

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25282248

研究課題名(和文) 情動の最適制御に向けて：緊張が運動に与える影響の計算モデルと神経機構

研究課題名(英文) Towards Optimal control of anxiety: computational modeling and neural substrates of anxiety-related motor effects

研究代表者

GOWRISHANK A.R.G (Gowrishankar, Ganesh)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門・国際客員研究員

研究者番号：10570244

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、緊張が、上位の認知的決定処理と下位の自律的な動運動制御処理における運動指令に関わる脳神経系の干渉を引き起こすという仮定に基づき、緊張が運動技能に影響を与える仕組みを明らかにした。得られた主な成果は以下の通りである。1) 緊張に起因する運動機能の低下を理解するための新たな実験を考案した 2) スポーツにおいて、認知的な緊張を引き起こす他者の行動の観察が自己の運動技量に与える影響を明らかにした 3) これらの効果の計算論的処理の枠組みを提案した 4) 緊張に起因する運動技量劣化における脳神経活動の相関関係について解析を進めた。

研究成果の概要(英文)：In this research study we studied why Anxiety (緊張) affects our motor abilities. We show that increased anxiety excites cognitive motor control processes, which then interfere with low level motor control leading to a deterioration of motor performance. The summary of the results are 1) We designed an experiment to understand anxiety related motor deterioration in humans. 2) We understood how observation of other's actions during sports leads to cognitive anxiety and affect one's own motor performance. 3) We analyzed the computational processes for the above effects and, 4) investigate the neural correlates of anxiety related motor deterioration.

研究分野：Motor neuroscience and robotics

キーワード：anxiety motor neuroscience

1. 研究開始当初の背景

緊張は、どのような競技スポーツにおいても私たちの運動能力に影響を与える現象である。しかしながら、いくつかの先行研究で緊張が運動実技にどう影響するかについて記述されてはいるが、どうして運動制御機能が劣化するかについての説明はほとんど見当たらない。本研究は、緊張が、上位の認知的決定処理と下位の自律的な運動制御処理における運動指令において、脳神経系の干渉を引き起こすという仮定を立て、これについて検証する。この仮定は、緊張により動作者が自意識過剰になり、意識と無意識の干渉を引き起こすという以前から提唱されている考え方に基づくものである(Baumeister 1984, Hardy *et al.*, 1996, Masters, 1992)。

2. 研究の目的

本研究は、以下を目的とする。

- 1) 緊張に起因する運動能力の低下を理解するための実験の考案
- 2) スポーツにおいて、認知的な緊張を引き起す他者の行動の観察がどのように自己の運動実行に影響するかを理解
- 3) 上記の効果の計算論的な処理の理解
- 4) 緊張に起因する運動技量劣化における脳活動の相関関係の解明

3. 研究の方法

上記の目的達するため、本研究の研究期間内にいくつかの実験手法を考案し、実施してきた。

- 1) 緊張に起因する運動技量劣化の背後にある計算処理を理解するための行動パラダイムを設計する(次節参照)
- 2) 観測に起因する認知的な緊張効果を調査するため、セミプロ・プロのダーツや野球の選手による実験を実施する。
- 3) 結果を説明するための計算論的な枠組みを構築する。
- 4) 緊張に起因する運動能力の脳活動の相関関係を理解するための fMRI による実験を実施する。

4. 研究成果

1) 緊張に起因する運動技量劣化の研究のための実験パラダイム設計

本研究を進めるうえで重要な要求事項は、緊張とそれが人に与える効果を簡素に誘起し、制御かつ計測できる実験手法を考案することである。

そのために、計算機のスクリーン上のボタンを押す実験と、手に持ったボタンを押す実験(fMRI 実験用)の2種類の新たなボタン押し実験手法を構築した。この実験はスポーツのシナリオを模擬している。被験者には、

