

# パズル操作の測定・分析による思考の推定 Inferring Thinking: Measurement and Analysis of Puzzle Solving Operations

山口 琢\*, 小林 龍生†, 高橋 慈子‡, 大場 みち子§

Taku Yamaguchi, Tatsuo Kobayashi, Shigeko Takahashi, Michiko Oba

\* フリー, † 有限会社スコレックス, ‡ 株式会社ハーティネス, § 公立はこだて未来大学  
Independent Researcher, Scholex Co., Ltd., Heartiness Co., Ltd., Future University Hakodate

## 概要

パズルを適切に設計して、パズルを解く操作を測定・分析することで、プレイヤーの思考を推定する手法を提案する。パズルとは「人に考えさせるコンピューター・アプリケーション」、プレイヤーはアプリケーションのユーザー、パズルがプレイヤーに提示する「文」、「できごと」など操作の単位をパズルのピースと呼ぶ。ジグソー・テキストは、ランダムに並んだ文を、プレイヤーが適切と考える順序に並べ替えて完成させる、文章のジグソー・パズルである。文がパズルのピースとなる。Web アプリケーションとして実装されている。時間的に近くで操作対象となるピース間には何かの関係があると考えられ、操作の時間的な共起分析が、パズル操作の分析に有効と考えられる。パズル問題「オレオレ詐欺」を解くプロセスを分析すると、プレイヤーたちが、特定のピース間の関係を読み取り(読解)、それを反映した順序に並べ替え(作文)しようとしたと考えられる。

キーワード：作文, 読解, 測定, 分析, 思考, writing, text production, reading, measurement, analytics, thinking, thought

## 1. はじめに

パズルを適切に設計して、パズルを解く操作を測定・分析することで、プレイヤーの思考を推定する手法を提案する。パズル・アプリケーション、パズルの問題、操作の測定内容、および分析手法のそれぞれを工夫して、プレイヤーの思考を推定する。パズルとは「人に考えさせるコンピューター・アプリケーション」である。既存のアプリケーションでも、新しく設計・開発したものでもよい。ワードプロセッサ、プログラミングなど、人が対話的に使うあらゆるコンピューター・アプリケーションを含む。プレイヤーとは、これらアプリケーションのユーザーである。パズルがプレイヤーに提示する「文」、「プログラムの構文要素」、「できごと」など操作の単位をパズルのピースと呼ぶ。

本稿では、パズルの例として新しく設計・開発した読解・作文のパズルとプログラミングのパズルを取り上げ、分析手法の例として操作の時間的共起分析を示す。

## 2. 先行研究

思考に関連する先行研究、およびアウトプット(text, product)を分析する従来の言語処理を振り返って課題を示す。

### 2.1 アウトプットの測定による能力や熟達度の評価

能力の測定ではしばしば、アウトプット(output, product)の評価が用いられる、能力の高低が、アウトプットの高低と相関すると考える。あるいは、能力をアウトプットで定義している。批判的思考の研究では、選択肢式や自由記述式などのテストを工夫してテストの点数によって被験者の能力を測る[1]。

テストそのものを測定装置とする能力測定では、テストそのものに「能力とは何か」という前提が含まれていて、前提と測定システムが不可分である。解明したい現象について、すでに分かっている前提で研究を進めるといふ問題をはらむ。

### 2.2 プロセスの測定による熟練度や参画度の評価

書き手のキーストローク [2][3]/ペンストローク [4]を測定する研究では、では、焦り・つまずき・滑らかさなどからプレイヤーの熟達度や、いつ勉強してるか・授業についてきているかなどの参画度を検出した。しかし、プレイヤーが、パズルを解く過程で採用する個々の戦略・判断・知識の推定にはいたっていない。

視線の移動経路を測定する研究 [5]では、MindMapの読解において視線移動によって読解戦略の違いを捉

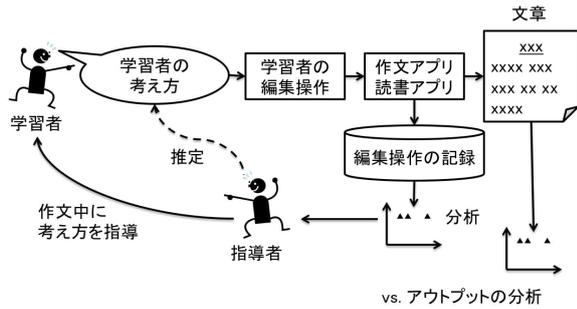


図1 操作の分析とアウトプットの分析

え、その読解戦略の違いから習熟度を推定する可能性を示した。同時に、習熟度が必ずしも理解度と直結しない可能性を示した。このことは、テストの結果が思考方法と直結しないことを示すと言えるだろう。

