

情動が反応時間課題に与える影響

沖津 健吾

Emotion affects Reaction Time Task

Kengo Okitsu

Abstract – The effects of emotion on motion execution is less well understood. In this study, to investigate the effects of fear emotion, we examined the reaction time (RT) of 12(5 f) healthy human participants who conducted the Cued GoNogo task. An emotional facial stimulus was used as a cue to manipulate participant's emotion. As a result, we obtained significantly longer RT under the condition that facial stimuli elicited fear emotion in participants than under the condition that they didn't.

Keywords : emotion, fear, reaction time, go nogo task

1. はじめに

1.1 研究背景と目的

人間はコミュニケーションを通じて他者との意思疎通を図ることができる。その際他者の情動の認知とその情報に基づいて行動する能力は、健全な社会生活を営む上で極めて重要であると考えられており、情動がその後の行動に及ぼす影響のメカニズムの解明が求められている。

Ledoux によると、情動は神経系の生物学的機能であると定義されている^[1]。つまり、情動とは単に意識の主観的状态のことを指すのではなく、あくまでも生存に有利な行動を生じさせる脳の機能であり、感情と呼ばれる意識の主観的状态もその出力の一つとみなすということである。ここで、恐怖系は逃避や闘争などの防御行動を引き起こす系であると定義される^[1]。数ある情動のなかでも主に以下の3点の理由からこれまで中心的に研究されており、神経系のメカニズムの理解が一番進んでいる情動である^[1]。

- (1) 恐怖は人の人格と社会構造に深く入り込んでいる
- (2) 恐怖は精神病理学で重要な役目をもつ
- (3) 恐怖は人間と他の動物で同様に表現される

恐怖系では扁桃体が中心的な役割を果たしていることが知られている。危険を知らせるシグナルが視床や感覚皮質から扁桃体に入力されると、その出力が心拍数、血圧や筋活動などを調節してその後の防御行動に最適な状態に身体を変化させる。また、その他の恐怖系の重要な出力として、皮質全体の活性化による覚醒度の上昇や、中脳中心灰白質を活性させることによるすくみ反応、橋網様体尾部を活性させることによる驚愕反応の亢進などが生じると考えられている^[1]。

これまで、恐怖系の出力が知覚に与える影響が主に研究されてきた^{[2][3]}。例えば、Phelps らは恐怖表情画像を情動刺激として提示した場合、中立表情画像を提示した場合に比べてその後の傾き判別課題においてコントラスト感度が上昇することを示した。これは皮質の覚醒度の上昇により生じたと考えられている^[4]。

また、同様に恐怖表情画像を情動刺激として提示した場合、中立表情画像などの他の画像を提示した場合に比べて、紡錘状顔領域の活性化が生じていることが分かっており、これは顔情報の処理の促進に役割を果たしていると考えられている^[5]。しかし、恐怖系がすくみ反応や驚愕反応の亢進など運動に関連する反応を引き起こす可能性があるにも関わらず、恐怖情動がその後の運動を含んだ行動に与える影響について未だ多くのことが明らかでない。

そこで本研究では、恐怖系の出力がその後の運動を含めた行動課題にどのような影響を及ぼすかを調べることを目的とする。

1.2 研究方針

情動表情に迅速に注意し、反応する能力は社会的コミュニケーションや生存に極めて重要な役割を果たす^{[6][7]}。この主張は情動表情が行動準備に関する一連の生理学的処理を引き起こすという様々な研究によって支持されており^[5]、fMRIを用いた研究によって、恐怖表情の提示は中立表情の提示に比べて、脅威刺激に対する防御行動に中心的な役割を果たすと言われている扁桃体の有意な活動を引き起こすことが知られている^{[5][8]}。以上のことから、恐怖表情の提示後は中立表情の提示後に比べ、恐怖系の働きで行動準備が促進されていると考えることができる。従って以下の作業仮説が考えられる。

恐怖表情を提示した場合、中立表情を提示した場合に比べてその後の課題に対する反応時間が変化する。

本研究では、この作業仮説を検証するために実験を行う。具体的には、Cue刺激として情動表情画像を用いた Cued GoNogo 課題における反応時間の計測・解析を行う。条件として課題の直前に提示する表情画像に中立 (Neutral) 表情と恐怖 (Fear) 表情を用いて、条件間の比較を行う。

2. 実験方法

2.1 参加者

参加者は平均年齢 24.4 才の正常な矯正視力を持つ健康な学生 12 名 (男性 7 名、女性 5 名、2 名は左利き) であり、精神疾患にかかった経歴はなかった。

2.2 実験課題と装置・刺激

Go Nogo 課題とはある刺激が来た場合反応し (Go 試行)、その他の刺激が来た場合反応しない (Nogo 試行) という課題である。得られるデータとしては、Go 試行の反応時間、Nogo 試行で反応してしまうエラー (衝動性エラー) の回数、Go 試行で反応しないエラー (省略エラー) の回数の 3 つである。精神病理学の分野では、質問紙では捉えることのできない衝動性にもとづく行動反応の検出が可能となると予測されている実験システムである^[9]。