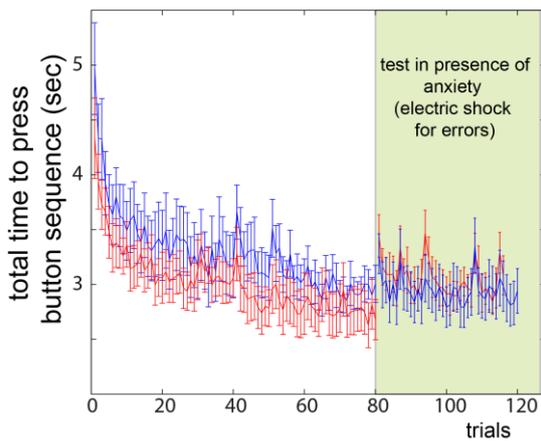


ボタン押し動作の実験装置。被験者は、連続的なボタン早押し動作を覚える。左手の GSR, PPG を測定する。緊張を誘発するため、被験者には間違えると左手に軽い電気ショックを与える。

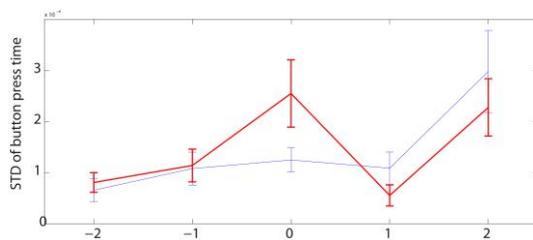
決められた順序を覚えてボタンを早く押す課題が課せられる。トレーニングの後、被験者は、間違えた場合には軽い電気ショックが与えられるというプレッシャーがある条件で課題を行うように求められるため、高い緊張状態に置かれる。電気ショックのレベルを調節することで被験者の緊張度を制御し、皮膚電気反応(GSR)と光電式指尖容積脈波(PPG)を測定するとともに、緊張に関するアンケートも行う。被験者の運動技量は、ボタン押し動作における時間上・空間上の分散の平均により測定できると考えられる。この実験パラダイムにより、対象とする行動をきちんと制御された環境下で測定することができる。

2) 緊張により運動技量の低下が生じる仕組みの理解

1) に示した実験は、緊張が上位の認知的決定処理と下位の自律的運動制御処理における運動指令の間に干渉が生じるという、本研究の仮定を検証するのに重要な役割を果たした。実験は、ボタン押し順序を異なる手法で覚えた2つのグループに対して実施した。第1グループは、10回のボタン押しを一括の連続動作として覚えたのに対し、第2グループは、6回と4回の押しに分けて覚えた後、その組み合わせとして10回の押し動作を覚えた。このような分割した練習はスポーツの練習に似ている。例えばテニスでは、サーブとボレーを分けて練習し、試合では両方合わせて用いる。分割練習は早いですが、認知的処理でこれを組み合わせることが求められる。時間を経るに従い、このよう認知的処理は減少して下位の運動レベルと同様に処理される。しかしながら我々の仮定によれば、緊張が生じると、この認知的処理が再度呼び出され、運動能力に影響を与えることが予想される。実際、結果はその予想通りとなった。



このグラフは、ボタン押し順序を一括の連続動作として覚えたグループ（青）と、分割して覚えたグループ（赤）に対し、試行回数を横軸に、全動作に要した平均時間をエラーバーとともに22名の被験者についてプロットしたものである。分割して覚えたグループは、覚えが早く、作業時間も短い。しかしながら興味深いことに、80回目以降の緊張状態下（間違えると電気ショック）の動作では、一括で覚えたグループのよりも間違いが多くなっている。

