

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 24 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2011～2015

課題番号：23240034

研究課題名(和文) 3次元空間における時空間の知覚的歪みに関する研究

研究課題名(英文) Spatial and Temporal Distortion of Three dimensional Space

研究代表者

渡邊 克巳 (Watanabe, Katsumi)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：20373409

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、3次元映像提示環境における知覚的・認知的・感情的な歪みに関して、実験心理学的・認知科学的・人間工学的な手法を用いて調査・研究した。その結果、3次元環境に提示された刺激の奥行き方向位置知覚の歪み、3次元空間内での数量知覚・密度知覚のバイアス、局所的立体映像や傾斜型立体映像に対する生理的・心理的・認知的特性、身体反応などに関する知見が蓄積され、それらを社会に公開することで3次元映像技術の使用及び開発への知的基盤の整備を進めた。

研究成果の概要(英文)：The present study investigated the perceptual, cognitive, affective distortion associated with emerging 3D visual presentation from the perspective of experimental psychology, cognitive science, and ergonomics. We accumulated the data on the spatial distortion of perceived position of visual stimuli in 3D space, the bias in numerosity and density perception in 3D space, the effects of partially converted stereoscopic images and virtual tilted images on visual attention, memory, and body control. These findings have been discussed in both academic and public settings in order to facilitate forming the scientific and technological infrastructure for future use of 3D visual presentations.

研究分野：認知科学・認知心理学

キーワード：3次元空間 空間知覚 時間知覚

1. 研究開始当初の背景

3次元情報を提示できるディスプレイの市場への導入が始まり、近い将来の身近な技術として期待が高まっている。3次元ディスプレイの利用例としては、エンターテインメント(映画、テレビ)やビジネス(遠隔会議、実物模型)だけでなく、医療(遠隔手術、遠隔診察)や教育(立体資料、遠隔授業)、宇宙開発(遠隔ロボット操作)など、その応用は広範囲に及ぶ。しかし3次元映像技術の進歩は、同時に3次元映像内で物体認知や空間知覚の重要性が増すことを意味する。例えば、遠隔医療や宇宙開発では、ほんの数ミリの空間的(あるいは数ミリ秒の時間的)なズレが、致命的な事態になりうる。従って、より高精度の映像を提示することも必要であるが、さらに問題となるのは、3次元映像を現実世界に近づけるだけでは解決することができない、人間の知覚・認知システムによって起きる歪みである。本研究課題では、この「立体的提示環境における知覚的・認知的歪み」を取り上げた。

我々が知覚する世界は様々な要因によって、実際の物理的世界とは異なって見えることが知られている。申請者らを含む研究グループは視覚空間における知覚的ズレに関する研究を数多く行ってきた。このような研究背景のもとで、研究対象の視覚的に知覚される時間・空間を、より実環境に近い3次元に展開させ、さらに大きな枠組みのなかで、「歪み」を特定のモダリティや特定の知覚情報処理のレベルに限定することなく、広くとらえ、認知・行動への影響を調べることが必要である。従って、3次元映像技術の実用化に伴いかつてない急速な広がりが予想される分野で、幾何学的に正しい像を呈示することに重点が置かれがちな、現在の3次元映像技術が持っている問題点に対して、科学的知見の蓄積と、それに基づいた3次元映像技術の使用や3Dディスプレイ製造に関する提言を行うことが必要であるという考えに至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、3次元映像技術の実用化にともしない現れてくると予想される「立体的提示環境における知覚的・認知的歪み」に関して、実験心理学や人間工学の分野で蓄積されてきた時空間の知覚的歪みに関するさまざまな知見を、厳密な方法で3次元表現環境に展開し、その認知心理学的・認知神経科学的プロセスに関する知見を集めること、3次元表現による認知や行動への影響の知見の蓄積と、新たな3次元表現の利用方法の模索、及びこれらの知見を発信することによる社会還元を大きな目的として、4年間の研究期間を設定し、複数の観点から調査研究を進めた。

