

できごと、手順、プログラムや地理の 並べ替え操作の測定と分析

山口 琢¹ 大場 みち子²

概要：われわれは、読解・作文、歴史、プロジェクト計画、プログラミング、地理、数学など、様々な分野のパズルを解く過程を測定・分析して、学習・指導の改善に役立てることを提案している。ここでパズルとは、コンピューター・アプリケーションとして実装された課題を指す。アプリケーションのユーザーをプレイヤーと呼ぶ。パズルを解く過程を測定するとは、プレイヤーによるパズル操作を記録することである。パズルの結果を判定・評価・分析することに比べて、パズルを解く過程の測定・分析は内容をイメージしづらい。本稿では並べ替え方式による様々な分野のパズルを示し、シンポジウム当日は実際にパズルを操作して解くことを体験できる機会を設ける。また、そこで得られるデータや、可視化・分析結果を示すデモンストレーションを実施する。

キーワード：並べ替え、パズル、測定、時間的共起、学習分析、作文、文章産出、読解、歴史、プロジェクト計画、プログラミング、地理

Measurement and Analysis of Reordering Operations for Events, Procedures, Codes and Geographical Objects

TAKU YAMAGUCHI¹ MICHIKO OBA²

1. はじめに

われわれは、読解・作文、歴史、プロジェクト計画、プログラミング、地理、数学など、様々な分野のパズルを解く過程を測定・分析して、学習・指導の改善に役立てることを提案している。ここでパズルとは、コンピューター・アプリケーションとして実装された課題を指す。アプリケーションのユーザーをプレイヤーと呼ぶ。パズルを解く過程を測定するとは、プレイヤーによるパズル操作を記録することである。パズルには、ワードプロセッサなど、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。例えばワードプロセッサは、作文という課題を解決するパズルである。

分野に応じてパズルを適切に設計して、解く操作を測定・分析することで、プレイヤーの思考を捉えられると期待している。既存のパズルにとらわれず、パズル・アプリケーション、そこで解くパズルの問題、操作記録の内容(測定データ)および分析手法のそれぞれを創意工夫して、プレイヤーの思考を推定するのである。

パズルの結果を判定・評価・分析することは、例えば書かれた作文を採点することに該当する。作文の採点のようなアウトプットの判定・評価・分析は、研究に限らず広く実践されている。それに比べて、パズルを解く過程の測定・分析は、研究であっても事例が少なく、内容をイメージしづらい。読解では、講義資料のページめくりの測定・分析などの研究例があり [1]、また電子書籍リーダーは本や章の読み終わり時間を予測する [2]。しかし、この手法が、作文、歴史や地理に応用されることは、まだまだイメージしづらいと考えられる。

本稿では並べ替え方式による様々な分野のパズルを示

¹ フリー
Independent Researcher

² 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

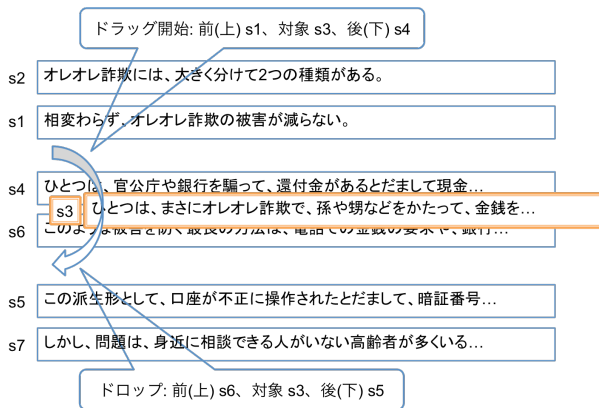


図 1 ジグソー・テキスト操作の測定

Fig. 1 Measurement of solving operations for Jigsaw Text.

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 2 ジグソー・テキスト操作の時間的共起行列

Fig. 2 Figure N Caption

し、シンポジウム当日は実際にパズルを操作して解くことを体験できる機会を設ける。また、そこで得られるデータや、可視化・分析結果を示すデモンストレーションを実施する。

2. 先行研究と課題

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研究がある。試行錯誤などの時間経過に伴う過程も、被験者の能力を構成すると考えられる。テストの点数によって能力を測る手法では、このような過程を明らかにできず、ブラックボックスとなる [3]。

書き手のキーストローク/ペンストローク、読み手のページめくり、視線の移動経路を測定して熟達者/初心者、あるいは高成績者/低成績者を比較する研究がある。この手法では、熟達の内訳や高成績にいたる過程が分からず、日々の具体的な指導の効果は成績が出るまで分からない [1][4]。学習分析の目標は、熟達や高成績といった年単位の結果だけでなく、数分後の結果と関連する秒単位の行動を明らかにすることだろう。

