

## Error-based Simulation における仮説駆動型誤り探索支援の提案

## A Hypothesis-Driven Error Exploration Support Method in Error-based Simulation

Jean Paul Pierret Robles<sup>\*1</sup>, 相川 野々香<sup>\*2</sup>, 古池 謙人<sup>\*3,4</sup>, 東本 崇仁<sup>\*4</sup>  
 Jean Paul PIERRET ROBLES<sup>\*1</sup>, Nonoka AIKAWA<sup>\*2</sup>, Kento KOIKE<sup>\*3,4</sup>, Takahito TOMOTO<sup>\*4</sup>  
<sup>\*1</sup> 千葉工業大学大学院情報科学研究科

<sup>\*1</sup>Graduate School of Information Science, Chiba Institute of Technology

<sup>\*2</sup> 明海大学

<sup>\*2</sup>Meikai University

<sup>\*3</sup> 東京理科大学

<sup>\*3</sup>Tokyo University of Science

<sup>\*4</sup> 千葉工業大学

<sup>\*4</sup>Chiba Institute of Technology

Email: jp.pierret09@gmail.com

**あらまし:** 学習者が構成的に学ぶために内省が重要である。誤りは自らの理解状態を内省する契機となる。そこで、学習者の誤答を正しいと仮定したときの現象を可視化し、学習者に誤りを気づかせる誤りの可視化を通して学習者の理解状態を内省する機会を与えるものとして、Error-based Simulation(EBS)がある。誤りを学習者が主体的に探索するために、学習者自身で差分観察のための探索空間を構成する必要がある。本研究では、学習者に EBS を用いて誤った場合に探索空間をモデル化させる手法を提案する。

**キーワード:** Error-based Simulation, 誤り探索活動, 仮説検証, 誤りの可視化, 適応的支援

## 1. はじめに

学習者が主体的・構成的に学ぶことは重要であり、特に誤りは自らの理解状態を内省する契機となる。Error-based Simulation(EBS)<sup>(1)</sup>は学習者の誤りを可視化し、理解状態を内省する機会を与える。図1はEBSの例である。学習者が地面の上に静止する物体に対して、重力のみしか理解していないという誤答に基づいて、システムは「地面に沈む物体」を可視化することで学習者に理解状態の振り返りを促す。

しかし、EBSにより可視化される誤りについて、学習者が十分に誤りを認識できないケース<sup>(2)</sup>や誤りの可視化が困難なケースも存在する。植野ら<sup>(3)</sup>やPierret Roblesら<sup>(4)</sup>は学習者に観測器を用いて探索活動を行わせることで、可視化が困難な誤りについて能動的に観察させるフレームワークを提案している。

このような誤り探索を主体的に行うためには、どのパラメータをどのように観察していくかという探索空間を学習者自身が構成することが必要となる。探索空間がない状態での探索は、無作為な探索となり、誤り探索を用いた学習の実現が行えず、先行研究では無理解の探索を問題視している。

そこで、本研究では、仮説検証マップを用いた誤り探索空間のモデル化を学習者自身に行わせる学習手法を提案する。学習者は仮説検証マップを構築した上で探索することで、自らの誤り探索活動が自身の答えや測定される値とどのように関係しているかを内省できる。さらに、マップとして表現させることで、学習支援システムが学習者の探索空間の誤りに対して適応的フィードバックを実現する。

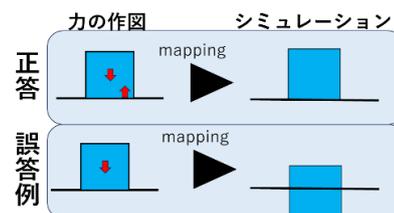


図1 EBS の具体例

## 2. 提案手法

本稿で提案する仮説検証マップについて述べる。仮説検証マップとは、学習者が誤りを探索するときの探索空間を可視化するためのマップである。探索空間は、「可視化された運動が正しくないという事は、属性Aが間違っている可能性があるため測定しよう」や「測定値がパターンAなら次は測定値 $\alpha$ を調べる必要がある」のように探索すべき軸やその軸での探索の仕方を規定するものである。

図1では、正答と誤答のシミュレーションの差として「物体が沈む」という現象が観察される。正しい場合は物体が静止するため、速度や加速度に差があるはずであり、従って釣り合いに差があるはずである。このように、現象や測定結果に基づいて次はどの要素（位置・速度など）を探索すべきかを考えていくことを仮説検証と位置付ける。学習者が「現象や測定結果に基づいて次に何を探索すべきか」を記述できるように、マップではある現象や測定値に対して、次に探索すべき測定値を関連付ける形で描画させる。これにより、ある状態（現象の観察

や属性値の測定)において、探索すべき空間を学習者に構築させることを狙う。

本研究では、学習者に対してEBSを用いた学習を行わせ、誤った場合に「探索空間」を自ら設計させ、探索させることを目的とする。さらに、適切な探索空間を構築できない場合の支援機能の導入も目指す。

