

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19300216  
 研究課題名（和文）心理的変動がヒトの随意運動制御に及ぼす影響に関する脳・神経科学的研究  
 研究課題名（英文）Brain science study on the effects of psychological variation on human voluntary motor control.  
 研究代表者  
 大築 立志（TATSUYUKI OHTSUKI）  
 東京大学・大学院総合文化研究科・名誉教授  
 研究者番号：30093553

## 研究成果の概要（和文）：

ヒトの運動場面における、プレッシャーやあがりなどの心理的変動によるパフォーマンス悪化のメカニズムを、種々の実験によって追究した。典型例として、ピアノコンクール出場者に計測器を装着して身体反応を測定した結果、観客の前で審査員による評価を受ける心理的緊張場面での演奏時には、心拍数増大、持続的低強度筋活動の増強、指先の動作制御の乱れ、演奏評価の悪化などが生じることが実証された。また、その脳内メカニズムとして、動物実験から恐怖行動中枢である扁桃体に対する神経伝達物質ドーパミンの修飾作用の関与が示唆された。

## 研究成果の概要（英文）：

We investigated the mechanisms of performance deterioration due to psychological variations such as pressure and nervousness in human movement execution. As typical examples, we measured body responses of competitors of piano competition. Results demonstrated that, when they played before audience and judges, the heart rate increased, low-amplitude electromyographic activity was tonically enhanced, fine motor control of fingers was disordered, and performance evaluation was degraded. As a possible brain mechanism subserving these phenomena, modification of amygdala activity by dopamine was proposed through animal experiments.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	7,800,000	2,340,000	10,140,000
2008年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
2009年度	2,600,000	780,000	3,380,000
年度			
年度			
総計	15,300,000	4,590,000	19,890,000

研究分野：運動神経生理学

科研費の分科・細目：（分科）健康・スポーツ科学 （細目）スポーツ科学

キーワード：心理的変動、運動制御、プレッシャー、不安、筋電図、心拍数、扁桃体、ドーパミン

### 1. 研究開始当初の背景

一流スポーツ選手や熟練職人等の優れたパフォーマンスは、「力強さ」と「巧みさ（スキル）」という2つの動作属性を生み出す身体能力に支えられている（図1、大築, 1988）。このうち、「巧みさ」という動作属性を生み出す能力（運動スキル）は、限られた力を最大限有効に用いるための能力であり、身体の協調性（コーディネーション）、リズム、タイミング、動作の切り換えや抑制など、さまざまな能力要素から構成される。本研究に至るまでに、研究代表者らは、バイオメカニクス、運動心理学、運動生理学、神経生理学等の方法論を統合してヒトの随意運動の巧みさに関する学際的研究を展開し、国際誌に研究論文を発表するとともに、国内にて専門書および入門書を執筆・翻訳してきた（矢部ら, 2003; ベルンシュタイン, 2003; ジャービス, 2006; 工藤, 2006 など）。これらの研究活動により、運動制御（motor control）研究に属する諸領域を融合させた「ヒトを対象とした無侵襲的脳神経運動機能解析」という新たな学際総合研究領域を開拓してきた。

一方、ヒトの運動パフォーマンスに対して心理的状态の変化が多様な影響を及ぼすことは経験的によく知られている。スポーツをはじめとする多くの運動実施場面において、プレッシャーやあがりによる動作の乱れがしばしば観察される。これらの心理的変動は、パフォーマンスにプラスの影響、マイナスの影響を与える（図2）。このような心理的要因によって脳神経系から筋活動を含めて実際にどのような身体的変化が生じるのかを解明することは、スポーツにおけるスキル向上のためにも、また日常生活における動作遂行や効果的なストレスマネジメントのためにも重要であると考えられる。

このような心理的変動の影響に関する研究としては、たとえば不安と脳活動、あるいは不安とパフォーマンスに関する研究などが国内外に散見される（有光, 2002; Bishop et al., 2004; Murray & Janelle, 2003; Van-Galen et al., 2002）。しかしながら、学際領域融合的方法論を用い、統一的な視点から心理的変動と運動スキルとの関連を検討した研究は見当たらない。

