

# SorTale: 小型群ロボットによる物語を通した アルゴリズム学習支援手法の提案

板垣 智也<sup>1,a)</sup> 塚田 浩二<sup>1</sup>

## 概要:

これまで、TUI とストーリーテリングを用いた様々な初学者向けの学習支援システムが提案されてきた。本研究では、小型群ロボットを用いた人形遊び的な物語を通して、初歩的なアルゴリズム学習を支援するシステム「SorTale」を提案する。小型ロボット上にオブジェクト（フィギュア）を装着し、ロボットの動きやユーザの操作で構成される物語を体験する過程で、自然とソートアルゴリズムに興味を持てるよう配慮する。本稿では、コンセプト／システム構成と物語例を紹介する。

## 1. はじめに

近年、TUI (Tangible User Interface) [1][2] や自走式小型ロボットを [3][4][5] を用いた、様々な初学者向けの学習支援システムが提案されている。TUI は、積み木等を手にとって遊ぶように情報を操作できる点や、形状や物理的制約によって操作を自然と限定できる点等、初学者の学習に適した特徴を持つ。小型ロボットは軽量でトルクが弱く、ユーザが容易に動かせる点や、自走可能であるため入力と出力を同一のデバイスで行えて扱いやすい等の特徴がある。

本研究では、学習支援の手法として、小型ロボットを用いて童話や人形劇を行うストーリーテリングに着目する。先行事例として、Hermits[3] では、小型ロボットがフィギュアを自ら装着することで童話のストーリーを表現している。PuppetLine[6] では、LLM によって生成された物語を小型ロボットが自動的に再現する仕組みが提案されている。このようなストーリーテリングを学習支援に取り入れることで、子供等の初学者でも状況の理解が容易になり、楽しみながら学べるため学習意欲を持ちやすくなる可能性があると考えた。

本研究では、小型群ロボットを用いて人形遊びのように物語を体験しながら、初歩的なアルゴリズムの学習を支援するシステム「SorTale」を提案する (図 1)。

アルゴリズム学習は情報教育において重要な分野であり、高校教育では体系的に学ぶことが学習指導要領に示されている。今後、小学生段階においても必修化される可能性があることから、低年齢層を対象とした学習支援シス

テムの需要が高まると考える。

提案システムでは、小型群ロボット上に、高さ等の外観 (パラメータ) が異なるオブジェクト (フィギュア) を装着し、ロボットの動きやユーザの操作で構成される物語を表現する。物語の過程にソートアルゴリズムによる移動制御を組み込むことで、ユーザが自然とアルゴリズムに興味を持てるように配慮する。さらに、フィギュアを付け替えてパラメータを変更したり、ロボットを動かすことで物理的に介入できるようにすることで、ユーザの積極的な参加や試行錯誤を支援する。



図 1 SorTale の利用イメージ

## 2. 関連研究

### 2.1 TUI を用いた初学者向け学習支援

Tangents[4] は、タンジブルなフィギュアを用いて、AI とともにストーリーを作り上げることができるシステムで

<sup>1</sup> 公立はこだて未来大学

<sup>a)</sup> g2125003@fun.ac.jp

ある。ユーザはフィギュアを操作しながら物語の展開を決定し、AIがその内容を生成する。実験結果より、語彙獲得や早期読解能力の向上に効果がある可能性が示されている。

Sketched Reality[7]はARスケッチツールで描かれた仮想スケッチ(線、壁、振り子、バネなど)と実世界の小型ロボットのtoioが、同期して動作するシステムである。仮想世界と物理世界の双方向のインタラクションを通して、タンジブルな物理教育や機構学習などの可能性を示した。

Tangible Negotiation[5]は、小型群ロボットと色付きの図形オブジェクトを組み合わせたTUIにより、芸術分野における創造力が必要なプロセスを支援するシステムである。物理的なオブジェクトの配置をAIへの入力として画像を生成することで、ユーザーとAIとの間での「交渉」のようなインタラクションを実現している。

本研究では、アルゴリズム学習に着目し、小型ロボットとフィギュアを組み合わせて物語を体験させながら、アルゴリズム学習を支援するを組み合わせて物語を体験させながら、アルゴリズム学習を支援するシステムを開発する。

## 2.2 アルゴリズムの学習支援

コンピュータを使わずにアルゴリズムを可視化する例として、Computer Science Unplugged(CS アンプラグド)[1]がある。ソートアルゴリズムや探索アルゴリズム、オートマトンを、数字の書かれたカードやピンポン玉などを用いてゲームをする感覚で学ぶ教育法である。多言語に翻訳されており、世界中の教育現場で導入されている。

