

HMD と速度制御型インタフェースを用いた ドップラー効果の仮想体験学習環境の構築

Approach of Virtual Experience based Learning about Doppler Effect using HMD and Velocity-based Control Interface

京極 瑞生^{*1}, 岩根 典之^{*1}, 岡本 勝^{*1}, 松原 行宏^{*1}

Mizuki KYOGOKU^{*1}, Noriyuki IWANW^{*1}, Masaru OKAMOTO^{*1} and Yukihiko MATSUBARA^{*1}

^{*1}広島市立大学大学院 情報科学研究科

^{*1}Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University

Email: lkyogoku@lake.info.hiroshima-cu.ac.jp

あらまし：本研究では HMD 型ドップラー効果の仮想体験学習環境を提案する。ドップラー効果の仮想体験学習に必要な基本機能を、(1)観測者と音源の速度制御、(2) 観測者の位置からの音と映像のフィードバックとし、各機能を HMD とコントローラを用いて実装する。また、本システムでは学習者が観測者の位置から観測者と音源の速度を安定して制御するために、学習者の頭の向きを考慮した速度制御型インタフェースを構築する。本システムでは、学習者は HMD とコントローラを用いることで、観測者の位置から音源と観測者の速度制御を行え、様々な実験条件によって変化する音の違いを体験できる。

キーワード：ドップラー効果、体験学習、Virtual Reality, HMD

1. はじめに

高等学校物理では音波の単元においてドップラー効果を学ぶ⁽¹⁾。学習指導要領では、音波の単元において、実験を通して物理現象を観察し、日常生活と関連付けて理解、考察することが重要としている。体験的な学習を支援する方法として、Krishnashree らは ICT を用いた体験学習環境を開発した⁽²⁾。Krishnashree らのシステムではディスプレイに表示された音源及び観測者を操作することでドップラー効果の仮想実験が行える。一方、Krishnashree らのシステムを実空間での体験学習に近づけることを考えると、仮想空間を3次元へ拡張することが考えられる。また、HMDを用いることで観測者の位置でのドップラー効果を伴った音を体験でき、より実空間での体験に近づけることが可能である。

本稿では、HMDを用いたドップラー効果のVR型仮想体験学習環境を提案する。また提案するシステムを構築するに当たって、HMDを用いた仮想体験学習における問題点の調査も行う。本システムでは、学習者はHMDとジョイスティックコントローラを用いることによって、観測者の位置から音源と観測者の速度制御を行い、様々な実験条件によって変化する音の違いを体験することができる。

2. システム構成

実験による体験学習では、学習者が物理現象を十分に観察できるよう、様々な実験条件から試行錯誤が可能な実験環境が必要である。そのため仮想実験によるドップラー効果の体験学習では、(1)音源と観測者の速度制御、(2)観測者の位置で観測される音と映像のフィードバック、が必要となる。本システムではHMDとジョイスティックコントローラを用いることで上記の各機能を実装した。図1に提案

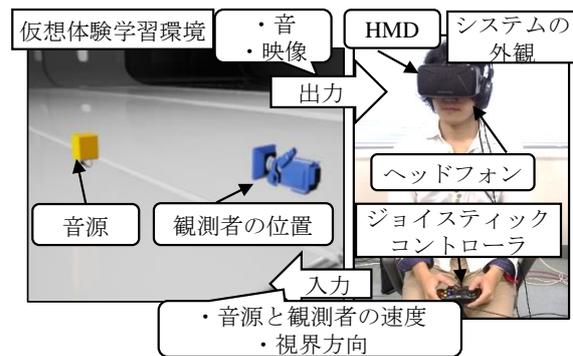


図1 仮想実験環境とシステムの外観

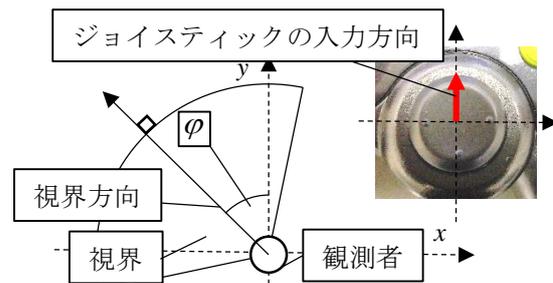


図2 絶対空間座標系における観測者の視界方向と入力方向とのずれ

システムの外観と仮想体験学習環境を示す。仮想体験学習環境には観測者と音源がある。学習者は観測者と音源の速度を制御するために、HMDとジョイスティックコントローラを用いる。学習者はHMDを通して観測者の位置から見える仮想体験学習環境を見ることができる。学習者はHMDを装着し、顔の向きを変えることによって仮想体験学習環境内の観測者の視界方向を制御できる。

