

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2010～2012

課題番号：22240070

研究課題名（和文） 緊張時のパフォーマンス崩壊メカニズムの解明と公開型スポーツ脳機能解析施設の構築

研究課題名（英文） Psychological and Neural Mechanisms of Reduced Athletic Performance in Games: Development of Research Applications for Sport Brain Science

研究代表者

石井 源信（ISHII MOTONOBU）

東京工業大学・大学院社会理工学研究科・教授

研究者番号：20108202

研究成果の概要（和文）：

本研究では、アスリートは緊張時になぜパフォーマンスが崩壊するのかを明らかにするために、磁気共鳴画像法を用いた実験やテニスのサーブ・コースを予測するCGを用いた行動実験を行い、脳のどの様な要因がパフォーマンスの崩壊を発生させるのかを明らかにすることを目指した。また、パフォーマンス崩壊の要因を探るためにソフトテニスを対象として、質問紙を作成し、どのような心理的要因がパフォーマンス崩壊に関与しているかも検討した。その結果、心理的な阻害要因としては、競技場面での過度な感情の惹起が「視線注意散漫」という状態を生じさせ、最終的に「知覚運動スキル」に影響を与えることが示された。また、脳内のメカニズムとしては、島皮質からの実行系の注意システムへのコントロールが阻害されることが示された。本研究では、これらの他に、スポーツ科学の脳機能研究を支援するプログラムの開発や、アスリート支援のためのスマートフォンアプリなどの開発も行った。

研究成果の概要（英文）：

The present study aimed to reveal the neural and psychological mechanisms of reduced athletic performance due to competitive stress. We conducted fMRI and behavioral experiments using a tennis service task. In addition, we also developed the inquiry of performance reduction for soft tennis players to establish the psychological model of the performance reduction. Furthermore, we also conducted some research and athletic programs to assist sport scientists or soft tennis players. The result of the present study suggest that key factors of performance reduction could be corruption of visual attention system due to overwhelming positive and negative emotion due to uncontrollability in athletic situations.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	12,300,000	3,690,000	15,990,000
2011年度	12,900,000	3,870,000	16,770,000
2012年度	13,200,000	3,960,000	17,160,000
年度			0
年度			0
総計	38,400,000	11,520,000	49,920,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・スポーツ科学

キーワード：スポーツ心理学

1. 研究開始当初の背景

実力のあるアスリートがオリンピックや世界選手権といった重要な大会において十分な力を発揮することなく敗退することは今でも決して珍しいことではない。このような悲劇を防ぐためにも多くの選手がメンタルトレーニングや様々な心理トレーニングを行い、また日本スポーツ心理学会においても「スポーツメンタルトレーニング指導士」を養成し、現場においてメンタルトレーニングを指導できる専門家の育成に努め選手に対して心理サポート成果を挙げるべく取り組まれている。しかしながら多くの経験から導き出されたメンタルトレーニングプログラムにもかかわらず、心理的原因により試合で実力を発揮できない選手が未だに多く存在する。

一方、近年のスポーツ科学に注目すると、コンピュータの処理能力の進化により、ギガバイトやテラバイトサイズの大量データを用いた分析が可能になってきている。例えば、質問紙を用いた調査研究などにおいても、パーソナルコンピュータと適切な統計分析ソフトウェアを用いることにより、様々な現象をモデル化することが可能となってきた。さらに、近年の脳機能研究では、fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging: 磁気共鳴画像法) を用いることによって、脳活動を実際に「目で見る」(視覚化する)ことができるようになってきている。この他にも、コンピュータの処理能力の進化は、コンピュータ・グラフィックス (CG) を利用して競技場面をバーチャル空間に再現するということも可能にしてきた。