本研究では、Go Nogo 課題の直前に Cue として画像が提示され、その後提示されるターゲット刺激に対して課題を行う Cued GoNogo 課題を参加者に行わせた。直前に提示される画像を Cue 刺激と呼び、本実験では Cue 刺激として情動表情画像を用いることで参加者の情動を操作した。具体的には、Cue 刺激の後に提示されるターゲット刺激として b(視野角 [幅×高さ]:1.20°×1.95°) が表示されたら利き腕でマウスの左クリックボタンを押し (Go 試行)、d(1.20°×1.95°) が表示されたら反応をしない (Nogo 試行) という課題である。参加者への課題のフィードバックとして、b に対して正しい反応をした場合は反応時間をミリ秒単位で提示し (3.15°×1.49°)、d に対して正しい反応をした場合は青色の円 (3.67°×3.67°) をモニター中心に提示した。誤った反応をした場合は何も表示せず黒い背景画面のみが提示されるようにした。ここで、反応時間を提示したのは衝動性エラーを誘発し、Cue 刺激による衝動性エラー率への影響を観測しやすくするためである。

Cue 刺激として Ekman らの情動表情画像データベースである Pictures of Facial Affect を使用した^[10]。情

動表情画像は中立 (Neutral) 表情, 恐怖 (Fear) 表情の
カテゴリーから同一人物のものをそれぞれ 10 枚ずつ
選択し (内 5 枚は女性), 全部で 20 枚の表情画像を用
いた (9.49 ° × 13.46 °). 以上, 課題の条件は Cue 刺
激として中立表情が提示される Neutral 条件, 恐怖表
情が提示される Fear 条件の計 2 つであった.

刺激提示には Matlab と Psychophysics Toolbox
を使用し, 提示用モニターには Apple 社の Mac-
BookPro(15.4 インチ, 60 Hz) を使用した. 刺激は常
に黒い背景画面の中心に表示された. モニター中心に
提示する注視点として白い十字の画像 (1.03 ° × 1.03
°) を使用した. ここで先行研究より, 表情画像を提
示した際まず画像の目の部分に視線が移動することが
知られている^[11]. よって参加者が表情画像を見る際
の視線移動の影響を小さくするため, 表情画像の両目
の中心がモニターの中心とほぼ合うように表情画像の
位置を調整した.

2.3 実験手順

実験はモニター以外からの光を遮断するために, 光
の入らない防音室の中で行われた. 参加者はモニター
から 100 cm の位置に座るように指示され, 課題中は
常にモニターの中心を見るように指示された.

Fig.1 に 1 試行の流れを示す. まず注視点画像が表
示され, その 1700 ms 後に Cue 画像として 2 条件の表
情画像の内のいずれかが 250 ms だけ提示された. そ
の後 50 ms だけ再度注視点画像が提示された後, ター
ゲット刺激である b または d が表示され, 参加者に課
題を行わせた. ターゲット刺激提示から反応までの制
限時間は 1000 ms とした. 反応の正誤に応じてフィード
バック画像を 800 ms 提示した. ターゲット刺激の
提示から次の試行の注視点の提示までは 3600 ms と
した.

ここで Cue の提示時間が 250 ms, Cue のオンセッ
トからターゲットのオンセットまでの時間が 300 ms
にしたのは以下の 2 つの理由からである. 1 つは表情
に対する行動準備が出来ていると考えられるからであ
る. TMS を用いた先行研究において表情画像のオン

セットから 300 ms の時点で Neutral 表情を提示した
時に比べて Fear 表情を提示した時に大脳皮質から脊
髄にかけて走行する軸索である皮質脊髄路の活性が起
こることが知られている^[12]. EEG を用いた研究にお
いて, Fear 表情によって視覚皮質を経由して扁桃体が
活性化するためには表情画像のオンセットから約 200
ms 必要であると考えられており^[5], また表情画像の
オンセットから 300 ms 以降で Neutral 表情提示後に
比べて Fear 表情提示後の方で有意な活動が大脳皮質
の広い範囲において観測されている^[13]. 以上より表
情画像のオンセットから 300 ms 以降において表情画
像に対する行動準備が出来ていると考えられる. もう
1 つは, 表情に対する概念知識の処理による影響が弱
い内に課題を行わせるためである. ここで表情に対す
る概念知識とは, 表情に関連した記憶に基づく表情や
感情カテゴリーに対する知識のことであり, 個人の経
験に強く依存する. 300 ms では概念知識の処理によ
る影響は弱いと考えられる^[14]. Neutral, Fear 条件が
それぞれ 30 試行の計 60 試行を 1 block とし, Go 試
行の割合は 70 % であった. これは Go 試行の割合を
多くし Go 反応をする方向に反応バイアスをかけるこ
とで衝動性のエラーを誘発するためである.

