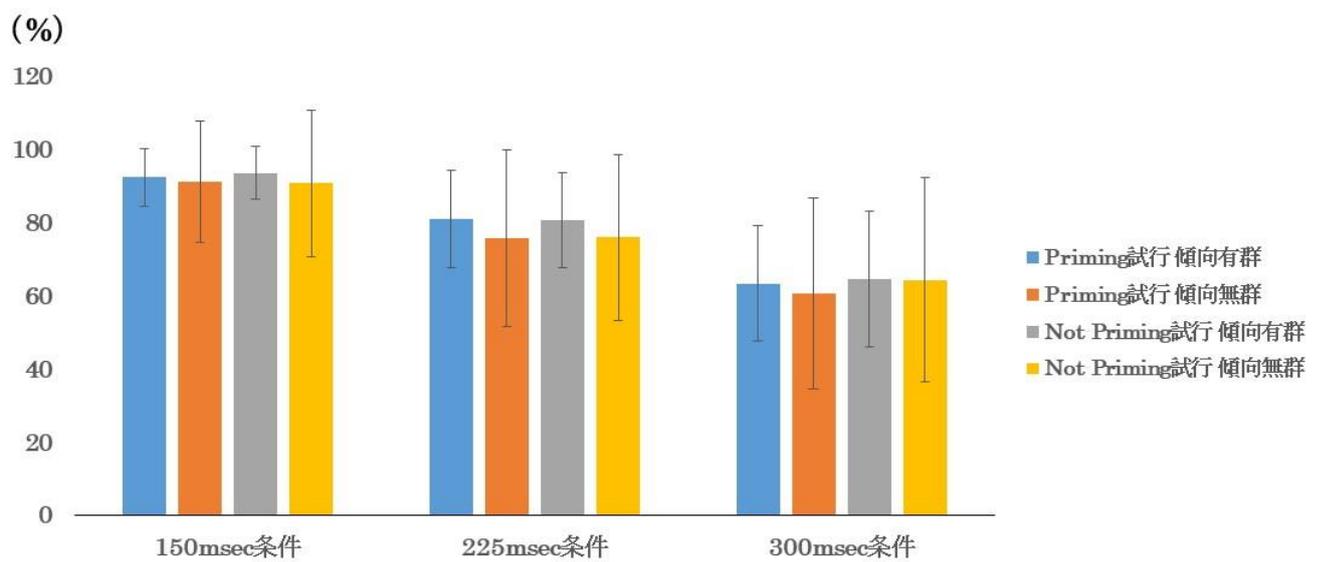


Fig. 3.4.2.5 各群および各プライミング試行におけるStop刺激呈示条件ごとの抑制率 (エラーバーは1標準偏差を示す)

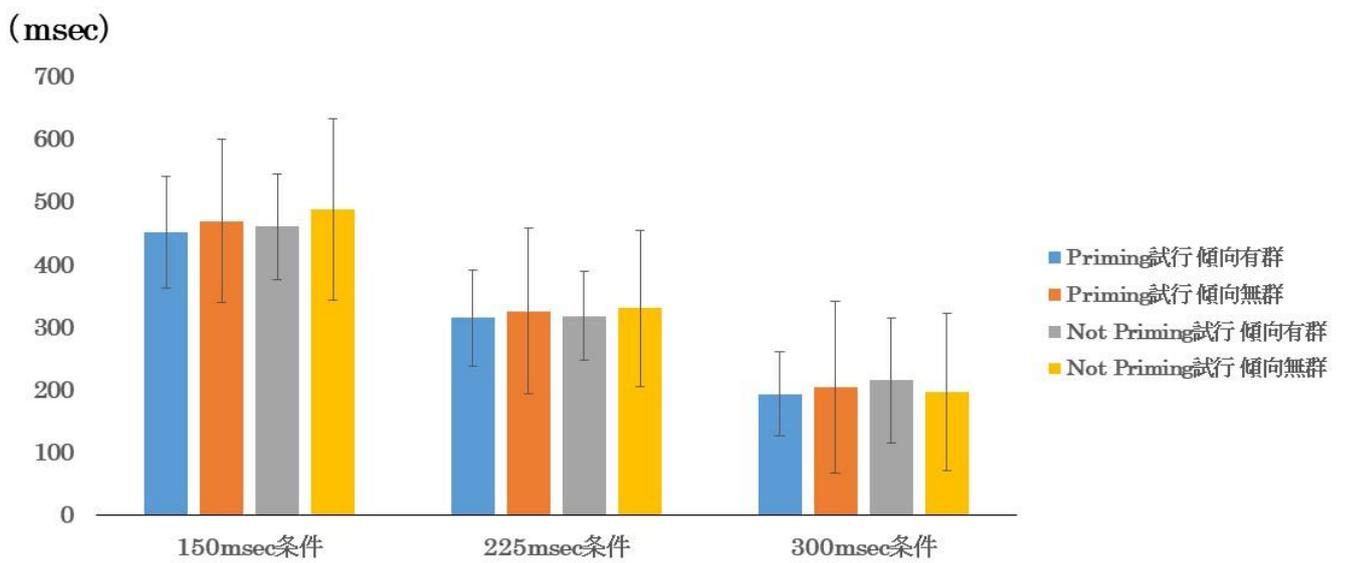


Fig. 3.4.2.6 各群および各プライミング試行におけるStop刺激呈示条件ごとのSSRT (エラーバーは1標準偏差を示す)

2. ERP

2.1. Go 試行における ERP 成分動態

Fig.3.4.2.7 に Go 刺激呈示時を起点とした正中 3 部位の総加算平均波形および GFP 曲線を, Fig.3.4.2.8 に Go 刺激呈示後 200msec から 500msec における頭皮上電位分布図を示した。Go 刺激の呈示によって N2, P3 と考えられる成分の出現が確認された

(Fig.3.4.2.7 の矢印付近)。有効加算回数は平均 160 回であった。

Fig.3.4.2.9 に正中 3 部位から導出された平均 Go-N2 振幅値および潜時値を示した。N2 の出現潜時とした, Go 刺激呈示後 175msec から 225msec までの GFP ピーク値および潜時値, 正中 3 部位から導出された Go-N2 振幅値および潜時値について, 分散分析を行った結果, 群の主効果, プライミングの主効果, 交互作用ともに有意差は認められなかった。

Fig.3.4.2.10 に正中 3 部位から導出された Go-P3 振幅値および潜時値を示した。P3 の出現潜時とした Go 刺激呈示後 230msec から 400msec までの GFP ピーク値および潜時値, 正中 3 部位から導出された Go-P3 振幅値および潜時値について, 分散分析を行った結果, 群の主効果, プライミングの主効果, 交互作用ともに有意差は認められなかった。

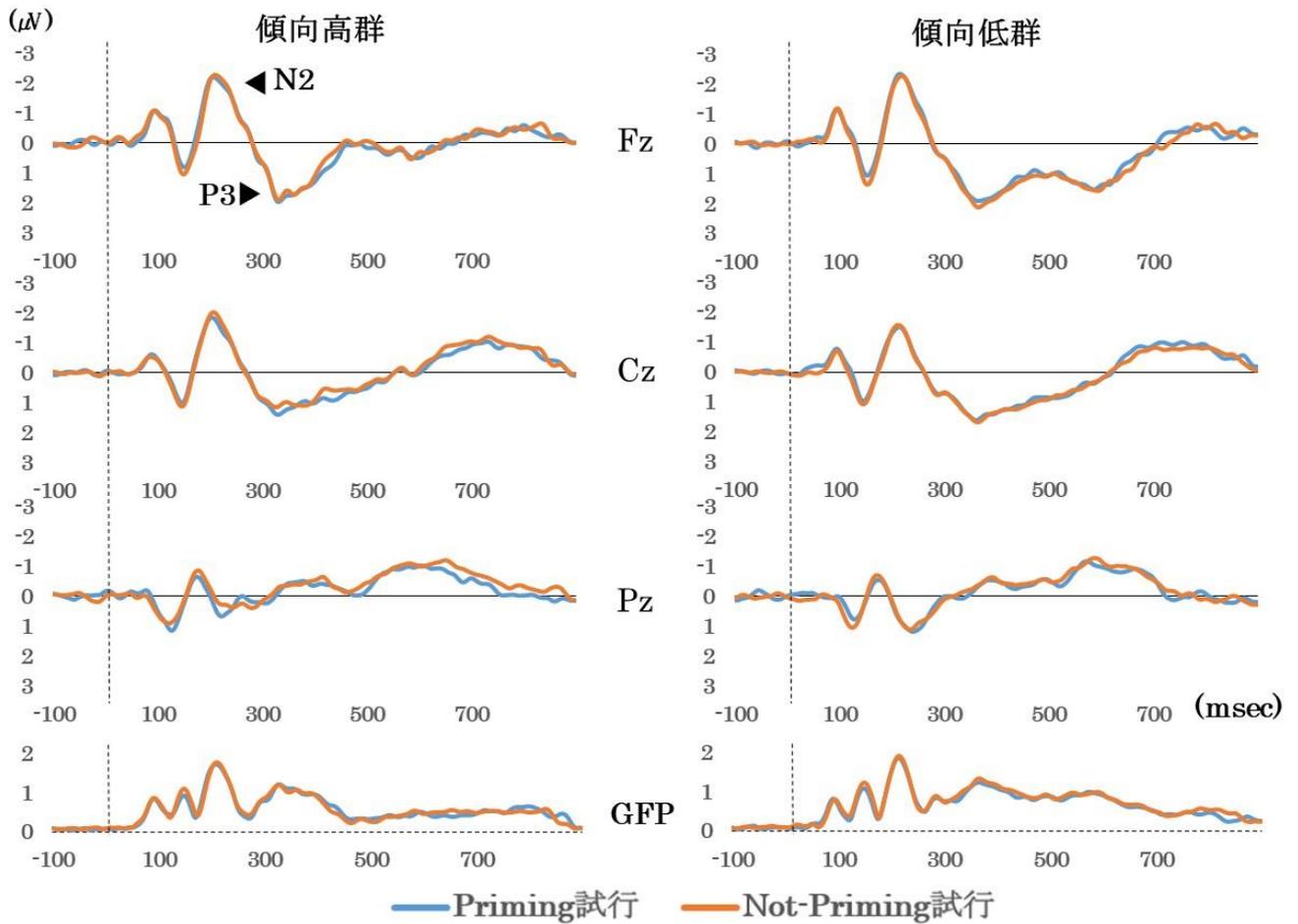


Fig. 3.4.2.7 各群および各プライミング試行におけるGo刺激呈示時を起点とした各部位における総加算平均波形およびGFP曲線

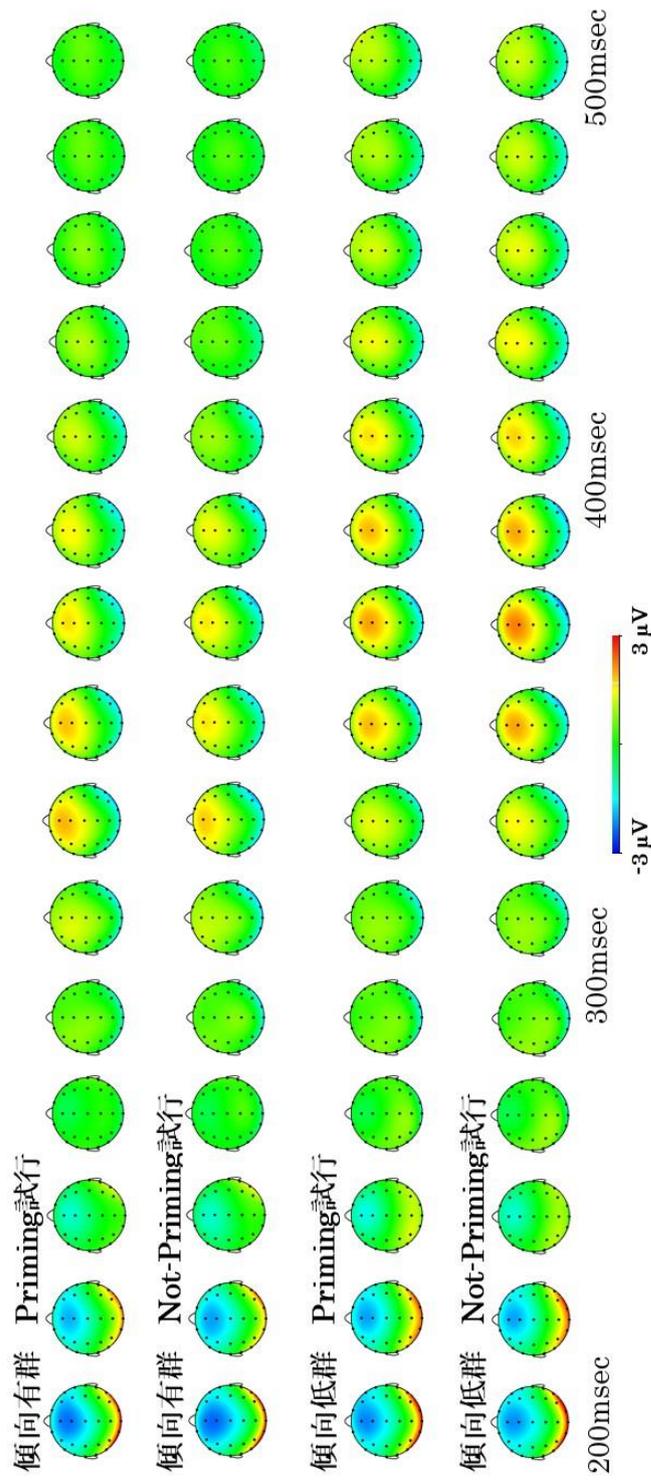


Fig. 3.4.2.8 Go刺激呈示後200msecから500msecにおける20msecごとの各群および各刺激条件における頭皮上電位分布図

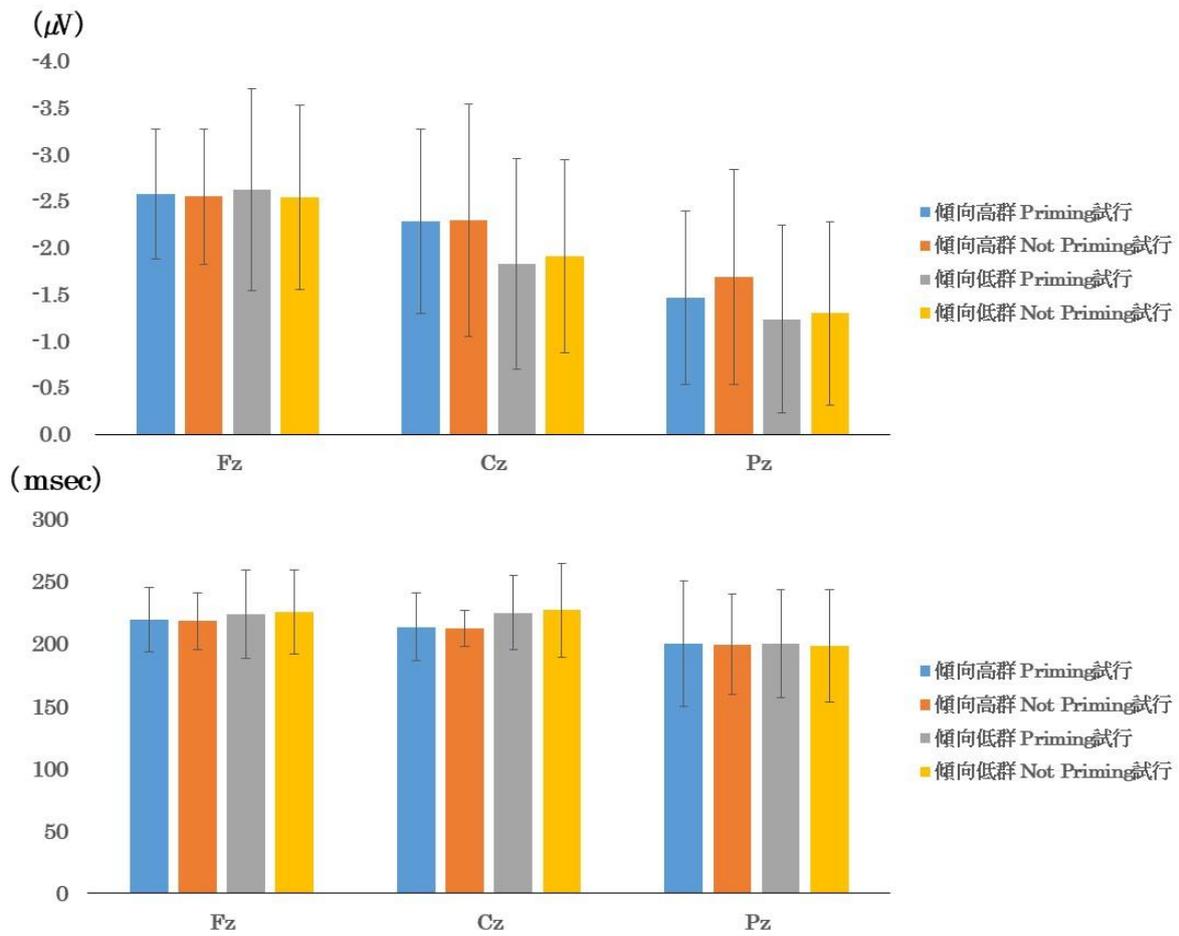


Fig. 3.4.2.9 正中3部位から導出した各群および各プライミング試行におけるGo-N2振幅値(上)と潜時値(下)
(エラーバーは1標準偏差を示す)

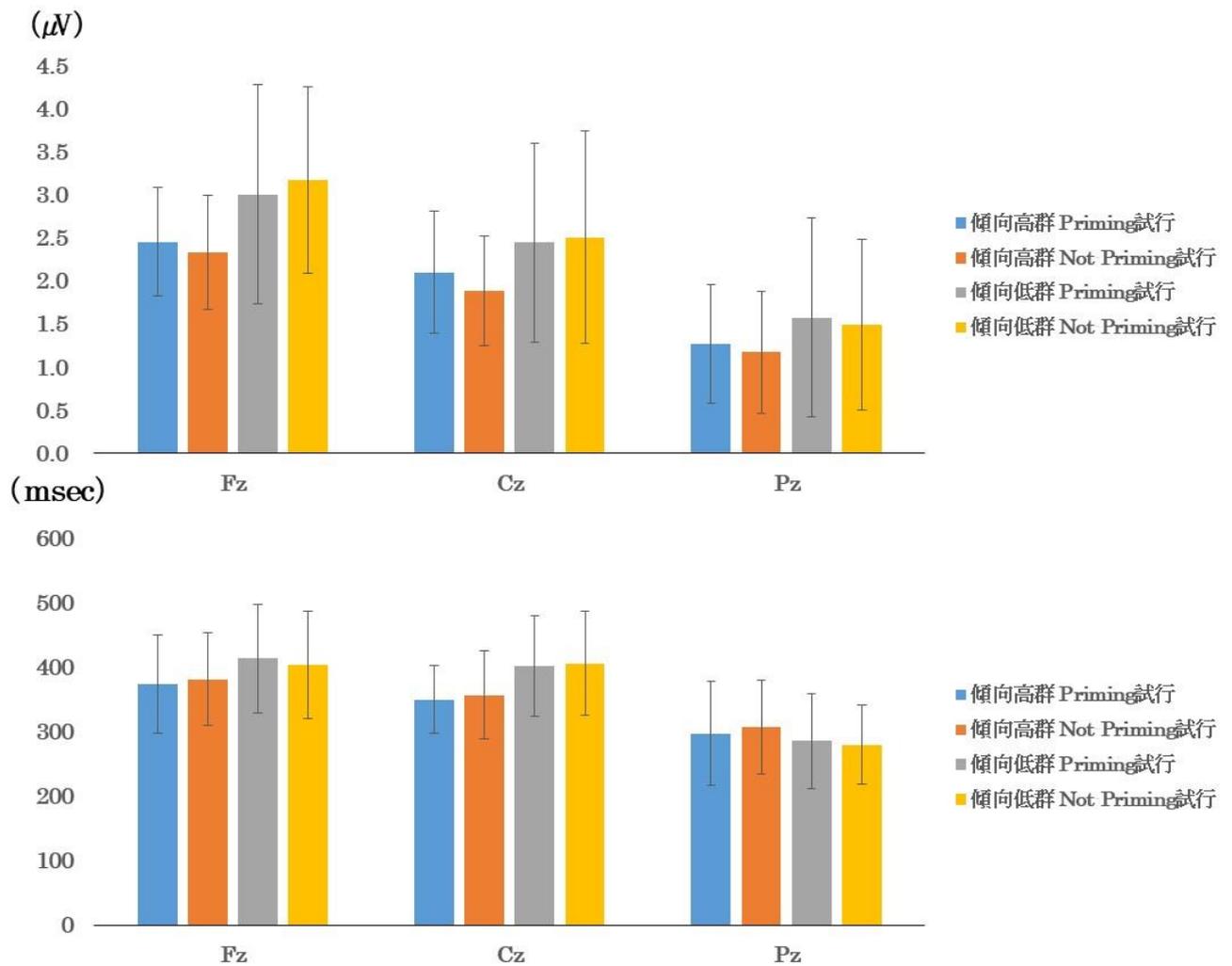


Fig. 3.4.2.10 正中3部位から導出した各群および各プライミング試行におけるGo-P3振幅値(上)と潜時値(下)
(エラーバーは1標準偏差を示す)