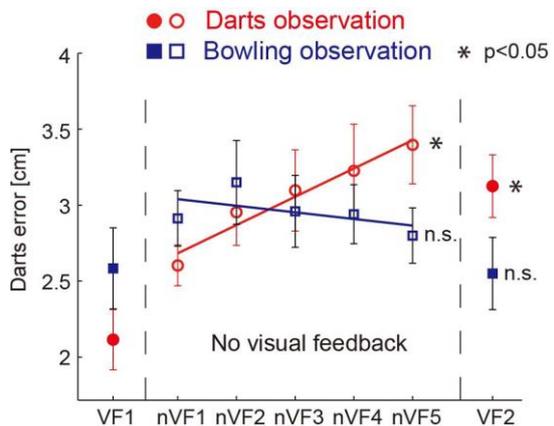


えたグループ（青）と、分割して覚えたグループ（赤）の合計22名の被験者について、それぞれのボタン押し動作の間の時間をプロットしたものである。横軸は、0は分割における「継ぎ目」のボタンで、左側の-2, -1はそれより2つ前、1つ前のボタン、1, 2は2つ後、1つ後のボタンである。分割して覚えたグループではこの継ぎ目のボタンだけ運動が低下しており、その他の部分は一括のグループと同じような結果となっている。

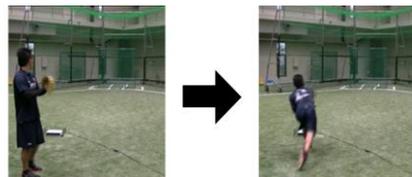
3) 他者の行動の観察に起因する運動劣化の理解

この課題では、熟練したダーツと野球の選手に対して、認知的な緊張と他者の動作の伝染を理解するための新たな実験手法を構築した。この実験では、まずダーツの上級者に初心者がダーツを投げる様子を見てもらい、その結果がどうなるかを予測するよう求めた。他の実験条件を同じにして比較したところ、上級者によるこれらの初心者に対する結果の予測精度が向上すると、それに比例して同じ上級者のダーツの技量の低下が比例しているという結果が得られた。

この結果は、Scientific American や朝日新聞、Yahoo Japan など、多数の雑誌や新聞、メディア等で報道された。



実験の結果、ダーツの上級者の結果はダーツ初心者の動作を見ることで劣化するが、ボーリングの結果を見ても変化はなかった。

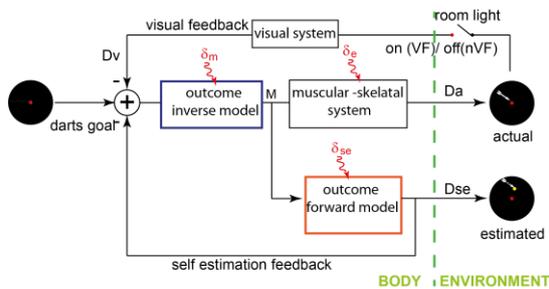


野球の選手による実験：この実験では、観察による効果 (Ikegami and Ganesh 2014) と暗黙的な模倣の違いを明らかにすることを目的としている。他者の投球を観察した時に、その標的の位置について知識がある場合と無い場合とで、自分の野球の投球が影響されるかを調べている。

現在、野球の投球を例に取り、無意識的に感情を刺激して認知的な緊張と運動技量の劣化を生じさせる物体の特徴の効果を明らかにし、また、我々が観測した運動機能の変化と、先行研究で報告されている暗示的な模倣との違いを理解するための実験を継続的に進めているところである。

4) 観察による効果の計算論的機構の解析

観察に起因する運動技量の低下の計算論的機構を理解するため、ブロック図に示す状態空間モデルを構築した。このモデルは、他者の動作を見ることが動作者の「順モデル」に与える影響を定量化するもので、自分の動作の結果の予測に誤差を生じさせること一方で、興味深いことに「逆モデル」と呼ばれる（誤差を含む）自己動作の修正を行う能力には影響を与えないことをモデル化している。我々の実験結果は、他者の観察している間の順モデルの役割を明らかにしている。



5) 緊張が運動に与える影響の脳神経処理機構の解明

この問題は、当初計画で目標としていた課題のうち解決されていない課題として唯一残っており、準備の遅れにより、実験は現在も進行中。fMRI 内で実施するため、新たなボタン押し実験を考案し、実際にデータ収集を行っているが、完了には至っていない。この実験は特に本節で示した我々の研究成果 (1), (2) の検証に大きな影響があるもので、現在 fMRI データの解析を進め、数か月後の論文投稿を目指している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

Journal papers (total 4)

