

プレッシャーが明示的な運動制御精度と力みに与える影響

The effects of pressure on explicit motor control and body tension

小笠原 香苗^{†‡}, 小池 耕彦^{†‡}, 定藤 規弘^{†‡}
Kanae Ogasawara, Takahiko Koike, Norihiro Sadato

[†]総合研究大学院大学, [‡]生理学研究所

The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI), National Institute for Physiological Sciences
oga@nips.ac.jp

概要

プレッシャーが運動制御に影響を与えるメカニズムを明らかにするため、運動制御精度と、力みという意識下の身体状態を区別可能な実験系を考案し、両者にプレッシャーが与える影響を検討した。握力で車を制御する課題を用いた。参加者は、練習の後に、本番として、評価を受けるプレッシャー条件、評価のない対照条件をおこなった。実験の結果、運動制御と力の発揮はどちらもプレッシャーにより影響を受けるものの、影響の受け方が異なることが明らかとなった。

キーワード：プレッシャー、運動制御精度、力み

1. 目的

「練習では出来ていたことが、本番になると上手くできない」といったように、プレッシャーによってパフォーマンス（運動制御精度）が低下する現象は「あがり」と呼ばれる (Baumeister, 1984; 村山・関矢, 2012)。しかしプレッシャーは必ずしも悪影響のみを引き起こすわけではなく、評価者がいる場合に逆にパフォーマンスが向上する現象として社会的促進や観察者効果が知られている (Zajonc, 1965)。このようなプレッシャーの効果はアスリートをはじめとした熟練者でも生じる (Otten, 2009)。またプレッシャーは、身体の制御に等しく効果を持つわけではない。視覚-運動協調時の運動制御は、課題目標でありフィードバックを明示的に利用できる要素と、身体状態のように課題とは直接関係がない意識下の要素とにわけられるが (Taylor, Krakauer, & Ivry, 2014)、課題目標でありフィードバックを利用可能な要素はプレッシャー下でも精度が低下しにくく (e.g., Lee & Grafton, 2015)、意識下の要素、例えば無駄な力である「力み」などは、プレッシャーによる影響が現れやすいとされている (Higuchi et al., 2002; Visser et al., 2004; Yoshie et al., 2008)。

これらの先行研究を考えれば、プレッシャーが運動制御に影響を与えることは自明である。しかし、(1)どのようなメカニズムによりプレッシャーが運動制御に影響を与えるのか、(2)なぜプレッシャーは明示的なフィードバックを利用可能な運動制御と意識下の要素と

に異なる影響を与えるのか、(3)なぜプレッシャーは運動に好影響と悪影響を与えるのか、といった点は未だ解明されていない。これは、先行研究では、明示的なフィードバックを利用可能な運動制御と意識下の要素の両者を同時かつ独立に測定しておらず、同時に記録できるような実験系もないためであると考えられる。たとえば、Yoshie らの研究ではフィードバックが利用可能な運動制御の対象が把持力となっているため、運動制御と力みの関係性を議論することは難しい (Yoshie et al., 2016)。

本研究では課題目標でありフィードバック信号を利用可能な運動制御の精度と、課題精度には無関係でフィードバックも無い力の量を独立に、かつ同時に測定可能な実験課題を提案する。この課題を遂行する参加者に、(1)本番であるというプレッシャー、およびそれに加えて (2)他者に評価されるというプレッシャーをかける。これらのプレッシャーが、フィードバック信号を利用可能な運動制御と、課題成績とは無関係な力の量とに与える影響を検討した。

2. 方法

2.1 実験課題

本研究で提案する、握力で車を制御するドライビングゲーム課題の詳細を示す (図 1)。参加者 (n=23) は自動的に前進する自車を、右手と左手の握力の差分により操り、道路を走らせる。両手ともに握力が閾値 (最大握力の 8%) を超えると自車が出現するようになっている。つまり、この課題は片手の力だけで遂行することはできない。車が左右に進むのは、両手の握力の差分によるから、両手に過剰な力が入っても、差分が最適であれば車を高精度で走らせられる。つまり、運動制御は高い力かんでいる場合を作り出すことが可能であり、力みと運動制御精度は分離して評価できる (課題内容: 図 2)。参加者は、1 トライアルで 1 コースを走破する。1 コースは正弦波状に連続して現れるカーブからなり、1 コースの走破に要する時間は 15 秒である。コースは、