須藤らの研究[2]は、音程の異なる木琴を用いて、ソートアルゴリズムの処理手順を体験的に学習する知育玩具を提案している。音によるフィードバックを通じて、並べ替えの過程を理解しやすくする点に特徴がある。

人型ピクソートグラム[8]は、ピクトグラムとシーソーを用いたソートアルゴリズム学習システムである。配列要素である数値をピクトグラムとして表現し、要素間の比較をシーソーによる重さ比として可視化している。身近な体験知と結び付けて表現することで、ソートアルゴリズムの比較操作等を理解しやすくしている。

SorToio[9]は小型群ロボットを使ったアルゴリズム学習支援システムである。小型ロボットに数字が書かれたラベルを載せ、アルゴリズムの手順に沿って動かすことで、現実世界でアルゴリズムを可視化している。また、ユーザが小型ロボットに触れることで、動作制御や配列の変更、クイズ機能による試行錯誤等を行える。

本研究では、ストーリーテリングを用いることで、アルゴリズム学習へのきっかけを作る点や小型ロボットを用いることで、配列要素に直接触れて直感的に操作できる点等に特徴がある。

## 3. 提案

### 3.1 コンセプト

本研究では、小型ロボットとフィギュアを用い、人形遊びのような形でソートアルゴリズムに触れられる学習支援システムを提案する。本システムは、ソートアルゴリズムを数式やプログラムとして学ぶのではなく、人形遊びのような物語の中で「体験」させることを目的とする。

ロボットの動きやユーザの操作で物語を構成し、その過程にソートアルゴリズムを組み込むことで、ユーザが自然とアルゴリズムに興味を持てるように配慮する。また、フィギュアの付け替えによるパラメータ変更や、ロボットを動かすといった物理的な介入を可能にすることで、ユーザの積極的な参加や試行錯誤を促すこれにより、ユーザはアルゴリズムを一方的に見るだけでなく、自ら関わりながらアルゴリズムの流れを体験できる

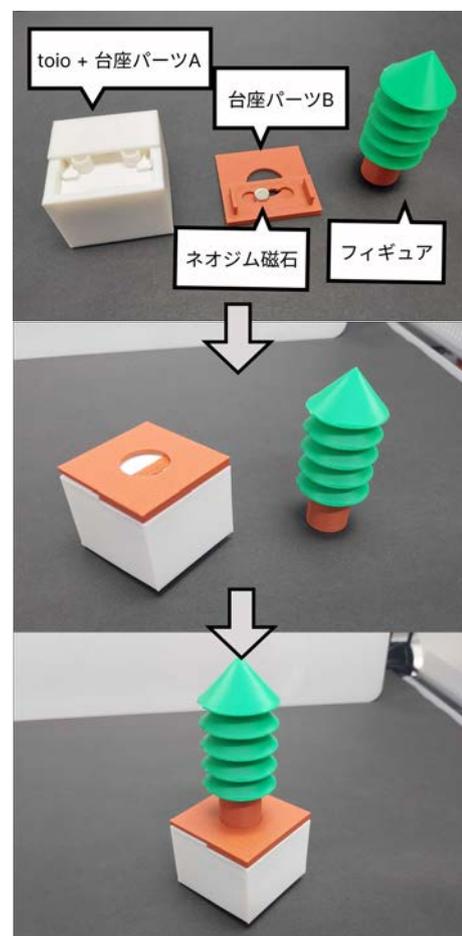


図2 フィギュアをtoioに固定する様子

### 3.2 システム構成

本システムは、自走型小型ロボットのtoio、toio開発用プレイマット、フィギュア、制御用PCを中心に構成される。toioは専用のプレイマットを用いることで絶対位置によ

る制御が可能となる。また、ボタンや6軸センサなどによって、ロボットの状態やユーザの操作を検出することが可能である。

本システムでのアルゴリズムの可視化や表現は、筆者が提案した SorToio[9] をベースに拡張している。

また、3Dプリンタを用いて、フィギュア本体およびフィギュアを toio に固定するための台座パーツを作成する。フィギュアの種類を動的に認識するため、直径6.0mm、高さ3.0mmのネオジム磁石を toio の磁気センサ上部に固定できる構造とした(図2)。toio の磁気センサは前方上部に搭載されており、本実装では、磁気センサの左右4.5mm、9.0mm離れた位置(計4か所)に固定できるようにした。またS・N極が判定できるため、8種類のIDが区別可能である。



