

# パズル操作による学習者の教育分野における思考過程の 関係性分析と学習支援

渡邊 雄之介<sup>1,a)</sup> 中村 陽太<sup>1</sup> 山口 琢<sup>1</sup> 大場 みち子<sup>2</sup>

**概要：**従来の教育や研究は、授業中のワークシートやテストの解答などアウトプットに基づいた指導や学習支援、評価が主流である。しかし、これでは学習者がどのようなプロセスを経て解答に至ったのかなどの思考過程の把握が困難である。教育において、学習者の「考える力」を育てるには、思考過程の分析に基づき、指導や学習支援をしたほうが、学習者の本質的に抱えている問題を解決することができるため、より効果的であると考えられる。本研究は、学習者の思考過程に基づく適切な指導や学習支援に繋げることを目的とし、異なる分野の思考過程の関係性を分析する。そこで、筆者らは、先行研究で開発されたパズル (Web アプリ) の操作から異なる教育分野における学習者の思考過程 (プログラミング思考過程・論理的思考過程) を測定することに試みた。測定した時系列のデータに対して、k-means 法の DTW (Dynamic Time Warping) を用いることで学習者の思考過程をクラスタリングした。クラスタリング結果を基に分析した思考過程の関係性と分析結果に基づく学習支援システムの提案について報告する。

**キーワード：**思考過程の関係性, 時系列データ, DTW (Dynamic Time Warping), 学習支援システムの開発

## Relationship Analysis and Learning Support of Thinking Processes in the Education Field of Learners by Puzzle Operation

WATANABE YUNOSUKE<sup>1,a)</sup> NAKAMURA YOTA<sup>1</sup> YAMAGUCHI TAKU<sup>1</sup> OBA MICHIKO<sup>2</sup>

### 1. はじめに

従来の教育や研究では、授業中に用いるワークシートやテストの解答結果などアウトプットに基づいた指導や学習支援・評価が主流である [1]。しかし、これでは学習者がワークシートの作成やテストの解答に至るまでの試行錯誤や迷いなどの思考過程の把握が困難である。学習者は問題を解答する際に、様々な思考過程を経て解答に至る。プログラミング問題を例に挙げると、上から順に段階的にソースコードを考える思考の過程や、関数の構造や if 文などの構文に着目してから考える思考の過程などがある。このよ

うに、人によって解答に至るまでの思考過程は様々ある。しかし、完成したプログラムだけでは、どのように考えているのか、どこで迷いが生じたかなどの思考過程を把握することは困難である。教育において、学習者の「考える力」を育てるには、学習者の思考過程のつまづきや迷いに基づき、指導や学習支援をしたほうが学習者が本質的に抱えている問題を解決することができるため、従来の指導と比べて効果的であると考えられる。そのため、ある教育分野において学習者がどのように問題を考えて解答に至るのかという思考過程について、詳細な分析が必要であるとされている [2]。

思考過程の研究として、近年、プログラミング [3][4] や文章読解 [5][6]、英文作成 [7][8]、確率の文章題 [9]、仮説設定 [10] など様々な教育分野において思考過程に関する研究がある。これらの研究では、各分野において思考過程の分析に基づく指導や学習支援が提案されている。しかし、

<sup>1</sup> 公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科  
Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate

<sup>2</sup> 公立はこだて未来大学 システム情報科学部  
Faculty of Systems Information Science, Future University Hakodate

a) g2121062@fun.ac.jp

異なる分野間での思考過程の関係性が解明されていないため、他分野に跨った指導や学習支援ができないことが課題として挙げられる。

本研究では、学習者の思考過程に基づく効果的な指導や学習支援をすることを目的とする。目的を達成するための目標として、異なる分野間に跨る思考過程の関係性を捉える。学習者の思考過程に合わせた効果的な指導や学習支援を可能とするシステムを提案し、教育への新たなアプローチを目指す。

## 2. 関連研究

異なる教育分野の関係性の分析を試みた研究が報告されている。山本ら [11] は、プログラムを作成する上で必要な対象となる問題を手順的に分解する力 (アルゴリズム思考力) と論理的な文章を作成する力には共通点があると考え、アルゴリズム的思考の教育を論理的な文章作成力の養成にも活用することを検討している。この研究では、「アルゴリズム思考力」と「論理的な文章作成力」との相関を確認するために、プログラミング能力と論理的な文章作成能力のテストをした。その結果、アルゴリズム思考力は論理的な文章作成力の論理力を必要とする要素との間に相関を示すことを確認している。

