

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：32301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700715

研究課題名(和文) 捕捉課題における視覚 動作カップリングから3D呈示の実在感を評価する

研究課題名(英文) Validation of the sense of presence in 3D display from the visuomotor coupling during an interceptive task

研究代表者

井田 博史 (Ida, Hirofumi)

上武大学・商学部・准教授

研究者番号：20392194

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題は、「3D映像はリアル」という一般的通説に対して、知覚と動作の機能的結び付き(知覚-動作カップリング)という観点から検証を行うものである。全身没入型ヴァーチャル環境(CAVE)において飛来ボールの擬似捕球パフォーマンスを調べると、立体呈示では平面呈示と比較して成功率が向上することが分かった。また、実環境における捕球成功率と一部相関がみとめられた。これらの結果は、ヴァーチャル環境が呈示する両眼性奥行き手がかりが、正確な運動制御に寄与することを示唆するものである。

研究成果の概要(英文)：The present study was conducted to validate a common notion that says 3D display is realistic from the viewpoint of the functional continuity between perception and motion (perception-motion coupling). From the experiment on the catching performance for approaching ball in a full-body immersion virtual environment (CAVE), it was shown that a stereoscopic display increased the percentage of correct catches as compared with a corresponding monoscopic display. Furthermore, this catching performance partially correlated with the performance in a real environment. These results suggest that the binocular depth cues presented in virtual environment are able to contribute to accurate motor control.

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：知覚 動作カップリング 3D呈示 実在感 両眼視差 ヴァーチャル環境 CAVE 捕捉行動 動作解析

1. 研究開始当初の背景

(1) 一般に「3D はリアル」などといわれるが、立体知覚の観点からは到底単純ではない。すなわち 3D 呈示は実空間とは本質的に異なり、2D 呈示に両眼網膜像差による奥行き手がかりを追加した、いわゆる 2.5D 呈示にすぎない。これについて、3D コンピュータグラフィクス(CG)を用いたヴァーチャル環境(VE)で議論される実在感(sense of presence)も、同根の問題を孕んでいる。従来、質問紙法などの事後的検査で評価されてきた VE や 3D 映像の実在感に対して、知覚と運動の in situ な反応からエビデンスを与えていくことは科学的な意義があると考えた。

(2) 共通符号化理論(Wolfgang Prinz, Max Planck Institute)においては、知覚と運動は同一の表象を共有しているとされ、従来の知覚-行為カップリング(perception-action coupling)という機能的結合の概念を継承している。Ranganathan & Carlton(2007)は、VE を用いて野球のバッティングにおける知覚-行為カップリングを調べ、熟練打者は対峙する投手の動作情報に応じて運動パターンを変容させることを実証した。彼らは一方で、捕球や打球などのインターセプト課題について実空間における検証の必要性も説いている。インターセプト課題の実験に VE を使用することには慎重な立場をとる研究者が多く、これはこの運動課題が映像の時間分解や両眼像差呈示法など、装置の技術的仕様に強く影響されるためと考えられる。

2. 研究の目的

(1) 3D 呈示がもたらす実在感を、インターセプト課題における知覚-行為カップリングから評価することを目的とした。対象とするインターセプト課題は飛来ボールの捕球とし、全身没入型 VE 装置である CAVE (Cave Automatic Virtual Environment, 図 1)における疑似捕球、および実空間における実捕球それぞれの課題成功率からアプローチする。また同時に事後評価による主観的な実在感についても調べ、in situ 反応と ex post 反応との両者の関係についても議論する。

(2) 当初の研究計画にはなかったが、研究期間中に新たな関連研究が発足し、ここでは VE 呈示の実在感を立位姿勢制御の観点から検証することが目的とされた。動作課題として、床上接近障害物に対する片脚挙上による衝突回避を採用し、主に下肢筋の予測的姿勢調節および補償的姿勢調節から検証を進める。VE 呈示装置としてヘッドマウントディスプレイ(HMD)が用いられ、3D プロジェクタ投影および実空間における同等の動作課題との比較を通して議論を行う。

