

を追加し、被験者の意識を GDW に没入させた際の影響を調べる。

【実験内容】スケール手がかりの増加を目的に、実験 3 で用いた実体模型の他に、仮想物体のミニチュア模型 (図 9(b))、道路を模したテクスチャを用いる。被験者の視点からは、ミニチュア救急車が床面に重畳描画された道路の上を走行しているように見えるため、被験者は高所から眼下を走行する救急車を眺めているような状況といえる (図 12)。提示する GDW の倍率 n 、救急車の GDW 内の速度 r 、提示順序、回答は実験 3 と同様、 $n = m = 1/30$, $r = 25, 50, 75, 100$ (km/h) とし、ランダムに全 4 種類を提示した。回答はこれまでの実験と同様の 3 通りである。また、各被験者への提示順序は実験 3 と異なる。

【実験前の予想】実験 3 に比べてスケール手がかりの量が増加しているため、完全没入型の空間と同じ様に被験者の意識が GDW に没入し、ドップラー効果を不自然に感じる被験者の割合が減少すると予想した。

【結果と考察】結果を図 13 に示す。予想通り、GDW に関するスケール手がかりの割合を増加させたことで、ドップラー効果を不自然に感じる被験者の数が減少した。また、多くの被験者から「道路があると印象が変わる」という意見が挙がった。そのため、仮想物体の模型 (図 9(b)) は用いずに、実体模型 (図 9(a)) と道路を用いた状態 (即ち、実験 3 に道路を追加した状態) での実験を試みたところ、スケール手がかりの量が減少したにも関わらず、図 13 とほぼ同様の結果が得られた。スケール手がかりの割合も GDW に没入させるための重要な要素であるが、現実世界における体験と酷似した状況を再現可能な事物を用いることで、没入感に対して強力に作用すると考えられる。

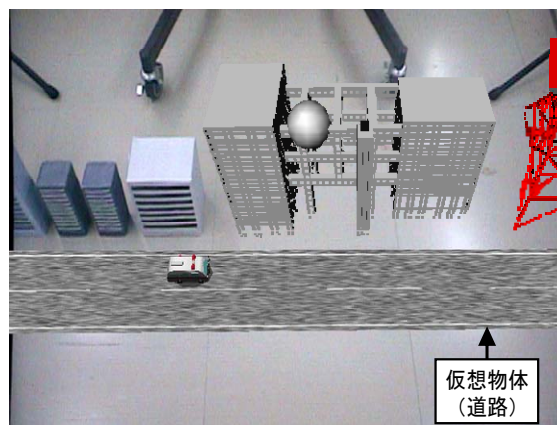


図 12 実験 4 における体験者視点の映像

Fig. 12 User's view of experiment 4

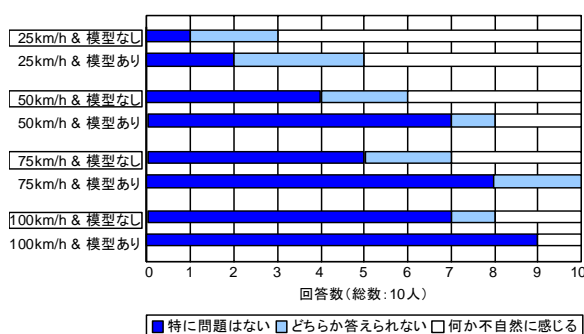


図 13 実験 4 の結果

Fig. 13 Result of experiment 4



図 14 仮想物体の車

Fig. 14 CG objects of car

6.4 実験 5：救急車以外の車を提示した際の影響

【目的】これまでの実験では、GDW に没入させるためにミニチュアのビルをスケール手がかりとして用いていた。しかし、現実世界において救急車を観察すると多くの場合は一般車両も目にするため、それらを提示した際の影響を調べる。