### 2.3 アウトプットの空間的な共起分析

従来、言語処理研究では、アウトプット (output, product) を分析してきた。そこでは、テキスト上で近くに頻出する、あるいは段落や文章といった同じかたまりに頻出する語同士は関係が深いとする「空間的な共起関係」に基づいて分析することが多い (図1)。このような空間的な共起分析では、空間的に離れた場所の関係、大域的な関係を捉えられないという問題がある。

### 3. 読解・作文パズル「ジグソー・テキスト」

ジグソー・テキストは、ランダムに並んだ文を、プレイヤーが適切と考える順序に並べ替える、文章のジグソー・パズルである。文がパズルのピースとなる。Web アプリケーションとして実装されている。

図2はパズル問題の例で、オレオレ詐欺を説明した文章である。s1等はピースである文のIDで、測定・分析や本稿での説明に用いる。パズルを開始すると、これら文がランダムに並べ替えられてプレイヤーに提示される。プレイヤーはドラッグ&ドロップで並べ替えて、適切と考える順序になったところで完成ボタンを押す。

パズルはプレイヤーの操作を記録している。開始、ドラッグ、ドロップ、完成のイベントを時刻と、そのときの全体の順序とともに記録する。さらに、ドラッグとドロップについては、対象のピースと、その前後のピースのIDも併せて記録する (図3)。

### 4. 測定結果

ジグソー・テキストを大学のライティング演習で使った2つの例 - A 演習、B 演習 - について、測定結

- s1 相変わらず、オレオレ詐欺の被害が減らない。
- s2 オレオレ詐欺には、大きく分けて2つの種類がある。
- s3 ひとつは、まさにオレオレ詐欺で、孫や甥などをかたって、金銭を要求する。
- s4 ひとつは、官公庁や銀行を騙って、還付金があるとだまして現金自動預払機を操作させ、金銭をだまし取る。
- s5 この派生形として、口座が不正に操作されたとだまして、暗証番号を聞き出した上で、銀行カードもだまし取る。
- s6 このような被害を防ぐ最良の方法は、電話での金銭の要求や、銀行口座やクレジットカードに係わる電話があった場合は、まず、詐欺を疑い、家族や親しい人に相談することだ。
- s7 しかし、問題は、身近に相談できる人がいない高齢者が多くいることにあるのかもしれない。

図2 ジグソー・テキストのパズル「オレオレ詐欺」

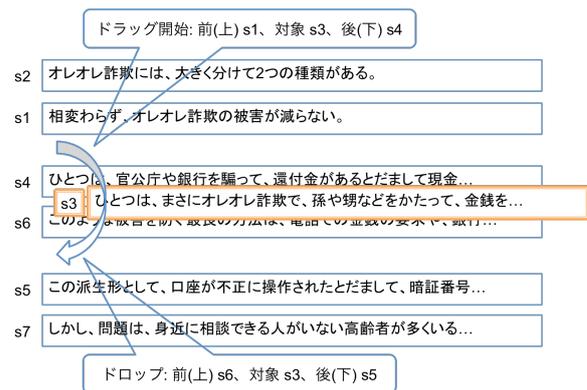


図3 並べ替え操作の測定

果の例を示す。4は完成時の順序のパターンの分布、5は最初に動かしたピースの分布である。

図6は、B 演習について、ドラッグ対象となったピースの時間的な共起行列、すなわち、時間的に連続して操作された回数の頻度行列である [6]。縦軸のピースの次に横軸のピースを動かした回数を、その演習全体について総計して表示しており、例えば s1 の次に s2 を動かした回数は演習全体で9回であった。