大場ら [12] は、山本らと同様に、プログラミング力と論理的思考力には共通性があると考え、プログラミング力と論理的思考力を同時に養成する可能性を検討している。この研究では、大学初年次のプログラミング教科科目の成績評価点および期末試験の素点 (プログラミング力) とレポート課題に対する「論理力」と「言語能力」それぞれの評価点合計 (論理的な文章作成力) との相関分析をした。その結果、プログラミング力と論理的な文章作成能力のうち「論理力」との間で強い相関を確認している。つまり、プログラミングや文章作成の過程では、論理的な思考力が共通に必要であることが示されている。

このように、異なる教育分野の関係性を捉え、他分野に跨った教育を目指した研究がある。

パズル形式の問題を用いて問題を解く過程を記録し、学習者の思考過程の分析を試みる研究も報告されている。Maharjan ら [4] は、ソースコードをパズル化し、並べ替える操作過程を記録することが可能な Parsons Puzzle [13] を利用し、プログラミング思考過程の傾向を分析している。分析では、パズル化されたソースコードを並べ替え、プログラムを完成させる過程 (思考過程) のデータを時系列に可視化し、正解者と不正解者にわけ、それぞれ編集距離を用いてクラスター分析をしている。編集距離とは、正解に到達するために必要な操作の数のことである。結果として、正解者のクラスター 3 つと不正解者のクラスター 4 つの合計 7 つのプログラミング思考過程の傾向を確認している。

山口ら [14] は、文章をパズル化し、文を並べ替えてジ

グソー・パズルを行う読解・作文アプリケーション「ジグソー・テキスト」を開発した。この研究では、ジグソー・テキストを用いて、学習者が文を並べ替える操作を記録する。記録したデータから、学習者が文を読解し作文する際の考え方を可視化できることを示している。

このように、パズル化したソースコードや文章の中、行をスクランブル化し、正しい順序に行を並べ替える操作から、学習者の思考過程を捉えることを試みている研究がある。

## 3. 課題と解決アプローチ

関連研究における課題として、異なる分野の問題を解く際に、どのような思考過程が関係しているかまでは解明されていないため、他分野に跨った指導や学習支援までアプローチできていないことが挙げられる。

そこで、上記の課題に対して、以下のような解決アプローチを提案する。

- (1) プログラミング思考過程と論理的思考過程を対象に、パズルを並べ替える操作から思考過程を測定する。
- (2) 測定した異なる 2 分野の思考過程の関係性を分析する。
- (3) 思考過程の関係性に基づく学習支援システムを開発する。

上記の解決アプローチにより、思考過程の関係性に基づく効果的な指導や学習支援をする教育への新たなアプローチを目指す。

### 3.1 パズルを並べ替える操作から思考過程の測定

本研究は、「論理的思考過程」と「プログラミング思考過程」を対象に、パズルを並べ替える操作から思考過程の測定をする。

先行研究 [14][15] で開発・利用されたツールである、ジグソー・テキスト 2 とジグソー・コード 2 を利用して、それぞれ論理的思考過程とプログラミング思考過程を測定する。利用する 2 つのツール (以下、ジグソーツール) は、ランダムに並んだ行単位のソースコードや文を正しい順序に並べ替える際の操作過程を測定するジグソー・パズルのことである。ジグソー・テキスト 2 では、文を論理的な流れになるように並べ替え、文章を作成する際の「論理的思考過程」を測定する。ジグソー・コード 2 では、ソースコードを適切な順序に並べ替える際の「プログラミング思考過程」を測定する。

図 1、図 2 は、それぞれジグソーテキスト 2 とジグソー・コード 2 を用いた問題の画面例である。上部には、操作説明と問題文がある。下部の左側のオレンジ色で囲まれているソースコードのピースをドラック&ドロップで右側の青枠に移動し、右下のコンソールの出力に適切になるよう、右側のソースコードを完成させる。ジグソーツールでは、ドラック&ドロップなどの操作の過程を測定し、学習者の

思考過程を測定する。

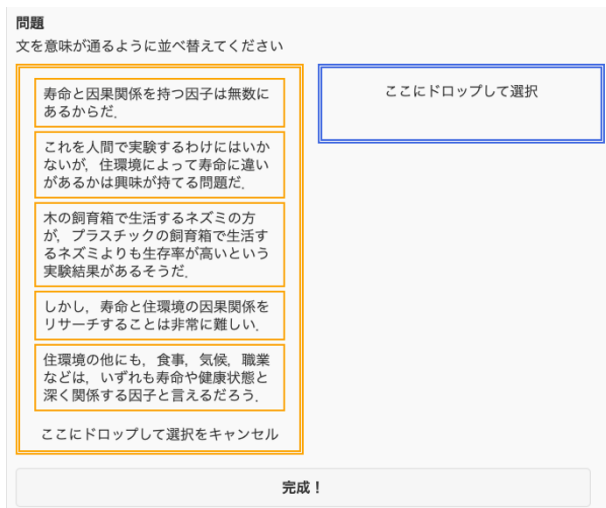


図 1 ジグソーテキスト 2 [文の並べ替え問題]