2. 研究の目的

本研究では、上記に示したような研究方法を用いて、アスリートの競技力向上のために、パフォーマンス崩壊のメカニズムを明らかにすることを目的とする。具体的には、(1) 質問紙調査によるパフォーマンス崩壊因子尺度の作成とモデルの構築、(2) CG を用いて競技場面を再現し、fMRI 等を用いて脳活動を測定し、パフォーマンス崩壊の脳内メカニズムを同定することを目指した。さらに、本研究では、得られた知見を一般のアスリートやスポーツ科学者に還元させるために、(3) スポーツ科学者が脳機能イメージング解析を行うための支援システムの開発、(4) 一般のアスリートが自分のパフォーマンス崩壊の程度 (弱点) を理解するためのスマートフォン・アプリケーションの開発も行うことも目的とした。

3. 研究の方法

(1) 行動実験・生理データ測定実験

本研究では、テニスのサーブを対象として

サーバーの動作をモーションキャプチャーシステムを用いて撮影し、CG 作成ソフトを用いて、テニスのサーブ動作の CG 映像を作成した。

作成した CG は、刺激呈示ソフト (E-prime) 内に取り込み、呈示時間や運動反応を要求する時間帯などを指定できるようにした。

本研究では、パフォーマンスの崩壊を実験的に再現する必要がある、どのような要因を操作することによってパフォーマンス崩壊を惹起できるかを明らかにするために、作成したテニスサーブの CG を利用し、サーブの方向を予測判断するという行動実験を行った。その結果、サーバーの動作からコースを予測するという「知覚」のみではパフォーマンスの崩壊を惹起することは難しいものの、「知覚」と「行動」をカップリングさせることにより反応時間が増大し、判断のための時間的な制約を操作することによって、パフォーマンスの崩壊を意図的に発生させることが可能になることが示された。

そこで、本研究では、テニスサーブの CG 画像を見ながら、被験者にどちらの方向 (レシーバーのフォアハンド側・バックハンド側) にサーブが来るか予測し、運動反応 (ボタン押し) をするという課題を設定した。パフォーマンスの崩壊は、映像呈示時間を操作し、映像呈示時間内に必ずボタン押しをしないとけないという制約を設けることによって難易度を高くし、パフォーマンスの崩壊を惹起させるようにした。さらに、このテニスのサーブ予測判断課題を用いて、fMRI の測定等を行うようにした。

fMRI の実験では、テニスのサーブを被験者に呈示し、どちらの方向にサーブが来るか予測し、ボタンを押すように求めた。実験では、映像刺激呈示の時間を制約し、インパクト直前に映像呈示が終了するようにした。測定では、サーブ・コースの予測判断課題遂行時の脳活動を fMRI を用いて測定し、分析した。さらに追加実験として、類似した実験課題を fMRI および行動実験においても実施し、脳波・自律系の活動 (皮膚温など) も測定した。

(2) 要因探索研究 (質問紙研究)

本研究では、パフォーマンス崩壊にどのような心理的な要因が関係するかを明らかにするために、行動実験・fMRI 実験の他に質問紙を用いた要因探索研究も行った。質問紙研究の利点として、多くのアスリートに質問項目に回答してもらうことにより、実際の競技場面で重要な心理的要因を同定できるというメリットがある。この要因と fMRI 実験で同定された脳機能を比較することにより、パフォーマンス崩壊の生理的かつ心理的メカニズムを推定することができる。

質問紙研究では、ラケット競技の 1 つであ

る「ソフトテニス」に着目し、同競技トップアスリートを対象として「知覚運動スキル」、「パフォーマンス崩壊関連要因」を評価することができる尺度を開発することを目的とした。開発した尺度をもとにパフォーマンス崩壊モデルを探索的に構築し、その妥当性を構造方程式モデリングにより検証することとした。

調査協力者は、ソフトテニスのナショナルチームを対象とし、同競技全日本U-20、U-17、U-14に所属する計136名(男性70名、女性66名、平均年齢17.6±3.9歳)とした。

