

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 5 月 19 日現在

機関番号：32612

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K19593

研究課題名(和文) 運動学習過程における連続失敗：その機能的意義の解明と操作

研究課題名(英文) Functional significance of successive failures in motor learning processes

研究代表者

武見 充晃 (TAKEMI, MITSUAKI)

慶應義塾大学・理工学研究科(矢上)・特任講師

研究者番号：90828302

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：1. 運動中、課題に連続して失敗する現象が偶然以上の確率で生じることを、健康成人33名を対象とした行動実験にて確かめた。またその発生機序を、数理モデルを用いて強化学習における探索と利用によって説明できること示した。一方で、連続失敗の発生が運動学習プロセスに及ぼす影響に関しては、明確な答えを得ることはできなかった。

2. 連続した運動課題の失敗は、運動を実施する環境因子を多様にするすることで抑制できることを示した。具体的には、的当て課題を実施する際、常に1つの的を狙わせるのではなく、試行毎に異なる的を狙わせることで、連続失敗を抑制した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究1の成果は、「同じ運動を繰り返す環境では失敗も成功も連続しやすい」ことを、研究2の成果は、「様々な運動を実施する環境では失敗も成功も連続しにくい」ことを示した。例えばこれをダーツの投擲動作に置き換えると、狙った位置に矢が飛んでいる限りは同じ的を狙い続ける方が成功しやすいが、狙った位置と違うところに矢が飛んだ次の投擲では異なる的を狙う方が連続失敗を回避できる可能性を示唆している。検証は必要だが、競技スポーツの現場に応用可能な知見が得られたと考えている。

研究成果の概要(英文)：Despite much research, debate persists about whether hot streaks exist in athletic performance. In 1985, psychologists argued that basketball players who hit one shot made no difference in their odds of hitting the next shot (Gilovich et al. 1985). In contrast, a recent study examining 29 years of data from the NBA three-point shooting contest showed that players who have hit several shots in a row have a greater chance of hitting the next one (Miller & Sanjurjo, 2015). The current study is the first to demonstrate the emergence of streaks in reinforcement learning and explain the causes of streaks with a model in which success induces exploitation (decrease in movement variability) and failure induces exploration (increase in movement variability). Furthermore, the follow-up experiment illustrated hot and cold streaks are context-dependent. These results indicate inducing hot streaks and suppressing cold streaks can be controlled by manipulating task contexts.

研究分野：システム神経科学，身体教育学

キーワード：身体運動 強化学習 探索 運動学習 ばらつき

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

「失敗は成功のもと」とはよく言ったもので、ヒトは様々な運動技能を幾回もの失敗を経て身に付けることができる。例えばバスケットボールのフリースローであれば、シュート練習を繰り返すことで、高い再現性を持ってボールを投げるための身体動作が身に付く。ただし、動作の再現性が高いだけではフリースローの成功率は上がらない。フリースローの成功率が高いバスケットボール選手が、他人のフリースロー動作を見てそれが成功するか失敗するか高い精度で予測できるように[1]、優れた運動技能の習得には、身体動作の高い再現性に加えて、運動に成功しやすい身体動作を理解する必要がある。

従来の運動学習研究では、動作のばらつきは望ましくないものとして扱われることが多く[2]、動作のばらつきを小さくすることで再現性を高める過程ばかりが注目されてきた[3]。その一方で、の運動に成功しやすい身体動作を理解するためには、様々な運動パターンを探索する必要があり、その過程ではある程度の動作のばらつきが不可欠であることが、理論としては古くより提唱されていた[4]。行動実験においてもようやく近年になって、運動課題の学習が早い被験者では、もともと課題に関連する動作のばらつきが大きいという結果が明らかとなった[5,6]。あるいは運動のパフォーマンスが優れないときには、当人が練習に真剣に取り組んでいるとしても、その意図とは関係なく動作のばらつきを増やして最適な運動パターンを探索することが示され[7]、運動学習過程における動作のばらつきの正の側面を報告した研究が増えつつある。動作のばらつき増大は、運動の失敗が惹起する最適な運動パターンの探索や試行錯誤の帰結であり、必ずしも避けるべきものではない可能性がある。しかし、動作のばらつきが大きくなると、当然ながら運動課題に失敗する可能性も高くなる。すなわち、運動に失敗すればするほど、動作のばらつきが増え、より失敗しやすくなることが考えられる。