3. 研究の方法

本研究の内容は多岐にわたるため、方法と成果のうち、特に主要なもののみを取り上げて、以下にまとめる。

(1) 3次元環境において瞬間的に提示された刺激の奥行き方向位置知覚の歪みをシステムティックに調べるために、3Dプロジェクタを用いた立体映像環境を構築した。被験者の奥行き方向の視線位置もコントロールした上で、空間上の様々な位置に刺激を提示することで、知覚された視空間の奥行き方向への歪み、記憶された空間位置へのリーチング動作への影響、注意の移動の異方性などを、実験心理学的な手法を用いて調べた。

(2) 上記の研究で使用した立体映像提示環境を活用し、人間の基本的な知覚機能である「数量知覚」(numerosity perception)と密度知覚(density perception)に、立体視に必要とされるさまざまな情報(両眼視差、個々の物体の大きさ、刺激が提示される範囲やそれらの組み合わせ)が、どのような影響を及ぼすかを調べる心理物理学の実験を行った。加えて、3次元表現で多用されつつある動的映像環境において、数量知覚がどのように変化するのかを調べる研究も並行して行った。

(3) 映像に立体情報を付加する場合に、映像全体に立体情報を加えるのではなく、局所的な立体情報を与える方法がある。この局所的な立体情報が、観察者の視覚刺激の検出や記憶、および選好判断に及ぼす影響を調べるために、視覚探索課題(あるターゲットを複数のディストラクタの中から見つけ出すのにかかる時間を測定)、変化検出課題(2枚の一部異なる映像を空白時間を挟んで提示した場合の違いの検出)や、選好判断(2つの無意味視覚刺激を提示した際に好ましい方を選ぶ)などの認知課題を用いた実験を行った。

(4) 2D/3D変換を用いた新たな表現として提案されている傾斜型立体映像(画面全体に傾斜型の両眼視差を付加することで画面の傾斜を表現する立体映像技法)の認知特性、生理的・心理的特性、身体反応を、さまざまなコンテンツを用いた課題と実験心理学的・人間工学的手法を用いて調べ、その活用の射程を明らかにする実験を行った。

4. 研究成果

(1) 3次元環境において瞬間的に提示された視覚刺激の知覚的判断と位置の記憶、及び3Dマウスによるリーチング(行動指標)は、提示可能な奥行き平均に近づく(圧縮される)ことが明らかとなった。この奥行き空間

の一般的な圧縮に加えて、被験者が凝視している奥行き平面（凝視平面）が、奥行き提示範囲のうち最も被験者に近いものよりも近傍にあった場合には、奥行きの過大評価が生じるが、凝視平面がそれよりも遠くにある場合には、奥行きの過大評価は起きないことも明らかとなった。リーチングによる行動指標では一般的奥行きの過小評価が、凝視平面とは関わらず起きた。これらの知見は3次元映像表現における奥行き知覚（あるいはその記憶）が、それまでに経験された奥行きなどのコンテキストや観察者の凝視平面に依存することを示しているとともに、立体情報が知覚と行動に及ぼす影響には違いが存在することも示している。

また、注意の3次元空間上での分布による視空間の歪み影響を調べた実験では、奥行き方向の注意の移動が視空間歪みに影響を及ぼすことが確認された。注意の焦点が遠方から観察者方向に移動した場合には空間の歪みの大きさは変化しないが、観察者から遠方に移動した後にはより強くなること、また注意の移動の非対称性は観察者の視点の奥行き方向の初期位置には影響を受けないことを示す結果などを得られた。これらは、注意の分布と移動が、空間知覚に及ぼす影響は、空間的に非対称であり、複数のメカニズムが存在することを示唆している。

(2) 数量知覚と密度知覚に奥行き情報（両眼視差、視野の大きさ、個々の刺激の大きさ）が及ぼす影響を調べる実験では、数量知覚は奥行き情報によって大きく変化しないが、密度知覚には視野の大きさの影響が最も大きい影響を与えることがわかった。しかしながら、この視野の大きさの影響は他の情報と組み合わせられた時に弱くなることも明らかになった。この結果は、奥行き情報の組み合わせによって、2次元上（網膜上の）の密度ではなく、3次元空間的に的により正しい密度知覚が可能になっていることを示していると考えられる。

また、視覚物体が動的に呈示された場合（空間的に違う場所に連続呈示された場合）に、視覚物体の類似度が高い場合には、低い場合に比べて、物体の数が少なく知覚されることも明らかとなり、この視覚物体の数の過小評価が映像の動的呈示でのみ見られることなども見出した。

