

平成22年6月1日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2007 ～ 2009
 課題番号：19300218
 研究課題名（和文） 脳イメージングと3次元バーチャル空間を使い新しい予測判断トレーニングを開発する
 研究課題名（英文） Development of Decision Making Training Program based on Brain Imaging and 3D Virtual Environment
 研究代表者
 石井 源信（ISHII MOTOMOBU）
 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、テニスのサーブにおいてサーバーがどちらの方向にサーブを打つのかという状況想定して、人間がどの様に状況判断を行っているかについて、脳の活動が見える脳イメージング技術とCG（コンピュータグラフィックス）を使ったバーチャル場面を用いて研究を行った。その結果、脳内の島皮質と呼ばれる領域が重要な役割をにない、特にサーブのインパクト直前にラケットに注意を向けることがサーブレシーブの成績向上に重要であることが示された。

研究成果の概要（英文）：

In the present study, we investigated the brain mechanism in the anticipation of receiving serve in tennis. We employed the neuroimaging technology to visualize brain activities related to anticipation, and used computer graphics to establish virtual environment of tennis serve. The analysis using fMRI and CG revealed that the insular cortex is a key region to anticipate directions of tennis service, and paying attention to a racket just before ball impact is crucial to produce better anticipatory performance in receiving serve in tennis.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	9,500,000	2,850,000	12,350,000
2008年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	15,400,000	4,620,000	20,020,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学

キーワード：予測判断トレーニング，コンピュータグラフィックス，fMRI

1. 研究開始当初の背景

スポーツ選手の身体活動は、外見的に特徴的な活動であるものの、そこには熟練した知覚・認知情報処理が同時に存在する。対戦型

のスポーツ競技（テニスなど）を扱った知覚研究では、熟練者は未熟練者に比べると、①相手選手の動作に対して早い時期での判断を行いその結果も正確であること、②相手選

手の動作段階ごとに、ある特定の箇所に視線を移動させるパターンを有することを報告している (Williams et al., 1999)。これらの先行研究では熟練者は未熟練者に比べて相手選手の動きから最終的な出力 (ボールなど) の予測判断に関わる視覚情報を利用することを明らかにしてきた。しかしながら、スポーツ場面を前もって撮影した実写映像を用いるために、提示モデルの動きやボール速度など実験条件の厳密な統制が必要とされていた。

一方で、近年、スポーツ場面を模擬した VR 環境は、スポーツ選手の知覚・認知情報処理の解明へ向けた、新たな提示環境として採用され始めている (Bideau et al., 2009)。VR 環境で用いられる CG 映像は、モデル動作、色、形、エッジ、背景画像など、多くのパラメータ情報を実験者の目的に応じて操作できる特性を有する。例えば、相手選手の肘の動きが重要な予測情報となる場合には、提示モデルの肘の動きを仮想的に強調することや、色の輝度情報を増加させ注目するように操作して、熟練者の予測判断に与える影響を調べることができる。

さらに 2000 年以降、脳活動を視覚的に捉える手法が飛躍的に発展した。脳活動は捉える方法としては、脳波を用いた方法がある。脳波は脳活動をミリ秒オーダーで捉えることが可能であり (時間的分解能が高い)、脳が「いつ」活動したかを捉えるには非常に効果的である。しかしながら、脳波の弱点としては脳のどこが活動したかという「空間的分解能」が低く、脳活動部位を正確に捉えることは難しい。これに対して、機能的磁気共鳴画像法 (functional Magnetic Resonance Imaging: fMRI) や PET (Positron Emission Tomography) などの脳イメージングを用いた手法は、人間の認知的な脳内活動を実際に目で見ること (視覚化) が可能であり、脳のどこが活動したかという「空間的分解能」が非常に高い。しかし欠点としては、脳活動の変化を時間的に捉える「時間的分解能」が低く特に PET の場合、時間的な情報はほぼなくなると言っても過言ではない。このような脳イメージング手法の内、機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) は、PET などとは異なり、時間的にいつ脳が活動したかという時間情報を得ることが可能である。fMRI の分析方法には、時間情報の低い Block-design fMRI (ブロックデザイン fMRI) という手法と、高い時間情報を持つ Event-related fMRI (事象関連機能的磁気共鳴画像法) という手法がある。ミリ秒単位の脳活動の変化を捉えることのできる脳波などの高時間分解能をもつ測定指標には及ばないものの、Event-related fMRI (事象関連機能的磁気共鳴画像法) 数秒単位の脳活