【実験内容】実体・仮想模型 (図 9) は用いず、床面に重畳描画した道路上に仮想物体の車 (図 14) を配置し、被験者に提示する (図 15)。一般車両は緊急車両の進行を妨げないことが義務付けられているため、移動せず静止した状態で提示し、救急車と同じサイズに縮小させる。提示する救急車の GDW 内の速度 r 、GDW の倍率 n 、提示順序、回答はスケール手がかりを用いたこれまでの実験と同様、 $r = 25, 50, 75, 100$ (km/h), $n = m = 1/30$ とし、ランダム

に全 4 種類を提示し、3 通りで回答させた。

【実験前の予想】実験 4 と比較して、GDW に没入させるスケール手がかりの量は多くないが、道路や救急車以外の車を GDW のスケール手がかりとして用いているため、現実世界において高所から救急車を観察しているようなメンタルモデルが形成されると考えられる。そのため、被験者は現実世界の事物の影響を受けず、ドップラー効果を不自然に感じる被験者の割合が減少すると予想した。

【結果と考察】結果を図 16 に示す。実験 4 と同様、ドップラー効果を不自然に感じる人数が実験 1 に比べて減少した。また、実験 4 に比べて GDW に没入させるためのスケール手がかりの割合が少ないにも関わらず、50~100km/h では 1 人を除き 9 人の被験者は不自然さを感じなかった。一方で、25km/h は

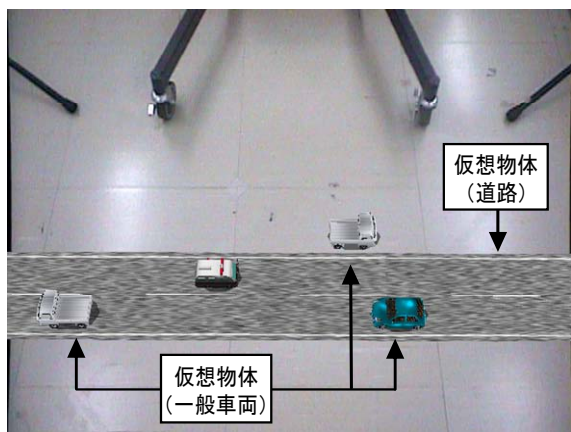


図 15 実験 5 における体験者視点の映像

Fig. 15 User's view of experiment 5

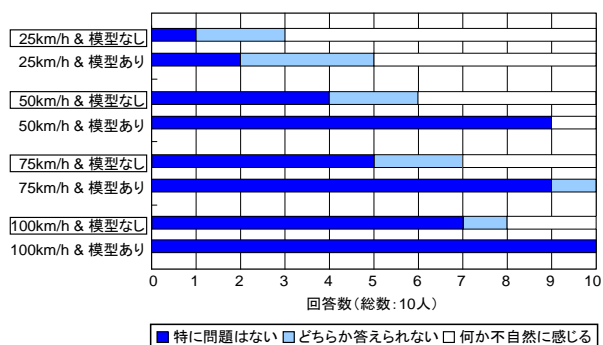


図 16 実験 5 の結果

Fig. 16 Result of experiment 5

スケール手がかりを用いた一連の実験において、一度も大きな改善は見られなかった。そのため、スケール手がかりが存在しても、救急車の見かけの速度が一定以下ならばドップラー効果を不自然に感じてしまうと考えられる。

7. むすび

視聴覚併用複合現実空間の表現力向上を図り、実時間でのドップラー効果の実装まで行ったところ、ミニチュア MR 空間でドップラー効果を正しく感じられるかという問題に遭遇した。即ち、平均的身長の体験者がミニチュア世界を俯瞰的に観察する場合、体験者を小人の国に訪れたガリバーに見立てることがよくあるが、そのガリバーにとってドップラー効果が自然かどうかの問題である。