図3 異なるIDとして認識できる磁石の配置

#### 4. 実装例：木と太陽

本システムの実装例として、「木と太陽」を題材として、「バブルソート」の学習を支援する物語を紹介する。木、太陽はフィギュアで表現されており、異なる磁石配置を持たせることで、動的にIDを認識できる。木は高さがすべて異なっており、これをパラメータとしてソートを行う。フィギュアの種類とIDと磁石の位置はプログラムにて紐づけておく。

ユーザの事前準備として、四つの木と一つの太陽を小型ロボットに載せ、プレイマット上に一列に並べる。本論文ではHost PC(OS: Windows 10 Home, CPU: Corei5-1135G7 2.40GHz, メモリ: 8GB)上のPythonプログラムから、各 toio をBLEを介して制御する。

##### 4.1 ストーリー

「ある森では、木たちが一列に並んでいました。その森に、太陽が昇り、光が差し始め、木たちは太陽に向かって歩いていきます。しかし、背の高い木の後ろでは、低い木はよく光が当たりません。そこで背の高い木は、光が見られるように、場所を交換してあげます。これを繰り返していくと、みんなが光を浴びることができました。」

##### 4.2 利用の流れとインタラクション

まず、ユーザの利用の流れを述べる。ユーザは提示されたストーリーを読み、内容を理解する。次に、太陽のフィギュアを載せた toio を、木のフィギュアを載せたロボット

群の右端または左端に設置すると、ソートが開始される。その際、太陽に引き付けられて背の高い木が背の低い木を追い越す動きをして、必ず交換表現が発生する並びとなるよう制御する。

太陽に最も近い位置にある木を配列の0番目、最も遠い木を3番目とし、木の高さを比較しながらバブルソートを行う。バブルソートは、1回のループごとに1つの要素の位置を確定させるアルゴリズムである。本システムでは、高い木が日光を後ろの木に譲るという物語表現に基づき、背の高い木から順に位置が確定していく。ソートが開始されると、まず0番目と1番目の木が互いに向き合い、比較表現を行う(図4上)。0番目の木の方が背が高い場合、両者は位置を入れ替える交換表現(図4下)を行う。同様に、1番目と2番目、2番目と3番目の比較と交換を順に行い、最終的に3番目の位置にある木の位置が確定する。位置が確定した木は、LEDランプを緑色に点滅させ、日光を浴びて光合成を行っている様子を表現する。この処理を繰り返すことでソートアルゴリズムが完了し、すべての木のLEDが点滅している状態となる。ソート完了後、ユーザは木のフィギュアを付け替えてパラメータを変更したり、太陽の位置を反対側の端に移動させて(図5)、再度アルゴリズムの動きを観察することができる。ユーザは、これらの動きを観察することで、バブルソートにおける要素の比較や入れ替えの流れを理解し、アルゴリズムの概念や処理順に触れることができる。

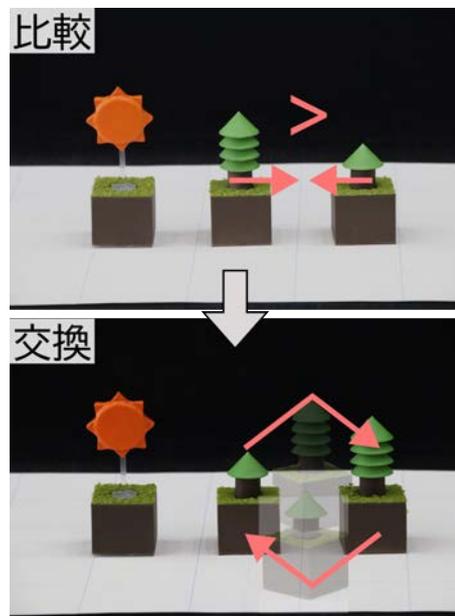


図4 比較表現と交換表現

また、アルゴリズムの可視化中のランダムなタイミングで、交換表現を行い忘れる木が現れることがある。その場合、アルゴリズムの可視化は一時停止され、ポイント上の木は早く入れ替わりたいような、震えた動きを取り始める。