動の変化を捉えることが可能になっている。

以上から、実写映像での統制困難な状況を VR 環境で実現し、その脳活動を fMRI を用いて捉えることができたならば、スポーツ選手の知覚・認知情報処理の解明や学習支援に大きく貢献する可能性があると考えられる。

2. 研究の目的

VR 環境は CG で人工的に生成された環境である。これにより、日常生活では示されない刺激情報が、観察者本来の知覚活動の発揮を妨げる可能性がある (Abernethy, Thomas, & Thomas, 1993)。従って、CG 映像が実写映像と同程度の精度で、予測判断に重要な情報を観察者に提示できれば、様々なパラメータ情報の操作から検証を行うことが可能となる。本研究では、テニスサーブの打球方向 (センター、サイドの二択) を予測判断する課題を例として、1) テニスのサーブを題材とした実際のゲーム場面に近似した 3 次元のバーチャル空間を作成しその妥当性を検証する、2) また fMRI を用いて予測判断時の脳活動を測定し、その脳内メカニズムを検討する、3) 以上の知見を用いて予測判断トレーニング・プログラムの開発のための基礎的データを提案すること目的として研究を行った。また、特に作成した CG が被験者の認知活動を十分に惹起しているかを確認するため、CG 作成後に実写映像 (VTR) との比較実験も行った。

3. 研究の方法

(1) CG の作成およびその映像の妥当性の検証

CG の作成においては、テニスのサーブ動作を高速度カメラで撮影し、リアルタイム 3 次元動作解析システムを利用して身体座標値を得た。さらに、得られたデータを基に各動作の背景となる物理量 (位置、速度、力、時間等) を算出し、スティックモデルを完成させた。得られた CG モデルをより実際場面に近づけるために、スケルトンモデルからシャドウモデル、スキニングモデルを作成し、背景などの CG と合わせて基礎的なバーチャル空間を完成させた。作成には 3D 作成ソフトを用い、バーチャル空間での視点の設定 (レンジング) などを行った。

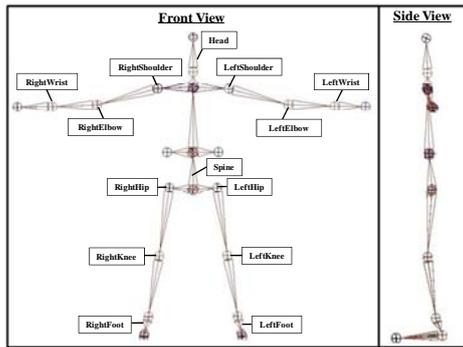


図 1 : スケルトンモデルの例

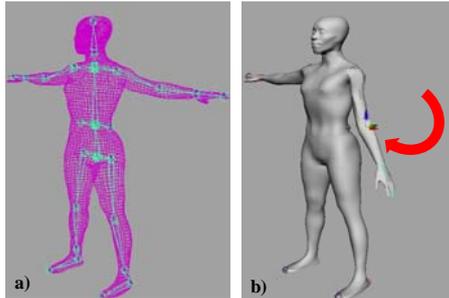


図 2 : スキニングモデルの例

完成した CG はその精度を確認するために、実写映像 (VTR) と同程度の予測精度を有するかを確認するための実験を行った。

(2) 予測判断時の脳活動の測定

fMRI の測定に関しては、GE 社製の 1.5T の MRI スキャナを用いて、脳活動を測定した。測定中は、CG 映像、実写映像 (VTR)、さらに視覚的な機能を比較するために点光源映像 (Point Light Display) も呈示した。