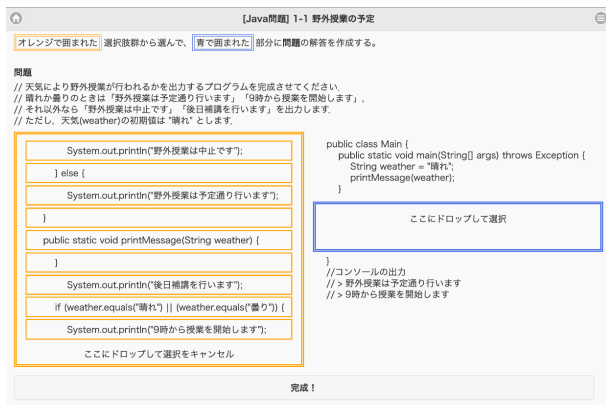


図 2 ジグソー・コード 2 [ソースコードの並べ替え問題]

### 3.2 異なる 2 分野の思考過程の関係性分析

本研究は、測定した異なる 2 分野の思考過程の関係性を分析する。分析手順について以下に述べる。

- (1) 本研究で利用するツールにおいても先行研究と同様に「論理的思考力」と「プログラミング力」の相関が得られるのかを調査
- (2) ジグソーツールで測定した学習者の時系列データを DTW を用いて思考過程の傾向ごとに分類
- (3) 分類結果をもとに異なる分野間における思考過程の関係性を分析

### 3.3 DTW(Dynamic Time Warping)

DTW(Dynamic Time Warping)/動的時間伸縮法 [16] は、時系列データ同士の距離・類似度を測る際に用いられる手法である。他にも、時系列データ同士の距離を測る手法として、ユークリッド距離 (Euclidean Distance) やマンハッ

タン距離 (Manhattan distance) がある。図 3 のように、DTW は、2 つの時系列の各点の距離 (誤差の絶対値) を総当たりで求め、2 つの時系列が最短となるパスを探索する。そのため、時系列データ同士の長さや周期が違ってても類似度を求めることができる。

本研究のデータは、学習者の思考過程の長さが異なるため、時系列データ同士の長さが異なる。そのため、学習者の思考過程を分類する手法として、DTW を採用する。クラスター数は、最適クラスター数を求める際に用いられるシルエット分析により決定する。

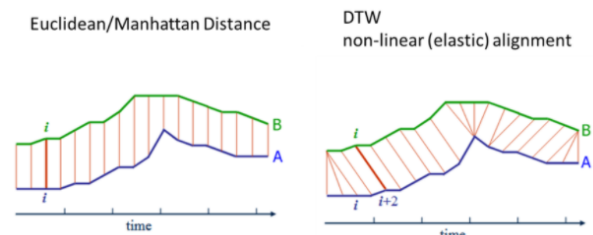


図 3 時系列データ同士の距離を測る手法

## 4. 論理的思考力とプログラミング力の相関分析

本研究で利用するジグソーツールにおいても先行研究 [11][12] と同様の「論理的思考力」と「プログラミング力」の関係性を確認するために、予備実験をする。

### 4.1 予備実験概要

実験対象は、所属研究室の学生 10 名 (学部 4 年 : 7 人, 修士 1 年 : 2 人, 修士 2 年 : 2 人) である。

出題する問題は、図 1 のようなジグソー・テキスト 2 を用いた文の並べ替え問題 8 問と、図 2 のようなジグソー・コード 2 を用いたソースコード (Java) の並べ替え問題 8 問である。

### 4.2 予備実験結果・考察

予備実験の結果を表 1 に示す。表 1 の縦軸は被験者、横軸は出題問題の分野、数値は正答数を示している。文の並べ替え問題とソースコードの並べ替え問題の正答数の相関を散布図で表したのが、図 4 である。

スピアマンの順位相関係数を用いて、相関を分析した。相関係数  $r=0.85$  ( $p < 0.01$ ) という値から、有意な正の相関関係が見られた。

相関分析の結果より、本研究で利用するツールでも関連研究と同様の論理的思考力とプログラミング力の相関関係が得られることが確認できた。このことを踏まえ、本実験では、対象としている 2 分野はどのような思考過程が関係しているのかを明らかにする。