最初に右カーブから始まるものと左カーブから始まるものの2パターン準備した。

参加者は握力を用いた車の操作に慣れるため、50トライアルの練習をおこなった。練習中は、無駄に力を入れて車を操作することがないように、両手の握力の合計が閾値（最大握力の16%）を超えると自車が消えるようになっていた。

練習後、参加者は本番の課題に臨む。目の前に対面して座った実験者に運動制御精度を評価されながら課題をおこなう条件（プレッシャー条件）と、実験者が部屋から退出し評価がされない状態で課題をおこなう条件（対照条件）を、30トライアルずつおこなった。条件は10トライアルごとに変更し、条件の順序はカウンターバランスをとった。

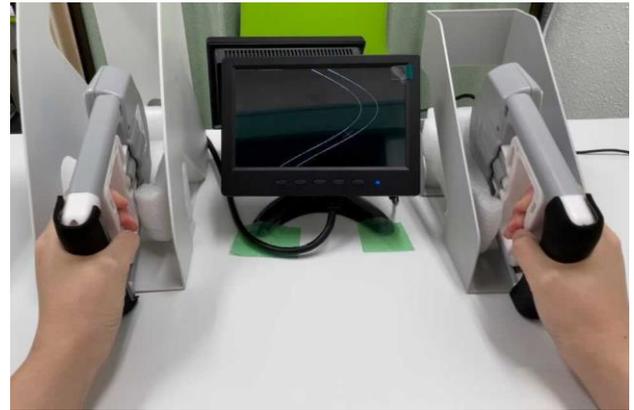


図1 実験の様子。

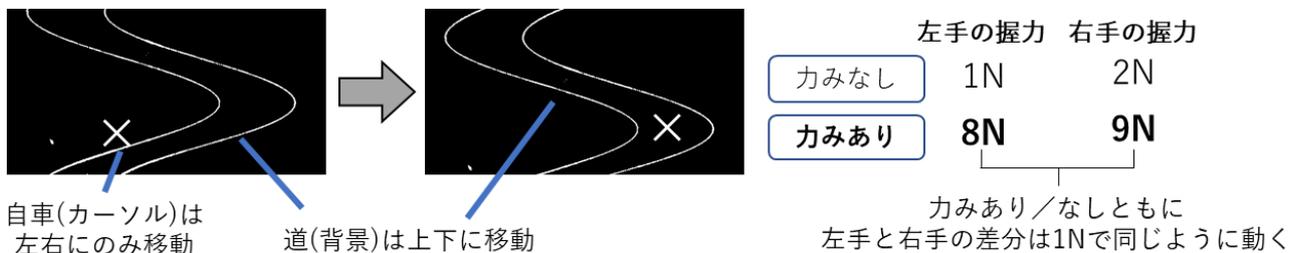


図2 課題内容。

2.2 解析

練習の最後の10トライアルにおいて、両手の握力の合計が閾値を超えてしまい自車が消えることがあった参加者は、本番において、プレッシャーによる力みの効果と、自車が消える上限の閾値を取り外した効果が弁別できないため除外し、参加者14名のデータについて解析をおこなった。あるトライアルの力みは、左右の握力の総和を、1トライアル分平均することで計算した。あるトライアルの運動制御精度は、車と道路中心との距離（エラー量）を1トライアル分平均することで計算した。

これら力み量と運動制御精度を、プレッシャー条件と対照条件の30トライアル分平均することで、各条件における参加者の力み量と運動制御精度を計算した。本番であるというプレッシャーが持つ効果を検討するため、練習最後の10トライアル分の平均を用いて、練習中の力み量と運動制御精度を計算した。これらの値を用いて、練習の効果の確認、条件間でのエラー量と握力の変化、握力変化とエラー量の相関、トライアル内での握力変動について検討した。