- 1) S Zhang, H Mano, G. Ganesh, T Robbins, B Seymour (2016). Multiple learning processes underlie human pain conditioning. In press in *Current Biology*, 21(1), p52–58.
- 2) T. Ikegami, G. Ganesh (2014). Watching novice action degrades expert's performance: Evidence that the motor system is involved in action understanding by humans. *Nature Scientific Reports*. doi:10.1038/srep06989. {press pick up by leading media outlets in Japan – 'Scientific American', 'Asahi-shinbun', 'Mainichi-shinbun', 'Yahoo Japan', 'TBS television 'asachan', 'TBS radio'}.
- 3) Sport : être mauvais est-il contagieux? by Martin Kopp on T. Ikegami, G. Ganesh (2014) in the *CNRS le Journal, online CNRS magazine, France*.

[学会発表] (計 4 件)

- 1) T. Ikegami, G. Ganesh. Shared mechanisms in the estimation of self-generated actions and the prediction of other's actions by humans. Poster at NCM 2016, Montego Bay,

Jamaica.

- 2) T. Ikegami, G. Ganesh (2014). 下手な人の運動を見ることによって悪化する自己の運動推定機構. モータコントロール 研究会、ポスター発表、2014, Tsukuba University, Tsukuba.
- 3) T. Ikegami, G. Ganesh. Watching novice action degrades darts expert's skill: Evidence that the motor system is involved in action understanding. *Poster at Society for Neuroscience SFN meeting*, November 2013, San Diego, USA.
- 4) T. Ikegami, G. Ganesh. Darts expert's forward model degraded by watching novice darts throwing. *Poster at Motor control symposium*, June 2013, Tokyo University, Tokyo.

[図書] (計 2 件)

- 1) T. Ikegami, H. Nakamoto, G. Ganesh (2016). Action-driven and prediction-driven contagions affecting human actions. *accepted in the MIT Press Handbook of Embodied Cognition and Sport Psychology*
- 2) G. Ganesh, T. Ikegami (2015). Beyond Watching: Action understanding by humans and its implications for interacting robots. Book chapter to be published in *Dance Notations and Robot Motion* » in the **Springer Tracts in Advanced Robotics (STAR)** collection

[産業財産権]

[その他]

招待・依頼講演

- 1) G. Ganesh (2014). **From watching to understanding: how humans predict consequences of observed movement kinematics.** *Talk at the First Workshop of the Anthropomorphic Motion Factory "Dance Notations and Robot Motion", LAAS-CNRS, Toulouse, France, November 2014.*
- 2) G. Ganesh (2014). **From watching to understanding: how humans predict consequences of observed movement kinematics.** *Talk at the First Symposium on Biomechanics of*

*Human Movements, Tokyo University,
Tokyo, Japan, April 2014.*

雑誌、新聞、メディア記事

- 1) **Scientific American Magazine** 記事
<http://www.scientificamerican.com/article/dont-watch-that-clumsy-player-too-closely/>
- 2) **朝日新聞** 記事
<http://stacknews.net/news/www.asahi.com/articles/ASH1F4QTRH1FUULB003.html>
- 3) **Yahoo Japan** 記事
<http://news.yahoo.co.jp/pickup/6146894>
- 4) **毎日新聞** 記事「へぼダーツは見るな」
<https://staff.aist.go.jp/g.ganesh/resource/mainichi121114.pdf>

6. 研究組織

(1)研究代表者 Project coordinator

ゴウリシヤンカー ガネッシュ

(Gowrishankar Ganesh)

国際客員研究員 知能システム研究部門

国立研究開発法人産業技術総合研究所

研究者番号：10570244

(2)研究分担者 Collaborator

春野 雅彦 (Haruno, Masahiko)

PI, 脳情報通信融合研究センター, 国立研

究開発法人情報通信研究機構

研究者番号：40395124

(3)連携研究者 External collaborator

池上 剛 (Ikegami, Tsuyoshi)

研究者, 脳情報通信融合研究センター,

国立研究開発法人情報通信研究機構

研究者番号：20588660