

数式の抽象概念空間への身体的インタラクションの適用

Embodied Interaction into Abstract Space of Mathematical Equations

高星 賢二^{*1}, 山口 武彦^{*1}, 置塩 正祐^{*2}, 平山 理恵^{*1}, 原田 哲也^{*1}

Kenji TAKABOSHI^{*1}, Takehiko YAMAGUCHI^{*1}, Shosuke OKISHIO^{*2}, Rie HIRAYAMA^{*1}, Tetsuya HARADA^{*1}

^{*1}東京理科大学 基礎工学部

^{*1}Faculty of Industrial Science and Technology, Tokyo University of Science

^{*2}東京理科大学大学院 基礎工学研究科

^{*2}Graduate School of Industrial Science and Technology, Tokyo University of Science

Email: j8111061@ed.tus.ac.jp

あらまし：本研究では数式の抽象概念の操作系に VR を使った身体的インタラクションを導入し、記号としての数式表現を保持したままで数式の抽象概念の理解を促進可能なフレームワークを提案した。具体的には、VR 空間上に Leap Motion を用いて両手 6 自由度操作系を構築し、両手の仮想アバタを介して数式モデルを直接把持・変化させることを可能にした。システムの評価として、操作性および、提案システムを通して獲得された概念の評価を行った。

キーワード：バーチャルリアリティ、学習支援システム、熱力学

1. はじめに

我々はこれまで、熱力学を対象とした VR 学習支援システムを開発してきた。このシステムは、気体の圧力、温度を力覚、温覚として提示可能な VR 提示系、そして、VR 提示系の操作に伴い変化する数式とグラフウィンドウの 3 つの情報提示系から構成される。先行システムでは、VR 提示系を操作することで、その結果としての反応を数式やグラフとして提示していた。しかし、このような VR 提示系からの一方向的なインタラクションでは、数式-グラフ間の対応関係の理解が促進されないという問題があった。そこで、3 つの提示系を相互に関連付けるためのインタラクティブ提示系を提案し、数式-グラフの情報提示系に身体的インタラクションを導入することを考えた。本論文では、VR 提示系-数式間の情報提示系の改善について議論する。具体的には、数式提示系における独立変数の変化に対して身体的インタラクションを導入するためのモデル化を行い、実装した結果を示す。

2. 数学的概念への身体的インタラクション

2.1 身体的インタラクション

身体的インタラクションとは、身体を取り巻く環境との循環的な相互行為を指す⁽¹⁾。身体的インタラクションの主體的な活用は、自身の行為を通して複雑な環境を洞察する視点を見出すことから、「身体性を考慮した教育方法」としての応用が議論されている⁽²⁾。例えば、杉野 (2010) は、数学の抽象概念の理解を促進するために身体性を用いることの効果について考察している。

一般に、数式という抽象的記号を用いて記述される数学的抽象概念は、代数操作などの記号の直接的変換を通しての理解される。しかし、ヒトの認知過程においては、抽象的概念を具体的かつ身近な概念にたとえて (メタファ的投射) 理解していることが

分かっている⁽³⁾。

2.2 概念メタファとイメージスキーマ

メタファとは隠喩のことであり、文章を彩る言語表現上のみのテクニックと認識されることもあるが、我々の日常生活の中にも無意識化で登場している。この潜在化したメタファが我々の言語や思考において重要な部分を形成していることが近年指摘されている⁽⁴⁾。

ここで、概念メタファとは文字通りメタファを通して概念を理解することである。例えば「気分が上昇する、下降する」といった表現は、実空間には存在しない人間の気分を上昇や下降といったまるで物体のように表した概念メタファである。

そして、我々が日々身体を通じて繰り返し経験することを抽象化することで獲得した、普遍的かつ抽象的な認知パターンをイメージスキーマという。例えば「彼はトラブルの中にいる」と表現した時、我々は「トラブル」に箱というイメージスキーマを適用し、その人の状態を「中にいる」と表現している。我々はこのイメージスキーマと想像力の営みによって概念間の関連付けを行うことにより、抽象的な思考や意味を理解することができる⁽²⁾。

2.3 数学的概念への身体的インタラクションの導入

数学への身体性の導入として、数式記号そのものに数式が持つ物理量概念のメタファを投射し、身体的インタラクションを構築することを考える。具体的には、VR 空間上に 3 次元表示された数式に対し、両手 6 自由度の操作系を持つアバタを用いて直接的インタラクションが可能な環境を構築する。