図2に絶対空間座標系におけるジョイスティックからの入力方向と観測者の視界方向を示す。図に示

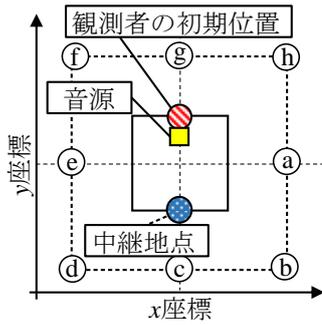


図3 被験者に指示した目標地点

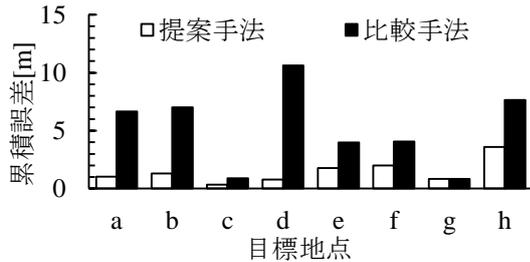


図4 最短軌道と観測者移動軌跡との累積誤差の全被験者の平均

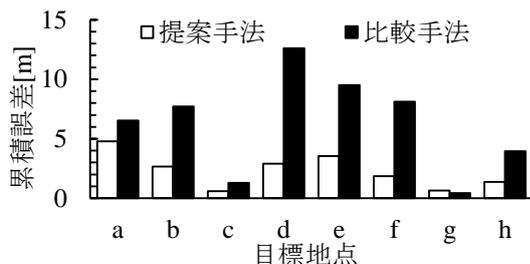


図5 最短軌道と音源移動軌跡との累積誤差の全被験者の平均

すように、絶対空間における観測者の視界方向はジョイスティックの入力方向とは必ずしも一致しない。そのため、学習者のジョイスティック入力方向と仮想体験学習環境内の観測者の移動方向が一致せず、HMD型仮想体験学習環境では、学習者が想定する速度制御を行うことが困難であった。そこで本システムではジョイスティックの入力方向を視界方向へ一致させた速度計算を行う速度制御型インタフェースを提案した。時刻 t における観測者速度 $v_o(t)$ と音源速度 $v_s(t)$ は次式で与えられる。

$$v_o(t) = \begin{bmatrix} v_{ox}(t) \\ v_{oy}(t) \end{bmatrix} = G(t)J_0(t) \begin{bmatrix} \cos\phi(t_i) & -\sin\phi(t_i) \\ \sin\phi(t_i) & \cos\phi(t_i) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$v_s(t) = \begin{bmatrix} v_{sx}(t) \\ v_{sy}(t) \end{bmatrix} = G(t)J_1(t) \begin{bmatrix} \cos\phi(t_j) & -\sin\phi(t_j) \\ \sin\phi(t_j) & \cos\phi(t_j) \end{bmatrix} \quad (2)$$

ここで t_i は音源を鳴らし始めた時刻であり、 t_j は音源が鳴っているとき、観測者が移動しはじめた時刻である。また、 $G(t)$ は速度を調節するゲインであり、 $J_0(t)$ は左ジョイスティック、 $J_1(t)$ は右ジョイスティックからの入力である。この計算によって学習者は観測

者の位置から、観測者と音源の速度を安定して制御できる。観測者と音源の速度操作によって、学習者は観測者と音源を移動させることができる。仮想体験学習環境では観測者と音源の速度と位置からドップラー効果によって変化する音の変化量が計算され、ヘッドフォンから音をフィードバックする。これらによって、学習者は様々な実験条件における音の違いを観測者の位置から体験できる。

3. 検証実験

提案した速度制御型インタフェースの有効性を調査する比較評価実験を行った。検証実験では提案手法に対して、 $v_o(t)$ を $G(t)J_0(t)$ 、 $v_s(t)$ を $G(t)J_1(t)$ とした速度計算法を比較手法として比較した。実験では被験者に図3に示す a~h の8パターンの中継地点及び目標地点について、音源を中継地点まで移動させた後、音源と観測者を同時に目標地点まで移動させるよう指示した。被験者は大学生、大学院生の計6名(A~F)とし、被験者A~Cに提案手法を用いた実験を、D~Fには比較手法を用いた実験を行わせた。

各目標地点 a~h における音源及び観測者の移動軌跡と最短軌道との累積誤差の平均を図4,5に示す。図4,5を見ると、目標地点 c, g を除いた目標地点において、音源、観測者の移動軌跡ともに、最短軌道との累積誤差が、提案手法に比べ、比較手法の方が大きいことがわかる。一方、目標地点 c, g は他の目標地点と比べ、最短軌道との累積誤差は大きくなかった。これは、目標地点 c, g は音源と観測者の初期位置及び、目標地点が一直線上に並んでおり、目標地点へ移動させるための速度制御が容易であったため、提案手法と比較手法の間に差が生じなかったと考えられる。一方で、目標地点 c, g 以外の目標地点は累積誤差が大きく、比較手法では同直線上以外での速度制御が困難なことが確認できた。これらの結果から、比較手法に比べ、提案手法の方が最短軌道に近い速度制御が可能であることが確認できた。

4. おわりに

本研究ではドップラー効果のHMD型仮想体験学習環境を提案した。提案システムでは速度制御型インタフェースを用いることで、音源と観測者の速度を安定して制御でき、実験条件によって変化する音の違いを観測者の位置から体験できる。検証実験では提案した速度制御型インタフェースが比較手法より正確な速度制御が可能であることが確認できた。今後の課題としては、HMDを用いたことによる学習効果の検証などが挙げられる。

参考文献

- (1) 文部科学省：高等学校学習指導要領 理科編，pp. 41-42 (2009)
- (2) Krishnashree Achuthan et al., : "Improving perception of invisible phenomena in undergraduate physics education using ICT", 2nd International Conference on Information and Communication Technology, pp. 227-231 (2014)