ユーザは交換表現を行うべき木を押し出すことで、比較表現を促すことができる。どの木が比較を忘れているのかを推測することで、ソートアルゴリズムへの理解を促進する。

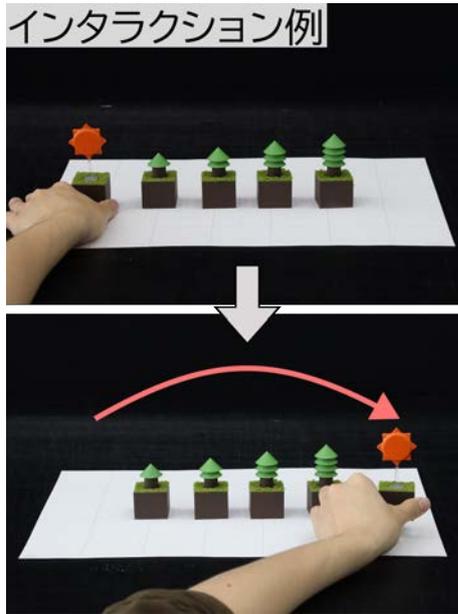


図 5 ソートを逆順で行うときの操作例

## 5. おわりに

本研究では、小型群ロボットを用いた人形遊び的な物語を通じて、初歩的なアルゴリズム学習を支援するシステム「SorTale」を提案した。本システムは、小型ロボット上に装着されたオブジェクト（フィギュア）の動きやユーザによる操作を物語の構成に組み込むことで、ユーザがソートアルゴリズムに対して自然に興味を抱くよう配慮を行った。また、フィギュアの付け替えによるパラメータ変更や、ロボットへの物理的な介入を可能にすることで、ユーザの積極的な参加と試行錯誤の促進を図った。今後は、本システムを用いた学習効果の定量的な評価を進めるとともに、フィギュアの付け替え機能のさらなる活用や、他のアルゴリズムおよびストーリーへの拡張に取り組みたい。

## 参考文献

- [1] Tim Bell, Jason Alexander, Isaac Freeman, and Mick Grimley. Computer science unplugged: school students doing real computing without computers. In *New Zealand Journal of Applied Computing and Information Technology*, Vol. 13, pp. 20–29, 2009.
- [2] 須藤翼, 原田泰, 安井重哉. ソート学習を支援する知育玩具のプロトタイピング. 日本デザイン学会研究発表大会概要集, Vol. 68, p. 80, 2021.
- [3] Ken Nakagaki, Joanne Leong, Jordan L. Tappa, João Wilbert, and Hiroshi Ishii. Hermits: Dynamically reconfiguring the interactivity of self-propelled tuis with mechanical shell add-ons. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '20, p. 882–896, New York, NY, USA, 2020.

- Association for Computing Machinery.
- [4] Pedro Ribeiro, Mirko Musumeci, Heiko Schimmelpennig, Kyra Kannen, and Christian Ressel. *Tangents: Designing a System that Fosters Storytelling and Reading Through the Natural Use of Tangible Playthings*, p. 1124–1128. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2025.
- [5] Yue Zhu, Zhiyuan Zhou, Jinlin Miao, Haipeng Mi, and Yijie Guo. Tangiblenegotiation: Probing design opportunities for integration of generative ai and swarm robotics for imagination cultivation in child art education. In *Companion of the 2024 on ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, UbiComp '24, p. 66–70, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.
- [6] Ruhan Wang, Shuowen Li, Peiran Zhang, Danqi Huang, Yijie Guo, and Haipeng Mi. Puppetline: An interactive system for embodied storytelling with llm-driven swarm robots. In *Adjunct Proceedings of the 38th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST Adjunct '25, New York, NY, USA, 2025. Association for Computing Machinery.
- [7] Hiroki Kaimoto, Kyzyl Monteiro, Mehrad Faridan, Jia-tong Li, Samin Farajian, Yasuaki Kakehi, Ken Nakagaki, and Ryo Suzuki. Sketched reality: Sketching bi-directional interactions between virtual and physical worlds with ar and actuated tangible ui. In *Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '22, New York, NY, USA, 2022. Association for Computing Machinery.
- [8] 渡辺大智, 御家雄一, 伊藤一成. 人型ピクトグラムを用いたソートアルゴリズムを学ぶアプリケーション「人型ピクトグラム」の実装. 2022年度 情報処理学会関西支部大会 講演論文集, Vol. 2022, p. 4p, 09 2022.
- [9] Tomoya Itagaki and Koji Tsukada. Sortoio: Learning support system for algorithm using a small swarm robot. In *Adjunct Proceedings of the 38th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST Adjunct '25, New York, NY, USA, 2025. Association for Computing Machinery.