2.2. Stop 試行における ERP 成分動態

Fig.3.4.2.11 に Stop 刺激呈示時を起点とした 225msec 条件における正中 3 部位の総加算平均波形および GFP 曲線を, Fig.3.4.2.12 に Stop 刺激呈示後 200msec から 500msec における SST の頭皮上電位分布図 (225msec 刺激条件) を示した。Stop 刺激の呈示によって N2, P3 と考えられる成分の出現が確認された (Fig.3.4.2.11 の矢印付近)。

2.2.1. N2 成分

Fig.3.4.2.13 に 225msec 条件における正中 3 部位から導出した SST の各群および各プライミング試行の平均 N2 振幅値および潜時値を, Fig.3.4.2.14 に 300msec 条件における平均 N2 振幅値および潜時値をそれぞれ示した。N2 の出現潜時とした, Stop 刺激呈示後 175msec から 225msec までの GFP ピーク値および潜時値について, 分散分析を行った結果, SST の 225msec 条件における GFP 潜時値について, プライミングの主効果

($F(1,28)=9.305, p<.01$) が認められ, 群にかかわらず, Not-priming 試行に対して Priming 試行における GFP 潜時値が有意に短縮した。また, SST の 225msec 条件における GFP 潜時値について, 群とプライミングの交互作用 ($F(1,28)=9.755, p<.01$) が有意であった。刺激条件における群の単純主効果については, 傾向高群において有意 (傾向高群: $F(1,28) = 16.82, p<.001$, 傾向低群: $F(1,28) = 0.00, n.s.$) であり, 刺激条件にかかわらず, 傾向低群に対して傾向高群における GFP 潜時値が有意に延長した。群における刺激条件の単純主効果については有意差が認められなかった (Priming 試行: $F(1,28) = 2.23, n.s.$, Not-priming 試行: $F(1,28) = 2.60, n.s.$)。

さらに, SST の 300msec 条件における GFP ピーク値について, 群とプライミングの交互作用 ($F(1,27)=4.729, p<.05$) が有意であった。刺激条件における群の単純主効果については, 傾向低群において有意 (傾向高群: $F(1,27) = 0.77, n.s.$, 傾向低群: $F(1,27) = 5.17, p<.05$) であり, プライミングの有無にかかわらず, 傾向高群に対して傾向低群における GFP ピーク値が有意に上昇した。群における刺激条件の単純主効果については Not-priming 試行において有意 (Priming 試行: $F(1,27) = 0.97, n.s.$, Not-priming 試行: $F(1,27) = 5.39, p<.05$) であり, 傾向高群では, Not-priming 試行に対して Priming 試行において GFP ピーク値が上昇し, 傾向低群では, Priming 試行に対して Not-priming 試行において GFP ピーク値が上昇した。

正中 3 部位から導出された SST の 225msec 条件における N2 振幅値および潜時値について, 分散分析を行った結果, Pz 導出の N2 振幅値 ($F(1,28)=5.969, p<.05$) についてプ

ライミングの主効果が認められた。群にかかわらず、Priming 試行に対して Not-priming 試行における N2 振幅値が増大した。

正中 3 部位から導出された SST の 300msec 条件における N2 振幅値および潜時値について、分散分析を行った結果、Cz 導出 ($F(1,27)=9.196, p<.01$) , Pz 導出 ($F(1,27)=5.241, p<.05$) の N2 振幅値について、プライミングの主効果が有意であった。群にかかわらず、Priming 試行に対して Not-priming 試行における N2 振幅値が増大した。

2.2.2. P3 成分

正中 3 部位から導出した SST の各群および各プライミング試行における Stop 刺激条件ごとの平均 P3 振幅値および潜時値 (150msec 条件) を Fig.3.4.2.15 に、平均 P3 振幅値および潜時値 (225msec 条件) を Fig.3.4.2.16 に示した。P3 の出現潜時とした Stop 刺激呈示後 230msec から 400msec までの GFP ピーク値および潜時値、正中 3 部位から導出された P3 振幅値および潜時値について、分散分析を行った結果、SST の 150msec 条件 ($F(1,28)=9.099, p<.01$) および 225msec 条件 ($F(1,28)=5.943, p<.05$) における GFP ピーク値について、プライミングの主効果が認められた。群にかかわらず、Priming 試行に対して Not-priming 試行における GFP ピーク値が増大した。

正中 3 部位から導出された SST の 225msec 条件における P3 振幅値および潜時値について、分散分析を行った結果、Fz 導出の P3 振幅値について、プライミングの主効果 ($F(1,28)=4.480, p<.05$) が有意であり、群にかかわらず、Priming 試行に対して Not-priming 試行における P3 振幅値が増大した。

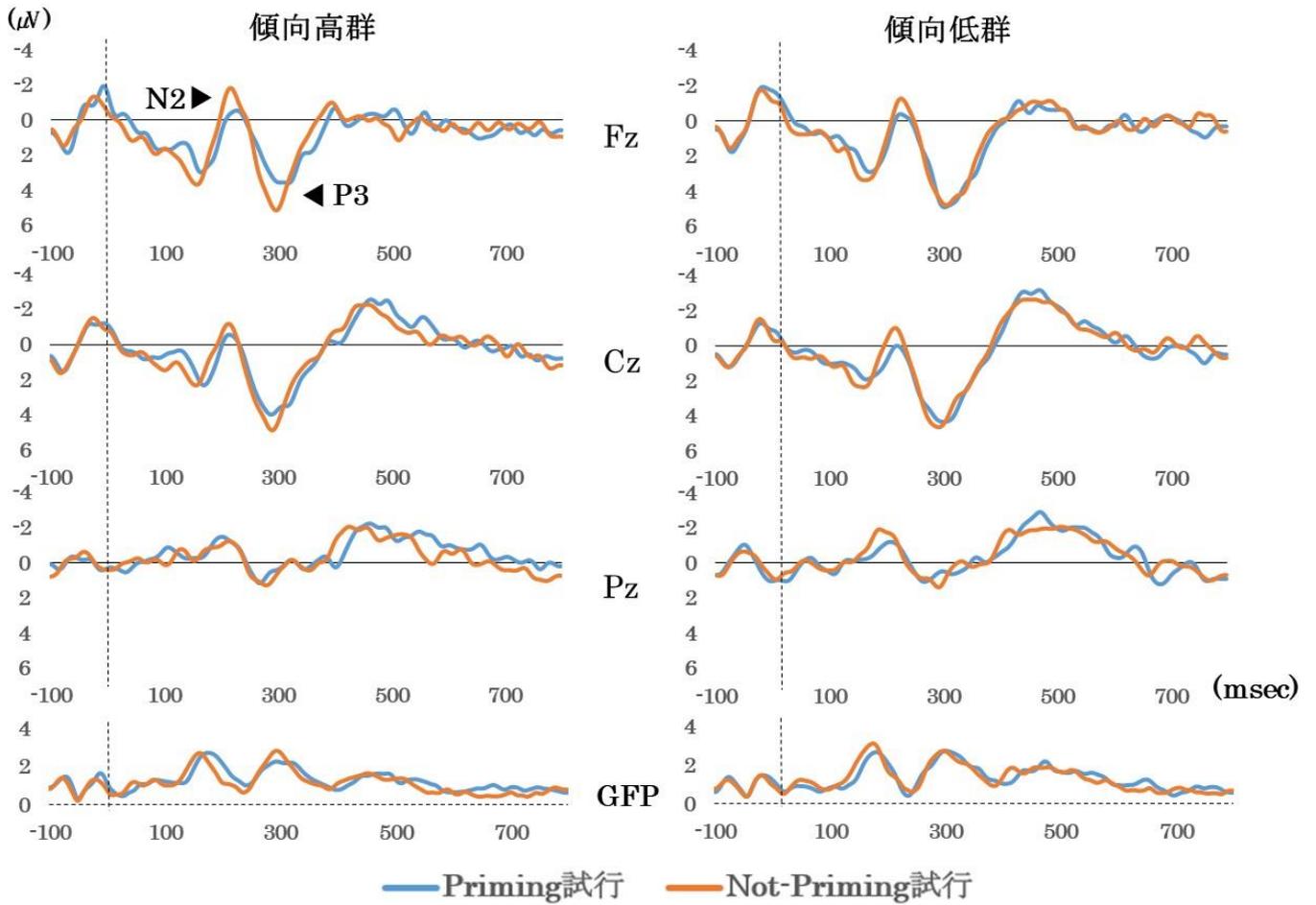


Fig. 3.4.2.11 各群および各プライミング試行におけるStop刺激呈示時を起点とした各部位における総加算平均波形およびGFP曲線 (225msec条件)

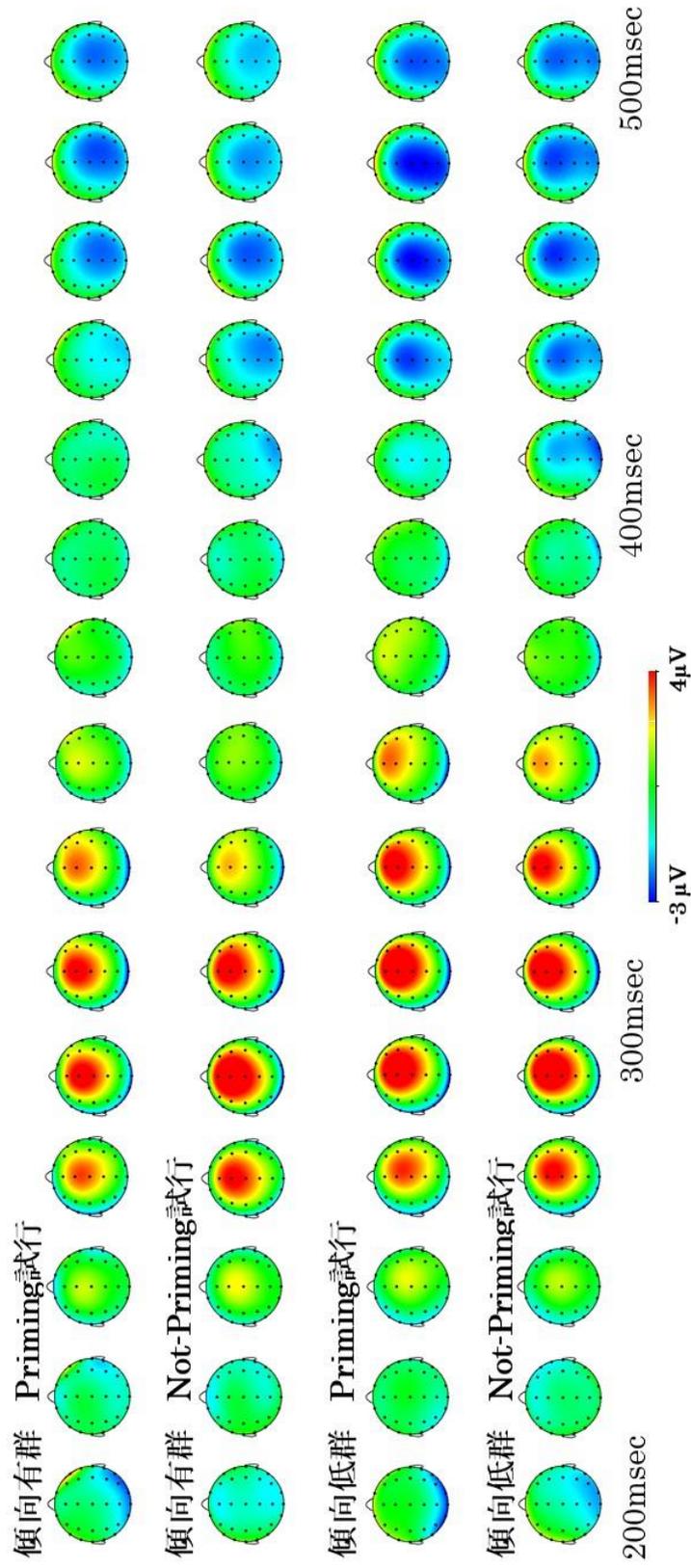


Fig. 3.4.2.12 Stop刺激呈示後200msecから500msecにおける20msecごとの各群および各刺激条件における頭皮上電位分布図 (225msec条件)

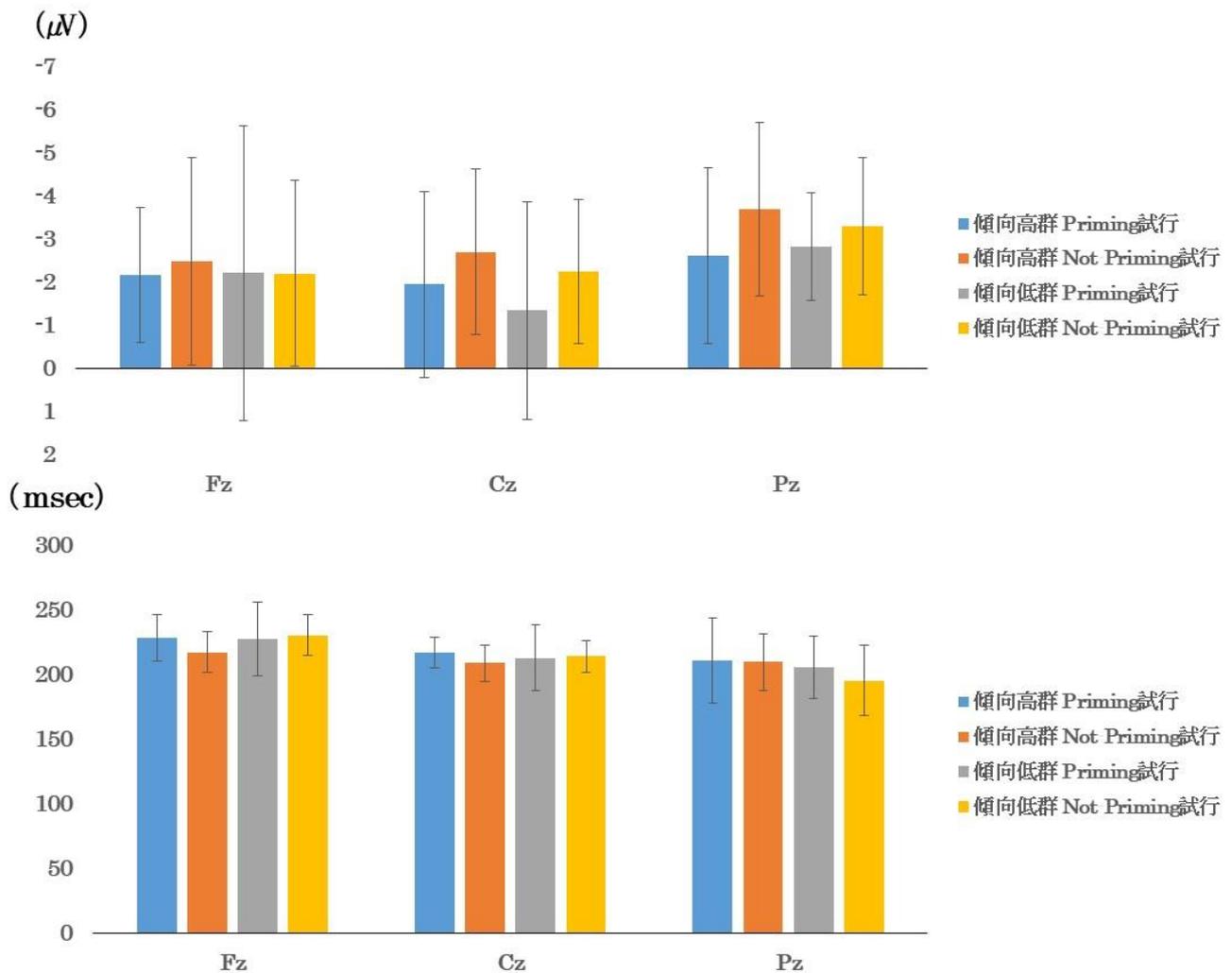


Fig. 3.4.2.13 正中3部位から導出した各群および各プライミング試行における SST-N2振幅値(上)と潜時値(下)(225msec条件)
(エラーバーは1標準偏差を示す)