3. 提案手法

3.1 両手 6 自由度操作系の構築

自然な身体的インタラクションを仮想空間内で実現するため、両手 6 自由度操作系を構築した。提案システムの構成を図 1 に示す。操作系は、Leap Motion

を用いて実現する。Leap Motion は、デバイス本体に埋め込まれた赤外線 LED とカメラを用いて人の手や指の位置・姿勢を検出し、24 点のボーン情報として取得することができる。取得されたボーンの位置・姿勢は、リアルタイム（サンプリング・レート：約 120Hz）で PC に送信され、VR 空間上のアバタの位置・姿勢を制御する。

3.2 アプリケーション：数式操作インタフェース

提案システムで用いた数式を式(1)に示す。我々が作成したインタフェースでは、熱力学第一法則を表す式の内、

$$\begin{aligned} \Delta U &= Q + W \\ W &= P \times \Delta V \end{aligned} \quad (1)$$

の 2 つの式を表示している。ここで、 ΔU は気体の内部エネルギー U の変化量、 Q は気体に対する外部からの熱量、 W は気体がされる仕事、 P は気体の圧力、 ΔV は気体の体積 V の変化量を表している。ただし、断熱変化は外部からの熱の出入りがない状態変化なので、 Q は 0 である。

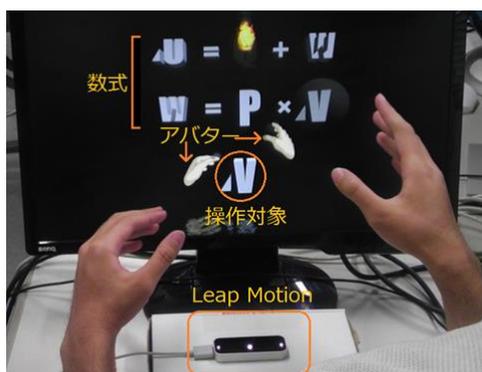


図 1, 提案システム構成：数式操作インタフェース

仮想空間での数式への直感的なインタラクションを実現するにあたり、単純に数式の変数を大小させるのではなく、前述した概念メタファを用いて、変数自体が持つ物理量の変化に伴ったインタラクションを設計した。例えば、圧力のモデルには圧力をかけると、その部分が沈み他の部分が膨らむという風船のイメージスキーマを適用した（図 1）。

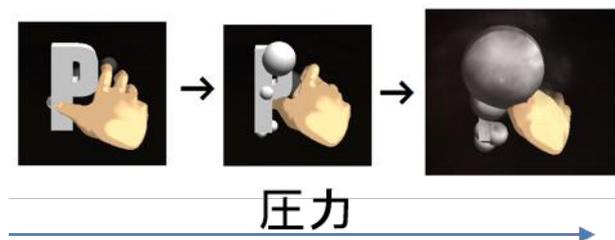


図 2, 圧力 P のモデルの視覚的变化

4. 数式操作インタフェースの操作性の評価

4.1 実験

開発した数式操作インタフェースの操作性について簡易的な評価を行った。評価は成人男性 10 名を対象に、装置とインタフェースの説明を行った後、Leap Motion による操作に慣れてもらうために 1 分間のトレーニングタスクを行った。実験タスクとして、実際に P と ΔV を自由に操作してもらった（フリータスク）。実験タスク後、適用した身体的インタラクションを通して、 P と ΔV の数式記号にメタファマッピングされた概念を正しく理解できたかどうかを評価した。

4.2 結果

評価の結果、圧力に対して握るというインタラクションでパラメータが上昇するのは、イメージと合っていてわかりやすく、視覚的かつ触覚的に印象に残ったという意見があった。また、紙の上での数式の代数的操作よりも、直感的にそのパラメータの持っている物理的概念を理解することができたという意見があった。これらのことから、主観的評価において提案システムの有効性を示すことができた。

5. まとめと今後の展望

本研究では、数式の抽象概念に身体的インタラクションを導入するためのモデル化とその実装例を示した。また、ユーザ評価によって主観的観点から有効性を示した。

今後の展望として、今回の評価の結果を踏まえた上でインタフェースを改良する。その後、熱力学の範囲における他の 3 つの状態変化(等温、定圧、定積)についても対応させる。

参考文献

- (1) 上平崇仁：“ヒューマン・インターフェイスにおける認知的基盤”，専修ネットワーク&インフォメーション，8 巻，pp.75-84，2005
- (2) 中上輝，竹内勇剛：“実空間内でのアバターを介した身体的インタラクションにおける自己同一性”，HAI シンポジウム 2008，1E-1，2008
- (3) 有馬純平：“身体的認知理論に基づく数学的概念の教授・学習過程に関する研究”，全国数学教育学会誌，数学教育学研究，第 8 巻，pp129-137，2002