そこで申請者らは、平成16年から平成18年まで、科学研究費補助金研究「心理的変動が運動スキルに及ぼす影響に関する脳神経科学的研究」を行い、次のような知見を得た。すなわち、課題の要求度をあげて視覚反応課題を行わせると、心拍数の上昇、

筋活動の増加、拮抗筋の共同収縮などの生理学的変化が生じ、課題の失敗率が增加すること、プレッシャー条件下で失敗した直後には状態不安尺度スコアが上昇し、機能的磁気共鳴画像法を用いてそのときの脳活動を計測すると、失敗率の増加が顕著だった被験者には前帯状回皮質などの特定領域に特異的な活動変化が生じることなどの新しい知見が得られた。

しかしながら、これらの結果がさまざまな運動スキルに対して同様に当てはまるのか、あるいはスキルの種類によって異なる

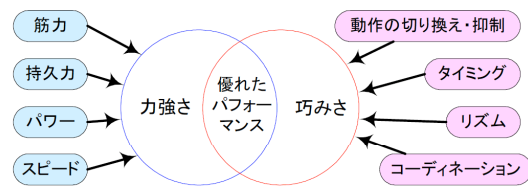


図1 優れたパフォーマンスを支える能力

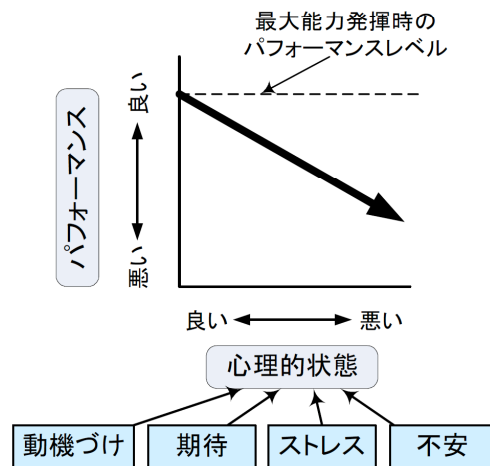


図2 パフォーマンスと心理的状态の関係

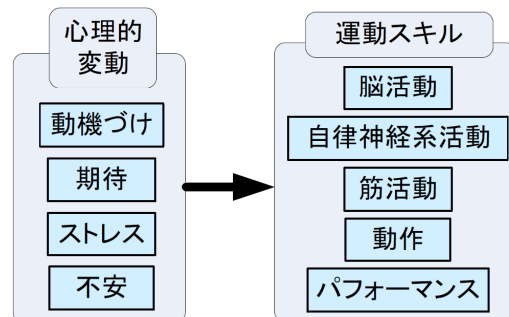


図3 本研究で明らかにしようとする心理的変動と運動スキルの関係

のかは不明であり、かつまた、異なる心理的変動要因が脳活動にどのような影響を及ぼすのかについて、更なる検討が必要であった。

#### 文献

有光興記 (2002) “あがり” への対処法に関する研究～ “あがり” 対処法の種類、因子構造、状況間相違に関する検討～. 心理学研究, 72, 482-489.

ベルンシュタイン 著, 工藤和俊 訳, 佐々木正人 監訳, N. A. (2003) 巧みさとその発達, 金子書房.

Bishop, S., Duncan, J., & Lawrence, A. D. (2004) Prefrontal cortical function and anxiety: Controlling attention to threat-related stimuli. *Nature Neuroscience*, 7, 184-188.

ジャーヴィス, M. 著, 工藤和俊・平田智秋 訳 (2006) スポーツ心理学入門. 新曜社.

工藤和俊 (2006) 学習された運動行動の制御. 麓信義 (編) 運動行動の学習と制御. 杏林書院. pp.61-85.

Murray, N. M., & Janelle, C. M. (2003) Anxiety and performance: A visual search examination of the processing efficiency theory. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 25, 171-187.

大築立志 (1988) 「たくみ」の科学. 朝倉書店.