図7は、共起行列の値のヒストグラムである。図6で、背景がオレンジ色のセルは、回数の度数分布について、平均+標準偏差よりも値が大きい。

### 5. 考察: 操作の時間的共起とプレイヤーの思考

時間的に近くで操作対象となるピース間には何かの関係があると考えられる。図6は、パズル問題「オレオレ詐欺」について、B 演習のプレイヤーたちが読み取った文章構造を反映していると考えられる。ランダムに並べられたピース群から、特定のピース間の関係を読み取り (読解)、それを反映した順序に並べ替え (作文) ようとした。

A演習		並び順		B演習	
件数				件数	
#####	25%	2	s1→s2→s3→s4→s5→s6→s7	30	57% #####
#####	37%	3	s1→s2→s3→s4→s5→s7→s6	4	7% ####
			s2→s3→s4→s5→s6→s7→s1	1	1% #
			s1→s2→s4→s3→s5→s6→s7	1	1% #
			s1→s2→s4→s5→s3→s6→s7	5	9% #####
			s1→s7→s2→s3→s6→s4→s5	1	1% #
			s2→s4→s5→s3→s1→s7→s6	2	3% ##
			s1→s2→s3→s4→s6→s7→s5	1	1% #
			s1→s2→s3→s7→s4→s5→s6	1	1% #
			s1→s2→s4→s5→s3→s6→s7	1	1% #
#####	25%	2	s1→s2→s3→s6→s4→s5→s7	1	1% #
			s2→s3→s6→s7→s4→s5→s1	2	3% ##
			s1→s2→s3→s5→s4→s6→s7	1	1% #
			s2→s3→s4→s5→s1→s6→s7	1	1% #
##	12%	1	s2→s4→s3→s1→s5→s6→s7	0	0%

図4 完成順序の分布,「#」マークで度数を示す

A演習		B演習	
%	件数	対象の文	件数 %
#####	50%	4 s1	9 22% #####
#####	25%	2 s2	15 37% #####
##	12%	1 s3	2 5% #
##	12%	1 s4	3 7% #
0%	0	s5	5 12% ##
0%	0	s6	2 5% #
0%	0	s7	4 10% ##
8件		40件	

図5 最初に動かしたピース(文)の分布

### 5.1 ピースの「形」と「絵柄」,そしてシステムの中立性

例えばs2「…2つの種類がある」,s3「ひとつは…」,s4「ひとつは…」の3文には関係(構造)があると読み取ったと考えられる。「2つの」、「ひとつは」、「ひとつは」というフレーズを手がかりに内容全体の構造を読み取り,それに基づいて文章を並べ替えようとするのが,プレイヤーの思考内容であったと考えられるのである。

これは一方で,文章を読み解く手法として妥当である。本家ジグソーパズルで言えば,ピースの形を手がかりに解くことに該当するであろう。他方で,「孫や甥などをかたって…」や「官公庁や銀行を騙って…」の

n \ n+1	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7
s1	11	9	5	7	6	3	7
s2	2	7	12	10	4	6	3
s3	3	1	9	8	7	8	5
s4	8	1	8	10	11	5	3
s5	8	4	3	5	9	6	5
s6	9	2	2	4	6	6	5
s7	6	5	3	4	6	3	6

図6 ピース操作の時間的な共起行列

内容を読み解いていないとも言える。本家ジグソーパズルで言えば,完成絵の絵柄を考慮していない。

絵柄を考慮して,すなわち「孫や甥などをかたって…」や「官公庁や銀行を騙って…」の内容を読み取ることによってパズルを解かせたいと,指導者やパズル作成者が考えるのであれば,「2つの種類がある」、「ひとつは」といったフレーズを取り去ればよい。実際この「オレオレ詐欺」では,問題作成者は当初,「ひとつは…」,「もうひとつは…」としていたのを,「ひとつは…」,「ひとつは…」に修正している。

