

# 投射を題材とした SPIDAR-tablet による体験が可能な学習支援システム

## Learning Support System for Throwing Dynamics based on Experience using SPIDAR-tablet

久田 翔太<sup>\*1</sup>, 松原 行宏<sup>\*1</sup>, 岡本 勝<sup>\*1</sup>, 岩根 典之<sup>\*1</sup>  
Shota HISADA<sup>\*1</sup>, Yukihiro MATSUBARA<sup>\*1</sup>, Masaru OKAMOTO<sup>\*1</sup>, Noriyuki IWANE<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> 広島市立大学大学院 情報科学研究科

<sup>\*1</sup> Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University

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

**あらまし:** 本研究ではタブレット端末と力覚提示デバイスを用い、投射を題材とした仮想実験環境を構築する。学習者はタブレット端末上に表示されたボールをフリックすることにより投射し、そのボールを指で受け取ることで、受け取り時の衝撃力を力覚提示デバイスで体験する。これにより、学習者は初速などの投射条件の違いによる衝撃の変化を体験できる。また実験より、本システムを用いて意図した角度の投射ができることを確認した。

**キーワード:** タブレット端末, 学習支援システム, 力覚提示デバイス, 初等力学

### 1. はじめに

初等力学の学習において、体験を重視した学習は物理現象の概念や法則の理解を深める助けになると期待されている<sup>(1)</sup>。初等力学の題材の1つとして投射があり、デスクトップ型パソコンと小型の力覚提示デバイスを組み合わせた投射学習環境の開発が進められている。

一方、近年教育現場では持ち運びが可能で場所を制限しないタブレット端末が注目されている。しかし、タブレット端末を用いて力覚を提示することは難しいと考えられる。

そこで、本研究ではタブレット端末を用いた投射学習環境を構築した。また、タブレット端末でも使用できる力覚提示デバイス SPIDAR-tablet<sup>(2)(3)</sup> を作製し、この力覚提示デバイスを本システムに用いた。本システムを用いることにより、力覚体験を提供しつつ、場所に制限されずに投射の題材に対する学習を行うことができる。本システムでは、学習者がタブレット端末上に表示されているボールを直接指でフリックすることで投射し、受け取ることを可能にした。これによって、学習者の意図した投射が可能になると考えられる。学習者はボールの質量など実験の条件を変えて繰り返しボールの投射・受け取りを行い、ボールを受け取る際の衝撃力の変化を力覚提示デバイスで体験する。この体験を通して、衝撃力の違いの原因を推測することなどにより題材に対する学習を進める。

### 2. 学習支援システムの構築

図1に本システムの外観を示す。本システムは SPIDAR-tablet にタブレット端末を設置して用いる。中央にある輪は力覚提示部である。図2にシステム画面の詳細を示す。システム画面に、ボールやアバター、パラメータを変更する為のボタン、情報を提

示する部分を描画した。等高線は学習者がボールの投射及び受け取りを行う際に高さの目安となる。これにより、受け取る高さを変えた実験などを行いやすくなる。

学習者はタブレット端末のタッチパネルに指で触れ、アバターやボールを操作する。操作時に学習者は力覚提示部の輪に指をはめた状態で、ボールをタッチし、ドラッグ、フリックの順でボールの投射を行う。ドラッグは学習者の投射の予備動作としての微小動作を、フリックは学習者がボールをはじく動作を意味している。学習者のボールの投射角に関する意図は、投射の最後の動作であるフリックに現れると考え、フリックをする際にフリック中の指の位置と時刻をシステムで取得して、指を離す直前の履歴データから初速を求める方針を取った。また、指を離す瞬間のノイズを考慮して10サンプリングのデータで初速を求め、安定化を図った。ボールをタッチした時の時刻を  $T(0)$  としたとき、時刻  $T(n)$  での初速ベクトル  $\mathbf{v}_0(n)$  は以下の(1)式で求める。

$$\mathbf{v}_0(n) = \begin{cases} \frac{\mathbf{p}(n) - \mathbf{p}(n-9)}{T(n) - T(n-9)} & (n \geq 10) \\ \frac{\mathbf{p}(n) - \mathbf{p}(0)}{T(n) - T(0)} & \text{o.w.} \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{ただし } \mathbf{p}(n) = (p_x(n), p_y(n))$$

ここで  $n$  はデータ番号、 $\mathbf{p}(n)$  はデータ番号  $n$  における  $x$  座標及び  $y$  座標を表し、 $T(n)$  はそれぞれデータ番号  $n$  における時刻を表す。そこで、フリック中の指の位置の  $x$  座標、 $y$  座標、その時の時刻を保存していき、指が離れる直前の時刻  $T(n)$  の  $x$ ,  $y$  座標  $\mathbf{p}(n)$  とその9個前の座標  $\mathbf{p}(n-9)$  から移動距離を求め、移動にかかった時間で割って初速を決定する。また、データ数が10個未満の場合は、時刻  $T(n)$  における座標  $\mathbf{p}(n)$  と時刻  $T(0)$  における座標  $\mathbf{p}(0)$  を用いて初速を