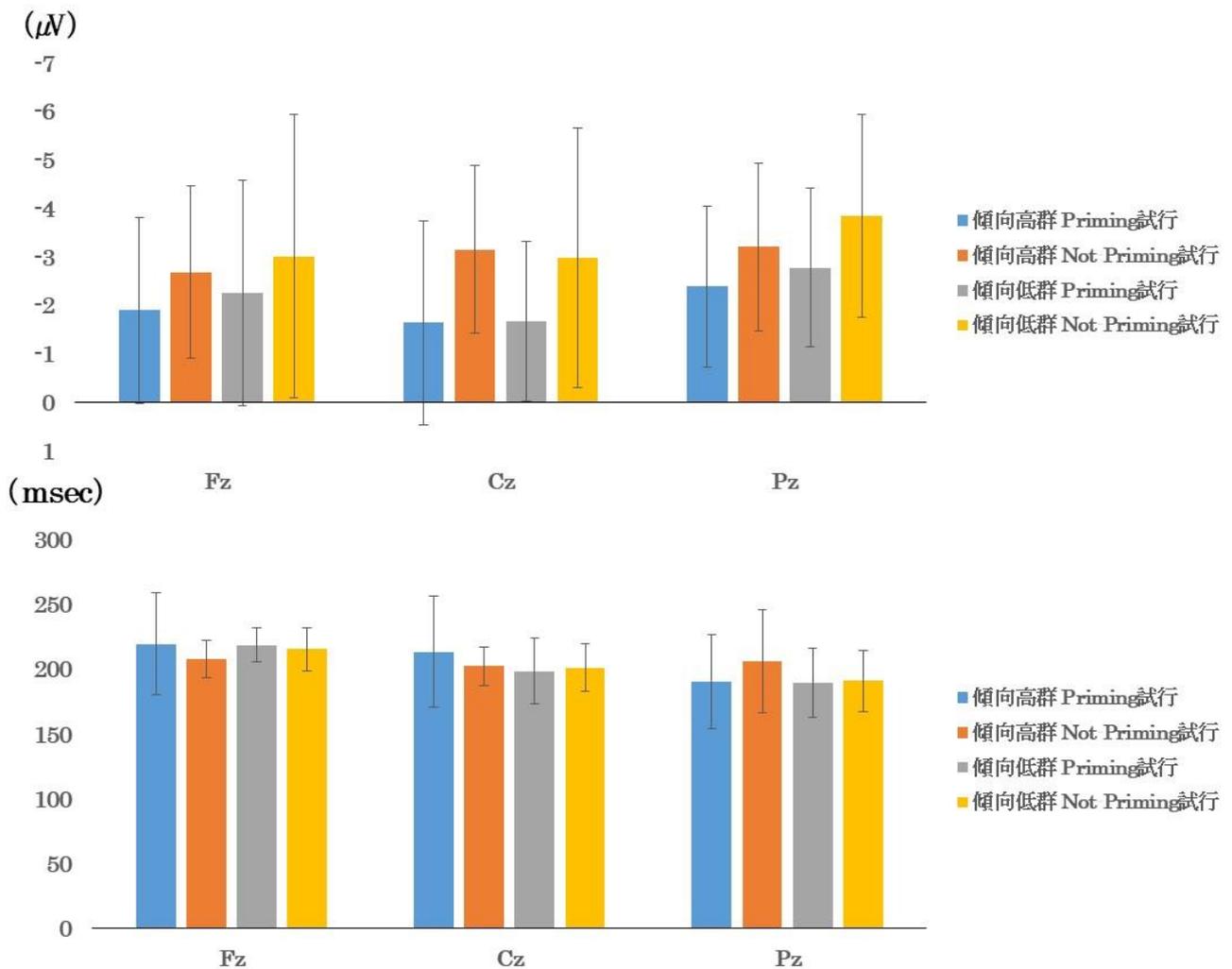


Fig. 3.4.2.14 正中3部位から導出した各群および各プライミング試行における SST-N2振幅値(上)と潜時値(下)(300msec条件)
(エラーバーは1標準偏差を示す)

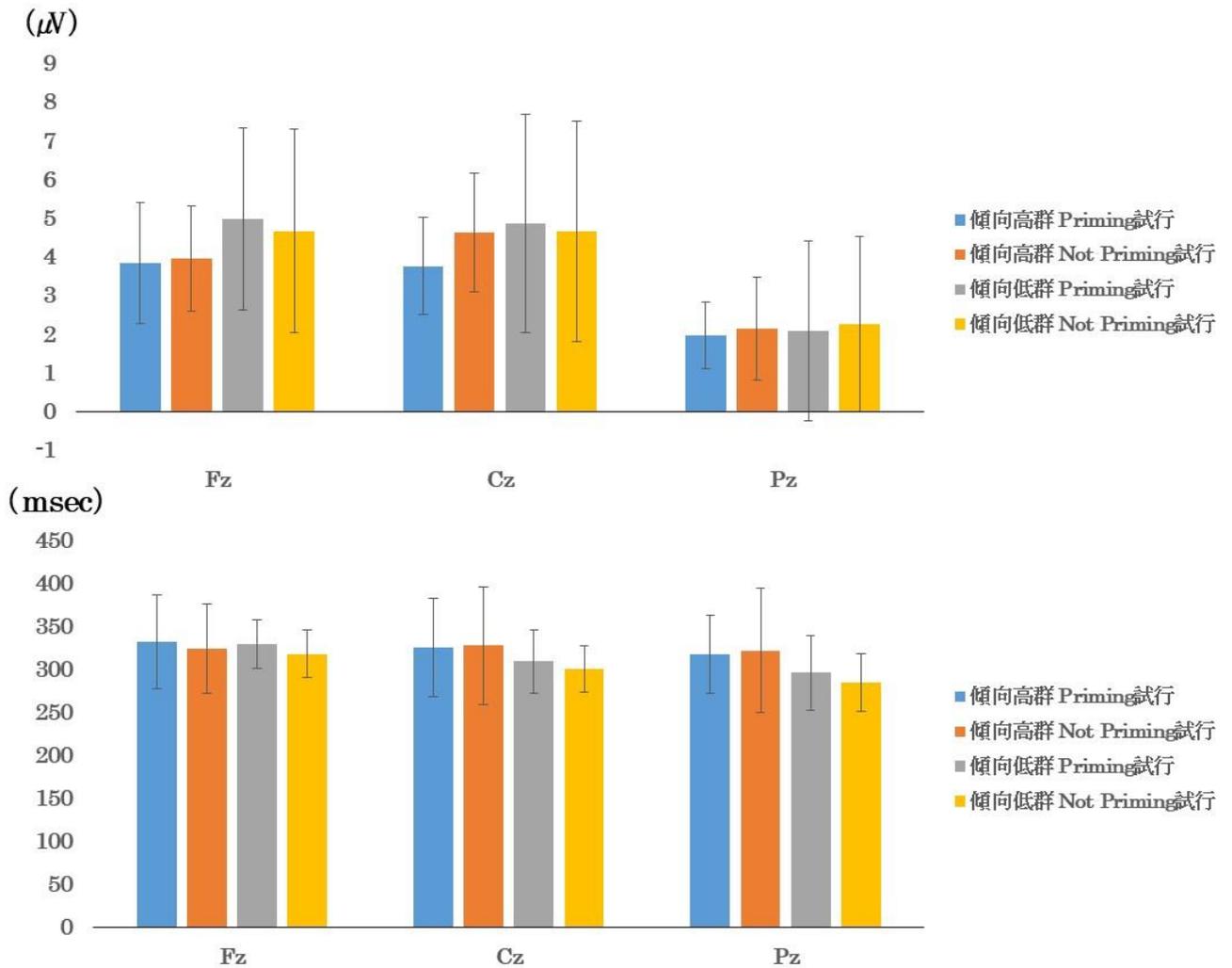


Fig. 3.4.2.15 正中3部位から導出した各群および各プライミング試行における SST-P3振幅値(上)と潜時値(下)(150msec条件)
(エラーバーは1標準偏差を示す)

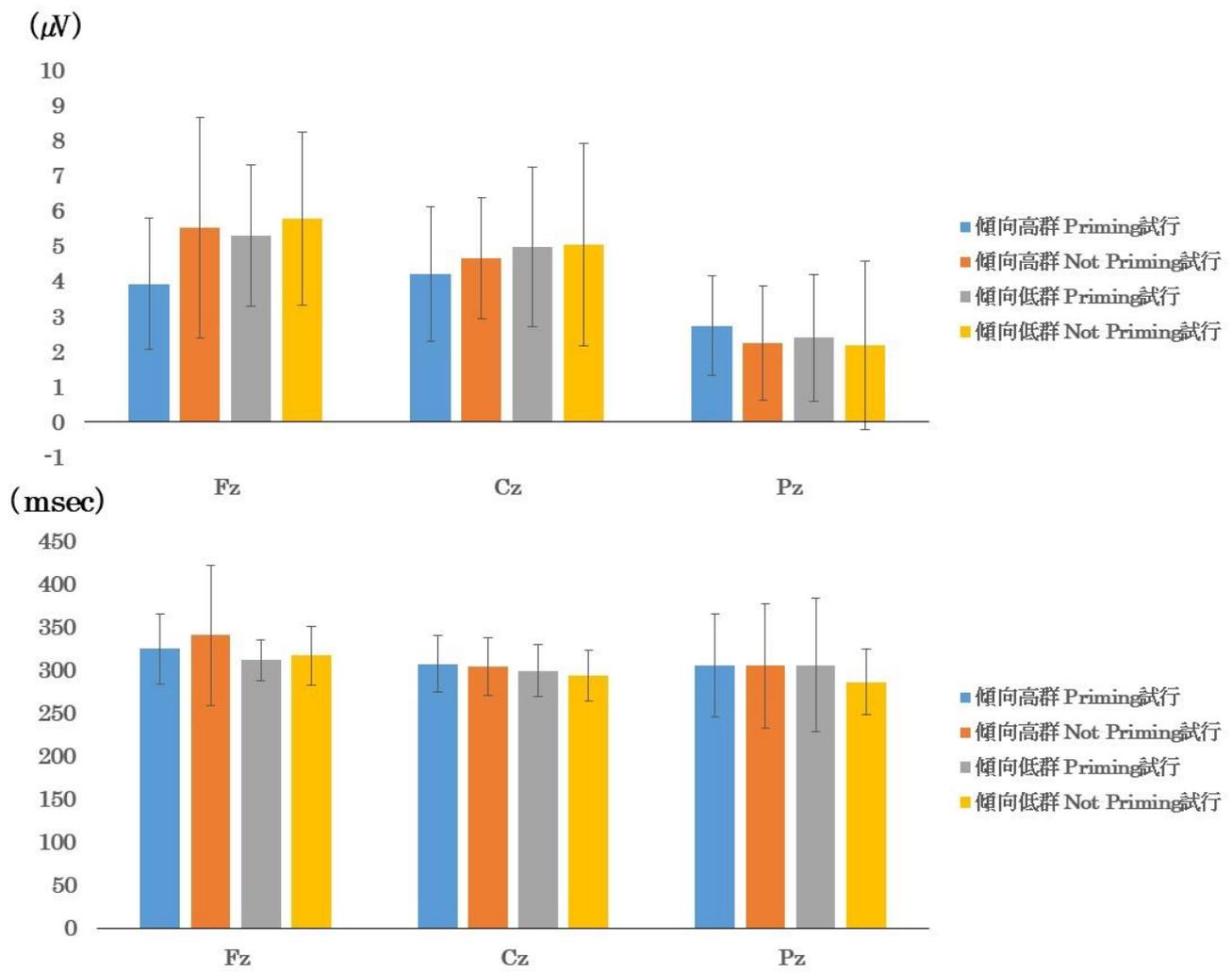


Fig. 3.4.2.16 正中3部位から導出した各群および各プライミング試行における SST-P3振幅値(上)と潜時値(下) (225msec条件)
(エラーバーは1標準偏差を示す)

第3節 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、Stop-signal 課題における Go 刺激として用いる刺激種（車刺激条件、飛行機刺激条件、電車刺激条件）および Go 刺激と Stop 刺激の組み合わせの違いが、反応制御過程に及ぼす影響について行動成績と課題遂行時の ERP から検討した。

1. Go 刺激と Stop 刺激の関連性が行動成績に及ぼす影響

左右エラー率についてのみ、プライミングの主効果が認められ、群にかかわらず、Not-priming 試行に対して Priming 試行における左右エラー率が有意に上昇した。TD 成人を対象に予備的な検討を行った研究 2 では、同一の Go 刺激であっても、その刺激の後に異なる Stop 刺激が呈示されることによって、Go 刺激処理の正確性に影響を及ぼす可能性が示唆された。また、抑制率（225msec 条件）における刺激条件とプライミングの交互作用もみられ、RT には有意な差としては表れていないものの、対象者が弁別難易度の高い Go 刺激に対してできる限り早く反応をしようと試みていた結果として、その後の Stop 刺激への反応抑制が困難となった可能性が示唆された。さらに、Stop-signal 課題における RT とその前後の試行との関係性について、発達的な観点から検討を行った Dupuis et al.

(2019) は、ある試行のパフォーマンスは直前あるいは直後の試行の影響を受けて経時的に変化しうることを指摘している。これらのことから、本研究では、RT や抑制率などの他の行動指標には有意な差としては表出していないものの、Go 刺激と Stop 刺激は経時的な関連があること、同一の Go 刺激であっても Stop 刺激の弁別難易度の違いによって Go 刺激の左右エラー率が上昇することが示唆された。その一方で、衝動性や不注意といった ADHD 症状と刺激の弁別難易度や経時的影響には関連がみられないことも示唆された。

2. ERP からみた Go 刺激と Stop 刺激の関連性の反応制御への影響

SST の 225msec 条件における GFP 潜時値について、プライミングの主効果がみられ、群にかかわらず、Not-priming 試行に対して Priming 試行における GFP 潜時値が有意に短縮した。その結果を受けて、同条件における Pz 導出の N2 振幅値では、プライミングの主効果が認められ、群にかかわらず、Priming 試行に対して Not-priming 試行における N2 振幅値が増大した。

TD 成人を対象に予備的な検討を行った研究 2 では、Cz および Pz 導出の N2 振幅値について、プライミングの主効果が認められ、Priming 試行に対して、Not-Priming 試行における SST-N2 振幅値が有意に増大した。本研究の結果は、研究 2 の結果を追認するものとなり、意味的関連性のある Priming 試行よりもシンプルなバツ印を呈示した Not-Priming 試行の方が相対的に弁別難易度が低いこと、呈示刺激の違いは刺激処理、とりわけ知覚処理に影響を及ぼし、視覚刺激処理を担うとされる頭頂 - 後頭領域における SST-N2 振幅値に有意差が認められることが示唆された。その一方で、GFP 潜時値については、異なる結果となった。研究 2 では、Not-priming 試行に対して、Priming 試行における GFP 潜時値が有意に延長したのに対して、本研究では、Not-priming 試行に対して Priming 試行における GFP 潜時値が有意に短縮した。また、プライミングの主効果に加えて、群とプライミングの交互作用がみられ、刺激条件にかかわらず、傾向低群に対して傾向高群における GFP 潜時値が有意に延長した。研究間の相違として、研究 2 では、Go 刺激の弁別難易度の影響が経時的に Stop 刺激の反応抑制に影響を及ぼした結果と考えられた。その一方で、本研究では、TD 成人を対象としていることもあり、行動成績には有意な差として表出しないまでも ADHD 傾向の高低による Stop 刺激への処理資源の配分量の違いが、GFP 潜時値の差として表れた可能性が示唆された。

SST の 300msec 条件における GFP ピーク値では、群とプライミングの交互作用がみられ、プライミングの有無にかかわらず、傾向高群に対して傾向低群における GFP ピーク値が有意に上昇した。また、傾向低群では、Not-priming 試行に対して Priming 試行において GFP ピーク値が上昇し、傾向低群では、Priming 試行に対して Not-priming 試行において GFP ピーク値が上昇した。その結果を受けて、同条件における Cz および Pz 導出の N2 振幅値では、プライミングの主効果が認められ、群にかかわらず、Priming 試行に対して Not-priming 試行における N2 振幅値が増大した。

ADHD 児・者の反応抑制の特徴として、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 et al., 2018; van Rooij et al., 2015)。頭頂領域は、視覚刺激を知覚的に処理する役割を担う領域であるとともに、小児を対象とした研究 4 においては、行動成績には有意な差としては表出しないまでも、呈示された刺激に対する注意処理資源の配分量には群間差があることが示唆された。また、300msec 条件は、225msec 条件と比較して、Go 刺激と Stop 刺激のインターバルが大きく、反応抑制が比較的難しい条件である。これ

らのことから、反応抑制が比較的難しい条件における傾向高群では、傾向低群に対して、知覚処理により多くの処理資源を配分し、反応抑制の困難さを補っている可能性が示唆された。さらに、研究 2 から示唆されたように、N2 振幅値は認識しやすい呈示刺激条件ほど振幅値が増大すること (Yeung et al., 2004) が指摘されている。このことは、本研究においても追認されたと考えられたが、群にかかわらず Cz および Pz 導出の N2 振幅値が増大していることから、ADHD 傾向との関連は示唆されなかった。

SST の 150msec 条件および 225msec 条件における GFP ピーク値について、プライミングの主効果が認められ、群にかかわらず、Priming 試行に対して Not-priming 試行における GFP ピーク値が増大した。その結果を受けて、SST の 225msec 条件における Fz 導出の P3 振幅値では、プライミングの主効果が認められ、群にかかわらず、Priming 試行に対して Not-priming 試行における P3 振幅値が増大した。

研究 2 では、同条件における GFP ピーク値について、プライミングの主効果がみられており、本研究の結果は、研究 2 の結果を追認するものとなった。このことから、意味的関連性のある Priming 試行よりもシンプルなバツ印を呈示した Not-Priming 試行の方が相対的に弁別難易度が低く、注意処理資源の配分やモニタリングが相対的にしやすい可能性が示唆された。あわせて、SST-P3 の出現潜時における GFP ピーク値は ADHD 傾向の高低とは関連がみられないことも確認された。

第5章 ADHD児におけるGo刺激とStop刺激の関連性に関する検討（研究6）

第1節 方法

1. 対象者

TD児3名（男児3名；平均年齢 12.7 ± 0.4 歳），および医療機関によりADHD混合型または混合型疑いの診断を受けたADHD児6名（男児6名；平均年齢 13.0 ± 0.6 歳）とした。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28-224）を受けた。実施前に，対象児およびその保護者に書面及び口頭で研究の内容について説明を行い，同意を得た。

2. 課題と実施手続き

研究2に準じた

3. 脳波記録

研究1に準じた。

4. 分析

4-1) 行動成績

研究1に準じた。

4-2) 脳波

研究1に準じた。

4-3) 統計処理

研究5と同様に，車刺激条件，飛行機刺激条件，電車刺激条件はまとめて分析を行った。また，本研究における例数は少ないため，記述統計のみを用いた。

第2節 結果

1. 行動成績

1-1. RT

Stop-signal 課題遂行時の Go 刺激条件間およびブライミング条件間における RT を Fig.3.5.2.1 に示した。ADHD 児群に対して TD 児群では RT が延長する傾向がみられた。

1-2. RT-SD

Stop-signal 課題遂行時の Go 刺激条件間およびブライミング条件間における RT-SD を Fig.3.5.2.2 に示した。TD 児群に対して ADHD 児群では RT-SD が増大する傾向がみられた。

1-3. 左右エラー率

Stop-signal 課題遂行時の Go 刺激条件間およびブライミング条件間における左右エラー率を Fig.3.5.2.3 に示した。TD 児群に対して ADHD 児群では Go 刺激に対する左右エラー率が上昇する傾向がみられた。

1-4. 見逃し率

Stop-signal 課題遂行時の Go 刺激条件間およびブライミング条件間における見逃し率を Fig.3.5.2.4 に示した。TD 児群に対して ADHD 児群では Go 刺激に対する見逃し率が上昇する傾向がみられた。

1-5. 抑制率

各群および各 Stop 刺激条件における抑制率を Fig.3.5.2.5 に示した。いずれの Stop 刺激条件においても、TD 児群に対して ADHD 児群では抑制率が低下する傾向がみられた。

1-6. SSRT

各群および各 Stop 刺激条件における SSRT を Fig.3.5.2.6 に示した。いずれの Stop 刺激条件においても、TD 児群に対して ADHD 児群では SSRT が短縮する傾向がみられた。