実験は以下の手順で行った. まず参加者に実験の目
的と実験の流れの説明を行った後, 同意書と状態-特性
不安検査 (新版 STAI, 実務教育出版^[15]) の記入をさせ
た. STAI は情動表情刺激に対する処理の個人差を反
映すると言われていることから取得した^[16]^[17]. 次に
表情の弁別が正しく行えるかどうかを確かめるため,
本実験と全く同じ環境, 時間パラメータで表情分類テ
ストを行った. その後教示を行ってから実験の練習を
行い, それから本実験に入った. 練習は 1 block 行い,
本実験は適宜休憩を取りながら 6 block を行った. た
だし block 間の影響を小さくするため, block 間で最
低でも 1, 2 分の休憩は必ず取るようにした. 参加者
に行った教示は以下のとおりである.

1. 反応バイアスの統制

「なるべく早く速く判断し, なるべく速く反応するよ

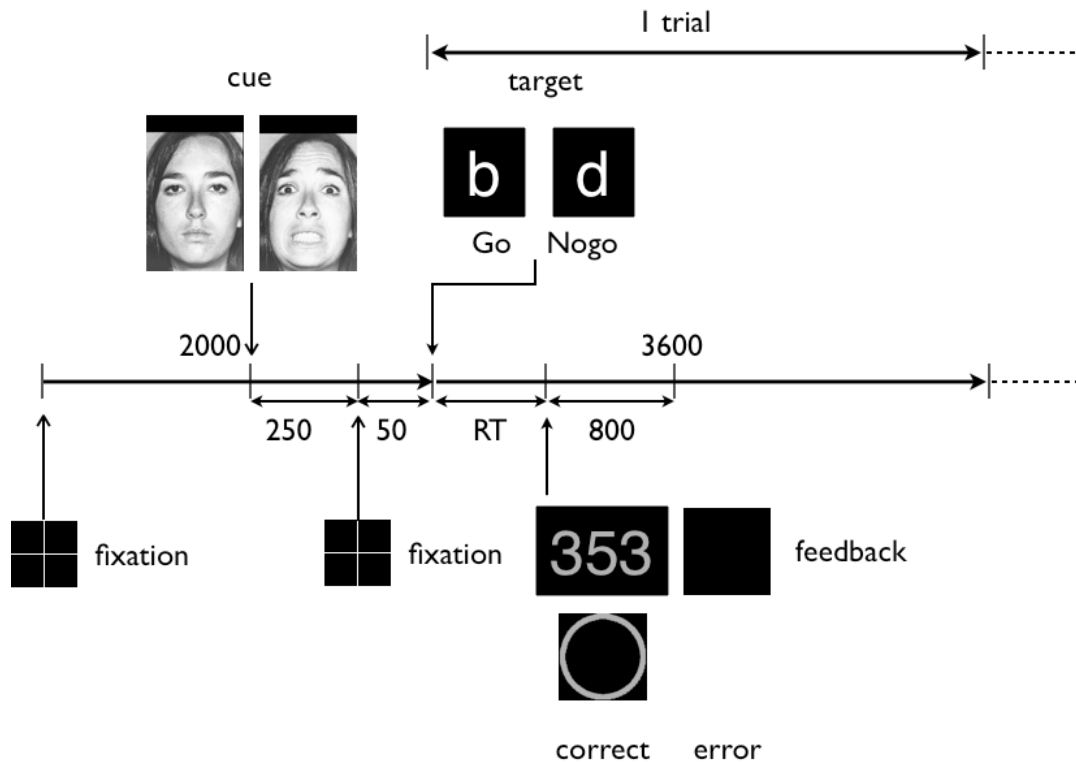


Fig.1 実験プロトコル

うにしてください。」

2. Cue による課題への影響を消さないための教示

「試行が始まったらまばたきをしないようにしてください。間に表示される表情画像を無視しないでください。」

3. Cue による影響の統制

「表情判別課題の時のように表情を強く意識しないで、ただ見てください。」

ここで最後の教示は、表情を見る際の課題の要求が情動系の活動を变化させることが知られているため、大脳皮質から情動系へのトップダウン信号が比較的小さいと言われている無課題条件 (passive viewing) [18] に近づけるために行った。

2.4 実験データの解析

実験によって得られたデータは、状態-特性不安検査によって得られる、実験時点での不安状態を表す状態不安得点 (state anxiety) と日常生活における不安傾向を表す特性不安得点 (trait anxiety)、表情分類テストの成績、Go 試行における課題の反応時間、全

試行中 Nogo 試行において反応をした衝動性のエラー (Commission Error : CER) の回数、全試行中 Go 刺激において制限時間以内に反応をしなかった省略エラー (Omission Error : OER) の回数であった。反応時間は、1名の参加者から (OER が0だった場合) Neutral, Fear 条件がそれぞれ 126 試行分ずつ得られた。

ここで、CER 試行直後は反応戦略が異なることが知られているので [19]、情動表情による影響のみを見るために、CER 試行直後の反応時間データは除いた。また、反応時間課題における反応時間データは log をとると正規分布に従うことが報告されていることから [20]、得られた全ての反応時間データに対して log をとったデータに対して Q-Q プロットを用いて正規分布から外れているデータを除去した後、t 検定 (ウェルチの方法) を用いて Neutral-Fear 条件間の反応時間の平均値の差の検定を行った。