(3) 以上 2 つの知覚-行為カップリング課題から、VE 呈示の利点・不利点について論ずる。

CAVE におけるインターセプト課題実験では主に随意的な運動制御という観点から、また HMD における障害物回避課題実験からは、自動的な姿勢反応という観点から、それぞれ検討を進める。これらの考察により、今後 VE を知覚運動研究に利用する上での、方法的示唆を提供する。

3. 研究の方法

(1) 研究開始時点においては、CAVE におけるインターセプト課題実験に関連して、3 つの到達目標(目標 : CAVE における刺激呈示系および動作計測系の構築, 目標 : 3D 呈示と 2D 呈示の映像呈示実験とデータ解析, 目標 : 参照用の実空間実験とデータ解析)を設定し、全体研究計画を立案した。しかしながら、研究期間中に障害物回避課題に関する研究が新たに発足したため、新規に 2 つの到達目標(目標 : HMD および 3D プロジェクタ投影における刺激呈示系および動作計測系の構築, 目標 : HMD, 3D プロジェクタ投影, 実空間における実験とデータ解析)を研究計画に含めた。

(2) インターセプト課題実験においては、12 名の実験参加者が CAVE において片手擬似捕球課題を遂行した(図 1)。映像刺激として、左右眼オフセット値操作による 2 呈示条件(2D, 3D)と、飛来するヴァーチャルボールの 3 速度条件(低速, 中速, 高速)が設定された。ここでは、擬似捕球成功率の測定に加え、事後評価として視覚的アナログ尺度(VAS)を用いて主観的な実在感も調べた。また実空間において CAVE 実験と近似した環境を構築し、同一の 12 名の実験参加者が実際に飛来するボールに対して片手実捕球課題を遂行した。

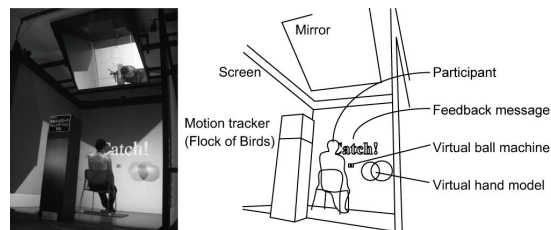


図 1 CAVE におけるインターセプト課題実験

(3) 障害物回避課題実験においては、10 名の実験参加者が HMD (図 2A)、3D プロジェクタ投影(図 2B)、および実空間において、床上接近障害物に対する片脚挙上による衝突回避課題を遂行した。実験参加者の挙上脚外果に加速度計が貼付され、また挙上側および支持側の前脛骨筋(TA)、内側腓腹筋(GM)、大腿直筋(RF)、大腿二頭筋(BF)、外腹斜筋(EO)、腹直筋(RA)、脊柱起立筋(ES)の筋活動が、表面筋電図計により記録された。接近する障害物の高さは 3 条件(低: 10 cm, 中: 20 cm, 高: 30 cm)に設定された。

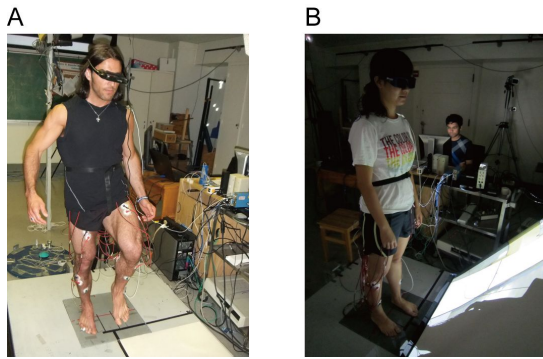


図2 HMDと3Dプロジェクタ投影による障害物回避課題実験

4. 研究成果

(1) インターセプト課題実験のCAVEにおける疑似捕球課題について、中速条件において3D条件の方が2D条件より課題成功率が高いことが示された(図3)。この結果は、特定の速度条件において、立体呈示による両眼性奥行き手がかりが捕球パフォーマンスに貢献することを意味する。また、3D呈示が2D呈示と比べて、知覚運動に対して高い実在感を演出しているともいえる結果である。