表 1 予備実験結果 [正答数]

	文の並べ替え問題	ソースコードの並べ替え問題
A	1	3
B	6	8
C	4	2
D	5	5
E	8	8
F	4	2
G	7	5
H	7	8
I	5	5
J	5	3
平均	5.2	4.9
問題数	8	8

表 2 正答数の結果

	文の並べ替え問題	ソースコードの並べ替え
U1	9	6
U2	9	9
U3	9	7
U4	7	11
U5	9	5
U6	10	11
U7	8	9
U8	10	11
U9	4	8
U10	7	8
U11	8	7
U12	8	10
U13	5	6
U14	9	9
U15	10	8
U16	10	9
U17	6	6
U18	9	6
U19	8	8
平均	8.16	8.11
問題数	12	12

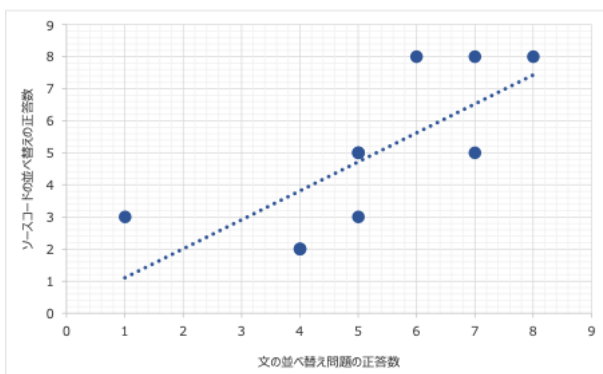


図 4 論理的思考力とプログラミング力の相関

## 5. 思考過程に基づく関係性分析

対象としている 2 分野の思考過程の関係性を明らかにするために実験をする。

### 5.1 実験概要

実験対象は、公立はこだて未来大学 2 年生対象科目「情報処理演習 I」を履修し、実験の同意が得られた学生 19 名である。「情報処理演習 I」は、主に Java を題材とした課題を通して、実用的なソフトウェア開発プロセスにおける基本技能を身につけることを目的とした、プログラミング演習科目である [17].

出題した問題は、ジグソー・テキスト 2 を用いた文の並べ替え問題 12 問と、ジグソー・コード 2 を利用したソースコード (Java) の並べ替え問題 12 問である。各 12 問中 8 問は、予備実験と同様の問題である。

### 5.2 正答数の結果

2 分野の正答数の結果を、表 2 に示す。表 2 の縦軸は被験者、横軸は出題問題の分野、数値は正答数を示している。

### 5.3 学習者の思考過程の可視化

各問題における学習者の思考過程である時系列データを可視化した。図 5 は、ジグソー・テキスト 2 を利用した文の並べ替え問題における、ある 1 つの問題の可視化結果である。可視化では、図 5 のように、縦軸を piece id、横軸を操作回数 [回目] として可視化した。凡例の U1 から U19 は、各被験者を示している。縦軸の piece id とは、図 6 に示すように、正解の文章となる並び順に各文の行に振られている行番号のことである。

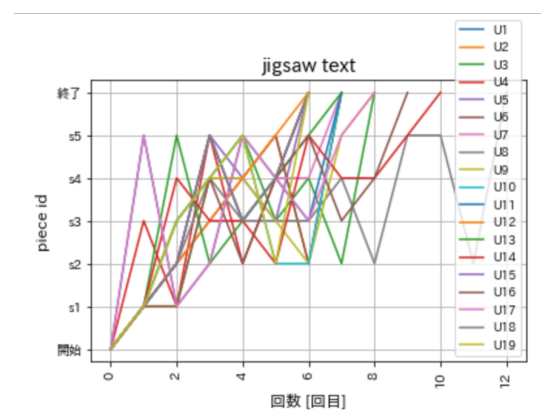


図 5 学習者の思考過程である時系列データの可視化結果

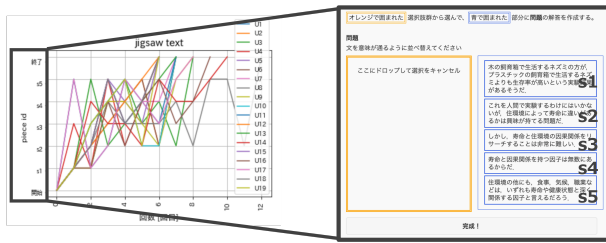


図 6 可視化結果の『pice id』

### 5.4 DTW を利用したクラスタリング分析

DTW を利用したクラスタリング結果とクラスターの内容を、以下で説明する。

#### 5.4.1 クラスタリング結果

各問題における学習者の思考過程である時系列データを、k-means 法の DTW を用いてクラスタリングした。表 3 は、文の並べ替え問題のクラスタリング結果である。表 4 は、ソースコードの並べ替え問題のクラスタリング結果である。2つの表は、縦軸に被験者、横軸は問題番号、セルの中の数値はクラスター番号を示している。各被験者が正解した問題には青色、不正解の問題には赤色で示している。