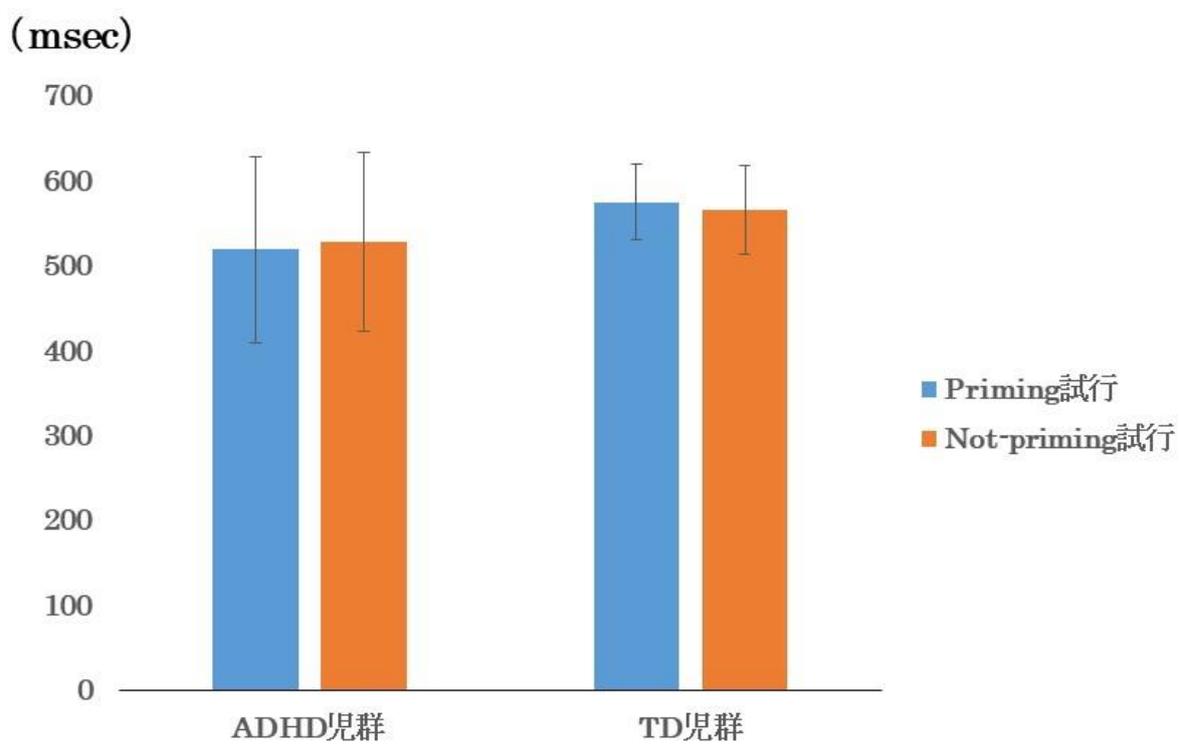


Fig. 3.5.2.1 各群および各プライミング試行における平均反応時間
(エラーバーは1標準偏差を示す)

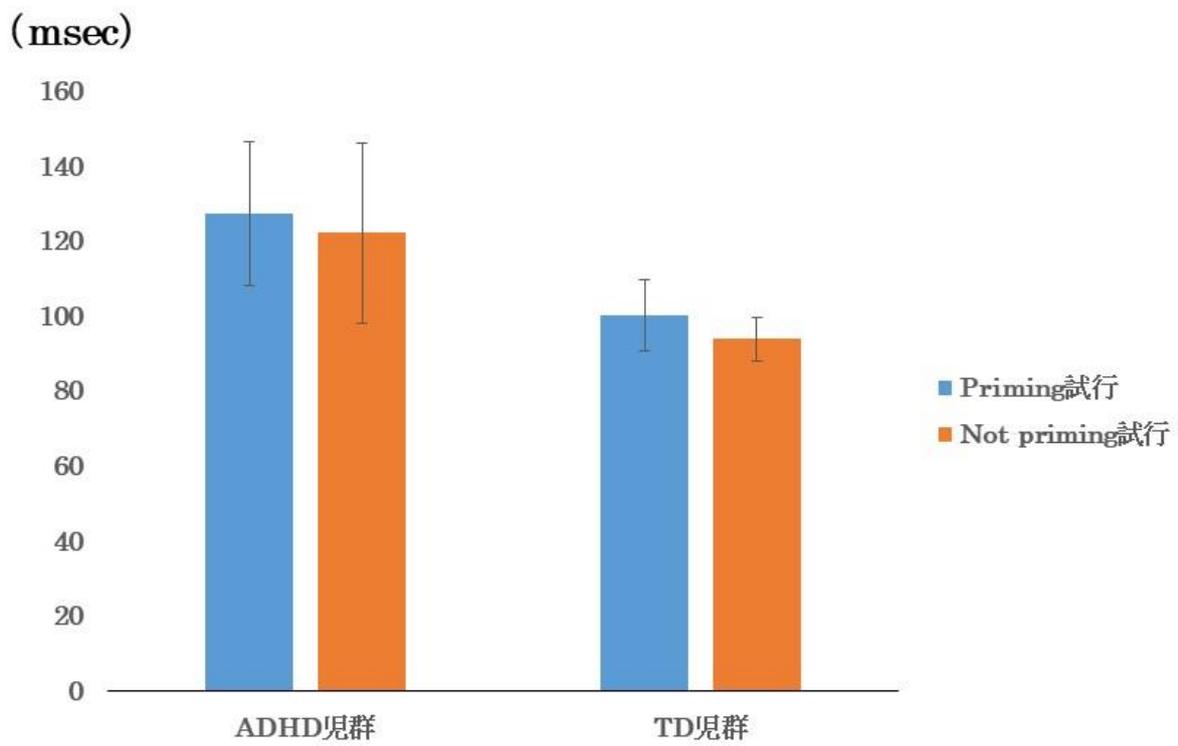


Fig. 3.5.2.2 各群および各プライミング試行における反応時間の標準偏差
(エラーバーは1標準偏差を示す)

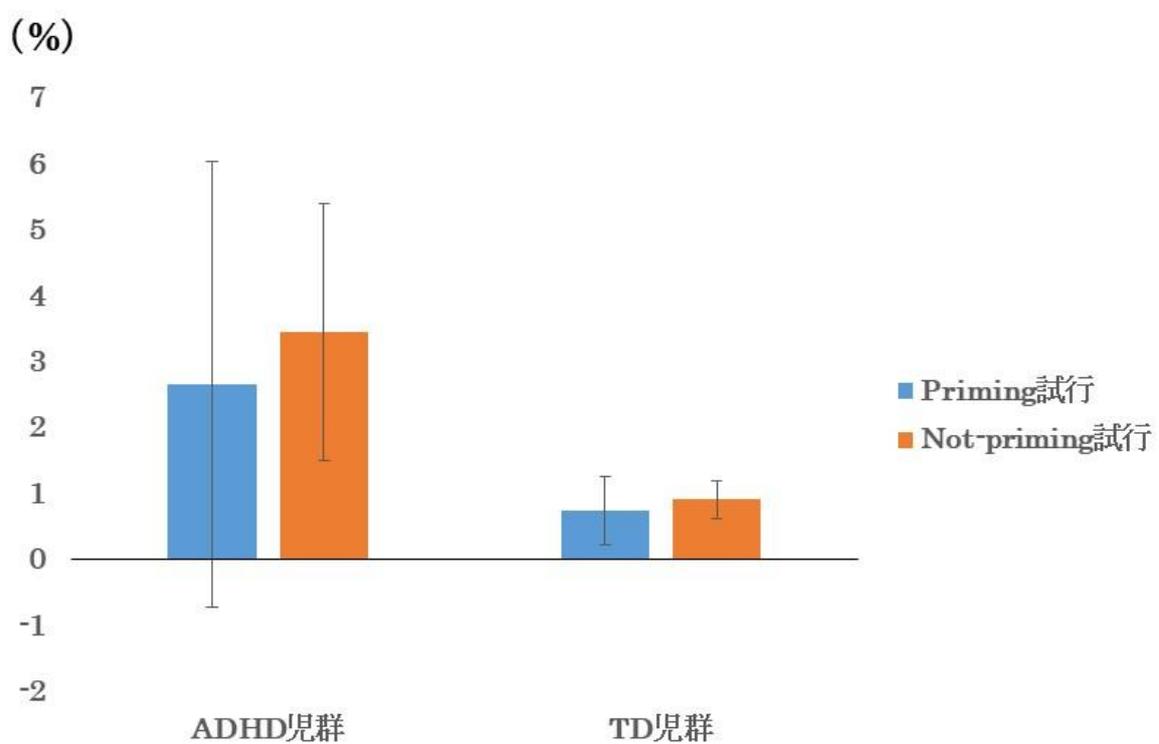


Fig. 3.5.2.3 各群および各プライミング試行における左右エラー率
(エラーバーは1標準偏差を示す)

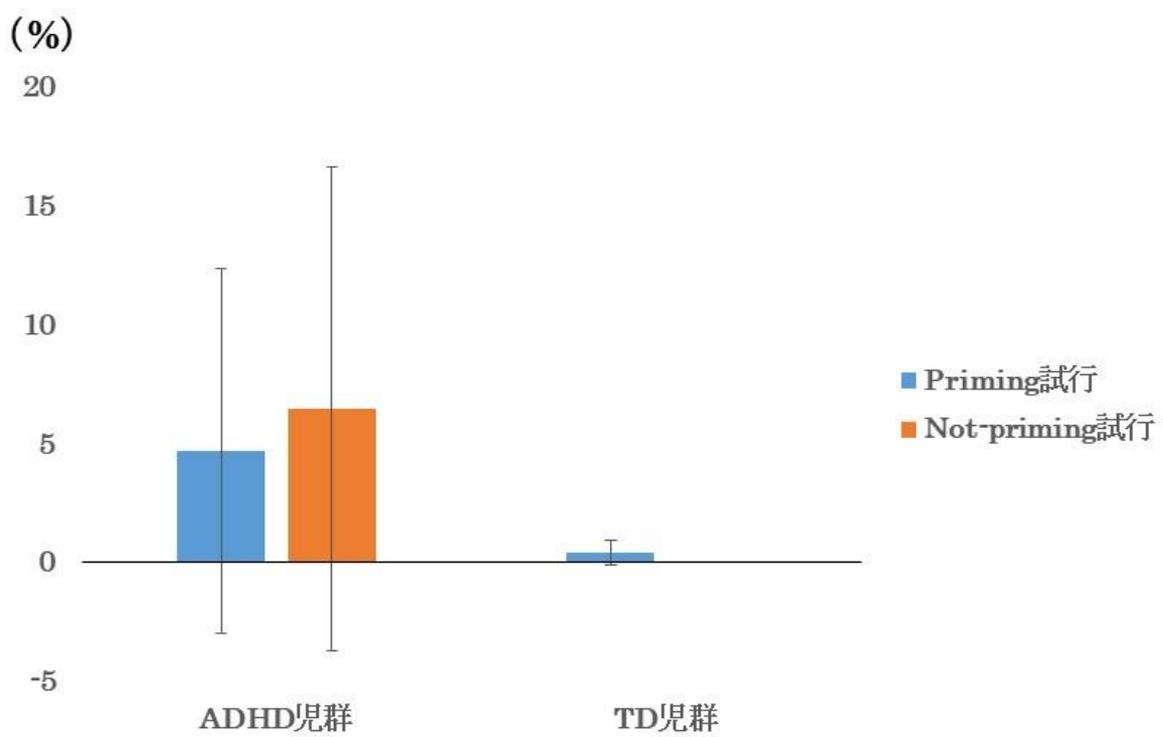


Fig. 3.5.2.4 各群および各プライミング試行における見逃し率
(エラーバーは1標準偏差を示す)

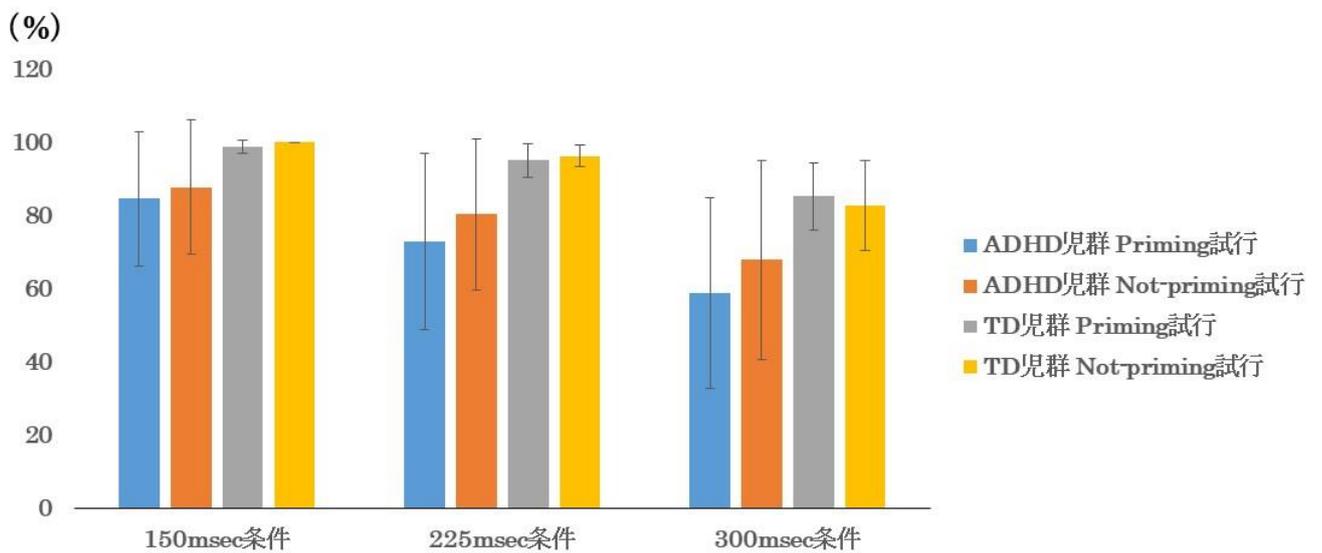


Fig. 3.5.2.5 各刺激条件および各プライミング試行におけるStop刺激呈示条件ごとの抑制率 (エラーバーは1標準偏差を示す)

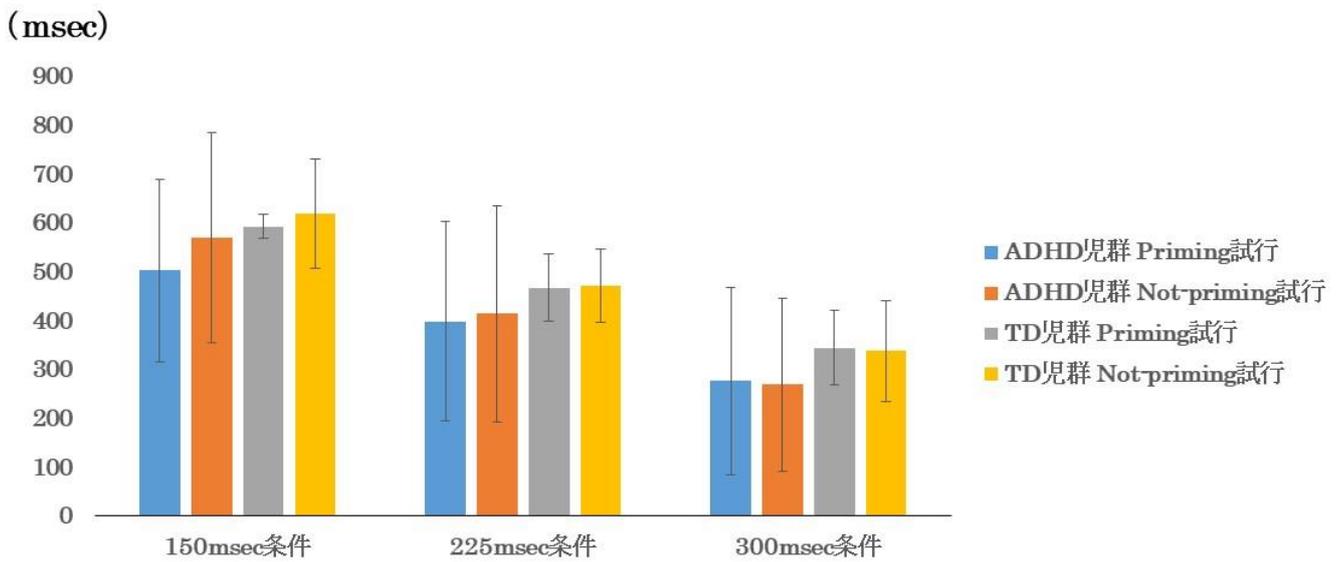


Fig. 3.5.2.6 各刺激条件および各プライミング試行におけるStop刺激呈示条件ごとのSSRT (エラーバーは1標準偏差を示す)

2. ERP

2.1. Go 試行における ERP 成分動態

Fig.3.5.2.7 に Go 刺激呈示時を起点とした正中 3 部位の総加算平均波形および GFP 曲線を、Fig.3.5.2.8 に Go 刺激呈示後 200msec から 500msec における頭皮上電位分布図を示した。Go 刺激の呈示によって N2, P3 と考えられる成分の出現が確認された

(Fig.3.5.2.7 の矢印付近)。群間差については、ADHD 児群に対して TD 児群における GFP 曲線上にピークが明瞭に認められ、ERP 波形上においても同様の傾向が認められた。なお、有効加算回数は平均 114 回であった。

Fig.3.5.2.9 に正中 3 部位から導出された平均 Go-N2 振幅値および潜時値を示した。N2 振幅値について、TD 児群に対して ADHD 児群では、Fz 導出の N2 振幅値が増大する傾向がみられた一方で、TD 児群では Cz 導出の N2 振幅値が増大する傾向がみられた。

プライミング試行間について、ADHD 児群では、試行間の差はみられなかった一方で、TD 児群では、Priming 試行に対して Not-Priming 試行における N2 振幅値が増大する傾向がみられた。N2 潜時値については、群間、プライミング試行間ともに大きな差はみられなかった。

Fig.3.5.2.10 に正中 3 部位から導出された Go-P3 振幅値および潜時値を示した。P3 振幅値について、ADHD 児群に対して TD 児群では P3 振幅値が増大する傾向がみられた。また、各群ともに、Fz に対して、Cz および Pz 導出の N2 振幅値が増大する傾向がみられた。

プライミング試行間について、ADHD 児群では Cz および Pz 導出の P3 振幅値が増大する傾向がみられたのに対して、TD 児群ではそのような傾向はみられなかった。

P3 潜時値について、ADHD 児群では TD 児群に対して Fz 導出の P3 潜時値が延長し、Pz 導出の P3 潜時値が短縮する傾向がみられた。プライミング試行間では大きな差はみられなかった。