(2) インターセプト課題実験で、CAVEにおける疑似捕球成功率と実空間における実捕球成功率の関係を調べると、CAVEでの2D条件および3D条件の中速条件と、実空間での低速条件の間で、課題成功率に有意な正の相関がみとめられた(図4)。これは、実空間の運動スキルがVEでのパフォーマンスに反映される可能性を示唆するものであり、例えばVEを用いてスポーツスキルを評価するなどの応用も期待される。

(3) インターセプト課題の実験環境は、CAVE実験と実空間実験との間で可能な限り統一する方針をとったが、実際には不可避な非統制要因があった。具体的には、VE実験では簡素化されたCGモデリングや衝突判定機能の制約、実空間実験では意図しないボールマシンの挙動や環境音の不完全な除去などが挙げられる。また、スクリーン投影に由来する時空間的な知覚の歪みも、VEでの捕球パフォーマンスの低下に作用した可能性がある。両実験間での捕球パフォーマンスの乖離は、従来から議論されているVEのシステム遅延に

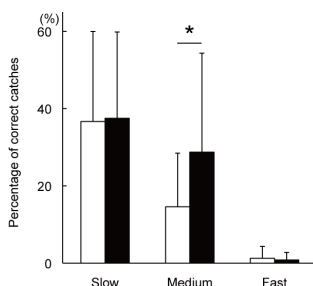


図3 CAVEにおける疑似捕球成功率

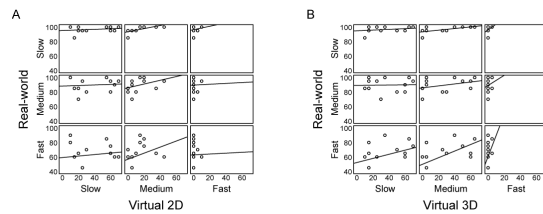


図4 VEと実空間の課題成功率

加えて、これらの環境設定上の相違が複合的に関与している。

(4) 障害物回避課題実験において、筋電積分値の結果は、呈示環境条件は挙上側の筋活動には影響を与えず、一方で支持側に対しては筋活動を変容させることを示すものであった(表1)。この結果は、CGモデリングによって作成しHMD呈示された人工的環境が、挙上する主動作側ではなく、姿勢調節に貢献する反対側に作用することを意味する。しかしながら、HMDと実空間では脚挙上キネマティクスそのものも異なっており、筋活動パターンに影響した可能性も指摘され、さらなる検証が必要となった。

(5) 上記(4)の障害物回避課題実験の補足実験として、実環境で単純な片脚挙上課題における下肢筋活動を調べたところ、足部挙上高によって挙上脚の筋活動パターンが変容することが分かった。一方、支持脚の筋活動パターンには挙上高の影響はみられなかった。これらの結果は、上記(4)で得られた、HMD呈示が支持脚の筋活動に得意的な作用する、という仮説をより強固にするものである。

(6) 本研究課題のもっとも独創的な点は、実在感の評価に対してキネマティクス解析や筋電図解析などの動作解析法を導入し、知覚-行為カップリングと絡めて評価を試みる点である。これにより、自然な動作反応を対象としつつも、より客観的な評価が可能となった。また筋電図解析を導入することにより、多くがキネマティクス解析から得られた従来の知覚-行為カップリングの議論に、神経筋応答レベルでの知見を加えることもできた。他にも、非カップリング条件における主観的な実在感の検証においてVAS法を採用したことも、従来にはみられなかったアプローチである。

(7) 本研究結果は、スポーツ科学においては特にスポーツ心理学の分野で貢献が大きい。

表1 筋活動に関するANOVAの結果一覧

ANOVA	Muscle						
	TA	GM	RF	BF	FD	RA	FS
Lifting Side							
Interaction	-	-	H*P	D*P,H*P	H*P	-	D*H*P
Main effect	P	H	H, P	H, P	H, P	-	-
Post-hoc	-	-	-	-	-	-	-
Supporting Side							
Interaction	D*P	-	-	-	-	-	H*P
Main effect	D, H, P	D, P	D, P	-	D, H, P	D, H, P	P
Post-hoc	D (P<.01,4)	D	-	-	D	D	-