表 3, 表 4 から、各問題でクラスター数が異なることがわかる。例えば、文の並べ替え問題の間 1 はクラスターが 4 個、間 2 はクラスターが 9 個、間 3 はクラスターが 2 個、... となっている。ソースコードの並べ替え問題でも同様である。また、各問題で正答率が異なっている。被験者全員が正解している問題もあれば、不正解者が多い問題もある。このことから、問題の種類や難易度によって、学習者の思考過程の傾向が変化している可能性が考えられる。

表 3 クラスタリング結果 [文の並べ替え問題]

文の並べ替え		問1	問2	問3	問4	問5	問6	問7	問8	問9	問10	問11	問12
U1	2	8	0	0	0	1	1	1	2	0	0	3	
U2	1	3	1	0	2	4	4	4	1	1	0	1	
U3	1	1	0	0	2	0	2	2	2	2	0	4	
U4	2	7	1	0	6	1	1	0	5	2	0	5	
U5	2	1	0	2	2	1	1	2	2	0	0	1	
U6	1	4	0	0	6	1	2	1	5	1	0	2	
U7	2	8	1	2	2	6	3	5	2	2	0	4	
U8	1	6	1	0	0	1	5	0	4	0	0	1	
U9	0	4	0	1	1	2	1	3	5	3	0	6	
U10	1	1	0	0	2	2	1	1	2	0	0	6	
U11	3	1	0	0	3	2	6	2	5	2	0	1	
U12	0	3	0	0	0	6	5	5	4	3	0	0	
U13	2	5	0	1	4	6	0	3	4	3	1	4	
U14	0	2	1	0	0	2	1	5	2	2	0	3	
U15	2	1	0	0	2	1	1	4	0	0	0	1	
U16	0	1	0	0	5	5	6	2	3	2	1	2	
U17	3	0	0	0	1	0	2	3	0	2	0	1	
U18	2	0	0	0	2	0	5	0	3	2	0	2	
U19	1	1	0	0	2	3	1	0	1	2	0	4	

表 4 クラスタリング結果 [ソースコードの並べ替え問題]

ソースコードの並べ替え		問1	問2	問3	問4	問5	問6	問7	問8	問9	問10	問11	問12
U1	3	0	1	4	1	0	0	0	0	0	3	1	
U2	4	3	3	5	2	4	0	0	1	0	4	0	
U3	3	0	1	4	1	1	0	1	1	1	3	0	
U4	3	3	2	0	2	2	0	0	0	0	4	1	
U5	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	3	1	
U6	3	1	1	1	0	2	0	0	0	0	0	2	
U7	2	2	0	3	1	1	1	1	0	0	4	0	
U8	1	4	2	4	0	5	1	0	1	0	1	0	
U9	1	0	1	0	0	5	0	0	1	0	3	2	
U10	3	0	1	0	0	3	0	0	1	0	2	0	
U11	3	1	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	
U12	3	1	1	2	0	5	0	0	0	1	0	1	
U13	2	4	3	6	1	2	0	1	0	0	2	2	
U14	2	2	0	0	2	5	0	1	0	0	5	1	
U15	1	1	2	1	0	6	1	0	1	0	2	1	
U16	1	4	1	2	2	1	0	0	1	1	1	1	
U17	4	0	3	4	2	2	1	1	0	0	0	1	
U18	3	0	1	0	0	2	0	0	1	0	3	1	
U19	3	0	1	2	0	4	0	0	0	1	0	1	

#### 5.4.2 クラスタ内容

学習者の思考過程の傾向を把握するために、クラスターの内容を分析した。

プログラミング問題 [問 2] では、主に 3つのクラスター (Cluster1, Cluster2, Cluster3) の傾向が得られた。図 7 は、プログラミング問題 [問 2] のソースコードの各行に振られている行番号 (pice id) である。この問題では、pice id 「s3」から「s17」までの行を並べ替えて、解答する。プログラミング問題 [問 2] で得られた、3つのクラスターの内容について、可視化結果をもとに、以下で説明する。