Van-Galen, G. P., Muller, M. L., Meulenbroek, R. G., & Van-Gemert, A. W. (2002) Forearm EMG response activity during motor performance in individuals prone to increased stress reactivity. *American Journal of Industrial Medicine*, 41, 406-419.

矢部京之助・大築立志・笠井達哉 編著 (2003) 入門運動神経生理学. 市村出版.

## 2. 研究の目的

以上のような背景に鑑み、本研究ではさらに多様な運動課題を用い、心理的変動の条件を追加し、多様な運動スキルを発揮する際の脳活動、自律神経活動、筋活動、動作、およびパフォーマンスに心理的変動がどのような影響を及ぼすのかを明らかにすることを目的とした (図3)。

## 3. 研究の方法

本研究では、運動スキルとして、動作のすばやい開始と抑制、タイミング、リズム、身体の協調性 (コーディネーション) を必要とする課題を用い、心理的変動の下でこ

れらのスキル動作に生じるパフォーマンス・筋活動・心拍・および脳活動の変化を総合的に検討した。解析手法としては、動作の運動学 (kinematics) 的・運動力学 (kinetics) 的解析、非線形時系列解析、fMRI による脳活動解析を用いた。また、変数間の相互関係については、多変量解析法を用いた。これらのバイオメカニクス的手法、生理学的手法、統計学的あるいは非線形数値解析手法を用いることによって、心理的変動という心理学的な問題に対して、多面的・総合的にアプローチすることが可能となり、心理的変動を伴う動作にはいかなる運動学的・運動力学的变化が生じ、その変化がいかなる生理学的变化・脳活動変化と関連しているのかを明らかにすることができる。

また、心理的変動の影響には個人差がある。本研究では、心理的変動の影響を受けやすい人とそうでない人を区分し、動作・筋電図・心電図・脳波における両者の相違を検討した。心理的変動の影響を受けにくい人と受けやすい人の特徴を明らかにすることにより、プレッシャーや不安のようなマイナス要因としての心理的変動に対してはいかにこれに対応すればよいかという指針が得られ、報酬期待などプラス要因としての心理的変動についてはいかにそれをパフォーマンス向上に役立てるかという指針が得られると期待される。

## 4. 研究成果

第1年度は以下の3つの研究を実施した。

(1) 心理的変動の代表的なものとして、種々の発表会や演奏会、試合などの心理的緊張場面がある。その一例として、ピアノ演奏をとりあげ、練習と聴衆の前での演奏会とで、自律神経活動、筋活動、動作、及びパフォーマンスにどのような違いが生じるかを検討した。

出来るだけ現実に近い心理的緊張を与えるために、実際にプロピアニスト5名を審査員とし、実験器具を装着した実験被験者として演奏することを条件として出場者を公募して、アマチュア部門と音楽大学在学プロ志望者部門からなる本当のピアノコンクールを開催した。その結果、多くの被験者において、練習時に比べ、コンクール時には演奏開始直前から徐々に心拍数が増加し始め、演奏開始とともに急激に上昇し、演奏終了直後に急激に減少する傾向が見られた。中には演奏中に運動中の最大心拍数に近い、180/min に達する者もあった。

また、コンクール演奏中の上肢筋群および僧帽筋の筋活動は練習時に比べて増大した。特に、振幅の小さい筋活動が特異的に増加し、リラクゼーションの低下が生じる

結果、打鍵速度と打鍵強度が増大して、弱音の制御が乱れ、演奏時間も短縮して、審査員の評価も低下するという心理的緊張の悪影響の因果関係が明らかとなった。

(2) 意識的にペースを変動させる長距離競走のような場合に、速度変化に応じて走行パターンにどのような変化が生じるかを、一般成人と陸上競技長距離選手を被験者とし、トレッドミル走を用いて検討した。まず被験者ごとに各自の至適走行スピード (preferred running speed) を決定し、それより 20%遅い速度と速い速度を設定して走行させ、心拍数、筋電図、足の接地離地シグナルを記録した。先ず、ピッチ、ストライドの変動パターンについて解析した結果、選手は一般人にくらべて、至適走行スピードが速いこと、その結果一步あたりの所要時間が短いにもかかわらず、変動係数は一般人よりも小さいことが明らかとなった。