3. 結果

3.1 練習効果の確認

50トライアルの練習により、参加者が十分に車の操作に習熟していたことを確認するため、練習を10トライアルごとに1セットとして区切り、セットごとの運動制御精度を比較した。分散分析の結果、セット間でエラーの減少、すなわち運動制御精度の向上がみられたものの ($F(4, 52) = 34.61, p < .01, \eta_p^2 = 0.73$)、多重比較の結果、4セット目と5セット目に有意な差はみられなかった ($t(22) = 2.65, n.s.$; 図3)。そのため、5セット目は運動制御精度が定常となっていた、すなわち、参加者は5セット目終了後には十分に車の操作に習熟していたと判断した。

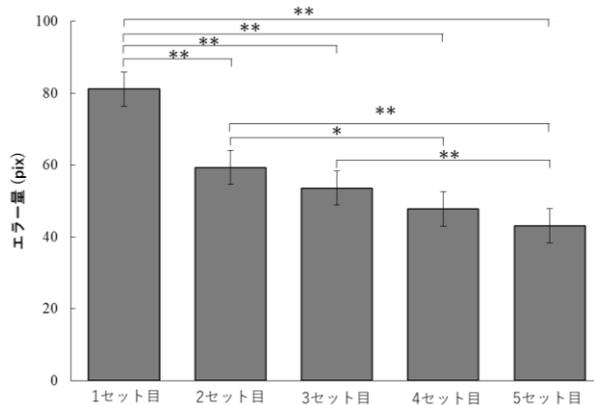


図3 練習での1セットごとのエラー量の比較 (エラーバーは標準誤差, * $p < .05$, ** $p < .01$).

3.2 条件間でのエラー量変化

エラー量についても同様の解析をおこなったところ、有意差がみられ ($F(2) = 11.13, p < .01, \eta_p^2 = 0.46$), 多重比較の結果、プレッシャー条件では練習条件に比べてエラー量が少なく ($t(13) = 3.99, p < .05, d = 0.41$), 対照条件では練習条件に比べてエラー量が少なかった ($t(13) = 3.02, p < .05, d = 0.28$). プレッシャー条件と対照条件の間に差はなかった ($t(13) = -1.87, n.s.$; 図4).

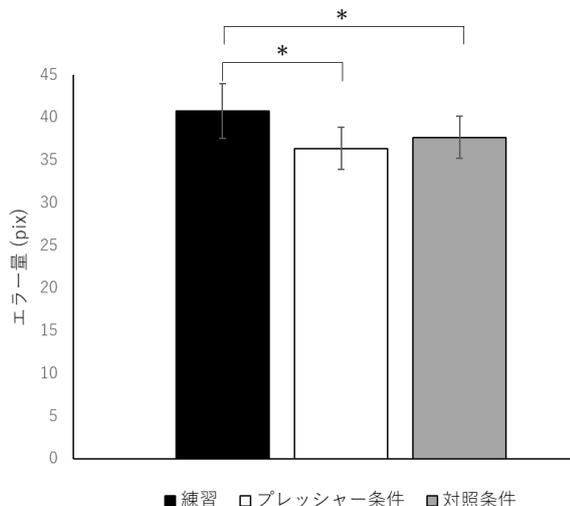


図4 条件間でのエラー量の比較 (エラーバーは標準誤差, * $p < .05$).

3.3 条件間での握力変化

トライアル中の握力の値を平均し、3つの条件間で比較したところ、有意差がみられた ($F(2) = 17.45, p < .01, \eta_p^2 = 0.57$). 多重比較の結果、プレッシャー条件では練習条件、対照条件に比べて握力が大きく (練習: $t(13) = -5.49, p < .01, d = -0.86$; 対象: $t(13) = 2.44, p < .05, d = 0.32$), 対照条件では練習条件に比べて握力が大きかった ($t(13) = -3.71, p < .01, d = -0.55$; 図5).