エラー率については、各条件の CER 率に対してフリードマンの検定を用いて条件間の比較を行い、またスピアマンの順位相関係数を用いて他のデータとの相

関関係を解析した。

3. 結果

3.1 分類テスト

一人の参加者において実験上の不備により分類テストの成績が得られなかった。分類テストの正答率の平均値は 96.0 % (標準偏差 6.3) であり、参加者は本実験と同じ環境で表情を正しく弁別できることが示された。

3.2 Go Nogo 課題の結果

各参加者から得られたデータを全て Table 1 に示した。

3.2.1 反応時間

各参加者の反応時間の条件毎の中央値を見てみると、2名を除いて、Neutral 条件に比べて Fear 条件の反応時間が大きいことが分かる。

CER 試行直後の試行を除いた全ての反応時間に対して log をとり Q-Q プロットを用いて正規性を検討した所、200 ms 以下と 600 ms 以下は Q-Q プロットの直線を外れており、課題がうまく行えていない可能性があるため、上述したようにデータから除去した (Fig.2)。除去したデータ数は全反応時間データ 3023 個中、200 ms 以下は 36 個、600 ms 以上は 31 個であった。その結果得られた反応時間データの Neutral

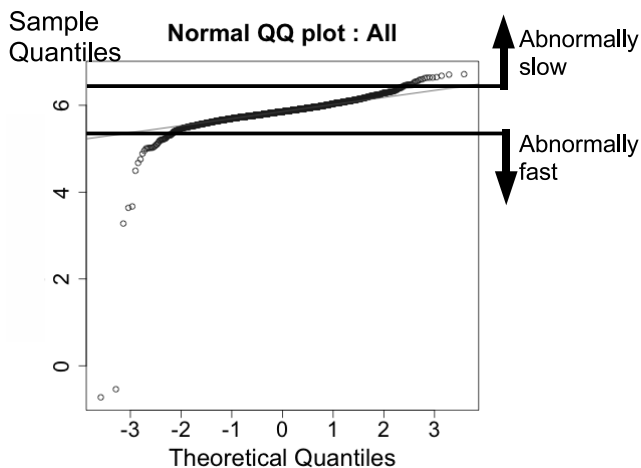
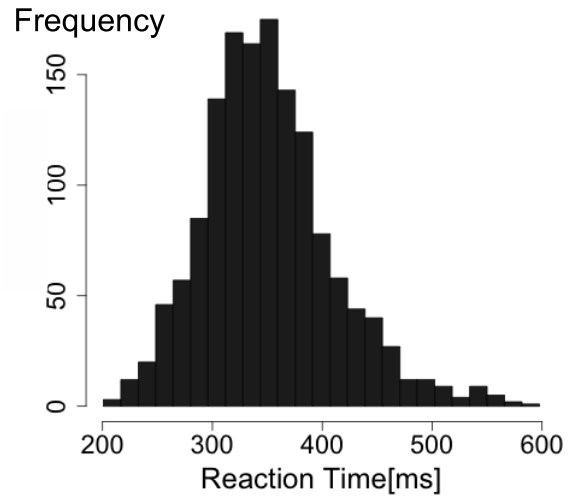


Fig.2 全参加者の反応時間データの Q-Q プロット

条件のヒストグラムと、Fear 条件のヒストグラムを以下に示す。2 条件の反応時間データに対して、正規分

(a) Histogram of RT:Neutral condition



(b) Histogram of RT:Fear condition

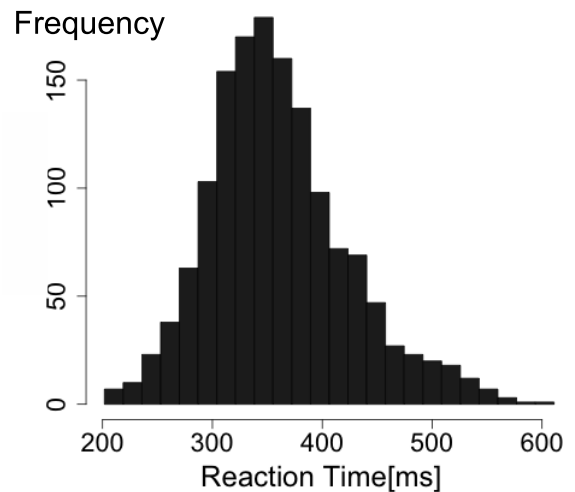


Fig.3 各条件の反応時間データのヒストグラム

- (a) Neutral 条件のヒストグラム
- (b) Fear 条件のヒストグラム

布と見なすためそれぞれ log をとって t 検定 (ウェルチの方法) を行ったところ、Neutral 条件に比べて Fear 条件の反応時間が有意に大きいという結果が得られた (** $p < .01$)。

Table 1 全参加者の全データ

Participant	Condition	Neutral			Fear			state	trait
		Median[ms]	CER	OER	Median[ms]	CER	OER		
1		400	2	0	421	0	0	35	58
2		335	0	1	343	7	0	46	52
3		314	3	0	320	9	0	45	54
4		302	7	0	296	5	0	52	39
5		386	12	0	401	8	0	47	52
6		343	4	0	335	7	0	37	45
7		306	30	0	340	27	0	38	36
8		343	3	0	362	1	0	29	34
9		375	3	0	393	2	0	42	69
10		343	3	0	347	8	0	32	60
11		323	3	0	334	5	0	46	64
12		346	6	0	356	6	0	39	50