(3) 心理・情動過程の脳内機構研究のため動物脳スライス標本を用いた電気生理学的解析を行った結果、動機付けや報酬に関係の深いドーパミンが扁桃体神経回路リズムを修飾することが明らかとなった。

第2年度には以下の研究を実施した。

(1) 代表的な心理的変動のひとつとして、ピアノ演奏における心理的緊張が自律神経活動、筋活動、動作、及びパフォーマンスに及ぼす影響に関するデータを更に詳細に処理検討し、観客や審査員等による評価を受ける場面での演奏時には心拍数が増大し、低強度の持続的筋活動が増大するなどの、心理的プレッシャーの効果を検証し、成果を公表した。

また、ピアノのような小筋動作に加えて、ストリートダンスのリズム動作という全身的大筋動作および管楽器の吹奏という顔面筋の大きな力を必要とする動作において、心理的変動がどのような影響を持つかを検討した。

ストリートダンスの基本動作として、両足を揃えた立位姿勢からリズム音に合わせて膝を屈伸する動作を、最大膝屈曲位置をリズム音に一致させる条件 (ダウンリズム動作) と、最大膝伸展位置をリズム音に一致させる条件 (アップリズム動作) の2種類の意識焦点で行わせた。その結果、物理的には同じ膝屈伸動作であるにもかかわらず、動作局面に対する意識の違いが、動作速度や最大屈曲・伸展角度の大きさや時刻に有意な影響を与えることが明らかとなった。

これは、動作に関する注意の仕方の違いという心理的変動が動作自体を大きく変えてしまうことを意味するものであり、コーチングやスキルプラクティスという応用面

からも興味深い。

さらにまた、管楽器のホルン演奏についてピアノ演奏と同様の心理的変動の効果を見るための準備段階として、顔面諸筋の筋活動がクロストークなしに分離記録できることを確認し、さらにそれらの筋活動強度と音量との間に直線的関係が見られることを確認した。

(2) 前年度にひきつづき、意識的にペースを変動させる長距離競走における速度変化と走行パターンの関係について、フラクタル解析を用いて検討した。その結果、DFA法によるスケールリング指数  $\alpha$  は、一般成人ではフラクタルな変動性を示す値 (0.87) を示したのに対し、熟練長距離ランナーでは、(フラクタルな変動性は保持されているものの) 相対的に白色雑音に近い値 (0.72) を示した。このことは、熟練者が動作に関連した視覚、触覚、固有感覚等の種々の感覚情報を常にモニターしながら、ストライドの変動を最小限に抑え、安定した走行を維持する適応的な方略を身につけていることを意味すると考えられる。

(3) 心理・情動過程の脳内機構研究のため、前年度に引き続き動物脳スライス標本を用いた電気生理学的解析を行った。動機付けや報酬に関係の深いドーパミンの扁桃体神経回路リズム修飾作用に関し、促進部分はドーパミン受容体の D1 サブタイプ、抑制部分は D2 サブタイプが関与することを明らかにした。また、不安状態に影響することなく行動過剰を引き起こす慢性拘束ストレス条件を見出し、これに帯状回神経回路の脱抑制とシナプス可塑性増大が関係することを明らかにした。

第3 (最終) 年度は、これまでの研究データの解析および成果の公表を主眼として活動し、別記のとおり、6編の学術論文を刊行した。その概要は次の通りである。

・Chronic stress enhances synaptic plasticity due to disinhibition in the anterior cingulate cortex and induces hyper-locomotion in mice. 1日2時間×1週間の慢性拘束ストレスを負荷したマウスの行動特性を評価した結果、新奇状況への適応を示唆する可能性のある行動過多状態を発現した。これに際してストレス適応 (あるいはその障害) に深く関わる脳部位とされる前部帯状回でのシナプス活動を、脳スライス標本からのパッチクランプ記録法を用いて電気生理・薬理的に検討した。

その結果、帯状回皮質浅層での抑制性シナプス伝達減弱とその結果の興奮性増大、さらにシナプス可塑性亢進が起きている事が解明された。これらはストレス適応時の脳内物質過程として、帯状回を始めとする

