

情動が反応時間課題に与える影響

東京工業大学総合理工学研究科知能システム科学専攻 ○沖津 健吾

東京農工大学共生科学技術研究院 野澤 孝之

東京大学インテリジェント・モデリング・ラボラトリー 緒方 大樹

東京工業大学総合理工学研究科知能システム科学専攻 三宅 美博

Emotion affects Reaction Time Task

○ Kengo Okitsu, Tokyo Institute of Technology, Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Takayuki Nozawa, Tokyo University of Agriculture and Technology, Institute of Symbiotic Science and Technology, Taiki Ogata, The University of Tokyo, Intelligent Modeling Laboratory, Yoshihiro Miyake, Tokyo Institute of Technology, Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering.

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 6 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. In addition to, we found that fear emotion shortened RT of two participants. These results suggest that fear emotion has both effects of making reaction slower and faster.

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、他者の情動認知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。ここで、情動は神経系の生物学的機能であると定義する¹⁾。数ある情動のなかでも恐怖情動系は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。

恐怖情動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視覚皮質から扁桃体に入力されるとその出力として皮質全体の活性化や中脳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⁾。

これまで人間においては恐怖情動系の出力による皮質の活性化が知覚の促進をすることなどが研究されてきた²⁾。しかし、恐怖情動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に与える影響について未だ多くのことが明らかでない。

HareらはNeutral(中立)表情、Fear(恐怖)表情、Happy(幸福)表情をターゲット刺激としたGoNogo課題を行い、課題の反応時間とfMRIで得られた脳機能イメージの解析を行った³⁾。その結果、Fear表情がターゲット刺激の時は他の表情がターゲット刺激の時に比べて反応時間が有意に長くなり、扁桃体の活性の度合いと反応時間とに正の相関があることなどが分

かった。しかしながら、Hareらの研究では単なる視覚的特徴の違いによる差である可能性をなくすための対照条件がないため情動系の出力による影響であると断定できない。さらに課題に情動表情の識別という認知過程が含まれていることから、その結果生じる概念知識の処理による影響も混在している可能性がある。また恐怖情動刺激に聴覚刺激を用いた場合、橋網様体尾部の活性によりGoNogo課題の反応時間が短くなるという報告もあり⁴⁾、恐怖情動がどのように運動を含む反応時間課題に影響を与えるかのメカニズムについては未だ多くのことが明らかでない。

そこで本研究では、恐怖情動系の出力がその後の運動を含めた行動課題にどのように影響を及ぼすかを調べることを目的とする。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Neutral(中立)表情、Anger(怒り)表情、また対照条件としてこれらを反転させた画像(Inverted)を用い、条件間の反応時間の比較を行う。

2 実験手法

2.1 被験者

被験者は、22歳から25歳まで(平均24歳)の正常な矯正視力を持つ右利き6名(うち女性2名)であった。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

本研究では、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課題を被験者に行使させた。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 M(視野角 [幅×高さ]:1.90° × 2.02°) が表示されたらマウスのボタンを押し (Go 試行), W(2.53° × 2.02°) が表示されたら反応をしない (Nogo 試行) という課題である。被験者への課題のフィードバックとして、正しい反応をした場合は青色の円 (4.67° × 4.60°) をモニター中心に提示し、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。

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⁵⁾。情動表情画像は中立 (Neutral) 表情, 怒り (Anger) 表情のカテゴリから同一人物のものをそれぞれ 12 枚ずつ選択し (内 7 枚は女性), 全部で 24 枚の表情画像を用いた (11.8° × 17.3°)。輝度の違いなど低レベルの視覚的特徴が課題に影響を与える可能性を排除するための対照条件として、これらの表情画像を上下反転させた表情画像も用意した。反転画像はもとの画像と視野に入ってくる物理的刺激は同じであるが表情から情動を読み取ることが困難になる²⁾。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, 怒り表情が提示される Anger 条件, それらの反転画像が提示される Inverted Neutral, Inverted Anger 条件の計 4 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 MacBookPro(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。注視点として白い十字の画像 (1.26° × 1.26°) を使用した。