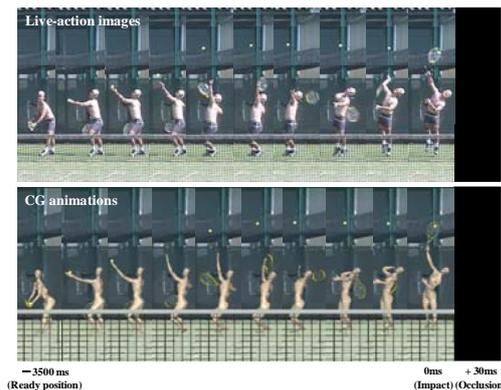


図 3 : テニスサーブの CG・VTR 画像例

4. 研究成果

(1) CG 映像と実写映像による比較 : CG 映像の妥当性の検証

実写映像あるいは CG 映像の提示下において、テニス熟練者 18 名の予測正確性と視線行動を比較検討した。実験課題は、テニスサ

ーブの映像がボールインパクトで止まり、参加者はその後のサーブ方向 (左・右) を予測判断した。

その結果、CG 映像条件において、予測正確性は偶然が生じる確率を超えていたことが認められた。この結果は、CG の有効性を示すために必要な条件を満たすものであり、CG 映像の有効性を支持した。しかしながら、実写映像条件は CG 映像条件に比べて予測正確性が高く、また両映像条件間でインパクト前 150ms 間の視線配置に違いが見られた。これにより、CG 映像は実写映像に比べてインパクト前 150ms 間での情報提示の精度が低いことがわかった。従って以後の実験では、インパクト前 150ms の CG 映像の改善に取り組んだ。

(2) 予測判断における最も重要となるタイミングの同定

実写映像あるいは CG 映像の提示下において、テニス熟練者 10 名の予測判断の時間的推移を比較検討した。実験課題は、テニスサーブの映像が途中で止まり (インパクト前の 810 ms、390 ms、150ms、インパクト)、参加者はその後のサーブ方向を予測判断した。

その結果、CG 映像条件における参加者の予測正確性をみると、インパクト直前の 150ms 間で偶然が生じる確率を超えていたことが確認された。この結果は、CG を実際に利用するために必要とされる条件を満たすものであり、CG 映像の有効性を支持した。しかしながら、実験 1 と同様、CG 映像条件では実写映像条件よりも予測正確性が低く、特に実写映像条件ではインパクト直前の 150 ms 間で、予測正確性に顕著な向上が見られた。従って、インパクト直前の 150 ms の映像に改善は見られたものの、未だその精度には課題が残ることがわかった。申請者は実写映像よりも精度が高くなる原因として、①実写映像にインパクト後のボール飛行の情報がわずかに含まれていたこと、および②CG モデルの質の問題、の 2 点を挙げ、第 3 実験で検討した。

(3) 予測判断に必要な情報要素の同定

実写映像と 4 種類の CG 映像を用いて、テニス熟練者 14 名と未熟練者 14 名の予測判断の時間的推移を比較検討した。実験 2 の実験課題と同様であった。

その結果、インパクトの 30ms 前で映像を止めた場合、実写と CG の両映像条件間では、熟練者の予測正確性に差は認められなかった。一方 CG モデルの質を低下させた映像を見た場合、熟練者と未熟練者の予測正確性は偶然が生じる確率を超えなかった。これらの結果から、実写映像条件での予測精度を向上

させた要因は、インパクト後のわずかなボール飛行の情報であり、CG そのものの精度が低いわけではないことがわかった。さらにCG 映像条件では、熟練者の予測正確性は初級者に比べて高かったことから、CG が予測正確性を判断するために必要な情報を含んでいることを示すことができた。

(4) 予測判断時の脳活動について

テニスのサーブの予測判断時の脳活動についてCG を用いて測定を行った。その結果、予測判断時に最も大きな賦活を示したのは、補足運動野 (Supplementary motor area: SMA) であり、また後内側面の視覚野などの賦活も観察された。

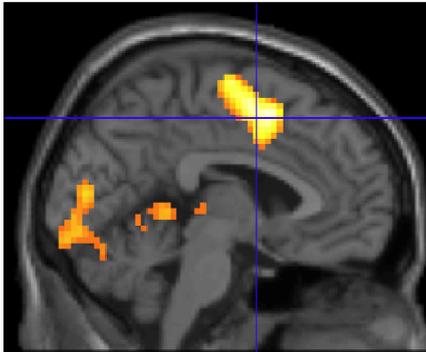


図4：テニスサーブ予測判断時の脳活動

また、舌状回、下側頭皮質、下頭頂小葉などの視覚関連領域の賦活も観察され、「where route」とも呼ばれる、背側皮質視覚路の賦活や「what route」と呼ばれる腹側皮質視覚路の活動も観察された。さらに、右島皮質の賦活も観察された。