質問項目は以下のような項目群を設けた。

①知覚運動スキル評価項目

ソフトテニス競技者における打球や相手動作への認知・予測・判断を評価する50項目

②パフォーマンス崩壊関連要因評価項目

ソフトテニス競技者におけるパフォーマンス崩壊時の心理・行動面を評価する25項目

得られたデータは因子分析を行うことによって、パフォーマンス崩壊と関連する心理的な要因を同定することを目指した。

(3) スポーツ科学者が脳機能イメージング解析を行うための支援システムの開発

本研究では、スポーツ科学者がfMRIのような脳機能イメージング研究に参加することを支援するために、解析支援システムの開発を目指した。

fMRIの分析は、現在、University of Londonにて開発されたソフトであるSPM (statistical parametric mapping) が標準的に使用されている。そこで、本研究ではSPMのバッチ機能を利用し、SPMのシステムを完全に理解していなくても、容易に分析ができるテンプレートをバッチシステムとして開発した。開発はMatlabを用いて行い、分析に必要なパラメーターを記入し、データセットを配置するだけで、自動的に分析できるシステムを開発した。

開発したシステムは脳機能イメージング研究を行うスポーツ科学者を支援できるよう、関連学会等にて広報・配布できるような体制を整えた。

なお、本研究では、当初fMRIの測定支援システムの構築も目指したが、2011年3月に発生した東日本大震災に伴う電力使用制限令に従い、分析支援システムの構築に専念することとした。

(4) パフォーマンス崩壊の程度を診断するためのスマートフォン・アプリケーションの開発

本研究において、得られた知見を国民に還元するために、ソフトテニスを例に、パフォー

マンス崩壊尺度をスマートフォン用アプリケーションとして開発した。アプリケーションの開発では、Apple社のiPhone・iPad用アプリケーションを対象とし、質問紙の各質問項目を示した「項目ファイル」と、各因子の得点の計算方法を示した「計算ファイル」の2つのファイルを入力すると、自動的にアプリケーションが作成できるようにした。開発したアプリケーションは、Apple社のAppStoreにて無料配布し、希望者が自由にダウンロードし利用できるようにした。

この方法を用いると、今後、様々な質問紙をアプリケーション化することが可能になり、質問紙研究が盛んに行われているスポーツ科学の社会心理学領域においても十分に貢献できるものと考えられる。

4. 研究成果

(1) 行動実験・生理データ測定実験

fMRIの分析では、パフォーマンスの崩壊(低正答率)が発生している場面を抽出し、それらの試行中の脳活動について、分析を行った。本研究では、脳の中の島皮質と呼ばれる領域の活動がパフォーマンスの崩壊と関連しているのではないかという仮説のもとに分析を行った。島皮質は、身体の情動反応に従って注意システムをコントロールする脳領域として、近年注目を集めている。分析の結果、島皮質は、サブ・コース予測判断課題実施中に賦活していることが確認されたが、島皮質の活動量はパフォーマンス(正答率)との相関はなく、逆に主観的な情動(ポジティブな気持ちであったか、ネガティブな気持ちであったか)と負の相関を示した。すなわち、強い感情が惹起されるほど島皮質の活動は低下することが示された。一方、中帯状回(mid cingulate cortex)は、パフォーマンスとの相関を示し、正答率が低いほど(パフォーマンスの崩壊が発生しやすいときほど)、活動が高まることが示された。

さらに、パフォーマンスの崩壊が発生していない場合との比較を行ったところ、左半球の島皮質をはじめ、右縁上回、右上側頭回、左中心後回などがパフォーマンス崩壊に関与していることが明らかにされた。

これらの知見をまとめるために、活動が見られた脳領域間の関係性について回帰分析を行ったところ、島皮質は、前部帯状回(anterior cingulate cortex)の活動を修飾し、さらに前部帯状回は、頭頂小葉などの実行系の注意システム(dorsal attention system)の活動を修飾していることが示された。