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。被験者はモニターから 80 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 500 ms 後に Cue 画像として 4 条件の表情画像の内のいずれかが 100 ms だけ提示された。その後 200 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 M または W が表示され, 被験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の円か, または黒背景画像をそのまま提示した。

ここで 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, 表情に対する概念知識の処理が始まらな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

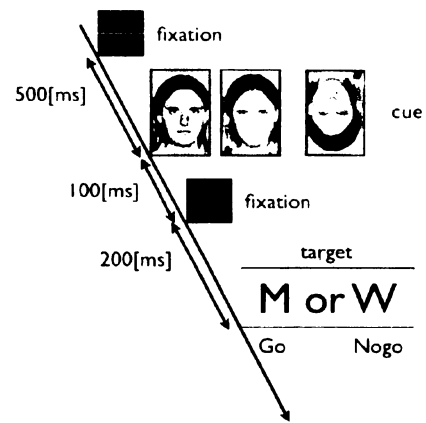


Fig. 1 Experiment Paradigm

した記憶に基づく表情や感情カテゴリ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は始まらないと考えられる⁶⁾。試行の終了から次の試行の開始までの時間は 1.0, 1.5, 2.0 sec の内からランダムに選んだ。

Neutral, Anger 条件がそれぞれ 24 試行, Inverted Neutral, Inverted Anger 条件は合わせて 24 試行の全体で計 72 試行を 1 block とし, 1 block 内での Go 試行の回数は Neutral, Anger 条件はそれぞれ 17 回, Inverted Neutral, Inverted Anger 条件は合わせて 17 回とし, Go 試行の割合は約 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後述する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。まず被験者に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⁷⁾) の記入をさせた。STAI は情動表情刺激に対する扁桃体の慣れやすさを反映すると言われているため, 扁桃体の個人差を反映する指標として取得した³⁾。次に表情の弁別が正しく行えるかどうかを確認するため, 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 と block の間で最低でも 1, 2 分の休憩は必ず取るようにした。被験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, なるべく間違えないように反応してください。」

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。」

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状態不安得点と特性不安得点、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 : CE) の回数、全試行中 Go 刺激において反応をしたエラー (Omission Error : OE) の回数であった。反応時間は、1名の被験者から (OE が 0 回だった場合) Neutral, Anger 条件がそれぞれ 102 試行分ずつ、Inverted Neutral, Inverted Anger 条件は合わせて 102 試行分のデータが得られた。

反応時間データに対して、正規性の検定 (Shapiro-Wilk Test) を行い、続けて情動による課題への影響を調べるために、等分散性の検定と平均値の差の検定 (t 検定 (ウェルチの方法)) を用いて Neutral-Anger 間の比較を行った。等分散性と平均値の差の検定については、条件間の大小関係を解析するため片側検定を用いた。これと同様の解析を、視覚的特徴による影響の可能性を排除するための対照条件である Inverted Neutral-Inverted Anger 間にも行った。

3 結果

3.1 分類テスト、アンケートの結果

分類テストの正答率の平均値は 90 % を超え、被験者は本実験と同じ環境であっても表情を正しく弁別できることが示された。アンケートの点数は、実験時点での不安状態を表す状態不安得点が平均 39.8 点 (標準偏差 8.0)、日常生活における不安傾向を示す特性不安得点が平均 45.3 点 (標準偏差 4.7) であった。