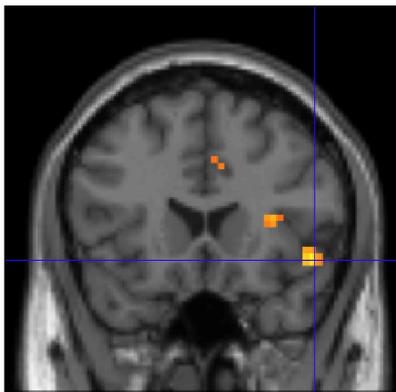


図5：予測判断時の右島皮質の活動

これらの結果から、予測判断時の脳活動モデルとしては、1：運動の準備・プログラミングと関係する補足運動野の賦活、2：視覚関連領域の賦活、3：下頭頂小葉を含む注意システムの賦活、4：右島皮質の賦活が存在することが示された。当初は、前頭前野などの賦活も予測されたが、前頭前野では有意な

賦活は観察されなかった。

また、CG を用いているときに脳活動とVTRを見て予測判断しているときの脳活動を比較した結果、両者に顕著な違いは見られなかった。このことから、CG が予測判断の脳内活動というレベルにおいては、実写映像と同様の賦活を脳内にもたらすことが示された。

近年、脳内の注意システムとしては2つのシステムの存在が考えられている (Eckert ら, 2009)。ひとつは、「背側注意システム」であり、これには目的とする行動を実行するための「実行系」と考えられている。背側注意システムには、両側の背外側前島皮質 (DLPFC)、前頭眼野、補足運動野、尾状核、下頭頂小葉が含まれているとされている。本研究においても、補足運動野や下頭頂小葉の賦活が観測され、テニスの予測判断という行動目的を達成するために、実行系である背側注意システムが賦活したことが観察された。一方、もうひとつの注意システムとして「腹側注意システム」の存在が仮定されている。腹側注意システムは、刺激の価値 (salience) を評価し、実行系である背側注意システムの活動をコントロールしているとされている。例えば、知覚された刺激に重要な価値があると判断した場合には、覚醒水準を上げ、背側注意システムの活動を高めるのではないかと考えられている。この腹側注意システムには、右半球の島皮質 (弁蓋部を含む)、右半球の背外側前島皮質 (DLPFC)、右半球の前部帯状皮質 (ACC)、扁桃核、腹側被蓋野、視床下部が含まれているとされている。特に右半球の島皮質は、実行系である背側注意システムの活動のコントロールを中心的に行う部位であると考えられている。本研究においても、右半球の島皮質の活動が確認され、テニスサーブの予測判断時においても、右半球の島皮質が、実行系である背側注意システムをコントロールし、それに伴い視覚関連領域の賦活が観察されたものと考えられる (図6)。また、本実験においてスポーツ経験のない被験者においてテニス予測判断時の脳活動の賦活を調べたところ前頭葉の一部のみ賦活したのみで、島皮質を含む注意関連領域の賦活は見られなかった。しかし、熟練者を含むテニス経験者には、島皮質を含む注意システムの賦活が観察された。また、スポーツ未経験者に、インパクト直前のラケット周辺に注意を向けるよう指示をしたところ、行動指標に変化はないものの、注意システムの賦活が高まる傾向が見られ、予測判断トレーニングによって脳内の賦活に変化が生じる可能性が示された。

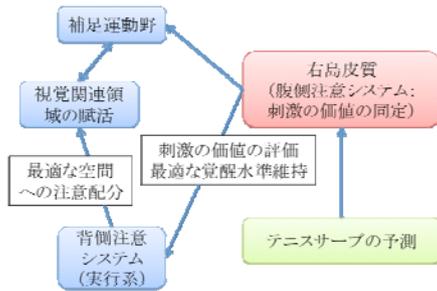


図6 テニスサーブ予測判断時の脳活動モデル

(5) まとめ

以上のことより、テニスサーブを対象とした予測判断トレーニングにおいては、インパクト直前 150ms 間におけるラケット周辺への注意を増加させるようなトレーニングが効果的であること、またそれらのトレーニング効果は、島皮質を含む腹側注意システムが実行系の注意システム（背側注意システム）を適切にコントロールできるようになることによって効果が得られることが示唆された。

このことは、他の種目においても、CGを用いて状況判断に重要なポイントを同定し、そこに注意を向けるトレーニングを行うことによって、脳内の注意システムの賦活が効率化する可能性があることを示しているものと考えられる。