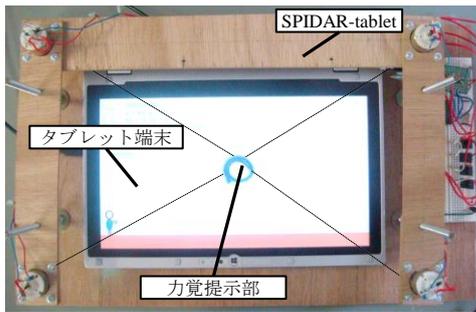


図1 システムの外観

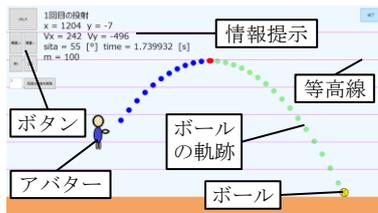


図2 システム画面の詳細

決定する。

ボールを投射してから地面に落ちるまでの間に、アバターをタッチやドラッグした位置に移動させ、アバターをボールに当てることにより、指でボールを受け取ることができる。ボールを受け取った時の衝撃力が、輪を通じて学習者に提示される。SPIDAR-tablet を通じて衝撃力を体験することの目的は、ボールを受け取る際の条件による運動エネルギーの違いを体験することである。

衝撃力を提示する力覚提示デバイスには SPIDAR-tablet を用いる。学習者は中央にある輪に指をはめて操作する。その輪は四隅のモータと糸で結ばれており、各モータが糸を巻き取ることによって輪を二次元平面上の各方向に引っ張り、力を提示することができる。

### 3. 検証実験

本システムの投射モデル及びボールの受け取りに関する検証を行った。検証目的は以下の2つである。

- (1) 学習者が本システムを用いて意図した角度の投射ができるかを調べる
- (2) 学習者が本システムを用いてボールを任意の場所で受け取ることができ、受け取り時の衝撃力を体験できるかを調べる

大学院生2名に鉛直投げ上げや自由落下等の4種類の投射をそれぞれ15回ずつ行わせ、投射させたボールを指定した4つの高さでそれぞれ受け取らせた。投射角に関して、仰角は正の値で、俯角は負の値で表している。また、口頭のアンケートで「ボールの受け取り時に衝撃力の違いを感じる事ができたか」という問いに答えさせた。

投射モデルの検証結果に関して、図3に指示した角度と被験者がボールを投射した角度の誤差の平均と標準偏差を示す。誤差が最も大きかった被験者Aの水平投射でも、標準偏差が2.71であったことから、

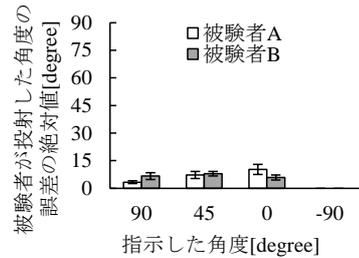


図3 ボールの投射における検証結果

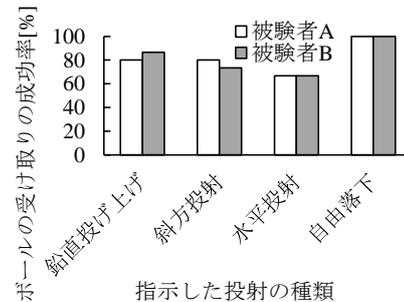


図4 ボールの受け取りにおける検証結果

学習者の意図通りに投射ができることを確認した。

一方、ボールの受け取りにおける検証結果に関して、図4にボールの受け取りにおける成功率を示す。水平投射の受け取りの成功率がほかの投射と比べて低いのは、被験者がボールを投射してから受け取るまでの時間的余裕の少なさが原因であると考えられる。またアンケート結果により、受け取る高さを変えた時の衝撃力の違いを体験することができたことを確認した。このことから本システムで衝撃力の違いを体験できることに対する有効性が期待される。

### 4. まとめと今後の課題

本稿では、タブレット端末と SPIDAR-tablet を用いて、ボールを投射して受け取った時の衝撃力を体験できる投射実験環境を構築した。検証実験により、本システムで作成した投射モデルを用いて、意図した角度で投射ができること、任意の場所でボールを受け取って、条件の違いによる衝撃力の違いを体験できることを確認した。

今後の課題として、タブレット端末の利点と考えられる、視点と操作する点の一致が学習効果にどのように関連するのかを検討することなどが挙げられる。

#### 参考文献

- (1) 文部科学省：“高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編”，実教出版，pp. 35-48 (2009)
- (2) 田村理乃，村山涼，平田幸広，佐藤誠，原田哲也：“タブレット PC のための力覚インタフェース SPIDAR-tablet の張力計算方法の開発とその評価”，ヒューマンインタフェース学会論文誌，Vol.13, No.4, pp.283-290 (2011)
- (3) 東京工業大学精密工学研究所佐藤研究室，<http://sklab-www.pi.titech.ac.jp/blog/introduction/spidar-mouse/> (2013年6月13日)