すなわち、以下のような神経メカニズムが示唆された。

- ① 競技場面におけるストレスにより、自律神経系の活動が高まり、それら

- の興奮が迷走神経を經由して、脳の島皮質でモニターされる。
- ② それにより、過度な感情が惹起され、その感情が島皮質の活動を抑制させる。
 - ③ 前部帯状回を通して実行系の注意システムをコントロールしている島皮質の活動が抑制され、注意の配分機能が低下する。

(2) 要因探索研究 (質問紙研究)

質問紙研究において、得られたデータに対して因子分析を行ったところ、以下のような結果が得られた。

<因子分析結果>

① 知覚運動スキルの側面

- ・「反射的行動」：意表をつかれるプレーにもすばやく対応することができる など
- ・「ボールアジャスティング」：速い打球を正確にとらえることができる など
- ・「観察眼」：相手の気持ちの変化をすばやく察知できる など
- ・「ゲームメモリー」：ゲームの内容をあとではっきりと思い出すことができる など

② パフォーマンス崩壊関連要因

- ・「先方実力発揮」：渾身のショットを返されてしまった など
- ・「立腹状態」：相手側の応援に苛立たしさを感じた など
- ・「視線注意散漫」：自分のミスに対して、指導者の様子が気になった など
- ・「勝ちへの過剰意識」：周囲の期待に応えなければと強く思った など

次に、パフォーマンス崩壊モデル構築の準備として知覚運動スキルと崩壊関連要因との重回帰分析を行い、以下のような結果が得られた。

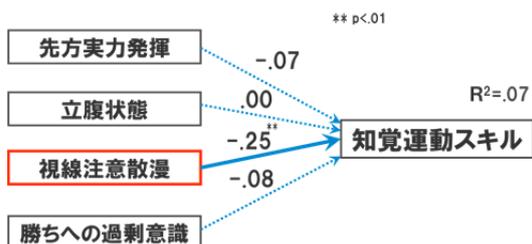


図1 重回帰分析の結果

重回帰分析の結果、パフォーマンス崩壊関連要因のうち、「視線注意散漫」のみが直接的に負の影響を与えていることが示された。

さらに、パフォーマンス崩壊モデル構築の準備としてパフォーマンス崩壊関連要因間における相関係数を算出し、モデル構築の参考とした。

<パフォーマンス崩壊モデルの構築>

抽出されたパフォーマンス崩壊関連要因と知覚運動スキルとの重回帰分析や因子間の相関分析の結果から、パフォーマンス崩壊モデルを構築した。

モデルでは、「先方実力発揮」を起点とし、「立腹状態」と「勝ちへの過剰意識」をそれぞれ経由するモデルが構築された。

パフォーマンス崩壊モデルの検証を行ったところ以下のような結果となった。



図2 パフォーマンス崩壊モデルの検証結果

さらに、「視線注意散漫」が知覚運動スキルのどのような側面に影響を与えるかを検証したところ、「反射的行動」と「ゲームメモリー」に影響を与えることが示された。

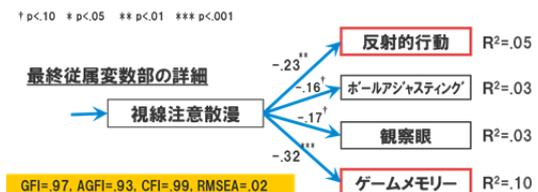


図3 最終従属変数部の詳細

(3) スポーツ科学者が脳機能イメージング解析を行うための支援システムの開発

本研究では、スポーツ科学者がfMRIデータの分析を容易に行うための支援プログラムの開発を行った。

支援プログラムは、2つのパートからなるようにし、一つめのパートは、パラメーターファイルというひとつのファイルのみから構成され、このファイルには実験のパラメーターのみを入力し、行いたい分析やデータ・ディレクトリの位置、被験者のID等を記入するようにした。2つめのファイル群は、具体的な分析のためのソフトであり、こちらのファイル群はSPMのソフトを実行するためのものとした。