3.2 条件間の比較

まず全ての条件において反応時間データの正規性は棄却された ($**p < .01$)。次に Neutral 条件と Anger 条件の RT の全被験者のデータをヒストグラムにしたものを Fig. 2 に示す。このデータに対して平均値の差の検定を行った所、Neutral 条件より Anger 条件の方が値が有意に大きいという結果が得られた (片側検定: $*p < .05$)。また等分散性の検定を行ったところ、こちらも Neutral 条件よりも Anger 条件の方が分散が有意に大きいという結果が得られた (片側検定: $**p < .01$)。これらの効果は、表情画像を反転させた Inverted Neutral-Inverted Anger 間の比較においては得られなかった (平均値の差: $p < .66$, 等分散性: $p < .64$)。ここで正規性が棄却された上で t 検定 (ウェルチの方法) を行っている理由は、等分散性が棄却されている場合 t 検

定 (ウェルチの方法) が最も適切な検定であると考えられているためである⁸⁾。

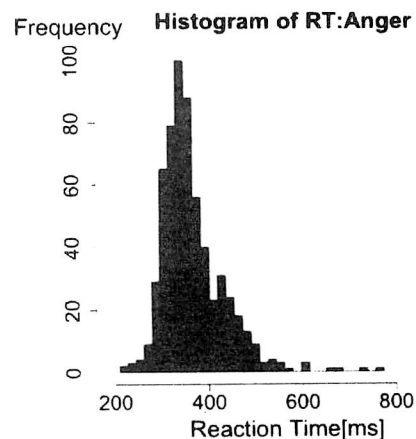
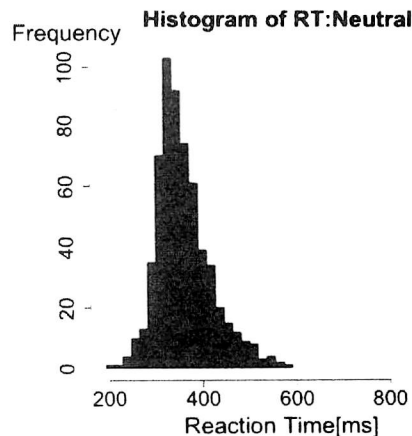


Fig. 2 Histogram of reaction time under Neutral and Anger condition

4 考察

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 Anger 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く、分散も大きいという結果を得た。またこれらの情動条件間の差は表情画像を反転させた場合消失したことから、上の結果は表情の情動情報の違いにより生じた影響であると考えられる。

平均値の差については Hare らの Fear 表情に対する反応時間の結果と類似する結果であった。Hare らの研究では純粋に恐怖情動系のみの影響を取り出せてはいなかったが、本実験では視覚的特徴による差を検討

する対照条件を設定し、さらに概念知識処理の影響を排除することによって恐怖情動系の影響のみを抽出した。その結果平均的な反応時間が長くなる効果は恐怖情動系により生じた可能性の高いことが分かった。

また分散について得られた結果から考えられる可能性は以下の2つである。

1. Anger 表情を脅威と判断していない時には Neutral 表情を Cue として提示した場合と反応時間は変わらない。

2. Anger 表情を提示することで駆動する情動系の効果が、反応時間を長くするだけでなく、短くする効果もある。

これらの可能性を検討するために、Neutral 条件と Anger 条件における結果をそれぞれ2つのグループに分けた。Neutral 条件の反応時間データで中央値未満のグループ (Neutral Faster:NF グループ)、Neutral 条件の反応時間データで中央値以上のグループ (Neutral Slower:NS グループ)、Anger 条件の反応時間データで中央値未満のグループ (Anger Faster:AF グループ)、Anger 条件の反応時間データで中央値以上のグループ (Anger Slower:AS グループ)。

NF-AF 間、NS-AS 間の組合せで片側 t 検定 (ウェルチの方法) を行ったところ、被験者の1名において、NF-AF 間では AF 条件の方が有意に反応時間が短く (** $p < .01$), NS-AS 間では AS 条件の方が反応時間が長くなる ($p < .13$) という結果が得られた。また別の被験者では有意差や傾向はともになかったものの、NF-AF 間、NS-AS 間ともに Anger 表情が提示される条件の方が反応時間が短くなるという結果が得られた (Table. 1: 表中の NF>AF, NF<AF, NS>AS, NS<AS は t 検定の対立仮説で、例えば NF>AF は NF 条件より AF 条件の方が RT の平均値が小さい、つまり反応が速いことを示している)。この結果は、上記の可能性の2つ目を支持するものである。すなわち、Anger 表情により駆動される情動系が反応時間を短くする効果も持つ可能性が示された。