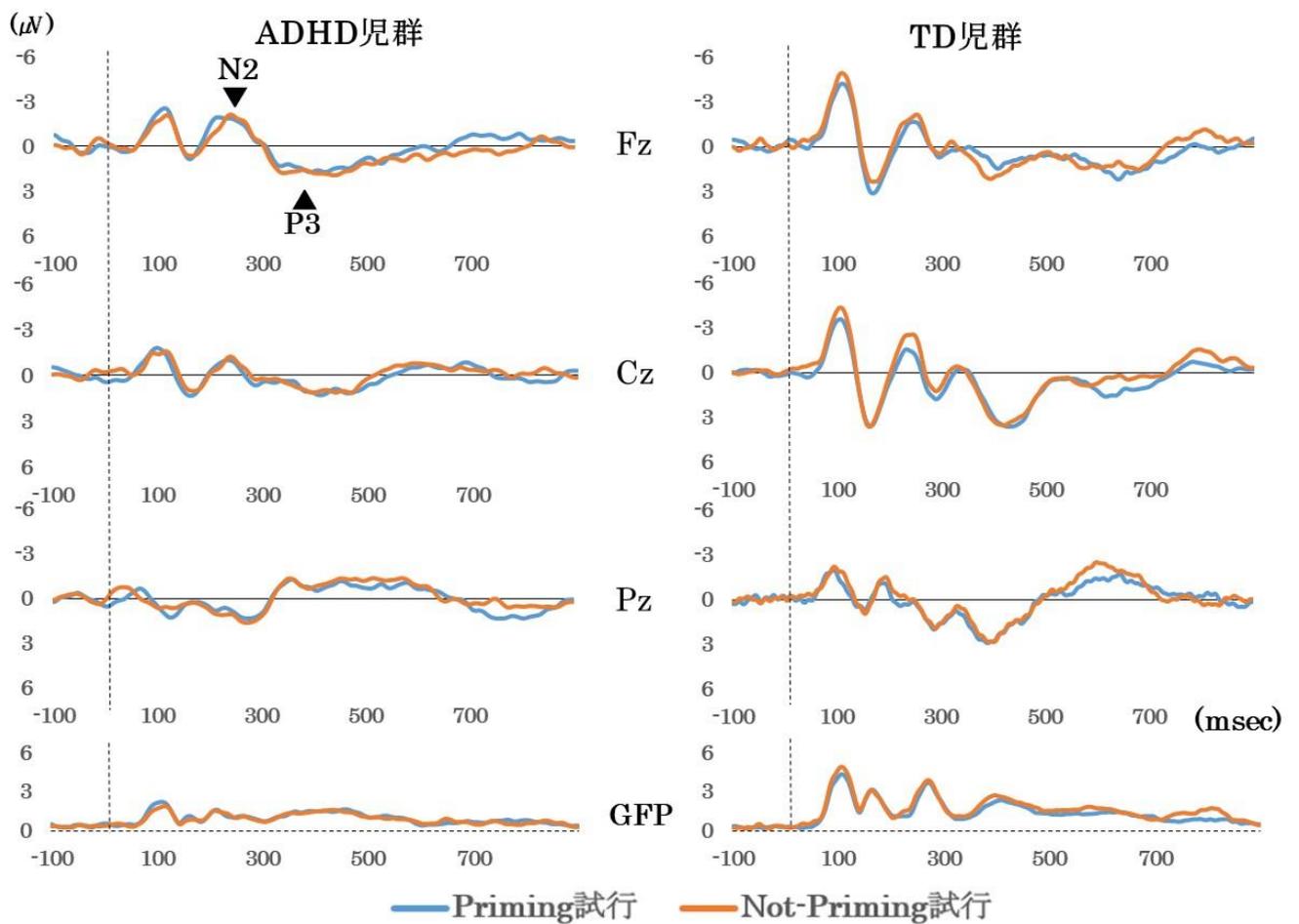


Fig. 3.5.2.7 各群および各プライミング試行におけるGo刺激呈示時を起点とした各部位における総加算平均波形およびGFP曲線

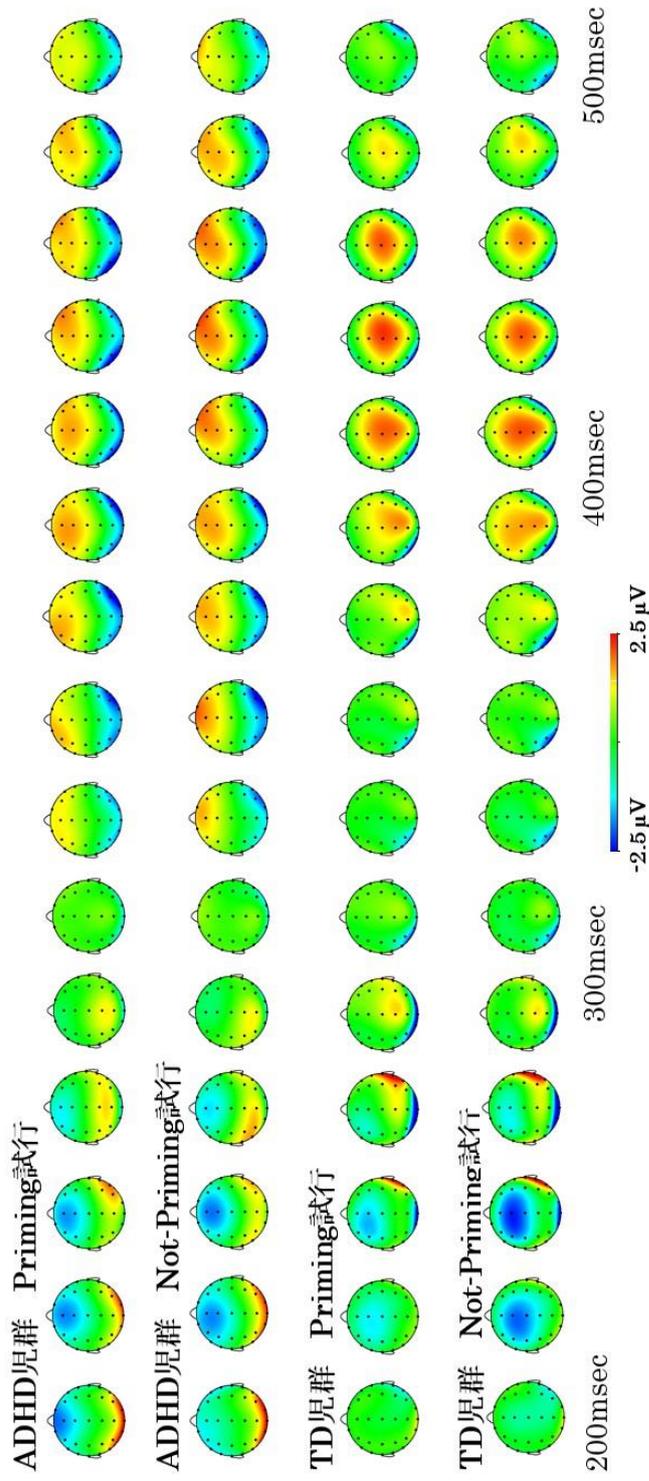


Fig. 3.5.2.8 Go刺激呈示後200msecから500msecにおける20msecごとの各群および各刺激条件における頭皮上電位分布図

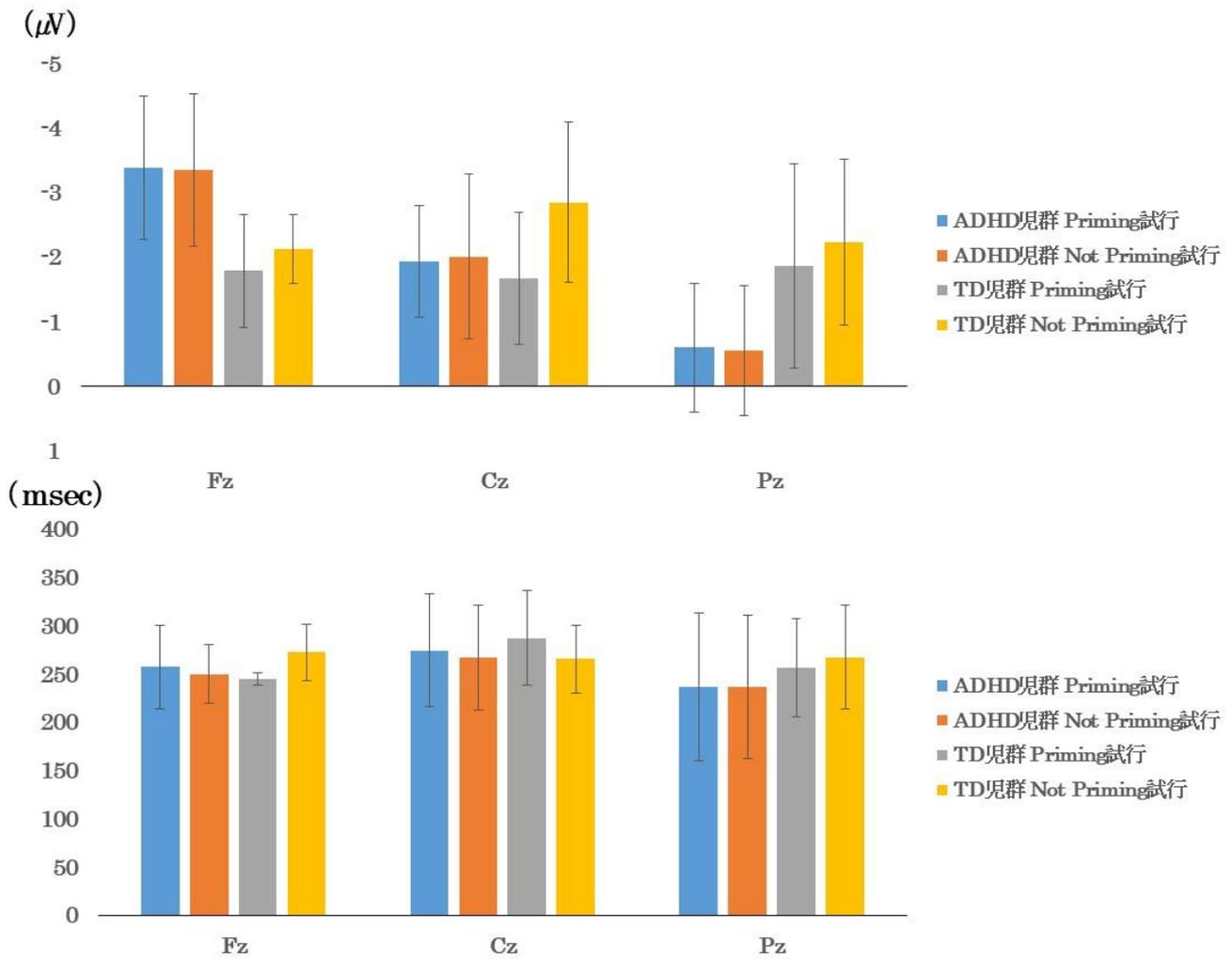


Fig. 3.5.2.9 正中3部位から導出した各刺激条件および各プライミング試行におけるGo-N2振幅値(上)と潜時値(下)
(エラーバーは1標準偏差を示す)

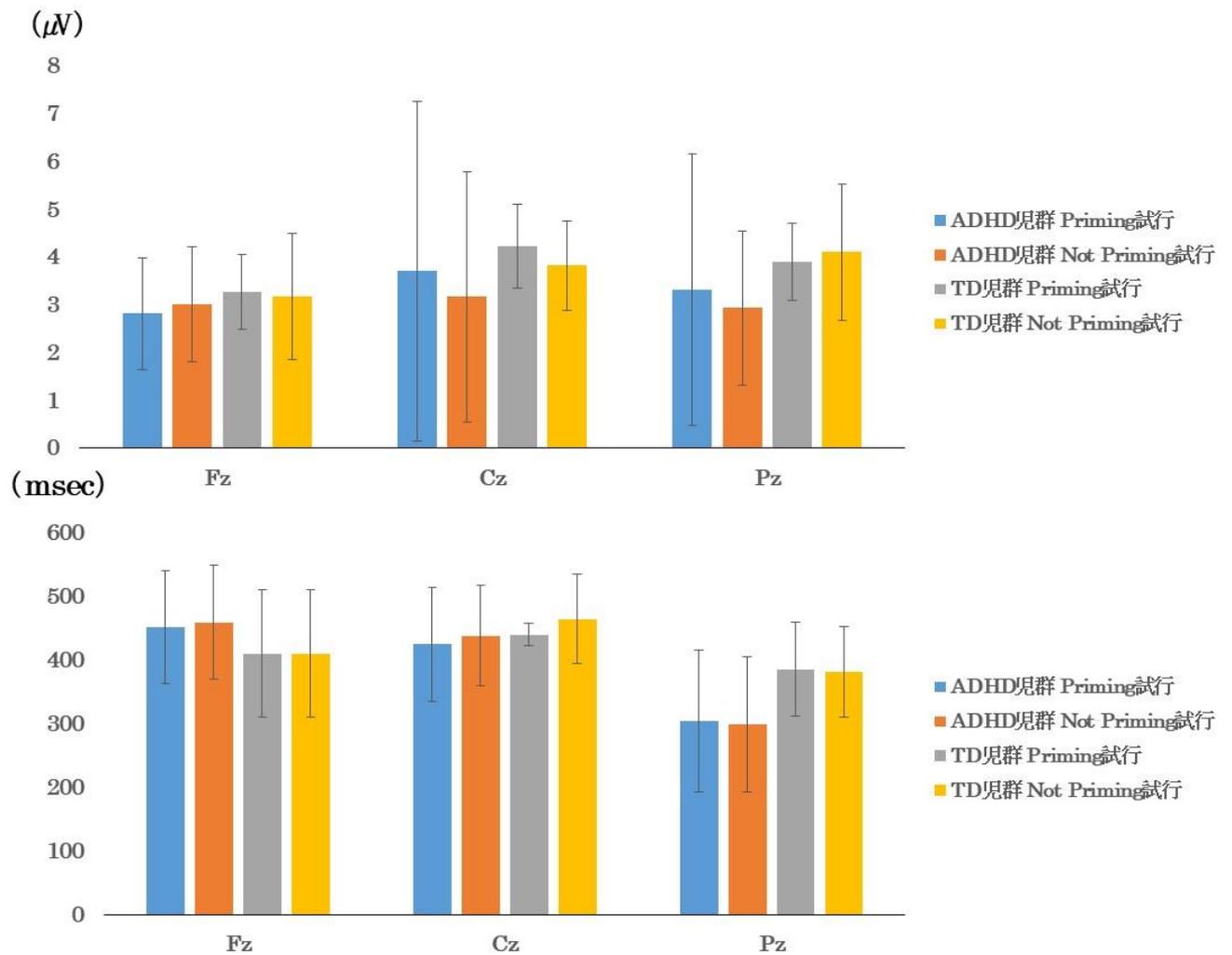


Fig. 3.5.2.10 正中3部位から導出した各刺激条件および各プライミング試行におけるGo-P3振幅値(上)と潜時値(下)
(エラーバーは1標準偏差を示す)

2.2. Stop 試行における ERP 成分動態

Fig.3.5.2.11 に Stop 刺激呈示時を起点とした 225msec 条件における正中 3 部位の総加算平均波形および GFP 曲線を, Fig.3.5.2.12 に Stop 刺激呈示後 200msec から 500msec における SST の頭皮上電位分布図 (225msec 条件) を示した。Stop 刺激の呈示によって N2, P3 と考えられる成分の出現が確認された (Fig.3.5.2.11 の矢印付近)。

2.2.1. N2 成分

Fig.3.5.2.13 に 225msec 条件における正中 3 部位から導出した SST の各群および各プライミング試行の平均 N2 振幅値および潜時値を示した。N2 振幅値について, ADHD 児群では Cz および Pz 導出の N2 振幅値が増大する傾向がみられ, TD 児群では, Fz 導出の N2 振幅値が増大する傾向がみられた。また, プライミング試行間について, 各群ともに Priming 試行に対して Not-Priming 試行における N2 振幅値が増大する傾向がみられた。

N2 潜時値については, 各群および各プライミング試行ともに大きな差がみられなかった。

2.2.2. P3 成分

Fig.3.5.2.14 に 225msec 条件における正中 3 部位から導出した SST の各群および各プライミング試行の平均 P3 振幅値および潜時値を示した。P3 振幅値について, ADHD 児群では Fz 導出の P3 振幅値が増大する傾向がみられ, TD 児群では, Cz および Pz 導出の P3 振幅値が増大する傾向がみられた。また, プライミング試行間について, ADHD 児群では, Not-Priming 試行に対して Priming 試行における P3 振幅値が増大する傾向がみられ, TD 児群では, Priming 試行に対して, Not-Priming 試行における P3 振幅値が増大する傾向がみられた。

P3 潜時値について, 各群ともに Fz および Pz に対して, Cz 導出の P3 潜時値が短縮する傾向がみられた。また, Fz 導出の Priming 試行においては TD 児群に対して ADHD 児群における P3 潜時値が短縮する傾向がみられ, Fz および Pz 導出の Not-Priming 試行においては ADHD 児群に対して TD 児群における P3 潜時値が短縮する傾向がみられた。

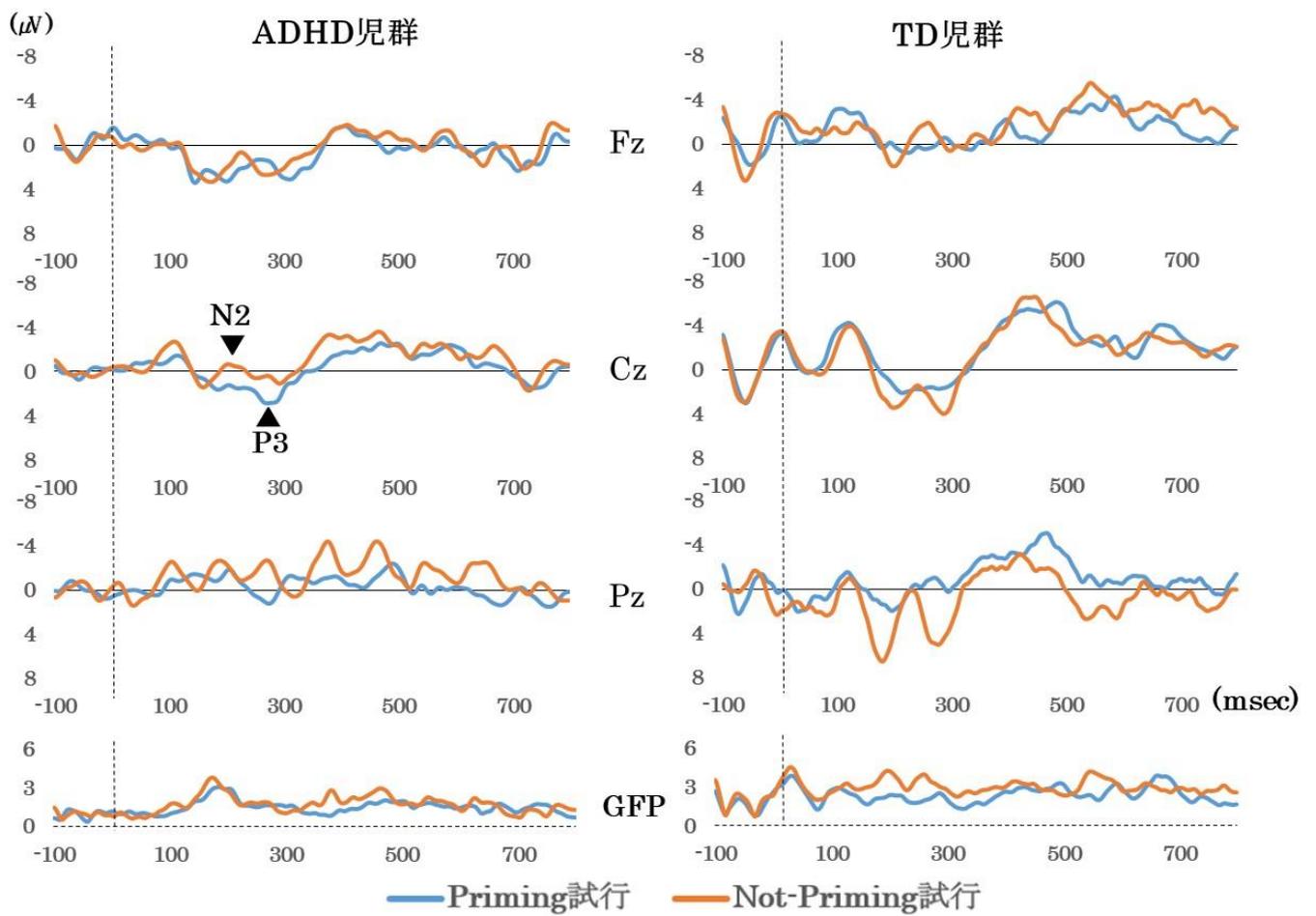


Fig. 3.5.2.11 各刺激条件および各プライミング試行におけるStop刺激呈示時を起点とした各部位における総加算平均波形およびGFP曲線 (225msec条件)