2. 研究の目的

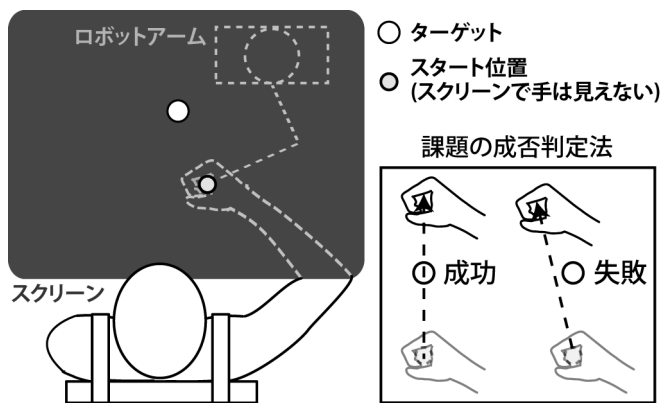
本研究の目的は、調子の波やスランプとも呼ばれる運動の連続失敗の存在が、運動学習の結果に与える正の影響を明らかにすることである。具体的には、以下に述べる2項目の達成を目指した。

- 運動学習過程における連続失敗の発生機序とその機能的意義を解明すること
- 連続失敗の発生を操作して、運動学習を促進できる新たな技術手法を確立すること

3. 研究の方法

< 研究で用いた運動課題 (右図) >

被験者はロボットアームのハンドルを操作して、手先がターゲットを通り過ぎるように素早く直線的な到達運動を行った。この課題では、手先がターゲットの外側を通り過ぎた場合、運動は失敗と判定される。運動中の被験者から自身の手は見えず、また手の位置を示すカーソル等も表示されない。被験者に運動の成否のみが伝えられるこのような運動課題は、被験者が報酬(運動の成功回数)を最大化するように行動を探索・選択し学習する様から「強化学習型」と言われる[8]。

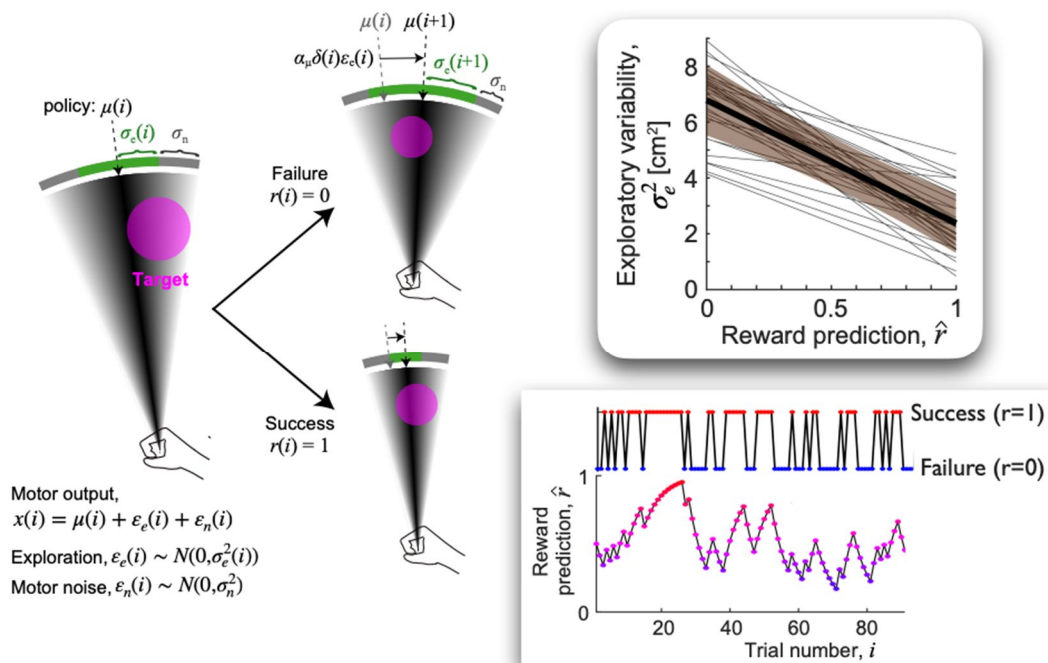


ターゲットの大きさは、課題開始前に、予め被験者ごとに課題の成功率が50%になるように調節した。実験では、被験者はこの到達運動課題を、ターゲットの大きさが変わらない環境で20~40分間継続した。運動学習の指標には、課題前半と後半での成功率の変化を用いた。