このような構成により、最初のパラメーターファイルのみを編集することにより、容易にfMRI分析を行えるようにした。

構築した支援システムは今後、日本スポーツ心理学会等にて広報・配布して行く予定である。

(4) パフォーマンス崩壊の程度を理解するためのスマートフォン・アプリケーションの開発

本研究において、得られた知見を国民に還元するために、ソフトテニス为例に、パフォーマンス崩壊尺度をスマートフォン用アプリケーションとして開発した。アプリケーションは、Apple社のiPhone・iPad用アプリケーションを対象とし、開発したアプリケーションは、AppStoreにて無料でダウンロードできるようにした。その結果、「iPad用スポーツ無料アプリ部門」で一時期50位以内にランキングされるなど、多くの人に利用され、本研究で得られた知見を国民に還元することができたものと考えられる。

また、本アプリケーションのシステムは、質問項目のファイルと得点の計算方法の2つのファイルのみを作成すると自動的に質問紙アプリケーションを作成できるようになっており、今後様々な質問紙を容易にアプリケーション化することを可能にするものと思われる。

研究のまとめ

本研究の成果をまとめると、以下のことがあげられる。

- (1) パフォーマンス崩壊の要因は「視線注意散漫」という注意システムの低下が「知覚運動スキルの低下」を惹起し、パフォーマンス崩壊を発生させる。この時、脳内では頭頂小葉を中心とする「実行系注意システム」の混乱が発生し、その結果「視線注意散漫」が発生しているものと考えられる。
- (2) その「視線注意散漫」は、「勝ちへの過剰意識」という過度なポジティブ感情もしくは、「立腹状態」という過度なネガティブ感情によって惹起される。この時、脳内では過度な感情により島皮質の活動が抑制され、前部帯状回の活動を通じた「実行系注意システム」の適切なコントロールが失われているものと考えられる。
- (3) 「勝ちへの過剰意識」や「立腹状態」は、「先方の実力発揮」や「難易度の非常に高い課題」といったControlabilityの低い場面に対して発生し、自分の力ではどうしようもない状況によって惹起される。実験場面では、反応時間を極端に制限することによって、このような状況を再現できた。

以上のような知見から、パフォーマンス崩壊を防止する関与にはいくつかの方法が示唆された。

- (1) 先方実力発揮時への介入
相手の選手が実力を発揮するなどの、自分自身ではコントロールできない(uncontrollability)状況の時に、「立腹状態」などの心理的な状態をコントロールするための介入方法
- (2) 過度な感情のコントロール
過度なポジティブ感情または過度なネガティブ感情は、島皮質の活動を阻害し、注意システムの崩壊を招く。そのため、感情をニュートラルに保つための介入方法。
- (3) 視線コントロールによる介入
注意システムの崩壊が視線の散漫を招くことが明らかにされたので、逆に視線を意識的にコントロールすることによって、パフォーマンスの崩壊を防げる可能性がある。

今後は、このような介入方法の有効性についてもより詳しく実験的にまた質問紙尺度等を用いて明らかにしていく必要があるものと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

- ① Ida H, Fukuhara K, Ishii M, Inoue T: Perceptual response and information pick-up strategies within a family of sports. Human Movement Science, 査読有, 32:1 2013 Feb. pp 106-20. doi: 10.1016/j.humov.2012.08.002.
- ② Ida H, Fukuhara K, Ishii M: Recognition of tennis serve performed by a digital player: comparison among polygon, shadow, and stick-figure models. PLoS One, 査読有, 7(3): e33879, 2012. doi:10.1371/journal.pone.0033879.
- ③ 石井源信. 我が国のメンタルトレーニングの現状と課題, スポーツメンタルトレーニング指導士活用ハンドブック, 査読無, ベースボールマガジン社, pp. 7-12, Dec. 2011.
- ④ Ida H, Fukuhara K, Sawada M, Ishii M, Quantitative relation between server motion and receiver anticipation in tennis: Implications of responses to computer-simulated motions, Perception, 査読有, 40(4), 2011, 1221-36
- ⑤ 井田博史, 福原和伸, 高橋まどか, 石井源信, 井上哲理 (2010). 没入型3次元映像呈示におけるテニス打球における知覚. スポーツ心理学研究, 査読有, 37, 1-11.