(3) 局所的な立体情報が、意識的な知覚や記憶に及ぼす影響を、変化検出課題で調べた実験では、視覚対象に局所的な視差を与えることは注意や記憶に影響を及ぼしうること、視差を与えた対象が目立ちにくい場合にはその影響がより顕著になること、局所的な視差の自覚に関わらずその影響が見られることなどが明らかとなった。

また、視覚的短期記憶に及ぼす影響を調べた研究では、一部分のみに動的な両眼視差

を付加した映像では、そうでない映像に比べて再認課題の正答率が有意に高くなるという結果が得られた。

さらに、立体映像に対する選好判断を調べた実験においては、約1度を超える交差性の視差を加えた場合には個人の主観的な印象が、選好を決めてしまうということが明らかとなった。従って、個人の融像幅に関係なく、選好判断を増進する交差性の視差設計は1度を超えない適度なものにすることが望ましいと判断され、さらに細かい視差条件での調査が必要であることが示唆された。

(4) 傾斜型立体映像の短期的な記憶への影響を検討した研究では、記憶した進行方向を正しく判断できるかを検証する実験を行い、正答率と選択時間を比較した結果、斜型立体映像が進行方向の短期的な記憶を増進する可能性が示された。

また、傾斜型両眼視差の姿勢へ影響をバランスボードで調べた結果、左右の傾斜条件において、傾斜方向に重心が動く傾向が見られ、傾斜型両眼視差を呈示することにより傾斜方向に重心移動が促せる可能性も示唆された。

さらに、傾斜型視差を用いた方向指示画像の生理・心理的影響を検討した研究では、矢印と同方向の傾斜型視差を付加することで進行方向が理解しやすくなり、方向指示画像に傾斜型視差の付加が、理解しやすいナビゲーション画像に寄与できることも示唆された。

これらの傾斜型立体映像に関する一連の研究は、知覚的歪みを抑えるのではなく、積極的に活用するという側面を持ち、今後の展開が期待される。

(5) また、3次元表現は脳活動反応に及ぼす影響を調べる研究も並行して進め、多様化する立体映像表現や3Dディスプレイの評価に客観的な指標を導入する方向性も模索し、本研究課題で得られた現象を脳機能計測での測定に耐えうるものにするにはどうしたらよいかに関するノウハウの蓄積も行った。これらは今後の研究の中で展開していくことが期待できる。

(6) これらの学術的知見の蓄積に加えて、3次元映像技術の使用・開発への知的基盤の整備に向けた、3次元映像視聴時の要因の洗い出しも継続して行い、多くの機会を設けて議論を深化させてきた。その議論の内容は、日本人間工学会でシンポジウム「立体映像の認知・情動特性：新たな視点と可能性」の開催、DIGITAL CONTENTS EXPO2015でのゲーム関連企業とのコラボレーション企画、デジタルコンテンツ協会委員会での議論などを通じて社会に還元され、新しいメディアにおける戦略的な立体映像の使い方の提言につながるものとなった。

本研究課題では、複数の視点から立体的提示環境における知覚的・認知的歪みに関しての知見の蓄積と社会への還元を進めてきたが、研究を推進していく中で、観察者の内的状態が時間・空間知覚に及ぼす影響、アブストラクトな表象と時間・空間知覚の関係、注意のダイナミクスと時間的・空間的記憶のインタラクション、空間のナビゲーションの研究などの新しい方向性も見出され、新たに「3次元表現が感性や意思決定に及ぼす影響」の研究に向けた研究会の足がかりも得ることができた。

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 31 件)