図 8 は、Cluster3 の可視化結果である。Cluster3 では、主に pice id を s3,s4,s5... などと段階的に組み立てる傾向が見られた。このことから、Cluster3 に属する被験者は、ソースコードを上から順に段階的に整えていく思考であると考えられる。

図 9 は、Cluster2 の可視化結果である。Cluster2 では、s3[関数]の次に s17,s15 の {} に着目をし、s7,s9,s11 などの [else if] から組み立てる傾向が見られた。このことから、Cluster2 に属する被験者は、関数や条件文などの構造から組み立てから、中のソースコードを整えていく思考であると考えられる。

図 10 は、Cluster1 の可視化結果である。Cluster1 では、主に Cluster3 と同様の pice id を s3,s4,s5... などと段階的に組み立てる傾向が見られた。しかし、最後に s4 の [char rating;] という宣言文に触れている傾向が見られた。このことから、Cluster1 に属する被験者は、宣言文で迷いや忘れが生じている可能性が考えられる。

以上のことから、DTW を利用したクラスタリングは、様々な学習者の思考過程のクラスターを確認することができる。



```

s2 public class Main {
    public static void main(String[] args) throws Exception {
        int score = 85;
        System.out.println("評定: " + judgeRating(score));
    }
}

s3 public static char judgeRating(int score) {
s4     char rating;
s5     if (90 <= score) {
s6         rating = 'S';
s7     } else if (80 <= score && score < 90) {
s8         rating = 'A';
s9     } else if (70 <= score && score < 80) {
s10        rating = 'B';
s11     } else if (60 <= score && score < 70) {
s12        rating = 'C';
s13     } else {
s14        rating = 'F'
s15     }
s16     return rating;
s17 }
s18 }
// コンソールの出力
// > 評定: A

```

図 7 プログラミング問題 (問 2) の pice id

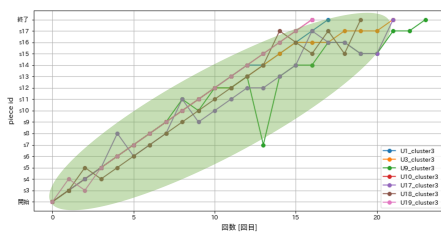


図 8 Cluster3 [プログラミング問題 (問 2)]

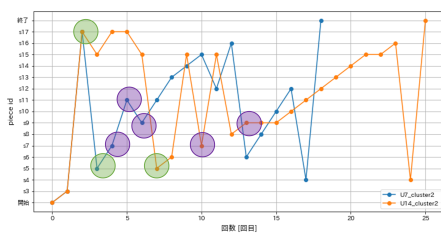


図 9 Cluster2 [プログラミング問題 (問 2)]

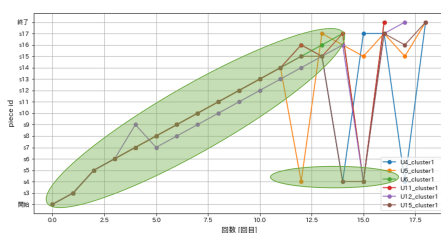


図 10 Cluster1 [プログラミング問題 (問 2)]

## 5.5 関係性分析

クラスタリング結果に対し、被験者同士で「同じクラス

ターに属している回数」を相対的に表し、関係性を分析した。

表 5 は、被験者同士で同じクラスターに属する関係を示した表である。縦軸・横軸は被験者、緑の部分は文の並べ替え問題で問題の半分以上同じクラスターに属すること、オレンジの部分はソースコードの並べ替え問題で問題の半分以上同じクラスターに属すること、赤の部分は 2 分野で問題の半分以上同じクラスターに属することを示している。半分以上の問題で同じ思考過程のクラスターに属する被験者同士は、問題を解く際の思考過程が似ていると考えられる。

「2 分野で問題の半分以上同じクラスターに属する」赤の部分が少ないという結果から、「論理的思考過程」と「プログラミング思考過程」の関係性は、見られなかった。この原因として、クラスタリング性能が低いものも含め関係性を分析したことが考えられる。今回、クラスタリング分析のクラスター数の決定は、シルエット分析で得られたシルエット係数の最大値を用いて、クラスタリングをした。シルエット分析とは、クラスタリングの性能の評価手法の 1 つである。シルエット係数が -1 から 1 の区間に収まり、1 に近づくほどクラスタリング性能が高くなるよう表される。