最後に、これらの効果が生じる脳神経科学的基盤を考察する。反応時間を短くする効果は、扁桃体からの出力による橋網様体尾部の活性化による驚愕反応の亢進⁴⁾、大脳皮質全体の活性化による情報処理速度の向上¹⁾などの原因が、反応時間を長くする効果は同様に扁桃体からの出力による中脳灰白質の活性化によるすくみ反応などの原因が考えられる¹⁾。

5 まとめと今後の展望

本研究では恐怖情動系が反応時間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

Table 1 P-value of t-test

| participant | NF>AF | NF<AF | NS>AS | NS<AS |
|-------------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 0.99 | ** | 0.93 | + |
| 2 | 0.84 | 0.16 | 0.67 | 0.33 |
| 3 | 0.58 | 0.42 | 0.97 | * |
| 4 | ** | 0.99 | 0.87 | 0.13 |
| 5 | 0.28 | 0.72 | 0.16 | 0.84 |
| 6 | 0.99 | ** | 0.97 | * |

NF:NF group, AF:AF group, NS:NS group, AS:AS group
Number in cell is P-value of t-test.

(+ : $p < .1$, * : $p < .05$, ** : $p < .01$)

行う Cued GoNogo 課題を被験者に行わせた。Cue 刺激として情動表情画像 (Neutral, Anger) 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、Anger 条件、また視覚的特徴の差による影響を検討するために上下反転画像を使用した対照条件 (Inverted Neutral 条件, Inverted Anger 条件) の4条件であった。実験で得られた反応時間を条件間で比較したところ、Anger 表情により駆動する恐怖情動系が課題の反応時間に影響を及ぼし、その効果は反応時間を短くする効果と長くする効果の両方が存在することがわかった。

今後は、様々な課題要求下で扁桃体の活動が観測されている Fear 表情を用いて同様の実験を行い、今回被験者数の不足のため行えなかったアンケートの得点やエラー率などを含めた解析をすることで、情動が反応時間課題に与える影響の脳内メカニズムの解明を目指す。

参考文献

- [1] LeDoux, J. : The Emotional Brain: The Mysterious Underpinnings of Emotional Life: Simon & Schuster, (1996)
- [2] Phelps, E.A., Ling, S., Carrasco, M.: Emotion facilitates perception and potentiates the perceptual benefits of attention.: Psychol Sci, 17(4), 292-9. (2006).
- [3] Hare, T. A., Tottenham, N., Davidson, M. C., Glover, G. H., Casey, B. J.: Contributions of amygdala and striatal activity in emotion regulation.: Biol Psychiatry, 57(6), 624-32. (2005).
- [4] Kumru, H., Urra, X., Compta, Y., Castellote, J. M., Turbau, J., Valls-Sole, J.: Excitability of subcortical motor circuits in go/nogo and forced choice reaction time tasks.: Neurosci Lett, 406(1-2), 66-70. (2006).
- [5] Ekman, P., Friesen, W.V.: Measuring facial movement.: Environ. Psychol. Nonverbal Behav. 1, 56-75. (1976).
- [6] Adolphs, R.: Neural systems for recognizing emotion.: Current Opinion in Neurobiology, 12(2), 169-177. (2002).
- [7] 肥田野, 福原, 岩脇, 曾我, Spielberger, C. D. : 新版 STAI(State-Trait Anxiety Inventory-Form JYZ) :実務教育出版
- [8] Kasuya, E.: Mann-Whitney U test when variances are unequal.: Animal Behaviour, 61, 1247-1249: (2001).