Significant factors: D = display, H = height, P = phase (P-k: phase index)

フィールドやビデオ呈示で調べられてきた知覚パフォーマンスに VE 技術を導入することには従来より期待感があり、スポーツ知覚トレーニングシステムへの応用が考えられる。その他、知覚心理学や情報メディア学の分野においても、呈示環境と知覚との関係に関して新たな知見を与えるものとなった。また、「3D はリアルである」とする一種の 3D 迷信に、科学的裏付けを与える意味で社会への波及効果も期待される。

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 7 件)

井田博史, 高橋まどか, 緒方貴浩, 福原和伸, 石井源信, 井上哲理 (印刷中): ヴァーチャル環境での片手捕球パフォーマンスに対する立体呈示の効果。スポーツ心理学研究。査読あり

Ida H, Fukuhara K, Ishii M, Inoue T (2013): Perceptual response and information pick-up strategies within a family of sports. Human Movement Science, 32(1), 106-20. doi: 10.1016/j.humov.2012.08.002. 査読あり

Ida H (2012): Computer-simulated display to advance the understanding of perceptual motor skills. Journal of Computer Science & Systems Biology, S2:001. doi:10.4172/jcsb.S2:001. 査読あり

[学会発表](計 13 件)

井田博史 (2013): 片脚挙上による障害物回避行動における立位姿勢制御 環境呈示方法による影響。日本スポーツ心理学会第 40 回大会, 東京都世田谷区。11 月 3 日。

Ida H, Mohapatra S, Aruin AS (2013): Postural control during real and virtual obstacle avoidance. 2nd Joint World Congress of ISPG and Gait and Mental Function, Akita, Japan. June 23rd.

Ida H (2012): Perceptual motor skill in Virtual Environment. EVL Tech Meeting, Chicago, IL, USA. May 30th.

Ida H (2012): Interception of approaching virtual ball and catching of approaching real ball. The second Chicago Neuromechanics Symposium, Chicago, IL, USA. April 27th.

Ida H, Fukuhara K, Takahashi M, Ogata T, Ishii M, Inoue T (2011): Does 3D display elicit different motor performance from 2D in virtual ball catching? Progress in Motor Control VIII, Cincinnati, OH, USA. July 21st.

[図書](計 2 件)

井田博史, 福原和伸, 高橋まどか (2012): 第 5 章「パフォーマンスを向上させる運動スキル教育」。現場で生きるスポーツ心理学 (編: 石井源信, 楠本恭久, 阿江美恵子), pp. 95-124. 杏林書院, 東京。

J. G. ヘイ (2011): 第 3 章「並進運動学」(翻訳: 井田博史)。スポーツ技術のバイオメカニクス (編集: 吉田康行, 監修: 阿江通良, 丸山剛生 総監修: 植屋清見)。原典: Hay JG (1993), Chapter 3 Linear kinematics, The Biomechanics of Sports Techniques. ブックハウス・エイチディ, 東京。

[その他]

ホームページ等

researchmap

<http://researchmap.jp/hiroida/>

上武大学医学生理学研究所

<http://www.jobu.ac.jp/laboratory/report.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井田 博史 (IDA, Hirofumi)

上武大学・ビジネス情報学部・准教授

研究者番号: 20392194

(2) 研究協力者

井上 哲理 (INOUE, Tetsuri)

神奈川工科大学・情報学部・教授

研究者番号: 30223259

福原 和伸 (FUKUHARA, Kazunobu)

首都大学東京・人間健康科学研究科・助教

研究者番号: 10589823

ARUIN, Alexander S.

University of Illinois at Chicago

Department of Physical Therapy

Professor

研究者番号: なし

MOHAPATRA, Sambit

MedStar National Rehabilitation

Network・Post doctoral Research Fellow

研究者番号: なし