

## ユーザの計算論的思考力をゲームで数値化する分析手法

### An analytical method to quantify users' computational thinking abilities through games

森本 光 島川 博光  
Morimoto Hikaru, Shimakawa Hiromitsu

#### 1. はじめに

現代社会において、情報活用力や論理的思考力の育成がますます重要となっている。特に初等・中等教育の現場や高等教育、さらには社会人教育においても、「計算論的思考力 (Computational Thinking, 以下 CT)」の涵養が学習者に求められている。CT は問題を論理的に分解し、抽象化しながら解決策を構築するための認知的スキルであり、プログラミング教育やデータサイエンスの学習において重要視されている。しかし、CT は抽象的な概念であるため、その力を適切に評価する手段が十分に整備されておらず、学習成果の可視化や個別支援の設計が困難であるという課題が存在する。

一方で、近年ではゲームを用いた教育的アプローチ、いわゆる「ゲーミフィケーション」が注目されており、楽しさと課題解決の要素を組み合わせることで、学習者のモチベーションや思考力を自然に引き出す手法が多く、教育研究で検討されている。しかし、従来の研究では、ゲームを通じた学習プロセスを単なる成績や達成度で測るものが多く、思考の過程や行動パターンの変化に着目して定量的に捉える手法は未だ少ない。

そこで本研究では、色反転パズルというゲームを用い、ユーザが問題を解いていく中で現れる行動パターンや再試行の傾向、身体の動きといった時系列的なデータを収集・分析することで、CT のプロセスを可視化し数値化する手法を提案する。

こうしたデータに対して、操作の回数やパターンの出現、再現性、思考の間合いなど複数の指標を抽出することで、被験者ごとの CT を数値化し、比較可能な指標として表現する。提案手法は、CT という抽象的な認知能力を、ゲームを通じて具体的に捉える新たなアプローチであり、将来的には教育現場や適性診断への応用も期待できる。

本研究の意義は、ゲームという自然な環境の中で収集された多角的なデータから、CT の特徴を個別に抽出・評価できる点にある。これにより、従来は把握しづらかった学習者の思考特性を明らかにし、将来的には個別最適化された教育支援の実現に資することが期待される。

#### 2. 計算論的思考

計算論的思考能力 (Computational Thinking) は Wing[3] によって提唱された認知能力であり、特にシステムの設計や構築の過程において重要な役割を果たす。問題解決に際しては、対象者が問題の複雑性や難易度を評価し、最適な解決手段を探索することが求められる。

† 立命館大学 情報理工学部

College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

加えて、規模の大きな問題に直面した際には、問題を構成要素へと分割しそれらの部分問題間の関係性を明確化することによって、元の問題を抽象的に捉えおす手続きが求められる。Wing[3]によれば、計算論的思考能力は一般に、

- 分解 (Decomposition)
- パターン認識 (Pattern Recognition)
- 抽象化 (Abstraction)
- アルゴリズム (Algorithms)

の 4 つの要素から構成されるとされており、これらの要素が統合されることによって、計算論的思考の全体像が形成される。

これら 4 要素は、いずれもプログラミング実践において不可欠な能力であることから、計算論的思考能力はプログラミング教育を通じて効果的に育成可能であると考えられる。計算論的思考能力はシステム開発に密接に関係する能力であるが、その基本的構成要素を活用して問題解決の見通しを立てる能力は、情報技術分野に限らず、広く一般の人々にとっても必要不可欠な能力である。

#### 3. 色反転パズルによる計算論的思考の推定

本研究では、色反転パズルゲームを用いて、ユーザの計算論的思考力を数値的に分析・評価する手法を提案する。本研究の手法概要図を図 1 に示す。図 2 に色反転パズルを示す。

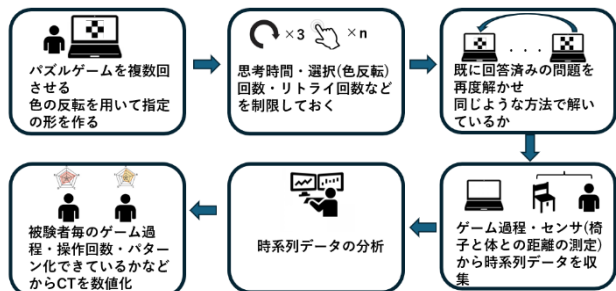


図 1 手法概要図

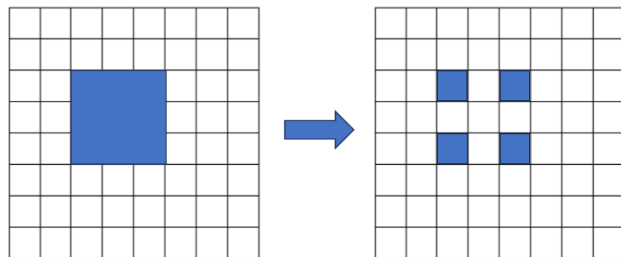


図 2 色反転パズル

このパズルでは、ユーザは  $8 \times 8$  のマスのうち、1 つのマスをクリックすると、その上下左右のマスの色が反転する。図 2 の例では、4 行 4 列目のマスを選択した場合を示す。