Neutral:Neutral 条件, Fear:Fear 条件

Median:中央値, CER:衝動性のエラー, OER:省略エラー

state:状態不安得点, trait:特性不安得点

3.2.2 エラー率

CERの回数の条件間の違いを調べるためフリードマン検定を行ったところ, 条件間で有意な差は見られなかった ($p = 0.76$)。また, 他のデータとの相関関係をスピアマンの順位相関係数を用いて調べたところ, どの組合せにおいても有意な相関関係が認められなかった。しかし各参加者毎の, 条件の違いによる反応時間の中央値の変化 (Fear 条件の中央値から Neutral 条件の中央値を引いたもの) と, CER 率の変化 (Fear 条件の CER 率から Neutral 条件の CER 率を引いたもの) の間の相関には有意傾向が見られた ($+p = 0.06$)。相関プロットを Fig.4 に示す。参加者の中央値の増加が約 13 ms 以降の時は, CER は必ず減少していることが分かる。

3.3 アンケートの結果と他のデータとの相関

アンケートの点数は, 状態不安得点 (80 点満点) が平均 40.7 点 (標準偏差 6.8), 特性不安得点 (80 点満点) が平均 51.1 点 (標準偏差 11.0) であった。アンケー

correlation between median shift and CER shift

CER shift [%]

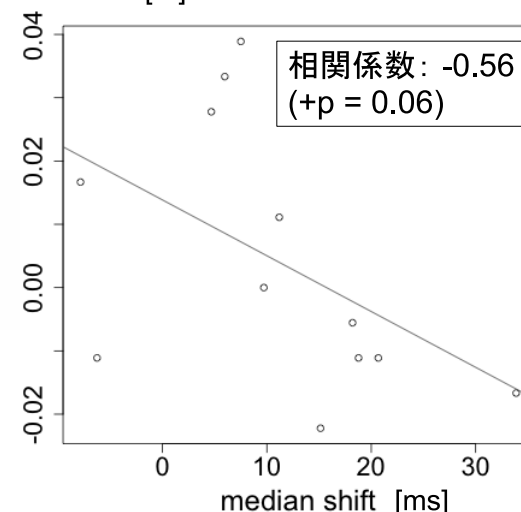


Fig.4 条件間の中央値の変化と衝動性のエラー率の変化の間の相関

median shift:各参加者の条件間の中央値の変化
CER shift:各参加者の条件間の CER 率の変化

トの点数と他のデータとの相関関係をスピアマンの順位相関係数を用いて調べたところ、どの組合せにおいても有意な相関関係が認められなかった。弱い相関が観測された特性不安得点と Neutral 条件の中央値間の相関、特性不安得点と Fear 条件の中央値間の相関を Fig.5 に図示する。このように日常生活における不安傾向を表す特性不安得点と、各条件の反応時間の中央値との間に有意ではないが正の相関が観測された。

4. 考察

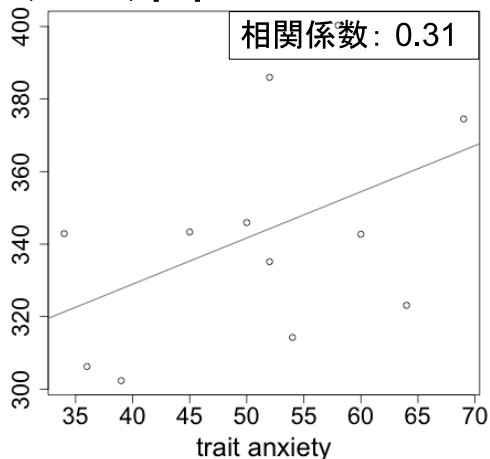
4.1 反応時間

本実験により、課題の直前に情動表情画像を提示する Cued GoNogo 課題において Fear 表情を Cue として提示した方が Neutral 表情を Cue として提示した場合に比べて反応時間の平均値が有意に大きいという結果が得られた。

本実験では課題とは無関係に表情画像を提示したことで、扁桃体の活動が抑制されづらいと言われている無課題条件 (passive viewing) と同様の脳活動が起こっていると考えられる。また先行研究から、情動表情に対する行動準備が出来ている状態でかつ概念知識処理の影響を極力排除する時間設定にしたことで、恐怖系の影響を強く抽出できるようにした。これらのことから、本実験で得られた平均的な反応時間が長くなるという結果は、恐怖系により生じた可能性が高いと考えられる。