- ① 金相賢、高橋昌大、渡邊克巳、河合隆史、傾斜型両眼視差を用いた方向指示画像の知覚特性、人間工学、査読有、52 巻、2016、印刷中
- ② Kim, S., Takahashi, M., Watanabe, K., Kawai, T. The effects of functional binocular disparity on route memory in stereoscopic images. Proceedings of International Society for Optics and Photonics, 査読有, 2016, in press
- ③ Kim, S., Itaoka, H., Morikawa, H., Mitsuya, R., Kawai, T., Watanabe, K. Effects on body sway viewing tilted 3D images using binocular disparity. Joint Symposium Ergonomics Society of Japan and Korea Ergonomics Society, 査読有, 51 巻, 2016, 488-491. DOI:10.5100/jje.51.S488
- ④ Kim, S., Morikawa, H., Mitsuya, R., Kawai, T., Watanabe, K. Partially converted stereoscopic images and the effects on visual attention and memory. Proceedings of International Society for Optics and Photonics, 査読有, 9391, 2015, 939119. DOI:10.1117/12.2084842
- ⑤ Meilinger, T., Frankenstein, J., Watanabe, K., Bülthoff, H.H., Hölscher, C., Reference frames in learning from maps and navigation, Psychological Research, 査読有, 79(6), 2015, 1000-1008. DOI:10.1007/s00426-014-0629-6
- ⑥ 平賀 大貴、松浦 訓人、金 相賢、盛川 浩志、三家 礼子、河合 隆史、渡邊 克巳、立体映像に対する選好判断と視知覚特性、人間工学、査読有、50 巻、2014、S274-S275. DOI:10.5100/jje.50.S274
- ⑦ 盛川 浩志、西部 杏奈、山本 夏帆、金 相賢、三家 礼子、河合 隆史、渡邊 克巳、特定領域への動的両眼視差付加と視覚性短期記憶への影響、人間工学、査読有、50 巻、2014、S356-S35. DOI:10.5100/jje.50.S.356
- ⑧ Chien, S., Watanabe, K., Depth modulation of the attentional repulsion effect. Perception, 査読有, 42(12), 2013, 1333-1343. DOI:10.1068/p7580
- ⑨ Takahashi, K., Meilinger, T., Watanabe, K., Bulthoff, H.H., Psychological influences on distance estimation in a virtual reality environment. Frontiers in Human Neuroscience, 査読有, 7, 2013, 580. DOI: 10.3389/fnhum.2013.00580
- ⑩ Au, R. K. C., Watanabe, K., Numerosity underestimation with item similarity in dynamic visual display, Journal of Vision, 査読有, 13(8), 2013, 1-15. DOI:10.1167/13.8.5
- ⑪ 高橋 昌大、金 相賢、盛川浩志、三家 礼子、河合 隆史、渡邊 克巳、両眼視差による方向指示画面の傾斜と右左折判断、人間工学、査読有、49 巻、2013、S38-S39. DOI:10.5100/jje.49.S38
- ⑫ 平賀 大貴、金 相賢、盛川 浩志、三家 礼子、河合 隆史、渡邊 克巳、立体視標に対する視差量の操作と選好判断、人間工学、査読有、49 巻、2013、S36-S37. DOI:10.5100/jje.49.S36
- ⑬ 上道 寛子、小井土 慶久、金 相賢、盛川 浩志、三家 礼子、河合 隆史、渡邊 克巳、特定領域への両眼視差の付加と注意・記憶への影響、人間工学、査読有、49 巻、2013、S34-S35. DOI:10.5100/jje.49.S34
- ⑭ Koido, Y., Morikawa, H., Siraishi, S., Takeuchi, S., Maruyama, W., Nakagori, T., Hirakata, M., Shinkai, H., Kawai, T., Applications of 2D to 3D conversion for educational purposes, Proceedings of the International Society for Optical Engineering, 査読無, 8288, 2013, 8648. DOI:10.1117/12.2008729

- ⑮ Koido, Y., Kawai, T., Partial 2D to S3D conversion and the cognitive characteristics, Proceedings of International Society for Optical Engineering, 査読無, 8288, 2012, 82882E-1-10.
DOI:10.1117/12.910662

[学会発表] (計 7 2 件)