具体的な方法として、学習者が誤った現象を観察した後に、観察結果に基づいて仮説検証マップを構築する。仮説検証マップでは、探索を検討する軸(位置、速度、加速度、全体合力、部分合力、作用点など)を部品として学習者に提示する。学習者は、観察結果と与えられた部品に基づいて「どの要素を、どの順で探索すれば誤りを発見できるか」という戦略を、自ら仮説検証マップとして構築する。これにより、探索空間を外的表象として明示化することができ、思考の可視化と診断が可能となる。

さらに、システムは学習者の仮説検証マップを知ることができるため、正解との差分をもとにフィードバックが行え、学習者が自らの思考過程を振り返る機会を持つことができる。これは再構成型学習やキットビルドにおける内省支援<sup>④</sup>にも通じる枠組みであり、本手法は誤り発見のみならず、仮説検証のサイクルそのものを育成することを目指している。

### 3. 提案システム

学習の流れを図2に示す。本システムでは、学習者はまず与えられた問題に対して自身の解答を作成する(図2(a))。次に、正答に基づくシミュレーションと、自身の解答に基づく誤ったシミュレーションを比較し、現象の差分を確認する(図2(b))。ここまでは従来の力学EBSと同様の流れである。

本システムの特徴は、ここから学習者自身に誤りの探索戦略を設計させ、その設計に基づいて仮説検証を行わせる点にある(図2(c))。学習者はシミュレーション結果から、正しい現象とどこに差があるかを考え、位置や速度、加速度などをどの順で探索するかを仮説として構築する。正しい現象と差がないが正解ではない場合は、現象に差を与えない属性の探索を仮説とする。

図2(c)の仮説マップについて述べる。図2の例では、学習者の解答は上の物体が下の物体を押していないため誤りである。しかし、力は釣り合っているため現象としての差は発生しない。このとき、学習者は上の物体または下の物体のどちらか、あるいは両方が釣り合っているため全体の合力は正しいと仮説を立てる。さらに、釣り合っているが不正解という事は、上向きの合力と下向きの合力の両方が正しいが作用点異なるかもしれないという仮説や、上向きの合力と下向きの合力が両方誤っているが結果として釣り合っているかもしれないという仮説をORの形で立てる。このような仮説を立てた学習者は「上下の合力について正しいか測定してみよう」と探索を行い、結果に基づいて探索空間を洗練しな

がら誤りを発見する活動を続ける。

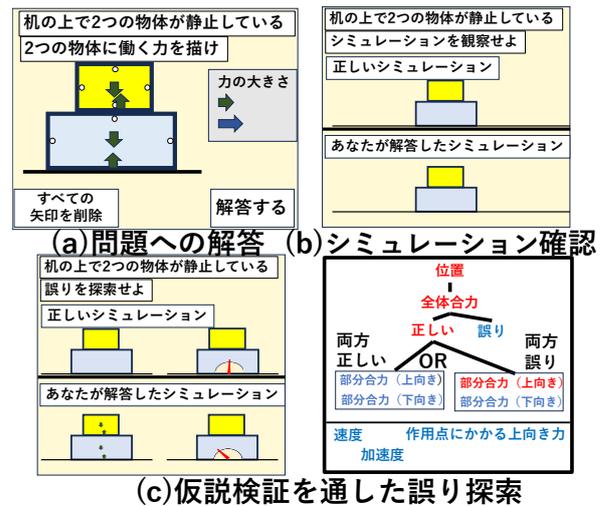


図2 システム画面

### 4. おわりに

自らの理解状態を内省する機会を与える Error-based Simulation(EBS)がある。しかし、誤りを主体的に探索するために探索空間を学習者自身で構築する必要がある。そこで本研究では、誤り探索空間のモデル化を仮説検証マップとして表現する手法を提案した。仮説検証マップを通して、学習者が探索の方針を考へることが期待される。

今後は、フィードバック内容の設計やシステム開発、効果検証が課題である。また、仮説検証マップから修正の妥当性の評価が期待される。

### 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP25K21361, JP25K21362 の助成による。

### 参考文献

- (1) Hirashima, T., Horiguchi, T., Kashiara, A. et al.: "Error-based simulation for error-visualization and its management", International Journal of Artificial Intelligence in Education, Vol. 9, No. 1-2, pp. 17-31 (1998)
- (2) 堀口知也, 平嶋宗: "誤りへの気づきを支援するシミュレーション環境-表現手法と視覚効果を考慮した Error-Based Simulation の制御-", 教育システム情報学会誌, Vol. 18, No. 3-4, pp. 364-376 (2001)
- (3) Ueno, U., Tomoto, T., Horiguchi, T. et al.: "A Support System for Learning Physics in Which Students Identify Errors Using Measurements Displayed by a Measurement Tool", Workshop proceedings of the International Conference on Computers in Education ICCE 2019, pp. 426-434 (2019)
- (4) Jean Paul Pierret Robles, 相川野々香, 古池謙人, 東本崇仁: "学習者の誤答に基づく誤りの可視化と誤り探索活動の支援環境の設計・開発", 第103回先進的学習科学と工学研究会(ALST), pp.69-76 (2025)
- (5) Hirashima, T.: "Reconstructional concept map: automatic Assessment and reciprocal reconstruction", International Journal Of Innovation, Vol. 5, No. 5, pp.669-682 (2019)