- ⑥ 高橋まどか, 福原和伸, 井田博史, 石井源信 (2010). バトントワリング熟練選手のキャッチングにおける視線行動. 人間工学, 査読有, 46(1), 31-36.

[学会発表] (計 8 件)

- ① Fukuhara K, Ida H, Ogata T., Takahashi M, Kotani Y, Ishii M. Biological motion perception in tennis serves by using computer graphics: a comparison between successful and unsuccessful performance, NASPA 2012 Conference, Journal of Sport & Exercise Psychology, Volume 34, Supplement NASPA 2012 Conference Abstracts, S84, June 7-9. 2012, Honolulu, USA.
- ② Tokuda T, Kotani Y, Fukuhara K, Ohgami Y, Ida H, Ishii M., Effect of graphic modality of human model on anticipatory behavior in tennis, NASPA 2012 Conference, Journal of Sport & Exercise Psychology, Volume 34, Supplement NASPA 2012 Conference Abstracts, S292, June 7-9. 2012, Honolulu, USA.
- ③ 島本好平, 福原和伸, 井田博史, 徳田圭行, 小谷泰則, 石井源信. ソフトテニス競技者におけるパフォーマンス崩壊モデルの構築, 日本スポーツ心理学会第 39 回大会, 日本スポーツ心理学会第 39 回大会研究発表抄録集, p. 94-95, Nov. 2012. (金沢・11月23日-25日)
- ④ 小谷泰則, 運動イメージの応用性と今後の課題, 日本スポーツ心理学会第 38 回大会研究発表抄録集, p. 6-7, 2011. (東京・10月10日)
- ⑤ Kotani Y., Ohgami Y., Arai J., Kiryu S., Inoue Y., Effect of task difficulty on neural systems of right anterior insular cortex, 51st Annual Meeting of Society for Psychophysiological Research, Psychophysiology, 48, Supplement 1, S78, 2011 (September 14-18, Boston, Massachusetts, USA)
- ⑥ Ida H, Fukuhara K, Takahashi M, Ogata T, Ishii M, Inoue T. Anticipatory cue in tennis: Does 3D display elicit different motor performance from 2D in virtual ball catching?, Progress in Motor Control VIII, Cincinnati, OH, USA., July 21-23. 2011.
- ⑦ Ida H, Fukuhara K, Ishii M. Anticipatory cue in tennis: A spatial occlusion approach using computer graphics., Journal of Sport and Exercise Psychology, 33 (Supplement),

S77, 2011 NASPSPA Annual Conference, June 9-11, 2011, Burlington, Vermont, USA.

- ⑧ 小谷泰則, 大上淑美, 高橋まどか, 福原和伸, 島本好平, 井田博史, 石井源信. 「右前部島皮質がつなぐ注意と情動の脳内ネットワーク」, 日本スポーツ心理学会第 37 回大会研究発表抄録集 2011 (福山・11月19日-21日), p. 58-59, Nov. 2010.

[図書] (計 2 件)

- ① 石井源信. 第 9 章 発達の視点から見たジュニアスポーツの現状と課題, 生涯スポーツの心理学 福村出版, Vol. 9, pp. 100-106, 2011.
- ② 石井源信, 現場で生きるスポーツ心理学, 総ページ数: 248 p、杏林書院、2012

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石井 源信 (ISHII MOTONOBU)
東京工業大学・大学院社会理工学研究科・教授
研究者番号: 20108202

(2) 研究分担者

小谷 泰則 (YASUNORI KOTANI)
東京工業大学・社会理工学研究科・助教
研究者番号: 40240759