実際に、仮想のミニチュア世界を MR 空間に重畳したところ、移動音源のドップラー効果を不自然に感じたり、解消したりする現象が生じたので、これを「ガリバー・ドップラー現象」と称した。そして予め立てた、MR 空間に存在する現実物体・仮想物体のスケール手がかりがこの現象を生じる最たる要

因であるという仮説の下、系統的实验を行って、この現象を分析・検討した。

VR 空間や MR 空間における視聴覚の影響に関しては、様々な現象が生じることが知られているが、本研究で対象にしたような、現実物体と仮想物体が混在し、かつミニチュア世界が部分的である場合には、問題が単純ではない。縮小していない物体や人物が現実世界に存在して視野に入って来る場合にその影響を受けたり、縮小模型の完成度が低いゆえに、ミニチュアをミニチュアと感じてしまう場合が多々あるからである。ミニチュア世界を本物と感じるには没入感への集中力と想像力が必要であり、その能力には個人差が大きい上に慣れの影響も大きい。

以上のような実験条件の困難さを伴っての研究実験であったが、まず、どの程度の速度から周囲の事物の影響を受けるのか、救急車の見かけの大きさによって印象の変化が生じるのかを観察すべく、救急車の移動速度や倍率を変更した実験を行った。その結果、高速であれば不自然に感じ難く、同一の速度であっても、救急車の見かけの大きさが小さければ不自然に感じ難く、大きければ不自然に感じやすいことが明らかとなった。また、暗室や完全没入空間でなくとも、ミニチュア世界のスケール手がかりを用いて体験者の意識を GDW に没入させることで印象が変化すると考え、系統的实验を行った。実験の結果、予想通り、ミニチュア世界のスケール手がかりが少なければ改善が見られず、多い場合や没入感に強く作用すれば、ドップラー効果を不自然に感じ難いという結果を得た。一方で、速度が遅すぎる場合には、ミニチュア世界のスケール手がかりが存在してもドップラー効果を不自然に感じ、印象の改善は見られなかった。

本研究は、視聴覚併用 MR システム実現の発展形として行ったものである。ガリバー・ドップラー現象はミニチュア MR 空間や巨大 MR 空間に対してのみ考慮すべき事象であるが、前者の利用度の高さを考えると、本研究の結果は、このような現象が生じることを想定していなかった読者に有益な知見を与えるものであると考えられる。

謝辞

本研究におけるドップラー効果の実装には、研究室の学部生（現在、富士通エフ・アイ・ピー（株））塚本拓郎君の協力を得た。また、本実験の音響学的な観点からの検討は、本学西浦敬信准教授、森勢将雅助教の助言を得た。本研究の一部は、科研費・基盤研究 A「視聴覚併用複合現実空間の表現力向上に関する研究」による。

参考文献

[著者紹介]