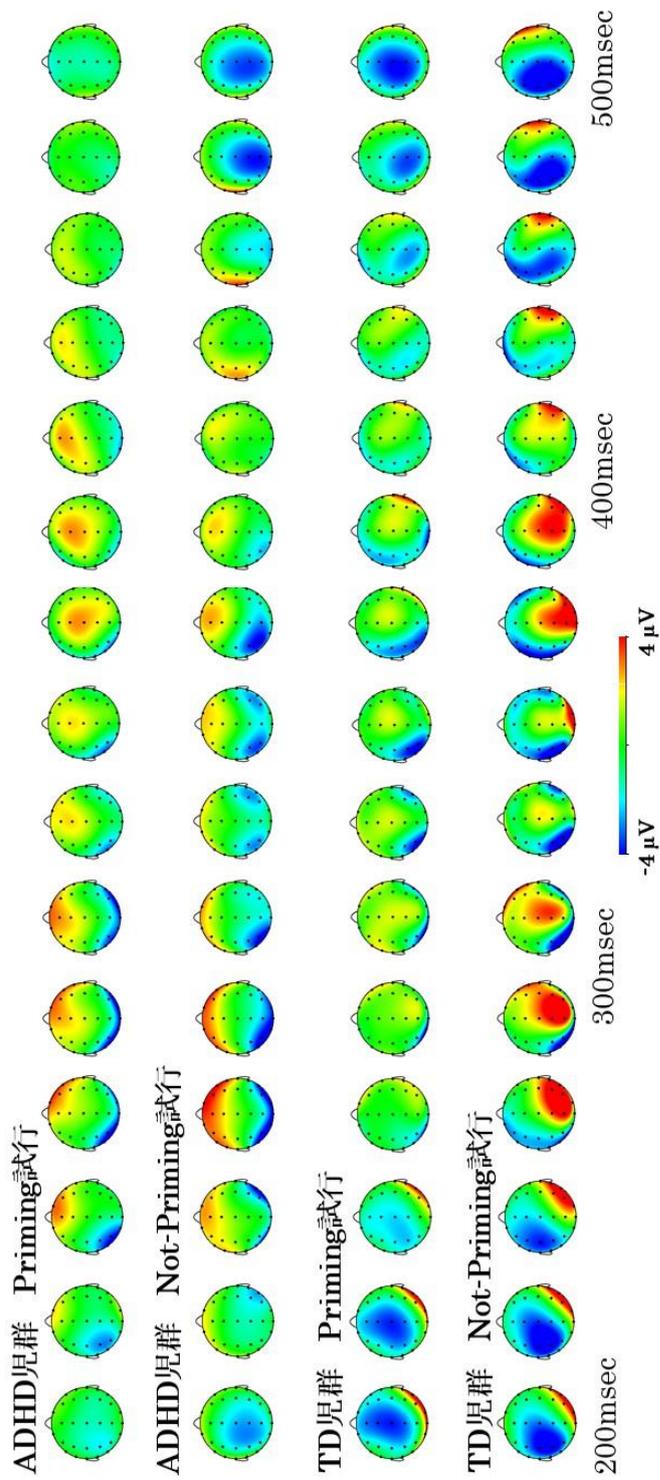


Fig. 3.5.2.12 Stop刺激呈示後200msecから500msecにおける20msecごとの各群および各刺激条件における頭皮上電位分布図 (225msec条件)

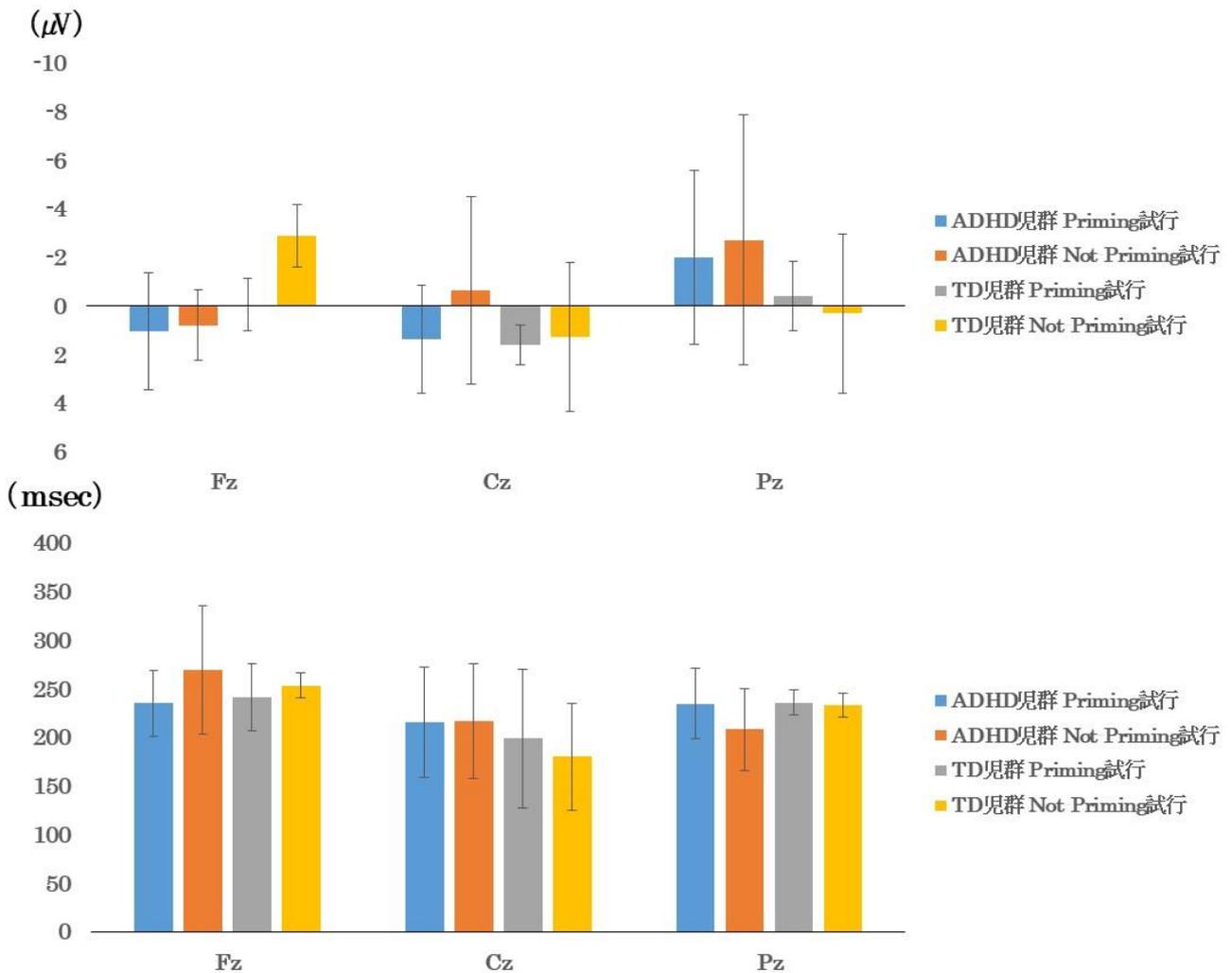


Fig. 3.5.2.13 正中3部位から導出した各刺激条件および各プライミング試行における SST-N2振幅値(上)と潜時値(下) (225msec条件)
(エラーバーは1標準偏差を示す)

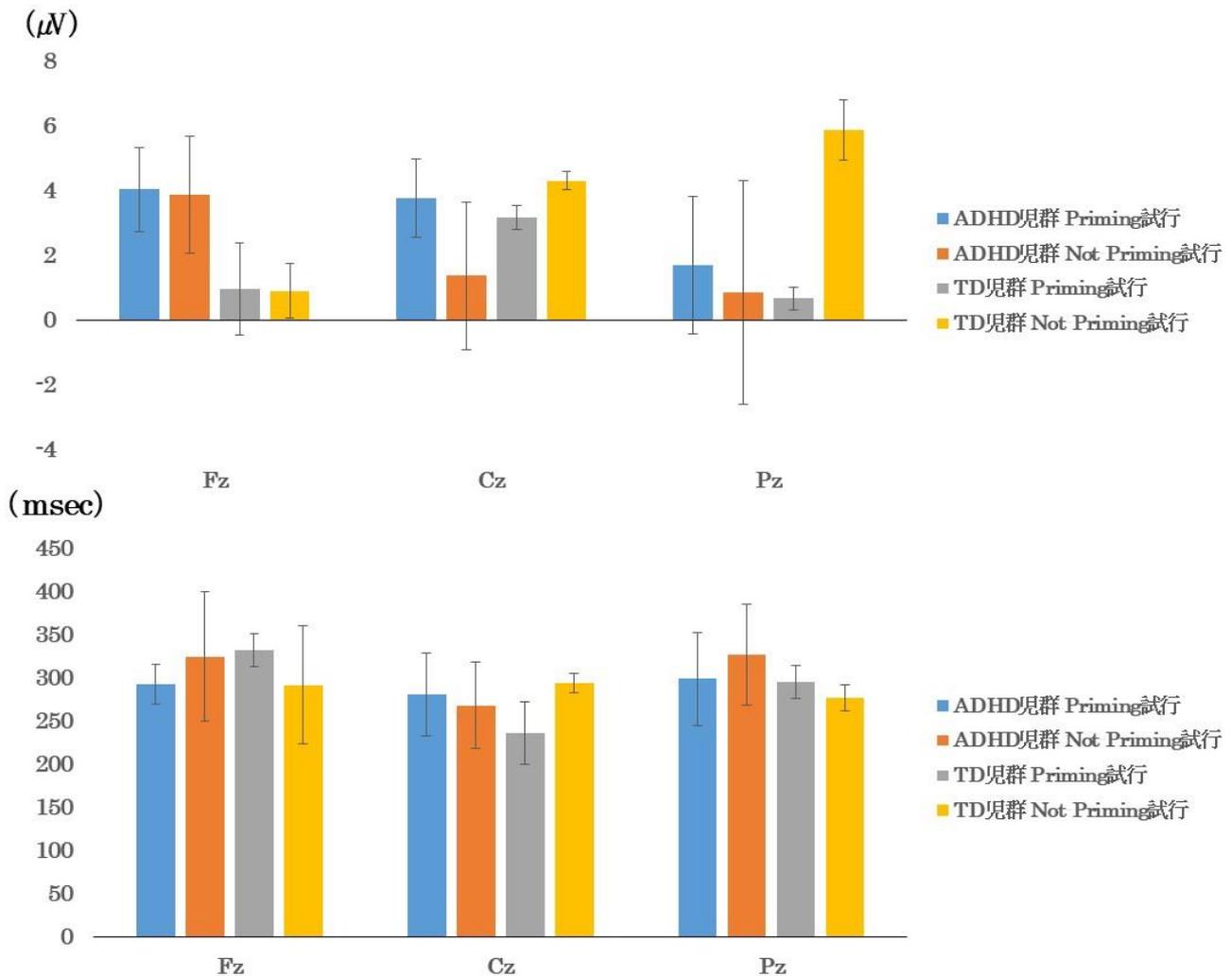


Fig. 3.5.2.14 正中3部位から導出した各刺激条件および各プライミング試行における SST-P3振幅値(上)と潜時値(下) (225msec条件)
(エラーバーは1標準偏差を示す)

第3節 考察

研究6では、TD児およびADHD児を対象に、Stop-signal課題におけるGo刺激として用いる刺激種（車刺激条件、飛行機刺激条件、電車刺激条件）およびGo刺激とStop刺激の組み合わせの違いが、反応制御過程に及ぼす影響について行動成績と課題遂行時のERPから検討した。

1. Go刺激とStop刺激の関連性が行動成績に及ぼす影響

TD児群に対してADHD児群におけるRTやSSRTの短縮、RT-SDの増大、左右エラー率や見逃し率の上昇、そして抑制率が低下する傾向がみられた。ADHD児群におけるRT-SDの増大（e.g. Alderson, Rapport, Sarver, & Kofler, 2008）、左右エラー率の上昇（e.g. Pliszka et al., 2000）、見逃し率の上昇（e.g. Shen et al., 2011）、そして抑制率の低下（e.g. Overtom et al., 2002）は、それぞれ先行研究を支持する結果であったが、RTおよびSSRTについては、先行研究とは異なる結果となった。

ADHD児におけるRTは、TD児群と同じかそれよりも長いことが指摘されている（Liotti et al., 2010）が、先行研究とは異なる結果となった影響としては、TD児群においては、刺激処理の速さよりも正確性を重視していた可能性が示唆された。また、SSRTはGo刺激に対するRTよりも不安定になりやすいこと、SSRTのデータはあくまでも推定値であり、対象者によって異なる（Verbruggen & Logan, 2009b）ことが指摘されている。今回はSSRTが長いほど反応制御能力が弱いという坂尻ら（2007）とは異なる結果となったが、この要因としては、RTやSSRTの不安定性が考えられるとともに、対象児がTD児群において3名と非常に少数であったことも影響している可能性がある。また、研究4との相違としては、1ブロックあたりの課題従事時間が研究4では、約1分50秒であったのに対して、本研究では約2分50秒であった。たった1分の違いではあるが、この要因がADHD児の持続的な集中力に影響を及ぼし、結果としてRT-SDの大きさにつながった可能性がある。加えて、呈示刺激の違いによる行動成績の安定性への影響はTD児群よりもADHD児群で相対的に大きいことも示唆された。

本研究におけるStop刺激の呈示方法として、ブロック固定法が用いられた。この方法は、Stop刺激条件が予測しやすく、対象者がStop信号の有無を確認してから反応する方略を用いやすいことが指摘されている（Rubia, Oosterlaan, Brandeis, & Leeuwen., 1998）ことから、先述したように、TD児群では速さより正確性をとりわけ重視する方略を意識

的にとっていた可能性があり、その方略が SSRT の結果に多分に影響した可能性が考えられる。

2. ERP からみた Go 刺激と Stop 刺激の関連性の反応制御への影響

Go 刺激呈示時を起点とする GFP 曲線では、ADHD 児群に対して TD 児群における GFP 曲線が明瞭であった。また、Go-N2 振幅値について、TD 児群に対して ADHD 児群では、Fz 導出の N2 振幅値が増大する傾向がみられ、TD 児群では Cz 導出の N2 振幅値が増大する傾向がみられた。

高い GFP ピーク値は、安定的に ERP が記録できていることを示している (Michel et al., 2009)。行動成績からも示唆されたように、ADHD 児群に対して TD 児群においては、安定的に課題に取り組むことができていたことがうかがえた。小児を対象とした研究 4 では、TD 児群、ADHD 児群ともに GFP 曲線上におけるピークが明瞭であり、安定的に課題に取り組んでいたことが示唆された。研究 6 との相違としては、Go 刺激の違いがあげられる。研究 4 では、刺激特性の異なる 2 種類の Stop-signal 課題 (クルマ刺激条件、記号刺激条件) を用いて検討し、Go 刺激と Stop 刺激の組み合わせというよりも Go 刺激自体の弁別難易度が Go 刺激処理に影響を及ぼすことが示唆された。具体的には、ADHD 児群では、記号刺激条件に対して弁別難易度が比較的高いとされるクルマ刺激条件における N2 振幅値が有意に増大した。その一方で、記号刺激条件における Go 刺激の弁別難易度は比較的低く、それは課題全体への取り組みやすさや「できた感」の享受につながっていた可能性がある。しかし、本研究における Go 刺激は 1 種類のみであり、それは弁別難易度が比較的高いとされる刺激条件 (車刺激条件、飛行機刺激条件、電車刺激条件) であった。これらの結果から、ADHD 児の行動の安定性には、Go 刺激と Stop 刺激の組み合わせというよりも、単一刺激としての Go 刺激の弁別難易度が大切であること、難易度が高いと想定される条件だけではなく難易度が低いと感じられる条件も織り込みつつ、対象児が取り組みやすさや「できた感」を享受できるような実験デザインが望ましいことが示唆された。このことは本研究における ERP の結果や研究 4 から示唆され、弁別難易度が比較的高い条件では、機能不全が想定される前頭領域 (Fz 付近) が賦活される傾向があり、本来の能力を発揮しづらいことが示唆された。また、反応実行の困難さを頭頂-後頭領域 (Cz, Pz 付近) を代償的に賦活させて補おうとするこもしづらい傾向がうかがえた。

SST-N2 振幅値については、各群ともに Priming 試行に対して Not-Priming 試行における N2 振幅値が増大する傾向がみられた。これらは、Go 刺激の結果から示唆されたように、Stop 刺激においても単一の刺激としての弁別難易度が影響している可能性があることがまず示唆された。また、ADHD 児群では Cz および Pz 導出の N2 振幅値が増大する傾向がみられ、TD 児群では、Fz 導出の N2 振幅値が増大する傾向がみられた。先行研究において、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 (Nieuwenhuis et al., 2003) , ADHD 児群では、機能不全が想定される前頭領域 (Fz 付近) ではなく、頭頂-後頭領域 (Cz, Pz 付近) を賦活させて代償的に刺激処理を行うこと (Janssen et al., 2018) が指摘されていることから、Stop 刺激処理の弁別難易度は Go 刺激の左右を弁別することよりも容易であったこと、ADHD 児群では呈示刺激の影響を相対的に受けやすく、弁別難易度が比較的低い条件では代償的な手段をとりやすいことが反応抑制過程においても示唆された。

SST-P3 振幅値について、ADHD 児群では Fz 導出の P3 振幅値が増大する傾向がみられ、TD 児群では、Cz および Pz 導出の P3 振幅値が増大する傾向がみられた。また、プライミング試行間について、ADHD 児群では、Not-Priming 試行に対して Priming 試行における P3 振幅値が増大する傾向がみられ、TD 児群では、Priming 試行に対して、Not-Priming 試行における P3 振幅値が増大する傾向がみられた。SST-N2 振幅値の結果から示唆されたように、ADHD 児群では、呈示刺激の影響を相対的に受けやすく、弁別難易度が比較的高い条件では代償的な手段をとりにくいことが SST-P3 からも示唆された。

SST-P3 成分に関連した刺激処理のモニタリングについては、ADHD 児群では前頭領域を中心に賦活させている傾向がみられた。前頭領域の賦活に関連する抑制は SSRT の短縮と関連があると予測され (van Rooij et al., 2015) , これは行動成績の結果と一致する。また、Brandeis et al. (1998) は、前頭領域 (Fz) 付近にみられる P3 を“anterior-P3”, 頭頂-後頭領域 (Cz, Pz) 付近に見られる P3 を“posterior-P3”とし、前者を運動・反応処理系の駆動を反映する成分、後者を感覚・刺激処理系の駆動を反映する成分としている。先行研究 (e.g. Aron et al., 2007) から示唆されているように、ADHD 児群の脳機能、とりわけ前頭前野の発達としては未成熟でもあるにもかかわらず、苦手な部分で処理を行おうと試みていたことが良いパフォーマンスにつながらなかった可能性があり、その影響として呈示刺激の果たす役割は大きいことが示唆された。

第6章 第3部のまとめ

第3部では、先行研究および第2部で得られた知見をふまえ、刺激特性および刺激の組み合わせとADHD症状との関連性についての検討を行うことを目的とした。

研究3では、Stop-signal課題における刺激特性およびその組み合わせの違いが反応制御過程に及ぼす影響について、TD成人におけるADHD傾向の高低との関連性から検討を行い、研究4では、そのような呈示刺激の違いがADHD児やTD児といった小児の反応制御過程に及ぼす影響について検討を行った。