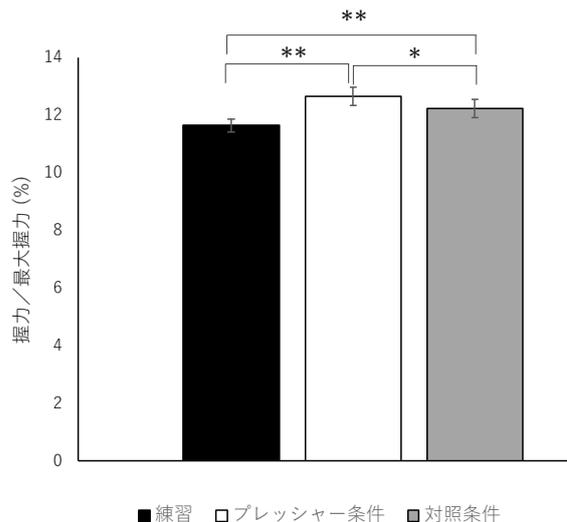


図5 条件間での握力の比較 (エラーバーは標準誤差, * $p < .05$, ** $p < .01$).

3.4 握力変化とエラー量変化の相関

プレッシャーによる握力の変動が大きい者ほどプレッシャーによるエラー量の変動も多いのかを検討するため、握力とエラー量に関して、本番の効果として練習からプレッシャー条件または対照条件の増分を、評価の効果として対照条件からプレッシャー条件の増分を計算した後に、参加者間で握力とエラー量の相関を計算したが、すべての条件間で有意な相関はなかった (プレッシャー条件-練習条件: $r = -.17, n.s.$; 対照条件-練習条件: $r = -.40, n.s.$; プレッシャー条件-対照条件: $r = -.06, n.s.$).

3.5 トライアル内での握力変動

条件間での握力変化が、トライアルの初期からずっと定常的な力みが発生しているのか、それともトライアルの間に徐々に発生していくのかを検討するため、トライアル内での握力の時間的な変動に着目して検討をおこなった。1 トライアル内での握力の時間的な変動の参加者平均は図6のような右肩上がりの曲線となった。曲線が右肩上がりであるのか、またその時間変動に条件差がみられるかを検討するため、課題が始まってから0.5秒間の握力の値(初期値)と、課題終了直前の0.5秒間の握力の値(最終値)を3つの条件間で比較した。期間(初期値, 最終値)と条件(練習, プレッシャー条件, 統制条件)の2要因分散分析をおこなったところ、交互作用がみられた ($F(2, 26) = 14.48, p < .01, \eta_p^2 = 0.53$). 単純主効果の検定を実施したところ、初期値では条件の単純主効果はみられなかったが ($F(2, 52) =$

1.48, n.s.), 最終値では条件の単純主効果が有意であった ($F(2, 52) = 18.82, p < .01, \eta_p^2 = 0.59$). 最終値の多重比較 (Bonferroni 法) の結果, すべての条件間で有意な差がみられた (練習-プレッシャー条件: $t(13) = -4.10, p < .01, d = -0.83$; 練習-統制条件: $t(13) = -2.46, p < .05, d = -0.49$; プレッシャー条件-統制条件: $t(13) = 2.88, p < .05, d = 0.34$). また, すべての条件において期間の単純主効果が有意であった (練習: $F(1, 39) = 39.77, p < .01, \eta_p^2 = 0.75$; プレッシャー条件: $F(1, 39) = 79.40, p < .01, \eta_p^2 = 0.86$; 統制条件: $F(1, 39) = 56.00, p < .01, \eta_p^2 = 0.81$; 図 7). これらの結果から, 条件にかかわらず力の変動は右肩上がりであること, 1 トライアルの中で徐々にプレッシャーによる握力の増大が生じることが示された.

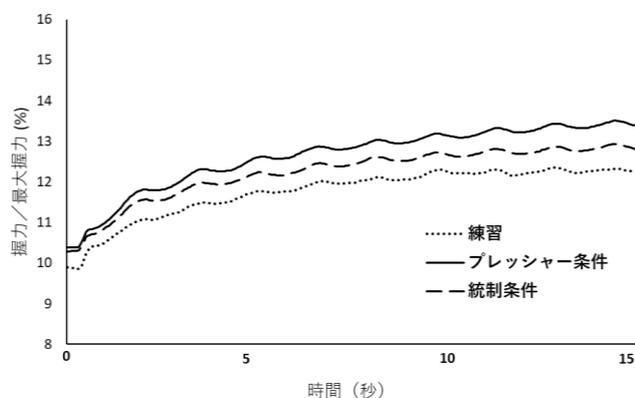


図 6 1 トライアル内 (15 秒間) での握力の時間的な変動.