- [1] 比嘉恭太, 西浦敬信, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: “視覚・聴覚の現実と仮想を融合する 2×2 方式複合現実感システムの実現”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 13, No. 2, pp. 227 - 237, 2008.
- [2] 吉野将治, 西浦敬信, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: “視覚・聴覚を併用した複合現実感システムの開発 (4) - 複合現実空間での音の反射・遮断の実現 -”, 同学会第 13 回大会論文集, pp. 556 - 559, 2008.
- [3] J. Smith, S. Serafin, J. Abel, D. Berners: “Doppler simulation and the leslie,” Proc. 5th Int. Conf. on Digital Audio Effects DAFx - 02, pp. 13 - 20, 2002.
- [4] Y. Iwaya and Y. Suzuki: “Rendering moving sound with the doppler effect in sound space,” *Applied Acoustics*, Vol. 68, pp. 916 - 922, 2007.
- [5] 山之上祐一, 奥井誠人, 岡野文男, 湯山一郎: “2 眼立体画像における箱庭・書き割り効果の幾何学的考察”, 映像情報メディア学会誌, Vol. 56, No. 4, pp. 575 - 582, 2002.
- [6] 中川千鶴, 大須賀美恵子, 竹田仰: “映像と動きに誘発された「酔い」における生理反応の基礎的検討: 大型 4 面立体映像提示装置と 6 軸モーションを用いて”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 6, No. 1, pp. 27 - 36, 2001.
- [7] 小曳尚, 繁樹博昭, 北崎充晃: “バーチャルリアリティ空間における視聴覚の同時知覚 - 両眼視差と運動視差の効果 -”, 電子情報通信学会研究報告, Vol. 106, No. 234, MVE43 - 62, pp. 73 - 77, 2006.
- [8] H. Hasegawa, M. Ayama, S. Matsumoto, A. Koike, K. Takagi and M. Kasuga: “Evaluation of the Corresponding Degree between a Visual Image and Its Associated Sound under Dynamic Condition on a Wide Screen,” *IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics*, Vol. E87-A, No. 6, 2004.
- [9] Z. Zhou, A. D. Cheok, Y. Qiu, and X. Yang: “The role of 3-D sound in human reaction and performance in augmented reality environments,” *IEEE Trans. on Syst., Man & Cybern., Part A*, Vol. 37, No. 2, pp. 262 - 272, 2007.
- [10] 石黒祥生, 比嘉恭太, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: “視聴覚併用複合現実空間のスケール感に関する考察”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 13, No. 2, pp. 125 - 128, 2008.
- [11] F. H. Durgin, D. R. Proffitt, T. J. Olson and K. S. Reinke: “Comparing depth from motion with depth from binocular disparity,” *J. Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol. 21, No. 3, pp. 679 - 699, 1995.

(2010 年 12 月 8 日受付)

村井 嘉彦 (正会員)



2009 年立命館大学情報理工学部情報コミュニケーション学科卒。2011 年同 大学院理工学研究科博士前期課程修了。同年 4 月, パナソニック (株) 入社。2009 年より 2011 年まで視聴覚併用複合現実感に関する研究に従事。2009 年本学会学術奨励賞受賞。

木村 朝子 (正会員)



1996 年大阪大学基礎工学部卒。1998 年同 大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。同大学助手, 立命館大学理工学部助教授, 科学技術振興機構さきがけ研究員等を経て, 2009 年 4 月より立命館大学情報理工学部メディア情報学科准教授。博士 (工学)。実世界指向インタフェース, 複合現実感, ハプテックインタフェースの研究に従事。電子情報通信学会, 情報処理学会, ヒューマンインタフェース学会, ACM, IEEE 各会員。本学会学術奨励賞・論文賞, 情報処理学会山下記念研究賞等受賞。

柴田 史久 (正会員)



1996 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。1999 年同 研究科博士後期課程修了。大阪大学産業科学研究所助手を経て, 2003 年 4 月より立命館大学理工学部助教授。現在, 同 情報理工学部情報コミュニケーション学科准教授。博士 (工学)。モバイルコンピューティング, 複合現実感等の研究に従事。本学会複合現実感研究委員会委員。IEEE, 電子情報通信学会, 日本ロボット学会, 情報処理学会等の会員。本学会学術奨励賞・論文賞を受賞。

田村 秀行 (正会員)



1970 年京都大学工学部電気工学科卒。工業技術院電子技術総合研究所, キヤノン (株) 等を経て, 2003 年 4 月より立命館大学理工学部教授。現在, 同 情報理工学部メディア情報学科教授。工学博士。1997 年より 2001 年まで, MR システム研究所にて「複合現実感研究プロジェクト」を率いた。本学会元理事, 現在, 評議員, 複合現実感研究委員会顧問。編著書「Mixed Reality」(Ohmsha & Springer)「コンピュータ画像処理」(オーム社)など。電子情報通信学会フェロー, IEEE, ACM, 情報処理学会, 人工知能学会, 映像情報メディア学会等の会員。本学会及び情報処理学会論文賞, 人工知能学会功労賞等を受賞。