「形」を手がかりとする思考,「絵柄」を手がかりと

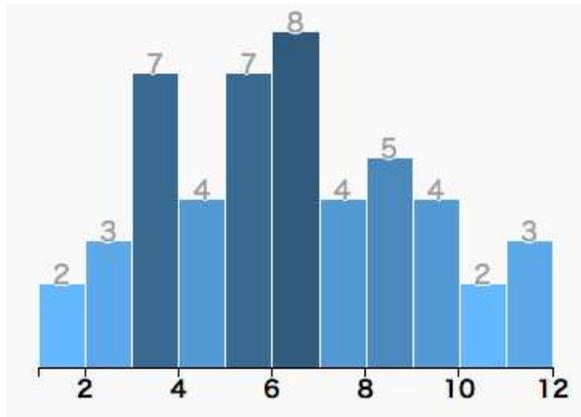


図7 ピース操作の時間的な共起頻度のヒストグラム

する思考, これらの思考に対して提案手法は中立である。どちらかが思考であって, どちらかは思考ではないなどとはしない。

## 5.2 大域的な構造

また s6 と s1 の関係では, s1 「オレオレ詐欺が減らない」ことと, s6 「被害を防ぐ最良の方法」とが対になっていると読み取ったのであろう。

s1 と s6 は文章中で離れている。従来の, テキストの空間的近さに基づく共起分析と異なり, この手法は操作の時間的な近さに基づいて, 空間的に離れた要素(ここでは文)の関係性を抽出できる。また, この関係は, 未知/無名の関係であってよい。

「被害が減らない」と「被害を防ぐ最良の方法」との意味的な関係を抽出するには, 従来の手法であれば既存の大量のコーパスが必要であった。

提案方式は, 今まさに読まれ/書かれつつある文章の意味的な関係を抽出している。この関係は, 未知/無名の関係であってよい。本手法は, 関係の内容に対して中立である。

## 6. 他の分野への適用

ジグソー・パズル型のパズルによる手法は, 作文・読解にとどまらずプログラミング, 歴史, プロジェクト管理, 地理など, さまざまな分野への適用を期待できる(図8~図15)。プレイヤーの構文理解度, 良く知られたできごと間の前後関係などを検出できるであろう。

図9は図8よりも動かせるピースが多くなっている。図8はプレイで各行が最初に動かされた回数, 図11は各行が動かされた総数である。動かされた総数に比べて, 最小に動かされた回数が偏っていることが分

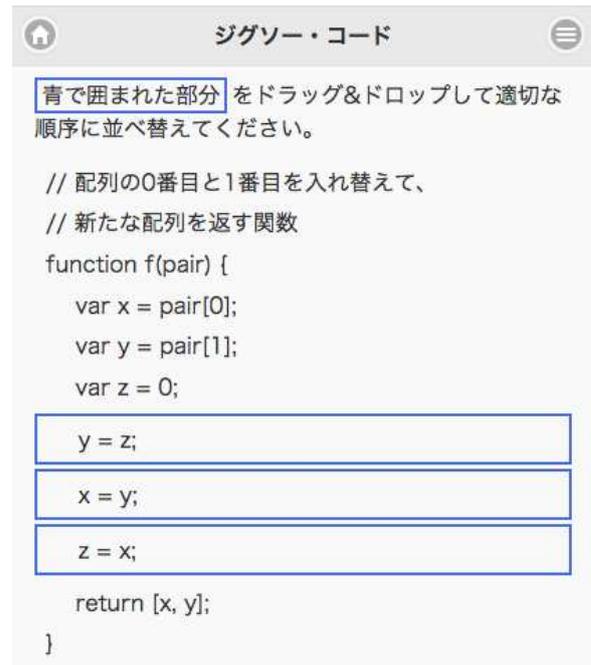


図8 ジグソー・コード「変数の値の入れ替え A」

かる。図12より, 最も多く最初に動かされた s3 の後で s11 を動かすことが多かったことが分かる。すなわち, 関数の開始と終了のカッコ「}」をセットで, まず動かしているのである。s3 と s11 は空間的には離れているが, この意味で近いピースとして扱われている。

## 6.1 ロジック・ツリー作文「トピック・ライター」

また他の型のパズルも考えられる。「トピック・ライター」はロジック・ツリー型のパズルで, テクニカル・ライティングの演習で使われている(図16)。ツリーのノードがパズルのピース, ノードへのテキスト入力・編集がパズルの操作である。ノードの時間的共起関係によって「『主旨』と『詳細』の書き分けを考えている」などを読み取れるであろう。

「トピック・ライター」では, 受講生のパズル操作, すなわち作文行動の指標として, 共起頻度を操作対象間の空間的距離に応じて重み付けして累計した Editing Operation Indicator (EOI) を指標として提案した。ループリックによる文章評価のレビュー後の改善度と EOI とに順位相関があった [7]。