表 6 は、シルエット分析の結果である。text4-1 や code2-2, code2-3, code3-3, code4-2 は明らかにシルエット係数が低く、クラスタリング性能が低いことがわかる。このことから、クラスタリング性能が高い問題に絞り、関係性を分析した。シルエット係数には、基準値がなく、どの値からクラスタリング性能が高いといった基準がない。そのため、ここでは、各分野のシルエット係数の平均を求め、平均以上の問題をクラスタリング性能が高いとした。結果として、クラスタリング性能が高い問題に絞り、関係性を分析したが、「論理的思考過程」と「プログラミング思考過程」の関係性は、見られなかった。

以上のことから、以下の 3 つのことを再検討する必要があると考えられる。

### 1. 関係性分析の手法

今回、思考過程の関係性を分析する上で、被験者同士で同じクラスターに属している回数を相対的に表し、分析した。しかし、これでは判断の基準がなく、評価ができない。そのため、より定量的に判断できる手法を用いる必要がある。

### 2. 問題作成

表 6 の結果より、シルエット係数が高いのは、正解者が多い問題であることがわかる。このことから、難易度の低い問題では、学習者の思考過程の傾向が顕著に現れやすいことが考えられる。このことから、問題作成では難易度の低い問題を作る必要があると考えられる。

### 3. データ数

今回の実験では、被験者数が19名と問題数が各12問ずつであった。しかし、被験者の思考過程の傾向を捉えるには、問題数を増やす必要があると考えられる。また、クラスター分析の際に、1人しか属さないクラスターが多く見られた。このことから、被験者数も増やし、データ数を拡充する必要があると考えられる。

表5 被験者同士で同じクラスターに属する関係

	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	U11	U12	U13	U14	U15	U16	U17	U18	U19	
U1																				
U2																				
U3																				
U4																				
U5																				
U6																				
U7																				
U8																				
U9																				
U10																				
U11																				
U12																				
U13																				
U14																				
U15																				
U16																				
U17																				
U18																				
U19																				

表6 シルエット分析の結果

問題番号	シルエット係数	クラスター数	正答者数
text1-1	0.394	4	5
text1-2	0.446	9	15
text1-3	0.698	2	18
text2-1	0.857	3	19
text2-2	0.622	7	14
text2-3	0.643	7	16
text3-1	0.678	7	17
text3-2	0.380	6	7
text3-3	0.441	6	15
text4-1	0.299	4	1
text4-2	0.435	2	14
text4-3	0.371	8	14
code1-1	0.578	5	19
code1-2	0.481	5	15
code1-3	0.308	4	7
code2-1	0.461	8	16
code2-2	0.279	6	3
code2-3	0.227	7	11
code3-1	0.455	2	16
code3-2	0.423	2	15
code3-3	0.156	2	9
code4-1	0.369	2	9
code4-2	0.193	6	10
code4-3	0.463	3	19

## 6. 思考過程に基づく教育支援システムの提案

思考過程に基づく教育をするために、思考過程に基づく教育支援システムの提案をする。システムでは、以下の3つの機能を検討している。

- 学習者の思考過程の分析結果を提示
- 同じ傾向のある正解者のプロセスを提示
- 正答率の高いプロセスの提示

以上の機能を実現するために、時系列データを自動で言語化する仕組みの構築が必要である。時系列データの特徴点を抽出し、時系列データの各点の間の傾きや特徴点の値から、時系列データを自動で言語化することを検討する。

## 7. おわりに

本研究は、学習者の思考過程に基づく効果的な指導や学習支援をすることを目的に、異なる分野間に跨る思考過程の関係性を捉えることを試みた。

そこで、パズルツール(ジグソーツール)の操作から異なる教育分野における学習者の思考過程(プログラミング思考過程・論理的思考過程)を測定することを考えた。予備実験の結果より、ジグソーツールでも先行研究[11][12]と同様に「論理的思考力」と「プログラミング力」の2分野には相関関係があることを確認した。このことから、2分野には、どのような思考過程の関係性があるのかを分析をした。分析では、測定した学習者の思考過程である時系列のデータを、k-means法のDTW(Dynamic Time Warping)を用いて、学習者の思考過程をクラスタリング分析をした。クラスタリング結果からは、様々な学習者の思考過程の傾向が得られた。クラスタリング結果に対し、被験者同士で「同じクラスターに属している回数」を相対的に表し、関係性を分析することに試みた。しかし、今回の分析では、「論理的思考過程」と「プログラミング思考過程」の関係性は確認できなかった。

今後は、5.5節で述べた3つの課題を再検討し、2分野の思考過程の関係性を捉える。また、教育支援システムを開発し、思考過程の関係性に基づく教育への新たなアプローチを目指す。