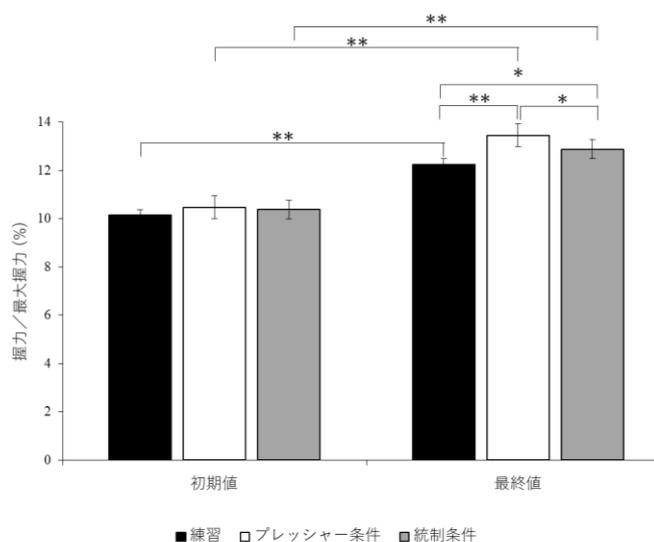


図 7 条件間での 1 トライアル内の初期値と最終値の比較 (エラーバーは標準誤差, * $p < .05$, ** $p < .01$).

4. 考察

本研究では, 課題目標でありフィードバック信号を利用可能な運動制御の精度と, 課題精度には無関係でフィードバックも無い力の量を独立に, かつ同時に測定可能なドライビング課題を提案した. そしてこの課題を用いて, プレッシャーがフィードバック信号を利用可能な運動制御と, 課題成績とは無関係な力の量とに与える影響を検討した.

実験の結果, 運動制御と力の発揮はどちらもプレッシャーにより影響を受けるものの, 影響の受け方は異なることが明らかとなった.

運動制御は, 本番であるというプレッシャーにより向上した. 先行研究では, 本番であることの要因として, 評価者の効果 (山中・吉田, 2011) のほかにも, 観衆 (長谷川他, 2011), 賞金 (Hickman & Metz, 2015), 対戦相手のパフォーマンス (Kocher, Lenz, & Sutter, 2012) といった要素が加えられている. 本研究では, 評価の有無にかかわらず, 本番であるとの教示が運動制御を向上させた. これは, 本番であるという参加者のマインドセットの変化のみでプレッシャーを生起させることができることを示しており, 本番であることの効果が提唱できたといえる. また観察者がいるというプレッシャーは, 運動制御精度に影響を与えなかった. 明確なフィードバックに基づいた運動制御は, プレッシャーの影響を受けにくいことを示しているのかもしれない (Lee & Grafton, 2015).

これに対して, フィードバックの与えられない握力の発揮に関しては, 本番であるというプレッシャーだけでなく, 評価者がいるというプレッシャーによっても把持力が増加した. この結果は, 観察者の影響という点では観察者効果や社会的促進 (Zajonc, 1965) の一例と考えることは可能である. これらの効果の原因としては, 他者の存在により覚醒水準が変動するという考え (Zajonc, 1965), 覚醒水準とは無関係な高次の実行機能系の影響 (Ito et al., 2011) などが提案されている. 本研究では把持力のフィードバックはされておらず, 意識的な注意資源に関連した覚醒水準の変動 (Feinberg & Aiello, 2006) や, 意識的な制御に関連した実行機能系の影響 (Ito et al., 2011) は考えにくい. 他者の存在による, 自動的な覚醒水準の変化や不安惹起が, 力みの原因となっている可能性が示唆されるが, 本研究だけでそのメカニズムを解明することは困難である. 脳機能イメージングと組み合わせることで, 自動的な力みのメ

カニズムを解明することは、今後の研究課題である。

握力の1トライアル内での初期値と最終値について検討した結果、課題終了間際の最終値のみで条件間に差がみられた。このことは、プレッシャーによる力みが課題の最初から生じてそれが定常的に維持されている、すなわち静的なプロセスではなく、課題中に両手の制御が繰り返される中で少しずつ発生していく動的なプロセスである可能性を示している。この結果は、プレッシャーが与える影響が静的だという従来の考え (Mesagno, & Beckmann, 2017) とは異なる。今後の研究では、本実験のデータをより詳細に解析することで、把持力制御のどのプロセスにプレッシャーが影響を与えるのかを解明していく必要がある。