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研究(Shen et al., 2014)では、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されている。研究3において、左右エラー率の群間差がみられたことから、ADHD傾向に起因するケアレスミスが左右エラー率に影響を及ぼすことが示唆された。また、2種類の刺激条件について、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ものの、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。それらを踏まえ、研究4では小児における反応制御過程の検討を行った結果、刺激の弁別難易度が刺激処理速度に及ぼす影響は、TD児群に対してADHD児群で相対的に大きいことがまず示唆された。具体的には、TD児群に対してADHD児群におけるRTの有意な延長、RT-SDの有意な増大が確認された。また、刺激条件については、群にかかわらず、記号刺激条件に対してクルマ刺激条件における左右エラー率が有意に上昇していたことから、Go刺激の弁別難易度は対象児・者の年齢にかかわらず、ADHD症状にはあまり影響をしない可能性が示唆された。加えて、本研究で用いた2種類の刺激特性の弁別難易度は、記号刺激条件に対してクルマ刺激条件において相対的に大きいことが示唆された。さらに、両群ともに、クルマ刺激条件では反応の抑制制御が困難であること、Stop刺激においてもGo刺激と同様に、見た目から反応の中止を喚起しやすいバツ印の方が抑制制御には効果的である可能性が示唆された。

研究3におけるERPについては、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。また、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したことから、反応の実行や抑制の困難さを

本研究においても追認されたことが確認された。さらに、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り、Go 刺激と Stop 刺激の組み合わせによって、プライミング効果が生じた可能性が示唆された。研究 4 の結果も、行動成績から示唆されたように、ADHD 児群における反応の実行に要する処理資源の配分量が TD 児群よりも大きく、刺激の弁別難易度と比例することが示唆され、反応の抑制制御も困難であることが確認された。また、研究 3 において示唆された刺激条件によるプライミング効果については、小児においては示唆されず、小児における Stop 刺激の弁別は Go 刺激と同様に、弁別難易度に依存する部分が大きいことが示唆された。

研究 5 では、Go 刺激として用いる刺激種（車刺激条件、飛行機刺激条件、電車刺激条件）および Go 刺激と Stop 刺激の組み合わせの違いが、反応制御過程に及ぼす影響について TD 成人における ADHD 傾向の高低との関連性について検討を行い、研究 6 では、その違いが ADHD 児や TD 児といった小児の反応制御過程に及ぼす影響について検討を行った。

行動成績について、研究 5 では、TD 成人を対象としたこともあり、衝動性や不注意といった ADHD 症状と刺激の弁別難易度や経時的影響には関連がみられないことも示唆された。その一方で、Go 刺激と Stop 刺激は経時的な関連があること、同一の Go 刺激であっても Stop 刺激の弁別難易度の違いによって Go 刺激の左右エラー率が上昇することが示唆された。研究 6 では、TD 児群においては、刺激処理の速さよりも正確性を重視していた可能性が示唆された。また、Go 刺激に対する RT-SD が大きく不安定になりやすいこと、それに伴い先行研究（e.g. 坂尻ら、2007）における SSRT とは異なる結果となったことが想定され、呈示刺激の影響は TD 児群よりも ADHD 児群で相対的に大きいことが示唆された。

ERP について、TD 成人を対象とした研究 5 では、意味的関連性のある Priming 試行よりもシンプルなバツ印を呈示した Not-Priming 試行の方が相対的に弁別難易度が低いこと、呈示刺激の違いは刺激処理、とりわけ知覚処理に影響を及ぼし、視覚刺激処理を担うとされる頭頂 - 後頭領域における SST-N2 振幅値に有意差が認められることが示唆された。また、ADHD 傾向の高低による Stop 刺激への処理資源の配分量の違いが、GFP 潜時値の差として現れる可能性が示唆された。研究 6 では、行動成績からも示唆されたように、ADHD 児群に対して TD 児群においては、安定的に課題に取り組むことができていた

ことが GFP 曲線上のピーク値からうかがえた。また、ADHD 児の行動の安定性には、Go 刺激と Stop 刺激の組み合わせというよりも、単一刺激としての Go 刺激の弁別難易度が大切であること、難易度が高いと想定される条件だけではなく難易度が低いと感じられる条件も織り込みつつ、対象児が取り組みやすさや「できた感」を享受できるような実験デザインが望ましいことが示唆された。その影響は、反応実行過程だけではなく、反応抑制過程においても確認され、弁別難易度が比較的低い条件では頭頂・後頭領域 (Cz, Pz) 付近を賦活させて反応抑制の困難さを補う代償的な手段をとりやすいことが示唆された。弁別難易度が比較的高い条件では、ADHD 児群の発達としては未成熟でもあることが想定されている前頭領域 (Fz) 付近で処理を行おうと試みていたことが良いパフォーマンスにつながらなかった可能性があり、ADHD 児の反応制御過程に及ぼす呈示刺激の果たす役割は大きいことが示唆された。

第4部

総合考察と今後の課題

第4部 総合考察と今後の課題

第1章 総合考察

本章では、第2部研究1および研究2の行動成績および生理指標から得られた知見と、第3部研究3から研究6の行動成績および生理指標から得られた知見とを統合し、Stop-signal課題における刺激特性やGo刺激およびStop刺激の組み合わせの違いとADHD児の反応制御過程との関連性についての考察を行う。第1節では行動成績について、第2節では生理指標について考察を行う。続いて、第3節では、教育的示唆について述べる。

Stop-signal課題は、日常生活における走っている途中に友だちに合って急に止まると、野球でバットを振りそうになったのを抑えて見送るなど、生じしやすい反応に対する抑制を検討する課題として、Logan and Cowan (1984)を基盤に発展してきた。本研究では、Go刺激やStop刺激として呈示される刺激特性や、Go刺激とStop刺激の組み合わせが異なるStop-signal課題を実施した。その結果、ADHD児の行動上に示される不注意や行動抑制などに関する反応制御の問題が実験課題によって客観的に示されたとともに、生理指標を用いることでこのような行動上の問題をもたらしている脳内の刺激処理過程について確認することができた。ADHD児の行動の不安定性には、呈示される刺激の弁別難易度が関連している可能性があること、ADHD児の前頭前野の発達は未成熟でもあることが想定されているにもかかわらず、弁別難易度が高い状況では苦手な部分で処理を行おうと試みている可能性があることが示唆された。また、難易度が高いと想定される条件だけではなく難易度が低いと感じられる条件も織り込みつつ、対象児が取り組みやすさや「できた感」を享受できるような状況が望ましいことが示唆された。このように、ADHD児にとって理解しやすい呈示刺激の必要性や呈示刺激の果たす役割について、基礎的な知見が得られた意義は大きく、基礎的研究や指導支援場面を問わず、今後のADHD児研究のひとつの方向性を示すものと考えられる。

第 1 節 刺激特性や刺激の組み合わせが ADHD 児の行動成績に及ぼす影響について

これまで、呈示する刺激特性の違いが TD 成人の行動成績に及ぼす影響については、加賀ら (2008) や Ma & Yu (2016) によって報告されているが、刺激特性や刺激の組み合わせの違いと TD 成人の ADHD 傾向との関連性に関する研究、刺激特性や刺激の組み合わせの異なる Stop-signal 課題を用いて小児を対象とした研究は報告されていなかった。これらのことから、研究 1、研究 3 そして研究 4 では、呈示される刺激特性の違いについて、Stop-signal 課題における Go 刺激と Stop 刺激の組み合わせの違い、すなわち刺激条件の違いが反応制御過程に及ぼす影響について検討を行った。

TD 成人を対象に予備的な検討を行った研究 1 では、記号刺激条件に対してクルマ刺激条件における RT や SSRT の有意な延長および左右エラー率の有意な上昇が認められ、同様の結果が報告された Ma & Yu (2016) の結果から、クルマ刺激条件における Go 刺激の弁別難易度は記号刺激条件よりも高いことが示唆された。また、TD 成人を ADHD 傾向の高低によって群分けし、ADHD 傾向と刺激特性の違いとの関連について検討を行った研究 3 では、左右エラー率の群間差がみられた。TD 成人を衝動性高群と低群に群分けし、衝動性の高低と Stop-signal 課題遂行時の行動性との関連を検討した研究 (Shen et al., 2014) において、高群における反応の正確性が有意に低下していたことから、ADHD 傾向に起因するケアレスミスが左右エラー率に影響を及ぼすことが示唆された。また、2 種類の刺激条件について、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ものの、群と刺激条件の交互作用が認められなかったことから、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。さらに、ADHD 児や TD 児といった小児を対象とした研究 4 では、刺激の弁別難易度が刺激処理速度に及ぼす影響は、TD 児群に対して ADHD 児群で相対的に大きいことがまず示唆された。加えて、Go 刺激の弁別難易度は対象児・者の年齢にかかわらず、ADHD 症状にはあまり影響をしない可能性が示唆された。

本研究で用いた 2 種類の刺激特性の弁別難易度は、対象児・者の年齢にかかわらず左右エラー率が上昇していたことから、記号刺激条件に対してクルマ刺激条件において相対的に大きいことが示唆された。また、あくまでも TD 成人を対象としたこともあり、衝動性や不注意といった ADHD 傾向と刺激条件の違いの間には関連性がみられないことも示唆された。

TD 児群に対して ADHD 児群における RT-SD では群の主効果が認められ、刺激条件にかかわらず、ADHD 児群では反応の不安定さが示唆された。これは先行研究 (Lijifit et al., 2005; 坂尻ら, 2007) において指摘されている ADHD 児の不注意特性によるものと推察された。一方で、ADHD 児群では、記号刺激条件に対してクルマ刺激条件における RT や SSRT が有意に延長していることから、クルマ刺激条件における反応の実行制御や抑制制御が困難であることが示唆され、左右の弁別を求める Go 刺激においては、左右の弁別のしやすさが、Stop 刺激においては、見た目から反応の中止を喚起しやすいバツ印の方が抑制制御には効果的である可能性がそれぞれ示唆された。

研究 2, 研究 5 そして研究 6 では、Go 刺激として用いる刺激種 (車刺激条件, 飛行機刺激条件, 電車刺激条件) および Go 刺激と Stop 刺激の組み合わせの違いが、反応制御過程に及ぼす影響について検討を行った。

TD 成人を対象に予備的な検討を行った研究 2 では、Ma & Yu (2016) から、Go 刺激の弁別難易度によって Go 刺激処理の正確性に影響を及ぼすこと、また、同一の Go 刺激であっても、その刺激の後に異なる Stop 刺激が呈示されることによって、Go 刺激処理の正確性に影響を及ぼす可能性が示唆された。さらに、SSRT は反応制御の効率性を反映する指標 (Chikazoe et al., 2008) とされており、研究 2 では、電車刺激条件における Not-priming 試行に対して Priming 試行における SSRT が有意に延長していたことから、抑制制御はそれ自体が単一の機能を果たしているのではなく、反応の実行と経時的な関係にある可能性が示唆された。TD 成人を ADHD 傾向の高低によって群分けし、ADHD 傾向と刺激特性の違いについて検討を行った研究 5 では、TD 成人を対象としたこともあり、衝動性や不注意といった ADHD 症状と刺激の弁別難易度や経時的影響には関連がみられないことも示唆された。しかし、ADHD 児や TD 児といった小児を対象とした研究 6 では、ADHD 児群における RT-SD の増大 (e.g. Alderson, Rapport, Sarver, & Kofler, 2008) , 左右エラー率の上昇 (e.g. Pliszka et al., 2000) , 見逃し率の上昇 (e.g. Shen et al., 2011) , そして抑制率の低下 (e.g. Overtom et al., 2002) がみられ、それぞれ先行研究を支持する結果であった。一方で、RT および SSRT については、先行研究とは異なる結果となった。この要因として、速さよりも正確性を重視した方略を意識しやすい (Rubia et al., 1998) ことが、Stop 刺激の呈示方法から示唆され、ADHD 児群に対して TD 児群では、速さよりも正確性を重視した方略を意識的にとっていた可能性があることが考えられた。また、呈示刺激が行動成績に及ぼす影響は ADHD 児群で相対的に大きく、Go 刺激

の弁別難易度が大きいほど、パフォーマンスが低下しやすい、とりわけ Go 刺激に対する反応の実行が不安定になりやすいことも示唆された。

これらの結果から、本研究で用いた **Stop-signal** 課題が ADHD 児の臨床症状である衝動性や不注意といった要因を一定程度評価可能であることが示唆される結果が得られたとともに、呈示される刺激の弁別難易度が行動上の問題に及ぼす影響は、TD 児群に対して ADHD 児群で相対的に大きく、行動の安定性には呈示刺激の組み合わせというよりも、単一の刺激としての弁別のしやすさが重要であることが示唆された。

第2節 刺激特性や刺激の組み合わせが ADHD 児の生理指標に及ぼす影響について

これまで、呈示する刺激特性の違いが TD 成人の生理指標に及ぼす影響については、Go/NoGo 課題を用いた加賀ら (2008) によって報告されていたが、TD 成人の ADHD 傾向との関連性や TD 児や ADHD 児といった小児を対象とした研究は報告されていなかった。また、Stop-signal 課題における刺激の組み合わせが生理指標に及ぼす影響について、TD 成人の ADHD 傾向との関連性や TD 児や ADHD 児といった小児を対象とした研究も報告されていなかった。

これらのことから、研究 1、研究 3 そして研究 4 では、呈示される刺激特性の違いについて、Stop-signal 課題における Go 刺激と Stop 刺激の組み合わせの違い、すなわち刺激条件の違いが反応制御過程に及ぼす影響について検討を行った。

TD 成人を対象に予備的な検討を行った研究 1 では、記号刺激条件に対してクルマ刺激条件における GFP ピーク値が上昇し、GFP 潜時値が延長していたこと、GFP は注意処理資源の配分を反映しているとされる (Sallard et al., 2014) ことから、刺激の弁別や刺激処理結果のモニタリングは、記号刺激条件に対してクルマ刺激条件において相対的に困難になる可能性が示唆された。TD 成人を ADHD 傾向の高低によって群分けし、ADHD 傾向と刺激特性の違いについて検討を行った研究 3 では、行動成績や大村 (2018) から示唆されたように、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之差が Go-N2 振幅値之差に反映された可能性が示唆された。また、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したことから、反応の実行や抑制の困難さに関する先行研究 (McLoughlin et al., 2010) が本研究においても追認されたものと考えられた。さらに、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り、Oldenburg et al. (2012) を参考にした Go 刺激と Stop 刺激の組み合わせによって、プライミング効果が生じた可能性が示唆された。ADHD 児や TD 児といった小児を対象とした研究 4 の結果も、行動成績から示唆されたように、ADHD 児群における反応の実行に要する処理資源の配分量が TD 児群よりも大きく、刺激の弁別難易度と比例することが示唆され、反応制御も困難であることが確認された。しかし、研究 3 において示唆された刺激条件によるプライミング効果については、小児においては示唆されず、左右の弁別を求める Go 刺激においては、左右の弁別のしやすさが、Stop 刺激においては、見

目から反応の中止を喚起しやすいバツ印の方が抑制制御には効果的である可能性がそれぞれ示唆された。

研究 2, 研究 5 そして研究 6 では, Go 刺激として用いる刺激種 (車刺激条件, 飛行機刺激条件, 電車刺激条件) および Go 刺激と Stop 刺激の組み合わせの違いが, 反応制御過程に及ぼす影響について検討を行った。

TD 成人を対象に予備的な検討を行った研究 2 では, 意味的関連性のある Priming 試行よりもシンプルなバツ印を呈示した Not-Priming 試行の方が相対的に弁別難易度が低く, 比較的早く注意を向けやすいとともに刺激処理結果のモニタリングもしやすい可能性が先行研究 (e.g. Banaschewski et al., 2007) から示唆された。また, 呈示刺激の違いは刺激処理, とりわけ知覚処理に影響を及ぼし, 視覚刺激処理を担うとされる頭頂-後頭領域における有意差として顕現する可能性も示唆された。TD 成人を ADHD 傾向の高低によって群分けし, ADHD 傾向と刺激特性の違いについて検討を行った研究 5 では, ADHD 傾向の高低による Stop 刺激への処理資源の配分量の違いが, GFP 潜時値の差として現れる可能性が示唆された。ADHD 児や TD 児といった小児を対象とした研究 6 では, 行動成績からも示唆されたように, ADHD 児の行動の安定性には, Go 刺激と Stop 刺激の組み合わせというよりも, 単一刺激としての Go 刺激の弁別難易度が大切であること, 難易度が高いと想定される条件だけではなく難易度が低いと感じられる条件も織り込みつつ, 対象児が取り組みやすさや「できた感」を享受できるような実験デザインが望ましいことが示唆された。その影響は, 反応実行過程だけではなく, 反応抑制過程においても確認され, 弁別難易度が比較的低い条件では頭頂-後頭領域 (Cz, Pz) 付近を賦活させて反応抑制の困難さを補う代償的な手段をとりやすいことが示唆された。弁別難易度が比較的高い条件では, ADHD 児群の発達としては未成熟でもあることが想定されている前頭領域 (Fz) 付近で処理を行おうと試みていたことが良いパフォーマンスにつながらなかった可能性があり, ADHD 児の反応制御過程に及ぼす呈示刺激の果たす役割は大きいことが示唆された。

これらの結果から, 本研究で用いた Stop-signal 課題により, ADHD 児の臨床症状である衝動性や不注意といった要因は, 生理指標においても一定程度評価することが可能であることが示唆された。また, 呈示刺激の弁別のしやすさが行動上の問題に及ぼす影響, あるいは行動上には問題行動として表出しないまでも, 呈示刺激の弁別のしやすさが注意処理資源の配分に及ぼす影響は, TD 児群に対して ADHD 児群で相対的に大きく, 呈示刺激

の弁別のしやすさは、ADHD 児の代償的な刺激処理過程の一助となり得る可能性が示唆された。

第3節 教育的示唆

本研究における教育的示唆として、以下の2点を挙げるができる。

1つ目は、一人ひとりの児童の理解度に合わせた課題・教材選択の重要性についてである。これらを考慮することにより、ADHD児の反応実行や抑制の安定性につながり、それに伴い、度重なる叱責や自己肯定感の低下から生じると想定される二次的な問題を防ぐことができる可能性がある。本研究で用いた Stop-signal 課題は実験室課題の一つであり、日常生活に当てはまる部分は必ずしも多いとは言えない。しかし、多くの先行研究から、TD児群に対してADHD児群におけるRTの延長や見逃し率、左右エラー率の上昇が指摘されている。また、P3振幅値の低下も指摘されており、刺激処理結果のモニタリングの困難さも想定される。この点について、刺激処理のしやすさを考慮することにより、本来は反応制御が困難になりがちな状況でも、ある程度の制御が可能になり得ることを示唆しているといえるだろう。

2つ目は、方略のサポートや代償手段を尊重することの重要性についてである。本研究の結果から、ADHD児はTD児に対して、自発的に適切な方略を生み出しづらく、発達的に未成熟であると思われる前頭前野による処理を行った結果として、良いパフォーマンスにつながらなかった可能性が示唆された。そのような場合におけるサポートとして、さまざまな方略があることを伝えた上で、自分にとってやりやすいやり方を考えさせたり、一人ひとりが理解しやすい刺激を呈示したりすることで、代償手段を活用し得ることが示唆された。

第2章 今後の課題

本研究における今後の課題は大きく3つ挙げられる。

1つ目は、課題の継続時間およびこまめな休息の必要性についてである。研究4と研究6の相違として、1ブロックあたりの課題実施時間の違いがあり、課題時間が長いほど、課題遂行時のパフォーマンスが不安定になること、本研究においては、GFP曲線上のERP成分の不明瞭さにつながった可能性がある。このことから、ADHD児の認知的特徴の一つである持続的注意と課題遂行成績および生理指標との関連についてさらなる知見を得る必要があるだろう。仮に、こまめに休憩がとれることを伝えたり、それを許容できるような環境設定をしたりすることがADHD児の安定的なパフォーマンスを発揮するために必要な条件であるとするならば、ADHD児の指導支援にあたっては、このような工夫が必要であることを示す重要な知見となり得るだろう。