ユーザは目標となる盤面の形を提示され、それに一致するように盤面の色を反転させるタスクに取り組む。ユーザは色を反転させたい十字の中心のマスを手で直接クリックする。ユーザが選択したマスの一覧が記録される。

ユーザがすべての十字の中心マスを入力し終えた後、一括で色反転が適用される。この反転は、クリックしたマスとその上下左右に隣接するマスの色を同時に変化させるものであるため、ユーザには複数のマスの状態を同時に考慮した計画的な操作が求められる。

同一の問題についてユーザに複数回解答させ、解答に要した時間の増減を調査することで、本手法は、ユーザのアルゴリズム設計力を判定する。時間短縮はユーザが課題の構造を理解し、効率的な解法を獲得していることの指標となる。この過程は計算論的思考力の深化を示すものであると考えられる。

## 4. 分析手法

### 4.1 分析目的

本研究では、ユーザの操作ログおよび背中と椅子に装着したセンサから取得したデータを基に、選択したマスの数や操作の順序、選択間の時間間隔、盤面の状態変化のパターン、姿勢の変化、さらにゴールまでの手数と最適解との差異といった複数の特徴量を抽出する。

本研究の最終的な目的は、こうして分類・評価した特徴量の重要度を各 CT 要素ごとに統合することで、ユーザの計算論的思考を多面的に数値化することである。これにより、ユーザが問題解決においてどの要素の計算論的思考をどの程度発揮しているかを定量的に評価することを目指している。

### 4.2 計算論的思考力の 4 つの要素への分類

色反転パズルにおけるユーザの操作ログおよび生体センサ情報から抽出した複数の特徴量を計算論的思考 (CT) の四要素である「分解」「パターン認識」「抽象化」「アルゴリズム設計」に対応させ、分析を行う。

まず、「分解」に該当する特徴量としては、反転に必要なマスの座標や正解と比較した際の不正解数が挙げられる。これらはユーザが問題を部分的に把握し、どの箇所に着目して操作を進めているかを示す指標として位置付けられる。また、背中や椅子に装着したセンサによる姿勢の変化も思考段階の切り替えや区切りを反映する身体的な特徴量として関連付けている。

次に「パターン認識」に関連する特徴量は、同一の問題が繰り返し提示された際の解答時間の変化である。時間の短縮はユーザがパターンを認識し、効率的な解法を習得していることを示す。また、盤面の状態変化パターンの解析が可能であれば、ユーザがどのような反転操作の繰り返しを用いているかを評価し、パターン認識力の補完的な指標とできる。

「抽象化」に該当する特徴量としては、操作にかかった時間や手数と最適解との差異が挙げられる。これらはユーザが問題の本質的な部分を捉え、無駄のない操作を心がけている

かどうかを反映する。冗長な操作が少ないことは、抽象化の能力が高いことを示す。

最後に「アルゴリズム設計」に関しては、同一問題を複数回解答する際の時間短縮や選択マスの順序・間隔といった操作の計画性に関する特徴量を指標とする。これらはユーザが効率的な解決手順を構築し、解法の最適化を図っていることを示す。手数と最適解との差もアルゴリズム設計力を評価する重要な要素となる。

## 5. おわりに

本研究は、色反転パズルの操作ログと身体的な反応データを用いて、ユーザの計算論的思考力を定量的に可視化する。これにより、従来は主観的・定性的にしか評価できなかった思考力を、客観的なデータに基づいて評価可能とする。

提案手法は、教育現場における思考力評価やトレーニングへの応用が期待される。特に、小中高等学校や高等教育機関において、情報教育や問題解決型学習 (PBL) といった文脈で、学習者の思考過程を評価・支援するツールとして活用可能である。また、企業研修など社会人教育の場においても、参加者の課題解決能力を分析し、個別にフィードバックを提供する仕組みとして応用が考えられる。

今後、実験によりデータを収集し、分析のために最適な分析手法を検討する。実践現場で活用できる分析ツールや導入ガイドラインの作成を通じて、教育や人材育成に貢献することを目指す。

## 参考文献

- [1]. Lorenzo Gerini, Giorgio Delzanno, Giovanna Guerrini, Fabio Solari, and Manuela Chessa. "Gamified Virtual Reality for Computational Thinking", *Gamify 2023*, pp. 13-21, 2023
- [2]. Aaron Bauer, Eric Butler, and Zoren Popovic. "Dragon architect: open design problems for guided learning in a creative computational thinking sandbox game", *FDG '17*, pp. 1-6, 2017
- [3]. Jeannette M. Wing "Computational thinking", *Communications of the ACM*, pp. 33-35, 2006
- [4]. JF Grafsgaard, JB Wiggins, KE Boyer, EN Wiebe, and JC Lester. "Predicting Learning and Affect from Multimodal Data Streams in Task-Oriented Tutorial Dialogue", *EDM*, pp. 122-129, 2014
- [5]. Benjamin Maraza Quispe, Olga Melina Alejandro Oviedo, Walter Choquehuanca Quispe, Lita Marianela Quispe Flores, Nicolas Esleyder Cayturo Silva, and Simón Angel Choquehuayta Palomino, "Towards the development of computational thinking in students through games", *ICETC*, pp. 12-18, 2023