文献

- [1] Baumeister, R. F., (1984) "Choking under pressure: self-consciousness and paradoxical effects of incentives on skillful performance", *Journal of personality and social psychology*, Vol. 46, No. 3, pp. 610-620.
- [2] Feinberg, J. M., & Aiello, J. R., (2006) "Social Facilitation: A Test of Competing Theories" *Journal of Applied Social Psychology*, Vol. 36, No. 5, pp. 1087-1109.
- [3] 長谷川弓子, 矢野円郁, 小山哲, & 猪俣公宏., (2011) "プレッシャー下のゴルフパッティングパフォーマンス: 不安の強度とパッティング距離の影響" *スポーツ心理学研究*, Vol. 38, No. 2, pp. 85-98.
- [4] Hickman, D. C., & Metz, N. E., (2015) "The impact of pressure on performance: Evidence from the PGA TOUR" *Journal of Economic Behavior & Organization*, Vol. 116, pp. 319-330.
- [5] Higuchi, T., Imanaka, K., & Hatayama, T., (2002) "Freezing degrees of freedom under stress: Kinematic evidence of constrained movement strategies", *Human movement science*, Vol.21, No. 5-6, pp. 831-846.
- [6] Ito, H., Yamauchi, H., Kaneko, H., Yoshikawa, T., Nomura, K., & Honjo, S., (2011) "Prefrontal overactivation, autonomic arousal, and task performance under evaluative pressure: A near - infrared spectroscopy (NIRS) study", *Psychophysiology*, Vol. 48, No. 11, pp. 1563-1571.
- [7] Kocher, M. G., Lenz, M. V., & Sutter, M., (2012) "Psychological pressure in competitive environments: New evidence from randomized natural experiments" *Management Science*, Vol. 58, No. 8, pp. 1585-1591.
- [8] Mesagno, C., & Beckmann, J., (2017) "Choking under pressure: theoretical models and interventions" *Current opinion in psychology*, Vol. 16, pp. 170-175.
- [9] 村山孝之・関矢寛史, (2012) "スポーツにおける「あがり」の要因と要因間の関係性", *体育学研究*, Vol. 57, No. 2, pp. 595-611.
- [10] Otten, M., (2009) "Choking vs. clutch performance: A study of sport performance under pressure" *Journal of sport and exercise psychology*, Vol. 31, No. 5, pp. 583-601.
- [11] Taylor, J. A., Krakauer, J. W., & Ivry, R. B., (2014) "Explicit and implicit contributions to learning in a sensorimotor adaptation task", *Journal of Neuroscience*, Vol. 34, No. 8, pp. 3023-3032.
- [12] Visser, B., De Looze, M. P., De Graaff, M. P., & Van Dieën, J. H., (2004) "Effects of precision demands and mental pressure on muscle activation and hand forces in computer mouse tasks" *Ergonomics*, Vol. 47, No. 2, pp. 202-217.
- [13] 山中咲耶・吉田俊和, (2011) "特性的共感性があたり喚起状況における主観的感情体験と課題遂行に及ぼす影響—観察者のフィードバックに着目して—", *実験社会心理学研究*, Vol. 51, No. 1, pp. 21-31.
- [14] Yoshie, M., Kudo, K., & Ohtsuki, T., (2008) "Effects of psychological stress on state anxiety, electromyographic activity, and arpeggio performance in pianists", *Medical Problems of Performing Artists*, Vol. 23, No. 3, pp. 120-132.
- [15] Yoshie, M., Nagai, Y., Critchley, H. D., & Harrison, N. A., (2016) "Why I tense up when you watch me: inferior parietal cortex mediates an audience's influence on motor performance" *Scientific reports*, Vol. 6, No. 1, pp. 1-11.
- [16] Zajonc, R. B., (1965) "Social facilitation", *Science*, Vol. 149, No. 3681, pp. 269-274.