前頭葉において神経伝達物質およびその受容体の分子機能に変化が起きていることを明らかにしたものである。

・ Effects of state anxiety on music performance: relationship between the revised competitive state anxiety inventory-2 subscales and piano performance. 競技スポーツ用状態不安テスト修正版 CSAI-2R を用いてピアノ演奏成績と状態不安との関係を検討した結果、自信と演奏成績は正の相関を、認知不安と正確さは負の相関を示した。

・ Motor/autonomic stress responses in a competitive piano performance. 熟練ピアニストにおいて、ピアノ演奏の質、自律系覚醒水準、上肢筋活動水準は、リハーサルに比べてコンクールにおいて有意に増大した。

・ Music performance anxiety in skilled pianists: effects of social-evaluative performance situation on subjective, autonomic, and electromyographic reactions. 高度熟練ピアニストの練習時とコンクール本番時の心理変数、自律応答、筋活動などを比較することによって、社会的評価場面における心理的変動が心拍数、発汗量、上肢筋活動の増強を引き起こすことを証明した。

・ Variability and fluctuation in the running gait cycle of trained runners and non-runners. 意識的にペースを変動させてトレッドミル走を行わせた結果、熟練長距離ランナーは、一般人に比べて一步あたりの周期の変動係数、フラクタル解析によるスケーリング指数  $\alpha$  が小さかったことから、熟練者がランニング動作の時空間構造の自由度を喪失することなく変動の大きさを減少させていることが明らかとなった。

これらの論文刊行に加えて、さらにまた、新たな補足研究として以下の研究を実施した。

ピアノ演奏を用いた昨年までの研究によって、代表的な心理的変動のひとつである公開審査による心理的緊張によって、心拍数の増加、筋活動強度の増加、拮抗筋同時筋収縮の増加、打鍵速度の増加など、自律神経活動、筋活動、動作及びパフォーマンスに及ぼす影響が明らかとなった。それらの行動科学的変動は、脳の活動変化に起因しているため、心理的緊張によって脳活動がどのように変化するのかを解明するために、脳波を用いた解析を行った。心理的緊張度の高いグループと低いグループを設けるために、約 300 人に演奏不安尺度および多次元完全主義認知尺度に関する質問紙調査を行って被験者を募集した。その結果、半数以上の演奏家が演奏不安に悩まされていることが明らかになり、中程度の演奏不安と完全主義傾向との間に有意な相関のあることが認められた。さらに、演奏不安尺

度の高得点群では、低得点群に比べて心理的ストレス下での演奏において運動準備電位の振幅が増大するという仮説を検証するための実験を遂行した。この実験結果については現在解析中である。

#### 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 6 件)

1. Ito, H., Nagano, M., Suzuki, H., & Murakoshi, T. Chronic stress enhances synaptic plasticity due to disinhibition in the anterior cingulate cortex and induces hyper-locomotion in mice. *Neuropharmacology*, 査読有, 58, 2010, 746-757.
2. Yoshie, M., Shigemasa, K., Kudo, K., & Ohtsuki, T. Effects of state anxiety on music performance: relationship between the revised competitive state anxiety inventory-2 subscales and piano performance. *Musicae Scientiae*, 査読有, 13, 2009, 55-84.
3. Yoshie, M., Kudo, K., & Ohtsuki, T. Motor/autonomic stress responses in a competitive piano performance. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 査読有, 1169, 2009, 368-371.
4. Yoshie, M., Kudo, K., Murakoshi, T., & Ohtsuki, T. Music performance anxiety in skilled pianists: effects of social-evaluative performance situation on subjective, autonomic, and electromyographic reactions. *Experimental Brain Research*, 査読有, 199, 2009, 117-126.
5. Nakayama, Y., Kudo, K., & Ohtsuki, T. Variability and fluctuation in the running gait cycle of trained runners and non-runners. *Gait and Posture*, 査読有, 31, 2009, 331-335.
6. Yoshie, M., Kudo, K., & Ohtsuki, T. Effects of psychological stress on state anxiety, electromyographic activity, and arpeggio performance in pianists. *Medical Problems of Performing Artists*, 査読有, 23, 2008, 120-132.