## 7. まとめ

「考え方」というものがあるなら, それに基づく行動にはパターンがあるだろう。パズルを適切に設計す

```

s1 // 配列の0番目と1番目を入れ替えて、
s2 // 新たな配列を返す関数
s3 function f(pair) {
s4   var x = pair[0];
s5   var y = pair[1];
s6   var z = 0;
s7   z = x;
s8   x = y;
s9   y = z;
s10  return [x, y];
s11 }
    
```

図9 ジグソー・コード「変数の値の入れ替え B」, 関数全体が操作対象

s3	16	66%	#####
s4	1	4%	#
s5	1	4%	#
s6	2	8%	##
s7	0	0%	
s8	0	0%	
s9	1	4%	#
s10	2	8%	##
s11	1	4%	#
合計	24		

図10 各行が最初に動かされた回数

ることで、パズルを解く考え方が、パズル操作のパターンとして現れると期待できる。

本稿では、パズル操作を測定・分析することでプレイヤーの思考を推定する手法を紹介し、測定データを分析する手法の例として特に編集操作の時間的共起分析を取り上げた。

### 8. 謝辞

本研究は JSPS 科研費 17K01085 の助成を受けたものです。

### 文献

[1] 楠見孝, 道田泰司編, 批判的思考: 21世紀を生きぬくりテラシーの基盤, 新曜社, 2015.1  
 [2] LEIJTEN, M., VAN WAES, L., (2013) "Keystroke logging in writing research: Using Inputlog to analyze and visualize writing processes". Written Communication, 30(3): 358 - 392.

s3	23	11%	##
s4	20	10%	##
s5	22	11%	##
s6	27	13%	###
s7	22	11%	##
s8	17	8%	##
s9	17	8%	##
s10	25	12%	##
s11	24	12%	##
合計	197		

図11 各行が動かされた回数

n \ n+1	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11
s3	0	3	3	1	2	1	0	1	12
s4	0	3	10	3	1	0	1	1	0
s5	0	2	2	9	0	0	1	6	1
s6	2	1	1	4	9	4	3	1	0
s7	0	0	0	2	2	9	3	0	0
s8	1	0	0	1	1	1	2	1	2
s9	0	1	0	2	6	1	4	0	1
s10	1	5	5	3	1	1	2	4	0
s11	3	4	0	0	0	0	0	9	7

図12 ピース (コードの行) 操作の時間的な共起行列

[3] 田中啓行, 石黒圭, (2018) "日本語学習者の作文執筆修正過程: 中国人学習者と韓国人学習者の修正の位置と種類の分析から", 国立国語研究所論集 = NINJAL Research Papers (14), 255-274  
 [4] 飯山将晃, 中塚智尋, 森村吉貴, 橋本敦史, 村上正行, 美濃導彦, (2017) "ペンストロークの時間間隔を用いた解答停滞箇所の検出", 教育システム情報学会誌 34(2), 166-171  
 [5] 山内肇, 小林司朗, 岡ノ谷一夫, 思考モデル型ノート記法におけるエキスパートと初心者の視線移動の違いについての考察, 日本認知科学会, 認知科学 19(4), 418-433, 2012  
 [6] 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, 情報処理学会 第80回全国大会講演論文集 2018, 2018  
 [7] Michiko Oba, Taku Yamaguchi, Shigeko Takahashi, Tatsuo Kobayashi, Analysis of Relationship Between Text Editing Process and Evaluation of Written Text in Logical Writing, 情報処理学会 研究報告コンピュータと教育 (CE), 2017-CE-141, vol. 10, 2017-10-27



図 13 ジグソーできごと「公立はこだて未来大学 - 初級」



図 15 ジグソー地理「湘南」



図 14 ジグソーできごと「結婚 2」

用語説明の構成		
概念	説明	メリット、使い方
それは何か、一文で簡潔に書く	具体的に説明する	
クラウドコンピューティングは、データをインターネット上に保存する情報機器の使い方のことです。	会社・大学だけでなく外出先や自宅からでも、離れた場所の共有インフラにあるデータを閲覧、編集、アップロードできます。情報機器も、パソコンや携帯電話（主にスマートフォン）を利用できます。	インターネットに接続していれば、ユーザーはいつでもどこからでもデータにアクセスできます。

図 16 ロジック・ツリー型のパズル「トピック・ライター」