- ① 金相賢、伊波穰、渡邊克巳、河合隆史、傾斜型両眼視差を用いた方向指示画像の知覚特性、日本人間工学会、2016/05/28、三重県立看護大学 (三重)
- ② Kim, S., Takahashi, M., Watanabe, K., Kawai, T. The effects of functional disparity on route memory in stereoscopic images, Stereoscopic Displays and Applications, IS&T International Symposium on Electronic Imaging, 2016/2/16, San Francisco (USA)
- ③ Foster, C., Takahashi, K., Kurek, S., Horeis, C., Bäuerle, M., de la Rosa, S., Watanabe, K., Butz, M.V., Meilinger, T. Looking at me? Influence of facing orientation of avatars and objects on distance estimation, Tagung experimentell arbeitender Psychologen, 2015/3/9, Hildesheim (Germany)
- ④ Yamamoto, K., Au, R.K.C, Watanabe, K., Depth cue combinations for density judgment in three-dimensional display, Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference, 2015/12/18, Hong Kong (China)
- ⑤ Tanaka, K. Chien, S., Yamamoto, K., Watanabe, K., Memory distortion of depth of a visual stimulus for perception and action, International Conference on Knowledge and Smart Technology, 2016/2/5, Chiangmai (Thailand)
- ⑥ Kim, S., Morikawa, H., Mitsuya, R., Kawai, T., Watanabe, K., Partially converted stereoscopic images and the effects on visual attention and memory, Stereoscopic Displays and Applications, 2015/02/10, San Francisco (USA)
- ⑦ Chien, S., Watanabe, K., Distortion

of visual localization in three-dimensional virtual space, Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference, 2014/12/10, Siem Reap (Cambodia)

- ⑧ 渡邊克巳、河合隆史、奥成洋輔、堀井直樹、三次元空間の知覚的歪みとコンテンツの再構築、DIGITAL CONTENTS EXPO、2014/10/24、日本科学未来館 (東京)
- ⑨ 山村 英介、金相賢、盛川 浩志、三家 礼子、河合隆史、渡邊克巳、3D 撮影におけるコンバージェンスの操作と心理的影響、画像電子学会、2014/06/30、早稲田大学 (東京)
- ⑩ 平賀 大貴、松浦 訓人、金相賢、盛川 浩志、三家 礼子、河合隆史、渡邊克巳、立体映像に対する選好判断と視知覚特性、日本人間工学会、2014/06/06、神戸国際会議場 (神戸)
- ⑪ 盛川 浩志、西部 杏奈、山本 夏帆、金相賢、三家 礼子、河合隆史、渡邊克巳、特定領域への動的両眼視差付加と視覚性短期記憶への影響、日本人間工学会、2014/06/06、神戸国際会議場 (神戸)
- ⑫ Kim, S., Itaoka, H., Morikawa, H., Mitsuya, R., Kawai, T., Watanabe, K., Cognitive characteristics of directional judgment through binocular disparity on a virtual tilted screen, Asian Conference on Ergonomics and Design, 2014/05/23, Jeju (South Korea)
- ⑬ 高橋康介、渡邊克巳、三次元仮想空間における大きさの知覚的平均化、電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会、2013/07/13、新潟国際情報大学 (新潟)
- ⑭ Au R. K. C. et al. Mislocalization of a moving object in three-dimensional space, Asia-Pacific Conference on Vision, 2013/07/07, Suzhou (China)
- ⑮ 渡邊克巳、小野史典、人間の時空間知覚特性と 3 次元表現への適用、日本人間工学会シンポジウム「立体映像の認知・情動特性—新たな視点と可能性」、2013/06/01、日本大学 (千葉)
- ⑯ Chien, S., Watanabe, K., Depth Modulation of Attentional Repulsion and Attraction Effects. Vision Science Society, 2013/05/12, Florida (USA)

- ⑰ 小井土 慶久、盛川 浩志、白石 咲、丸山 渉、中郡 聡夫、平方 雅隆、新改 博久、河合 隆史、局所立体映像を用いた外科手技教材の試作と評価、日本人間工学会、2012/6/10、九州大学（福岡）
- ⑱ 河合隆史、ソーシャルメディアと立体視：クリエイターの視点から、日本人間工学会関東支部大会、2011/12/11、芝浦工業大学（東京）
- ⑲ 渡邊克巳、ソーシャルメディアと立体視：ユーザの視点から、日本人間工学会関東支部大会、2011/12/11、芝浦工業大学（東京）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡邊 克巳 (WATANABE, Katsumi)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号：20372409

(2) 研究分担者

小野史典 (ONO, Fuminori)
山口大学・教育学部・講師
研究者番号：90549510

(3) 連携研究者

河合隆史 (KAWAI, Takashi)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号：90308221
(平成 24 年度から研究者分担者)

高橋康介 (TAKAHASHI, Kohsuke)
東京大学・先端科学技術研究センター・助教
研究者番号：80606682
(平成 27 年度から研究者分担者)