[学会発表] (計 12 件)

1. 吉江路子, 工藤和俊, 村越隆之, 大築立志. 演奏不安によるパフォーマンス低下の生理心理学的検討ーピアノコンクール場面を対象としてー. 第 40 回日本音楽教育学会. 2009 年 10 月 17 日, 名古屋.
2. 伊藤浩志, 永野昌俊, 鈴木秀典, 村越隆之. 慢性拘束ストレスによるマウスの多動化と帯状回シナプス可塑性の増大. 第 32 回日本神経科学大会. 2009 年 9 月 17 日,

- 名古屋.
3. 大城博矩, 村越隆之. 扁桃体抑制性ネットワークオシレーションに対するドーパミン調節の受容体サブタイプ解析. 第32回日本神経科学大会. 2009年9月17日, 名古屋.
  4. 金丸隆志, 大城博矩, 松戸隆之, 村越隆之, 合原一幸. 扁桃体における同期抑制現象のモデリング. 第32回日本神経科学大会. 2009年9月16日, 名古屋.
  5. Ohshiro, H. & Murakoshi, T. Dopaminergic modulation of inhibitory network oscillation in the rat amygdala and its subtype identification. The 36th International Congress of Physiological Sciences. 2009年7月29日, 名古屋.
  6. 大城博矩, 村越隆之. ドーパミンによるラット扁桃体「同期抑制」調節作用における受容体サブタイプ毎の解析. 第82回日本薬理学会. 2009年3月, 横浜
  7. 伊藤浩志, 永野昌俊, 鈴木秀典, 村越隆之. 慢性拘束ストレスによるマウス行動亢進と帯状回シナプス可塑性増大. 第82回日本薬理学会. 2009年3月, 横浜.
  8. 大城博矩, 村越隆之. ラット扁桃体同期抑制に対するドーパミンの相反する作用. 第30回日本神経科学会. 2008年7月, 東京.
  9. 河本卓也, 北澤和哉, 阿須間麗, 有井康博, 村越隆之, 福岡伸一. キノリン酸仮説に基づくハンチントン病モデルマウスの生化学的・電気生理学的解析. 第31回日本分子生物学会年会・第81回日本生化学会大会合同大会 (BMB2008). 2008年12月, 神戸.
  10. 大城博矩, 村越隆之. ドーパミンによるラット扁桃体「同期抑制」調節作用における受容体サブタイプの解析. 第119回日本薬理学会関東部会. 2008年10月, 東京.
  11. Fujikawa, T., Takago, H., Takago, T. O., Ariizumi, Y., Murakoshi, T., & Kitamura, K. A new insight of central mechanism of salicylate-induced tinnitus by patch clamp technique. ORLAS Collegium, 2008年8月, Berlin.
  12. Yoshie, M., Hirano, T., Miura, A., Kudo, K., & Ohtsuki, T. Effects of physiological arousal on performing tempo and artistic expression in pianists. The 10th International Conference on Music Perception and Cognition. 2008年8月27日, 札幌.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

大築 立志 (TATSUYUKI OHTSUKI)  
東京大学・大学院総合文化研究科・名誉教授  
研究者番号: 30093553

### (2) 研究分担者

工藤 和俊 (KAZUTOSHI KUDO)  
東京大学・大学院総合文化研究科・助教  
研究者番号: 30302813

(H20→H21: 連携研究者)

村越 隆之 (TAKAYUKI MURAKOSHI)  
東京大学・大学院総合文化研究科・准教授  
研究者番号: 60190906

(H20→H21: 連携研究者)

### (3) 連携研究者

工藤 和俊 (KAZUTOSHI KUDO)  
東京大学・大学院総合文化研究科・助教  
研究者番号: 30302813

(H20→H21)

村越 隆之 (TAKAYUKI MURAKOSHI)  
東京大学・大学院総合文化研究科・准教授  
研究者番号: 60190906

(H20→H21)