謝辞 本研究はJSPS 科研費20H01728の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] 株式会社浜銀総合研究所: 学習指導と学習評価に対する意識調査報告書(2018). [https://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo3/080/siryo/\\_icsFiles/afieldfile/2018/09/05/1406428\\_9.pdf](https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/080/siryo/_icsFiles/afieldfile/2018/09/05/1406428_9.pdf)(参照2022-02-14).
- [2] Newell, A., Simon, H. A. et al.: *Human problem solving*, Vol. 104, No. 9, Prentice-hall Englewood Cliffs, NJ (1972).
- [3] 中村陽太, 大場みち子, 山口琢, 伊藤恵: 授業進度に対応

- するパズルを利用したプログラミング思考過程の分析と教育支援システムの開発, 第 82 回全国大会講演論文集, No. 1, pp. 701–702 (2020).
- [4] Maharjan, S. and Kumar, A.: Using Edit Distance Trails to Analyze Path Solutions of Parsons Puzzles, *Proceedings of the 13th International Conference on Educational Data Mining, EDM 2020, Fully virtual conference, July 10-13, 2020* (Rafferty, A. N., Whitehill, J., Romero, C. and Cavalli-Sforza, V., eds.), International Educational Data Mining Society (2020).
- [5] 山口琢, 大場みち子, 藤原亮, 高橋慈子, 小林龍生: 読み書き行為の時間的・手順的な共起に基づく自然言語処理の提案, 第 80 回全国大会講演論文集, pp. 11–12 (2018).
- [6] 幸坂健太郎: 学習者の思考過程に着目した論理的思考力育成方法の研究, *読書科学*, Vol. 55, No. 4, pp. 138–149 (2013).
- [7] 宮崎佳典, 相馬あおい, 厨子光政, 法月健: 英単語並べ替え問題における機械学習による学習者の迷い検出の試み, *コンピュータ&エデュケーション*, Vol. 45, pp. 31–36 (2018).
- [8] 松川奈央, 宮崎佳典, 厨子光政, 法月健: 英単語並べ替え問題におけるマウス軌跡を利用した単語レベルの迷い抽出, 第 79 回全国大会講演論文集, pp. 879–880 (2017).
- [9] 中谷隼斗, 中林清: 確率の文章題における思考過程の分析, *教育システム情報学会第 43 回全国大会*, pp. 37–38 (2018).
- [10] 中村大輝, 松浦拓也: 仮説設定における思考過程とその合理性に関する基礎的研究, *理科教育学研究*, Vol. 58, No. 3, pp. 279–292 (2018).
- [11] 山本樹, 國宗永佳, 香山瑞恵: アルゴリズム的思考と論理的な文章作成力との相関についての考察, *日本教育工学会研究報告集*, Vol. 2010, No. 5, pp. 171–176 (2010).
- [12] 大場みち子, 伊藤恵, 下郡啓夫, 薦田憲久: 論理的文章作成力とプログラミング力との関係分析, *情報処理学会論文誌教育とコンピュータ (TCE)*, Vol. 4, pp. 8–15 (2018).
- [13] Parsons, D. and Haden, P.: Parson’s Programming Puzzles: A Fun and Effective Learning Tool for First Programming Courses, *Proceedings of the 8th Australasian Conference on Computing Education - Volume 52, ACE ’06*, Australian Computer Society, Inc., pp. 157–163 (2006).
- [14] 山口琢, 大場みち子, 高橋慈子, 小林龍生: ジグソー・テキストによる文並べ替え操作の測定, *研究報告教育学習支援情報システム (CLE)*, Vol. 2017, No. 27, pp. 1–6 (2017).
- [15] 中村陽太, 山口琢, 伊藤恵, 大場みち子: インタビューに基づくプログラミングパズルの操作と思考過程の傾向分析, *情報教育シンポジウム論文集*, pp. 230–237 (2021).
- [16] 藤田瑞希, 神澤雄智: 時系列データのための幾つかのファジィクラスタリングについて, *日本知能情報ファジィ学会ファジィシステムシンポジウム講演論文集*, Vol. 37, pp. 626–631 (2021).
- [17] 公立はこだて未来大学: 2021 年度講義要項 (2020 年度以降入学者対象) (2021). [https://www.fun.ac.jp/wp-content/uploads/2021/07/2021\\_syllabus.pdf](https://www.fun.ac.jp/wp-content/uploads/2021/07/2021_syllabus.pdf)(参照 2022-02-14).