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 34 件)

1. Fukuhara, K., Ida, H., Kusubori, S., and Ishii, M. (2009). Anticipatory judgments of tennis serves: a comparison between video images and computer graphics animations. *International Journal of Sport & Health Science*, Vol. 7, 12-22. 査読有
2. 福原和伸, 井田博史, 石井源信. (2009). 身体モデルのコンピュータ・グラフィックス (CG) におけるテニスサーブの予測判断. *スポーツ心理学研究*. 36 (2) : 115-125. 査読有
3. Yasunori Kotani, Yoshimi Ohgami, Yumiko Kuramoto, Tetsuji Tsukamoto, Yusuke Inoue, and Yasutsugu Aihara, The role of the right anterior insular cortex in the right hemisphere preponderance of stimulus-preceding negativity (SPN): an fMRI study,

Neuroscience Letters, 450, 75-79, 2009, 査読有

4. 石井源信 (2009) スポーツと感情表現. *体育の科学*, 59 (2) : 76-77. 査読無
5. 石井源信 (2009) 現場に活かすメンタルトレーニングの今後の課題. *体育の科学*, 59 (4) : 273-277. 査読無
6. 立谷泰久・三村 覚・村上貴聡・楠本恭久・石井源信 (2008) 試合中の「セルフトーク・暗示」の心身への影響に関する実験的研究. *スポーツ心理学研究*, 35 (2) : 15-25. 査読有
7. 島本好平・石井源信 (2008) 大学生における運動部活動経験評価尺度の開発. *スポーツ心理学研究*, 35 (2) : 27-40. 査読有

[学会発表] (計 23 件)

1. Yasunori Kotani, Ohgami Yoshimi, Tetsuji Tsukamoto, and Yusuke Inoue, The right hemisphere preponderance during expectation of feedback information as reward, The 46th Annual Meeting of Society for Psychophysiological Research, Symposium #2.2, Reward Expectation, *Psychophysiology*, 46, Suppl. 1, S6, 2009. 10. 29, Germany, Berlin
2. Takahashi, M., Ida, H., and Ishii, M., The Effect of Experience on Visual Search Pattern Differences in a Spinning Baton Catching Task, the 12th ISSP world congress of sport psychology, Posters Abstracts, p.173, 2009. 6. 18, Morocco, Marrakesh
3. Ida, H., Fukuhara, K., Takahashi, M., Shikanai, N., Ishii, M., and Inoue, T., Effect of user's viewpoint on the perception of tennis ball flight in a immersive 3D virtual environment, the 12th ISSP world congress of sport psychology, Oral Abstracts, p.108, 2009. 6. 17, Morocco, Marrakesh

4. Ida, H., Inoue, T., Fukuhara, K., Takahashi, and Ishii, M., Discrimination of Stroked Tennis Ball in a Stereoscopic Immersive Virtual Environment, 4th Asia-Pacific Congress on Sports Technology, pp. 359-363, 2009. 9. 21, USA, Honolulu
5. 島本好平・福原和伸・石井源信 (2009) 大学体育授業におけるスポーツ経験とライフスキル獲得との因果関係の推定. 日本スポーツ心理学会第36回大会研究発表抄録集, pp. 46-47. 2009. 11. 16, 首都大学東京
6. 菱沼嵩夫・島本好平・石井源信 (2009) 大学野球選手のバッティングパフォーマンスに影響する技術・心理・認知的要因に関する研究 日本スポーツ心理学会第36回大会研究発表抄録集, pp. 208-209. 2009. 11. 21, 中京大学
7. 小谷泰則, 大上淑美, 吉弘達也, 塚元鉄二, 井上優介「刺激先行陰性電位 (SPN) における島皮質と弁蓋の機能的差異」, 第39回日本臨床神経生理学会・学術大会 (小倉・11月18日-20日), 臨床神経生理学 37-5, p. 347, 2009

6. 研究組織

(1) 研究代表者

東京工業大学・大学院社会理工学研究科・教授

石井 源信

研究者番号：20108202

(2) 研究分担者

東京工業大学・大学院社会理工学研究科・助教

小谷 泰則

研究者番号：40240759

(3) 連携研究者

神奈川工科大学・ニューマンメディア研究センター・ポストドクター研究員

井田 博史

研究者番号：20392194