恐怖系が反応時間を大きくするメカニズムについて考察する。まず、本実験では Neutral 条件に比べて Fear 条件で扁桃体が有意に活動していることが先行研究から予想され、反応時間を大きくする効果は扁桃体の出力によって起こったと考えられる。その出力の可能性として、まず中脳中心灰白質への出力によって起こるすくみ反応が考えられる。これは脅威と遭遇した際の生存確率を上げるために自身の動きを止めて周りの様子を窺うための反応であり、この反応により一瞬動きが止まることで反応時間が大きくなったと考えられる。もう一つの可能性として、表情画像の残像による効果が考えられる。恐怖表情に対する扁桃体の出力として、視覚情報処理の促進がと言われており [3]、例えば Vuilleumier らによると、Neutral 表情に比べて Fear 表情を提示した時の方が顔の認知に関わる紡錘状顔領域の活動が上昇するという報告がされている [5]。また EEG を用いた先行研究によれば、そのような扁桃体主導の視覚情報処理の促進は Fear 表情のオンセットから約 170 ms 付近で起こると言われ

(a) correlation between trait anxiety and median(Neutral) median(Neutral) [ms]



(b) correlation between trait anxiety and median(Fear) median(Fear) [ms]

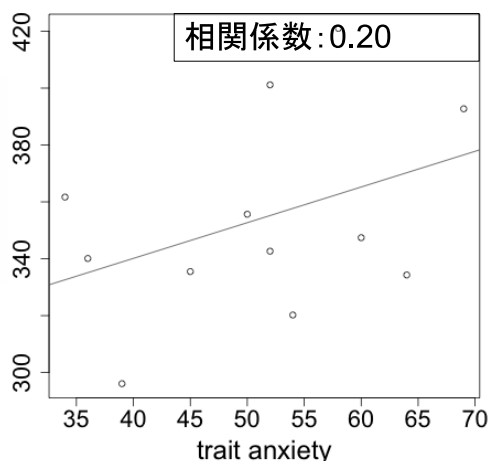


Fig.5 特性不安得点と Neutral, Fear 条件の中央値間の相関

- (a) 特性不安得点と Neutral 条件の中央値の間の相関
- (b) 特性不安得点と Fear 条件の中央値の間の相関

ている^[5]。これらのことから考えると、Neutral 表情を提示した時に比べて Fear 表情を提示した時の方が表情に対する視覚情報処理が促進されて表情の残像が強く残り、次の課題にすぐに入れなかったために反応時間が長くなった可能性も考えられる。

一方、本実験と同様の時間パラメータ（表情提示が 250 ms で、その 50 ms 後に TMS による刺激を加えて生じる運動誘発電位の振幅を観測する。）で恐怖表情提示後に中立表情提示後に比べて有意な皮質脊髄路の活性化が見られたという Schutter らの報告^[12]、また表情画像のオンセットから 300 ms 以降で Neutral 表情提示後に比べて Fear 表情提示後に有意な活動が大脳皮質の広い範囲において観測されているという Eimer らの報告^[13]がある。一般的に反応時間課題では、課題に関連した脳部位の活性が閾値を超えた場合に反応が生じると考えられており^[21]、これらの覚醒度の上昇は、運動にいたるまでの閾値を下げることで反応時間を短くする効果を持つと考えられる。実際、不快感情により生じる皮質脊髄路の活性が単純反応課題の反応時間を有意に短くするという Coombes らの報告^[22]がある。

以上を総合して考えると、Neutral 表情を提示した直後に比べて Fear 表情を提示した直後は、扁桃体主導の恐怖系が駆動していると考えられる。その出力として皮質脊髄路の活性や、大脳皮質全体の覚醒度の上昇など課題の反応を速くする効果を持つ処理と、視覚情報処理の促進、すくみ反応など反応を遅くする効果を持つと予測される処理とが同時に生じている可能性がある。本実験のような表情提示直後に課題を行う状況では反応が遅くなる効果が優勢に働くことで、Neutral 条件に比べて Fear 条件の反応時間が長くなる可能性があることが示唆された。

4.2 エラー率

生存に重要という観点から考えれば、情動は反応戦略にも影響を及ぼすと考えられる。実際 Go Nogo 課題のターゲット刺激と同時に恐怖情動を惹起する脅威聴覚刺激を用いた Kumru らの研究では、脅威聴覚刺

激がない条件に比べて衝動性のエラー率が有意に上昇した。これは橋網様体尾部の働きにより Go 反応が促進された結果生じたと考えられている^[23]。しかし、本実験では条件間で衝動性のエラー率に差は見られなかった。

その原因として、本実験では情動が衝動性のエラー率に与えた影響が一方向的ではなかったことが考えられる。先行研究より、前部帯状回の血流量と衝動性のエラー率とに正の相関があることが知られており^[24]、扁桃体から前部帯状回には強い神経的な結合があることが知られている^[3]。また、皮質全体の覚醒度が上昇していると考えられ、Go 反応に至るまでの運動野などの閾値が下がっていると考えられる。これらはともにエラー率の上昇に寄与すると考えられる。さらに、Go 反応の抑制に重要な役割を果たすと言われている前頭前野腹外側部 (VLPFC: Ventro Lateral Prefrontal Cortex) は扁桃体と相互抑制の関係にあると考えられており^{[9][25]}、扁桃体の活性により VLPFC の活動が減少し、エラー率が上昇する可能性がある。

一方、Neutral 条件に比べて反応時間が遅くなったため、より判断に時間をかけることができ、その結果エラー率が減少した効果もあったと考えられる。実際 Fig.4 に示したように、条件間の反応時間の変化と衝動性のエラー率の変化に負の相関があり、反応時間の増加により衝動性のエラー率が減少したことが示唆されている。