2つ目は、本研究における分析についてである。本研究においては、Go刺激呈示時およびSSTのみの分析にとどまっており、USTについて検討できていない。UST時に生じるERP成分としてはエラー関連陰性電位（Error Related Negativity; ERN）があり（鈴木・篠田，2011），課題に対するモチベーションを反映するというを示した研究（Boksem, Tops, Wester, Meijman, & Lorist, 2006; van Meel, Heslenfeld, Oosterlaan, Luman, & Sergeant, 2011）がある。ERNを分析指標として用いることで、やる気やモチベーションといった内的な要因を検討することが可能になると想定される。また、分析部位も正中3部位にとどまっている点も今後の課題といえるであろう。特に、右前頭部におけるSST-N2振幅値についてPliszka et al. (2000)は、小児において顕著であり、TD児群に対してADHD児群におけるSST-N2振幅値が有意に低下することを報告している。また、本研究における研究4では、SST-N2の出現潜時とした区間におけるGFPピーク値で群と刺激条件の交互作用が認められた一方で、同区間におけるSST-N2振幅値では刺激条件の主効果のみが認められる結果となった。さらに、右前頭におけるSST-N2はTD成人ではみられない（Banaschewski et al., 2007）ことが指摘されていることから、正中3部位以外について分析することにより、小児における反応制御過程に関するさらなる知見が得られる可能性がある。

3つ目は、Go刺激とStop刺激の組み合わせについてである。本研究におけるTD成人の結果では、Go刺激とStop刺激の組み合わせがプライミング効果を生じさせた可能性を示唆する結果となった。しかし、その一方で、小児においては、Go刺激とStop刺激の組

み合わせというよりも、単一刺激としての刺激のとらえやすさが行動成績および生理指標にとって大切であることが示唆された。これらの結果から、Go 刺激と Stop 刺激の対をクルマ刺激条件と記号刺激条件それぞれで混合させた課題とすること、プライミングを示唆させるような教示を行うこと、刺激間間隔を操作した上で刺激処理プロセスにどのような違いが生じるかについて検討を行うこと等、反応制御への経時的効果を検討するデザインを設定することも課題といえるだろう。

文献

- Albrecht, B., Banaschewski, T., Brandeis, D., Heinrich, H., & Rothenberger, A. (2005) Response Inhibition deficits in externalizing child psychiatric disorders : An ERP-study with the stop-task. *Behavior and Brain Function*, 9, 1-22.
- Alderson, R. A., Rapport, M. D., Sarver, D. E., & Kofler, M. J. (2008) ADHD and behavioral inhibition: A re-examination of the Stop-signal task. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 36, 989-998.
- American Psychiatric Association (1994) Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders 4th edition. American Psychiatric Press. Washington DC.
- American Psychiatric Association (2013) Diagnostic and Statistical Manual of mental disorders (5th ed., text version), Washington DC.
- Aron, A. R., & Poldrack, R. A. (2006) Cortical and subcortical contributions to stop signal response inhibition: role of the subthalamic nucleus. *Journal of Neuroscience*, 26(9), 2424-2433.
- Aron, A. R., Behrens, T. E., Smith, S., Frank, M. J., & Poldrack, R. A. (2007) Triangulating a cognitive control network using diffusion-weighted magnetic resonance imaging (MRI) and functional MRI. *Journal of Neuroscience*, 27(14), 3743-3752.
- 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.
- 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.
- Barkley, R. A. (1997) Behavioral Inhibition, Sustained Attention, and Executive Functions : Constructing a Unifying Theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 121, 65-94.
- 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.

- Boksem, M., Tops, M., Wester, A., Meijman, T., & Lorist, M. (2006) Error related ERP components and individual differences in punishment and reward sensitivity. *Brain Research*. 1101(1), 92-101.
- Brandeis, D., van Leeuwen, T. H., Rubia, K., Vitacco, D., Steger, J., Pascual-Marqui, R. D., & Steinhausen, H.-C. (1998) Neuroelectric mapping reveals precursor of stop failures in children with attention deficits. *Behavioural Brain Research*. 94. 111–125.
- 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.
- Chandler, C. (2010) *The science of ADHD*. Oxford: Wiley-Blackwell.
- Chikazoe, J., Jimura, K., Hirose, S., Yamashita, K. I., Miyashita, Y., & Konishi, S. (2009) Preparation to inhibit a response complements response inhibition during performance of a stop-signal task. *Journal of Neuroscience*, 29(50), 15870-15877.
- Conners, C.K, 原著・田中康雄監訳・坂本律訳 (2011) *Conners3 日本語版マニュアル*. 金子書房.
- Conners, C. K., Erhardt, D., & Sparrow, E. (1999) *Conners' adult ADHD Rating Scale: CAARS*. Toronto, MHS.
- Dovis, S., Van der Oord, S., Wiers, R. W., & Prins, P. J. (2012) Can motivation normalize working memory and task persistence in children with attention-deficit/hyperactivity disorder? The effects of money and computer-gaming. *Journal of abnormal child psychology*, 40(5), 669-681.
- Duncan, J. (2013) The structure of cognition: attentional episodes in mind and brain. *Neuron*, 80(1), 35-50.
- DuPaul, G. J., Power, T. J., Anastopoulos, A. D., & Reid, R. (1998) *ADHD Rating Scale-IV Checklists, norms, and clinical interpretation*. The Guilford Press, New York.

- Dupuis, A., Indralingam, M., Chevrier, A., Crosbie, J., Arnold, P., Burton, C. L., & Schachar, R. (2019) Response Time Adjustment in the Stop Signal Task: Development in Children and Adolescents. *Child development*, 90(2), 263-272.
- 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.
- Enriquez-Geppert, S., Konrad, C., Pantev, C., & Huster, R. J. (2010) Conflict and inhibition differentially affect the N200/P300 complex in a combined go/nogo and stop-signal task. *Neuroimage*, 51(2), 877-887.
- Eysenck, H. J., & Eysenck, S. B. G. (1969) *Personality structure and measurement*. Routledge & K. Paul.
- Falkenstein, M., Hoormann, J., Christ, S., & Hohnsbein, J. (2000) ERP components on reaction errors and their functional significance: a tutorial. *Biological Psychology*, 51, 87-107.
- 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.
- Gehring, W. J., Gratton, G., Coles, M. G., & Donchin, E. (1992) Probability effects on stimulus evaluation and response processes. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, 18(1), 198.
- Gajewski, P. D., & Falkenstein, M. (2013) Effects of task complexity on ERP components in Go/Nogo tasks. *International Journal of Psychophysiology*, 87(3), 273-278.
- 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.
- 後藤太郎・山下裕史朗・宇佐美政英 (2011) 臨床研究・症例報告 小児の生活機能評価のためのツール「子どもの日常生活チェックリスト QCD」の臨床応用の可能性. 小児科臨床, 64(1), 99-106.

- 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.
- Jin, J., Yu, L., & Ma, Q. (2015) Neural Basis of Intrinsic Motivation: Evidence from Event-Related Potentials. *Computational Intelligence and Neuroscience*. Article ID 698725
- Johnstone, S. J., Barry, R. J., & Clarke, A. R. (2007) Behavioral and ERP indices of response inhibition during a Stop-signal task in children with two subtypes of Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *Psychophysiology*, 66, 37-47.
- 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.
- Kok, A., Ramauter, J. R., De Ruiter, M. B., Band, G. P., & Ridderinkhof, K. R. (2004) ERP components associated with successful and unsuccessful stopping in a stop-signal task. *Psychophysiology*, 41(1), 9-20.
- Konishi, S., Nakajima, K., Uchida, I., Kikyo, H., Kameyama, M., & Miyashita, Y. (1999) Common inhibitory mechanism in human inferior prefrontal cortex revealed by event-related functional MRI. *Brain*, 122(5), 981-991.
- 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.

- Lijffijt, M., Kenemans, J. L., Verbaten, M. N., & van Engeland, H. (2005) A meta-analytic review of stopping performance in attention-deficit/hyperactivity disorder: Deficient inhibitory motor control? *Journal of Abnormal Psychology*, 114(2), 216-222.
- Liotti, M., Pliszka, S.R., Perez, R., Luus, B., Glahn, D., & Semrud-Clikeman, M. (2007) Electrophysiological correlates of response inhibition in children and adolescents with ADHD. *Psychophysiology*, 44(6), 936-948.
- Liotti, M., Pliszka, S.R., Higgins, K., Perez, R., & Semrud-Clikeman, M. (2010) Evidence for specificity of ERP abnormalities during response inhibition in ADHD children: A comparison with reading disorder children without ADHD. *Brain and Cognition*, 72, 228-237.
- Lipszyc, J., & Schachar, R. (2010) Inhibitory control and psychopathology: a meta-analysis of studies using the stop signal task. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 16(6), 1064-1076.
- 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.
- Logan, G. D., Schachar, R. J., & Tannock, R. (1997) Impulsivity and inhibitory control. *Psychological science*, 8(1), 60-64.
- 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
- 増井啓太・野村理朗 (2010) 衝動性の基盤となる構成概念, 脳, 遺伝子多型について. 感情心理学研究, 18(1), 15-24.
- 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.
- Michel, C. M., Koenig, T., Brandeis, D., Wackermann, J., & Gianotti, L. R. (2009) *Electrical neuroimaging*. Cambridge University Press.
- 宮田洋・藤沢清・山崎勝男・柿木昇治 (1998) 新生理心理学 1 卷—生理心理学の基礎—. 北大路書房.
- 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.
- Neely, K. A., Wang, P., Chennavasin, A. P., Samimy, S., Tucker, J., Merida, A., Perez-Edgar, K., & Huang-Pollock, C. (2017) Deficits in inhibitory force control in young adults with ADHD. *Neuropsychologia*, 99, 172-178.
- 根來秀樹・飯田順三 (2007) 注意欠陥多動性障害 (AD/HD) の事象関連電位. *Journal of Nara Medical Association*, 58(4), 103-114.
- 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.
- Nigg, J.T. (2000) On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology : Views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological Bulletin*, 126, 220-246.
- Nigg, J. T. (2001) Is ADHD a disinhibitory disorder? *Psychological bulletin*, 127(5), 571-598.
- 西澤優子・小松伸一 (2002) 停止信号課題を用いた注意機能研究の展望. 信州大学教育学部紀要, 108, 101-111.
- 入野野宏 (2005) 心理学のための事象関連電位ガイドブック, 北大路書房, 18-40.

- 入戸野宏・堀忠雄（2000）心理学研究における事象関連電位（ERP）の利用．広島大学総合科学部紀要 IV 理系編, 26, 15-32.
- 岡崎慎治（2012）ADHD への生理学的接近．生理心理学と精神生理学, 30(2), 115.
- Oldenburg, J. F. E., Roger, C., Asseondi, S., Verbruggen, F., & Fias, W. (2012) Repetition priming in the stop signal task: The electrophysiology of sequential effects of stopping. *Neuropsychologia*, 50, 2860-2868.
- 大村一史（2008）ニューロイメージングを中間表現型とした ADHD へのアプローチ．山形大学紀要（教育科学）, 14(3), 37-53.
- 大村一史（2011）ADHD における実行機能の指標としての事象関連電位．山形大学紀要（教育科学）, 15(2), 131-142.
- 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.
- Overtom, C., Kenemans, J., Verbaten, M., Kemner, C., van der Molen, M., van Engeland, H., Buitelaar, J., & Koelega, H. (2002) Inhibition in children with attention-deficit/hyperactivity disorder: A psychophysiological study of the stop task. *Biological Psychiatry*, 51(8), 668-676.
- Patton, J. H., Stanford, M. S., & Barratt, E. S. (1995) Factor structure of the Barratt Impulsiveness Scale. *Journal of Clinical Psychology*. 51, 768-774.
- Pennington, B. F., & Ozonoff, S. (1996) Executive functions and developmental psychopathology. *Journal of child psychology and psychiatry*, 37(1), 51-87.
- Pliszka, S. R., Glahn, D. C., Semrud-Clikeman, M., Franklin, C., Perez Iii, R., Xiong, J., & Liotti, M. (2006) Neuroimaging of inhibitory control areas in children with attention deficit hyperactivity disorder who were treatment naive or in long-term treatment. *American Journal of Psychiatry*, 163(6), 1052-1060.
- Pliszka, S. R., Liotti, M., & Woldorff, M. G. (2000) Inhibitory control in children with attention-deficit/hyperactivity disorder: event-related potentials identify the processing component and

- timing of an impaired right-frontal response inhibition mechanism. *Biological psychiatry*, 48(3), 238-246.
- 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.
- Riccio, C. A., Reynolds, C. R., & Lowe, P. A. (2001) *Clinical applications of continuous performance tests: Measuring attention and impulsive responding in children and adults*. John Wiley & Sons Inc.
- Rieger, M., & Gauggel, S. (1999) Inhibitory after-effects in the stop signal paradigm. *British Journal of Psychology*, 90, 509-518.
- Rubia, K., Oosterlaan, J., Sergeant, J. A., Brandeis, D., & Leeuwen, T. V. (1998) Inhibitory dysfunction in hyperactive boys. *Behavioural brain research*, 94(1), 25-32.
- 齊藤万比古 (2016) 注意欠如・多動症-ADHD-の診断・治療ガイドライン. じほう.
- 坂尻千恵・前川久男 (2007) 注意欠陥多動性障害児および広汎性発達障害児を対象とした Stop-signal 課題における反応抑制の検討. 特殊教育学研究, 45(2), 67-76.
- 坂尻千恵・岡崎慎治・前川久男・立川和子・市川正嗣・二上哲志 (2005) 注意欠陥/多動性障害児における行動抑制の検討:停止信号の呈示タイミングを変えた Stop-signal 課題を用いた遂行成績より. 小児の精神と神経, 45(4), 363-371.
- Sallard, E., Barral, J., Chavan, C. F., & Spierer, L. (2014) Early attentional processes distinguished from global motor inhibitory control: an electrical neuroimaging study. *Neuroimage*, 87, 183-189.
- Skrandies, W. (1990) Global field power and topographic similarity. *Brain topography*, 3(1), 137-141.

- Senderecka, M., Grabowska, A., Szewczyk, J., Gerc, K., & Chmylak, R. (2012) Response inhibition of children with ADHD in the stop-signal task: An event-related potential study. *International Journal of Psychophysiology*, 85(1), 93-105.
- 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.
- Shen, I. H., Tsai, S. Y., & Duann, J. R. (2011) Inhibition control and error processing in children with attention deficit/hyperactivity disorder: An event-related potentials study. *International Journal of Psychophysiology*, 81, 1-11.
- Slusarek, M., Velling, S., Bunk, D., & Eggers, C. (2001) Motivational effects on inhibitory control in children with ADHD. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 40(3), 355-363.
- 鈴木浩太・篠田晴男 (2011) 熟慮性—衝動性とエラー関連陰性電位. 立正大学心理学研究年報 (2) , 104-111.
- 立花隆 (1996) 脳を究める—脳研究最前線. 朝日新聞社, 113-124.
- van Aken, L., van der Heijden, P. T., Oomens, W., Kessels, R. P., & Egger, J. I. (2017) Predictive Value of Traditional Measures of Executive Function on Broad Abilities of the Cattell–Horn–Carroll Theory of Cognitive Abilities. *Assessment*, doi:1073191117731814.
- van Meel, C. S., Heslenfeld, D. J., Oosterlaan, J., Luman, M., & Sergeant, J. A. (2011) ERPs associated with monitoring and evaluation of monetary reward and punishment in children with ADHD. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 52(9), 942-953.
- 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.
- Verbruggen, F., & Logan, G. D. (2008) Response inhibition in the stop-signal paradigm. *Trends in cognitive sciences*, 12(11), 418-424.
- Verbruggen, F., & Logan, G. D. (2009a) Models of response inhibition in the stop-signal and stop-change paradigm. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33, 647-661.
- Verbruggen, F., & Logan, G. D. (2009b) Proactive adjustments of response strategies in the stop-signal paradigm. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(3), 835-854.
- Winstanley, C.A., Eagle, D. M., & Robbins, T.W. (2006) Behavioral models of impulsivity in relation to ADHD: Translation between clinical and preclinical studies. *Clinical Psychology Review*, 26, 379-395.
- Wessel, J. R., & Aron, A. R. (2015) It's not too late: The onset of the frontocentral P3 indexes successful response inhibition in the stop - signal paradigm. *Psychophysiology*, 52(4), 472-480.
- 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.

謝辭

大学生のときに、大好きな野球が例として取り扱われた論文に出会い、それが障害科学の分野にも活用されていることを知りました。興味半分で取り組み始めた卒論が博士論文にまでつながるとは想像もしていませんでした。自分なんかに果たして博士論文をまとめることができるのかと不安になることが何度もありました。そんなときに叱咤激励してくれた障害科学専攻の先生方、友人など、私に関わってくださったすべての方々に感謝の気持ちでいっぱいです。

指導教員である岡崎慎治先生には、本当にたくさんのことを教えていただきました。卒論執筆にあたって、私の興味関心に沿った論文を紹介してくださったことが人生のターニングポイントになったように思います。自分自身の能力からして、臨床と実験を両立させることは簡単ではありませんでしたが、それらが互恵関係にあることは岡崎研究室だからこそ学ぶことができたのではないかと思います。今後ともご指導のほどよろしく願いいたします。柿澤敏文先生には、後期課程からご指導いただきました。本論文でのデータの分析方法やまとめ方は、柿澤先生が思い描くまとめ方ではないかもしれませんが、頂戴したご指摘は示唆に富んでおり、今後の研究生活に活かしていかなければならないと感じています。原島恒夫先生には、後期課程の最終発表からご指導いただきました。原島先生には、首尾一貫した文章の書き方について教えていただき、本論文の作成にあたって大変参考になりました。修論から後期課程の中間発表までは、塩川宏郷先生にもご指導をいただきました。塩川先生には、臨床医学的な観点からご指摘を多数いただきました。不十分ながらも実験的研究の臨床的意義について考える機会が得られたことや論文に関するテクニックは私自身にとって貴重な財産になりました。修論では、園山繫樹先生にもご指導を賜りました。異なる視覚刺激を用いた実験パラダイムにたどり着いたのは、園山先生のご指導の賜物です。卒論では、宇野彰先生にもご指導いただきました。宇野先生には、発表や質疑応答のマナーを基本から教えていただき、発表時間を厳守すること、主語と述語を明確に対応させることの大切さを教えていただきました。

青木真純さん、奥畑志帆さん、大井亜由美さん、奥村香澄さん、吉井鮎美さん、中島範子さん、町田幸太郎さん、菅原恵理さん、岡村恵里子さん、岡崎研究室のみなさん、論文作成にあたり、様々なことをお手伝いしていただきました。心より御礼申し上げます。また、快く研究に参加してくださったすべての方々の協力にも厚く御礼申し上げます。そして、私の意志を尊重し、大学院まで進学させてくれた両親や親類の方々にも感謝の気持ちでいっぱいです。私の研究に関わってくださったすべての皆さまのお力添えのおかげで今の私があると思っています。本当にありがとうございました。そして、今後とも何卒よろしく願いいたします。

末筆ながら皆さまのご健康とご多幸を心よりお祈りするとともに、重ねて御礼申し上げます。

令和元年 5 月 22 日

中野 泰伺