4. 研究成果

< 研究1. 運動学習過程における連続失敗の発生機序とその機能的意義の解明 >

健常成人33名を対象に、上述の課題を用いた運動学習実験を行った。その結果、27名の被験者では、運動の失敗と成功は偶然以上の確率で連続して生じていることが示された。さらには、このような連続した失敗と成功が発生するメカニズムを、先行研究にて提唱されている数理モデル[7]に我々の実験環境に適合するように若干の修正を加えることで、説明することに成功した(次頁上部の図)。その数理モデルでは、運動方向 $x(i)$ は、被験者が狙っている方向 $\mu(i)$ と、2つのノイズ項 $\varepsilon_c(i)$ と $\varepsilon_n(i)$ によって規定される。2つのノイズ項のうち、 $\varepsilon_c(i)$ は探索によって変化する値であり、探索幅は報酬予測の多寡と比例する。すなわち、課題に失敗すればするほど、報酬予測は少なくなるので、探索幅は広がり、運動方向のばらつきが大きくなる。 $\varepsilon_n(i)$ は運動ノイズと呼ばれ、その分散は実験中変化しない。



(cf. Dhawale et al., Curr Biol 2019)

このモデルは、連続失敗の発生を再現したことから、連続した運動の失敗は「失敗するほど動作のバラツキを増やしてしまう」ことで発生していることが示唆された。また本モデルは、連続失敗の発生以外にも、運動課題の全体的な成功率や、課題前半と後半での成功率の変化も再現した。なお、課題の前半と比べて後半で成功率が高くなった被験者（学習群）は17名、成功率が下がった被験者（非学習群）は14名、変化のなかった被験者は2名であったが、学習群と非学習群で連続失敗の発生度合いに有意な差は認められなかった。

目的 に対する研究成果をまとめる。運動学習過程における連続失敗の発生機序としては、「失敗すると動作のバラツキを増やしてしまう」ことが原因であることが示唆された。一方で、その学習過程における機能的意義に関しては、答えを得ることができなかった。

< 研究2：連続失敗の発生を操作し、運動学習を促進する新たな技術手法の確立 >

研究計画段階では、耳甲介舟の皮膚上に貼った電極から電気を流す「迷走神経刺激」を用いて連続失敗の発生を操作し、運動学習を促進することを目標としていた。しかし、2020年1月に実施した文科省サイエンスカフェでの一般聴衆との対話を経て、神経刺激技術は安全面と倫理面で解決すべき課題が多く、社会実装を見越すと神経刺激は連続失敗を操作する手法として適切でないと考えられるようになった。加えて、研究1の結果は、連続失敗の発生と運動学習度に関連がないことを示唆しており、連続失敗の発生を操作しても、運動学習を促進する可能性は低いと考えられるようになった。

そこで、研究2は「環境因子を操作して連続失敗の発生を抑制すること」に目標を変更して実施した。操作する環境因子には到達運動課題の標的位置を選択し、運動1回毎に異なる位置に標的が表示されるようにした。健常成人11名での実験の結果、正面を0度とした場合、±90度の範囲に30度刻みで7個の標的がランダムに表示される環境で、研究1と同様の到達運動課題を実施すると、連続失敗の発生を抑制できることが示された。なお、課題全体の成功率は研究1と同様に50%になるように統制したため、多様な環境での運動は連続失敗を抑制するとともに、連続した成功も減少させるという結果を得た。

< 研究成果の社会応用可能性 >

研究1の成果は、「同じ運動を繰り返す環境では失敗も成功も連続しやすい」ことを、研究2の成果は、「様々な運動を実施する環境では失敗も成功も連続しにくい」ことを示した。これをダーツに置き換えれば、狙った位置に矢が飛んでいる限りは同じ的を狙い続ける方が成功しやすいが、狙った位置と違うところに矢が飛んだ次の投擲では異なる的を狙う方が連続失敗を回避できる可能性を示唆している。

< 引用文献 >

[1] Aglioti et al., Nat Neurosci 2008. [2] Churchland et al., Neuron 2006. [3] Chaisanguanthum et al., J Neurosci 2014. [4] Schmidt, Psychol Rev 1975. [5] Wu et al., Nat Neurosci 2014. [6] Dhawale et al., Annu Rev Neurosci 2017. [7] Dhawale et al., Curr Biol 2019. [8] Izawa & Shadmehr, PLoS Comput Biol 2011.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Mitsuaki Takemi, Risa Saito, Midori Kodama, Daichi Nozaki
2. 発表標題 The hot and cold streaks in reinforcement learning
3. 学会等名 Neural Control of Movement 30th Annual Meeting
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------