これらのことから、本実験ではエラー率を上昇させる効果と減少させる効果の両方が混在し、条件間でのエラー率に差が見られなかったと考えられる。また、ある参加者からは「恐怖表情が提示された直後に d が出てきた時思わず押しそうになったため、その後の試行では恐怖表情が提示された場合は特に注意して反応を行った」という内観報告を得ており、本実験では統制しきれなかった反応戦略の認知制御が生じて、情動による衝動性のエラー率への影響を抽出できなかった可能性もある。そのため、今後は上述した複雑な認知制御が入り込まないような実験系により、情動による

影響のみを抽出する必要があると考える。具体的には、恐怖情動表情の閾下提示 (masked presentation) を用いることが考えられる。恐怖表情を 30 ms 未満提示した直後にマスク刺激として中立表情を提示した場合、恐怖表情が意識にのぼることなしに、扁桃体の有意な活動などの情動反応が生じることが知られている^[26]。従って、Cue 刺激に中立表情と中立表情によりマスクされた恐怖表情の 2 種類を使用することで、意識にのぼっているのはともに中立表情だが、恐怖表情が閾下提示される条件では恐怖系が駆動しているため、恐怖系による衝動性のエラー率への影響を観測することができるかもしれない。

4.3 アンケートの得点

本実験ではアンケートと他のデータとの相関関係は観測されなかった。しかし、不安に関連したこれらの得点は、情動表情に無意識的に反応する系の影響の大きさなどを反映していると言われている^{[16][17]}。本実験では有意差、有意傾向は見られなかったが、3.3 節で示したグラフから、反応時間の中央値と特性不安得点が相関する可能性があり、もし行動データとの有意な相関が観測された場合には、本実験が精神病理学におけるブラインド課題としても機能する可能性を示唆する。

今後本実験で行ったような情動が影響を及ぼした行動データとのさらなる関連を調べる必要がある。

5. 結論と今後の展望

本研究では恐怖系がその後の運動を含めた課題に及ぼす影響を調べるために、課題の前に Cue 刺激として画像が提示され、その後提示されるターゲット刺激に対して課題を行う Cued GoNogo 課題を参加者に行わせた。Cue 刺激として情動表情画像 (Neutral, Fear) を用いて情動を操作した。条件は Cue 刺激の種類によって Neutral 条件、Fear 条件の 2 条件であった。

実験の時間パラメータ設定は、表情画像に対する行動準備に十分であり、かつ概念知識による課題への影響を極力排除できるよう行い、また表情は脳皮質か

ら情動系へのトップダウン信号が比較的小さいと言われている無課題条件 (passive viewing) に近づけるため、課題とは無関係に提示した。その後、情動条件の違いによる影響を調べるために条件間の反応時間の比較を行ったところ、Neutral 条件に比べて Fear 条件の時有意に反応時間が大きいことが分かった。従って恐怖系は直後の運動を含んだ課題の反応速度を遅らせる可能性があることがわかった。

この結果と表情刺激により生じる運動準備に関する先行研究を合わせて考えると、Neutral 表情を提示した直後に比べて Fear 表情を提示した直後は、扁桃体主導の恐怖系が駆動することにより、反応時間を短くする効果を持つ処理と反応時間を長くする効果を持つ処理の双方が生じ、本実験のような表情提示の直後に反応をしなければならない状況においては、反応時間が長くなる効果が優勢に働くと考えられる。今後人の恐怖系が行動に影響を与えるメカニズムを解明するためには、様々な時間スケールにおいて恐怖系がどのように行動に影響を及ぼすかを調べる必要があることが示唆された。

従って、表情提示後から課題に入るまでの時間を操作することで、扁桃体の異なる出力によると考えられる効果が、どのような時間推移で起こるかを調べる必要がある。また、脅威表情画像の閾下提示により無意識的・自動的に恐怖系が駆動することが知られていることから^[26]、情動表情画像の閾下提示を Cue 刺激として用いて前注意的で無意識に駆動する恐怖系が行動に及ぼす影響を調べることで、4.2 節で述べたような高次な認知制御の方略が入り込まない情動系の効果が観測できる可能性がある。今後このような実験設定で情動が行動に及ぼす影響とアンケートの得点との関連を調べることも興味深い。

本研究の成果は、精神疾患の診断に役立つブラインド課題の構築などへの応用が考えられる。

6. 謝辞

本研究を進めるにあたり，ご指導頂きました三宅美博准教授に心より感謝を申し上げます。また論文の執筆方法などに関して多くのご指導を頂きました東京農工大学の野澤孝之助教，東京大学の緒方大樹様に深く感謝いたします。

また，研究活動を進める上でたくさんの助言を頂き公私ともにお世話になった三宅研究室の皆様にも深く感謝いたします。武藤ゆみ子様，大良宏樹様には研究活動を進める上で必要な多くのことを教えて頂きました。特に大良様には実験条件の決定や解析方法に関して多くのご指導をいただきました。また，研究テーマで悩んでいた時に相談にのってくれた西君，吉田君，横山君，実験の参加者募集に大きな貢献をしてくださった田村さんに深く感謝いたします。

ありがとうございました。

参考文献

- [1] J.E. LeDoux. *The emotional brain: The mysterious underpinnings of emotional life*. Touchstone books, 1998.
- [2] R.J. Dolan. Emotion, cognition, and behavior. *Science*, 298(5596):1191, 2002.
- [3] L. Pessoa. On the relationship between emotion and cognition. *Nat Rev Neurosci*, 9(2):148–158, Feb 2008.
- [4] E.A. Phelps, S. Ling, and M. Carrasco. Emotion facilitates perception and potentiates the perceptual benefits of attention. *Psychological science: a journal of the American Psychological Society/APS*, 17(4):292, 2006.
- [5] P. Vuilleumier and G. Pourtois. Distributed and interactive brain mechanisms during emotion face perception: evidence from functional neuroimaging. *Neuropsychologia*, 45(1):174–194, 2007.
- [6] R.J.R. Blair. Facial expressions, their communicatory functions and neuro-cognitive substrates. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 358(1431):561, 2003.
- [7] R.J.R. Blair. The roles of orbital frontal cortex in the modulation of antisocial behavior. *Brain and Cognition*, 55(1):198–208, 2004.
- [8] M. Davis and P.J. Whalen. Vigilance and emotion. *Molecular Psychiatry*, 6(1):13–34, 2001.
- [9] 野村理朗. ヒトにおける衝動性と 5ht 2a 受容体遺伝子多型との関連性. *日本薬理学雑誌*, 127(1):9–13, 2006.
- [10] P. Ekman and W.V. Friesen. Pictures of facial affect, 1976.
- [11] R. Adolphs. Fear, faces, and the human amygdala. *Current opinion in neurobiology*, 18(2):166–172, 2008.
- [12] D.J. Schutter, D. Hofman, and J. Van Honk. Fearful faces selectively increase corticospinal motor tract excitability: A transcranial magnetic stimulation study. *Psychophysiology*, 45(3):345–348, 2008.
- [13] M. Eimer and A. Holmes. Event-related brain potential correlates of emotional face processing. *Neuropsychologia*, 45(1):15–31, 2007.
- [14] R. Adolphs. Neural systems for recognizing emotion. *Current opinion in neurobiology*, 12(2):169–177, 2002.
- [15] 肥田野直, 福原真知子, 岩脇三良, 曾我洋子, and C.D. Spielberger. 新版 STAI マニュアル 実務教育出版. 2000.
- [16] A. Holmes, M.K. Nielsen, and S. Green. Effects of anxiety on the processing of fearful and happy faces: An event-related potential study. *Biological Psychology*, 77(2):159–173, 2008.
- [17] A. Holmes, M.K. Nielsen, S. Tipper, and S. Green. An electrophysiological investigation into the automaticity of emotional face processing in high versus low trait anxious individuals. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, 9(3):323, 2009.
- [18] 野村理朗. 神経イメージングによる感情心理学研究. *感情心理学研究*, 9(1):50–62, 2002.
- [19] 武澤 友広 and 宮谷 真人. エラー回避のための認知制御に関する研究の展望 a review of researches on the error-related and cognitive control processes. *広島大学大学院教育学研究科紀要*, 52(3):283–290.
- [20] D.C. Howell. *Statistical methods for psychology*. Duxbury Press Belmont, CA, 1987.
- [21] 坂井 克之. 前頭葉は脳の社長さん? (ブルーバックス). 講談社, 3 2007.
- [22] S.A. Coombes, C. Tandonnet, H. Fujiyama, C.M. Janelle, J.H. Cauraugh, and J.J. Summers. Emotion and motor preparation: A transcranial magnetic stimulation study of corticospinal motor tract excitability. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, 9(4):380, 2009.
- [23] H. Kumru, X. Urra, Y. Compta, J.M. Castellote, J. Turbau, and J. Valls-Sol \ 'e. Excitability of subcortical motor circuits in go/nogo and forced choice reaction time tasks. *Neuroscience letters*, 406(1-2):66–70, 2006.
- [24] B.J. Casey, R.J. Trainor, J.L. Orendi, A.B. Schubert, L.E. Nystrom, J.N. Giedd, F.X. Castellanos, J.V. Haxby, D.C. Noll, J.D. Cohen, et al. A developmental functional mri study of prefrontal activation during performance of a go-no-go task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9(6):835–847, 1997.
- [25] M. Nomura, I. Kusumi, M. Kaneko, T. Masui, M. Daiguji, T. Ueno, T. Koyama, and Y. Nomura. Involvement of a polymorphism in the 5-ht2a receptor gene in impulsive behavior. *Psychopharmacology*, 187(1):30–35, 2006.
- [26] P.J. Whalen, S.L. Rauch, N.L. Etcoff, S.C. McInerney, M.B. Lee, and M.A. Jenike. Masked presentations of emotional facial expressions modulate amygdala activity without explicit knowledge. *Journal of Neuroscience*, 18(1):411, 1998.