プログラミング能力を試験で評価する出題形式として「短冊形」が提案されている。短冊形は「プログラムの1行ずつを選択肢として用意(短冊)し、回答者が必要な行を自由に選択して並べることでコードを完成させる」出題形式である [9]。スペルミス、タイプミスの評価対象から外せている。使える構文の制限と自由度のバランスを取ることで、回答者に考えさせることを目指している。短冊形プログラムを CBT (Computer Based Testing) として実装したシステムが報告されており [10]、正解プログラムとの編集距離が評価指標として妥当であれば、CBT 化によって自動採点が容易となる [11]。CBT 化された短冊型問題は、回答する過程、すなわち考える過程の測定が可能であると筆者は考える。

3. われわれのこれまでの取り組み

われわれはこれまで、ロジック・ツリーによる作文支援「トピック・ライター」、文のジグソー・パズル「ジグソー・テキスト」を開発して、テクニカルライティング演習で使用し、測定データを分析してきた [5][6][7][8]。

ジグソー・テキストは、ピースの集まりから文章全体を想定(読解)し、適切な順序に並び替える(作文)ことを求める。短冊型プログラミング問題と同じく、作文の評価から誤字脱字や文言レベルの表現を外している。図 1 に「ジグソーテキスト」で文を並べ替える操作と、その操作の測定すなわち記録されるデータを示す。図では操作として、ID「s3」のピースを「s1」と「s4」の間からドラッグして、「s6」と「s5」の間にドロップしたことを記録している。

測定データを分析する手法として編集操作(パズル操作)対象の時間的な共起分析を導入した。トピック・ライターの分析では、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。レビュー後の文章の改善度と EOI とに順位相関があることを示した [5][6]。

ジグソー・テキストでは、時間的共起頻度から、プレイヤーが文章全体の構造を読み取って解いている様子を見いだせた [7][8]。図 1 図 2 の「s1」などは、図 1 での行の ID「s1」などに対応する。共起行列は、「s1」を動かした後で「s2」を動かした回数が「9」回であった、などを表す。共起回数が有意に多いならば、対応する行同士には何らかの関係があると推定する。この関係が、構文上の関係であれば、ジグソー・パズルを、絵柄ではなくピースの形に基づいて解くようなものだろう。パズル、すなわち課題の文章を工夫することで、このような手がかりを排除することもできよう。

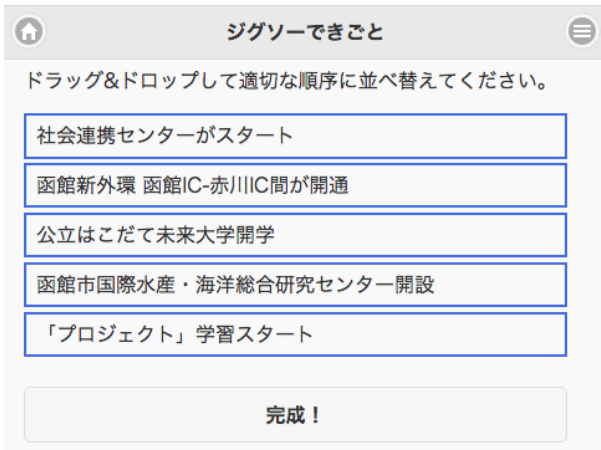


図 3 「公立はこだて未来大学の歴史」パズル
Fig. 3 History of Future University Hakodate

4. さまざまな並べ替えパズル

並べ替え方式に絞って、読解・作文に限らない、パズルの例を示す。実際にやってみると、並べ替え対象、すなわちパズルのピースが少なくても意外に難しいことが分かる。

4.1 ジグソーできごと

ジグソーできごとは、過去のできごとの順序や、これから行う手続きの順序などを問うパズルである。図 3 は学校の歴史を、その地域の歴史と関連づけて問う年表パズルである。「函館新外環…」が周辺地域、すなわち函館市の主なできごと、それ以外が大学の主なできごとである。図 4 は、結婚式の段取りを問うプロジェクト計画パズルである。

図 3 では、よく知られている (知っていると思われる) 前後関係を明らかにできるだろう。

図 4 のようなパズルは、単に正解を問うだけでなく、何を大切に、大切さをどう順序に反映するかというプレイヤーの意識も明らかにすると考えられる。

4.2 ジグソー地理

ジグソー地理は、町や史跡などの 2 次元の位置関係を問う、2 次元の並べ替えパズルである。正確な位置を問うだけでなく、緯度経度から自由に配置できることで、印象を問うこともできる。図 5 は、人によって異なる「湘南」の範囲・位置を問うパズルである。図 6 は、自分中心に生まれ育った地域の学校などを配置する。集計することで、地域にとってのランドマークなどが明らかになると期待できる。

4.3 ジグソー・コード

ジグソー・コードは、プログラム・コードの行を並べ替えて、正しいプログラムにするパズルである。核心部分のみを問う図 7 に比べて図 8 は、広い範囲の並べ替えを求め

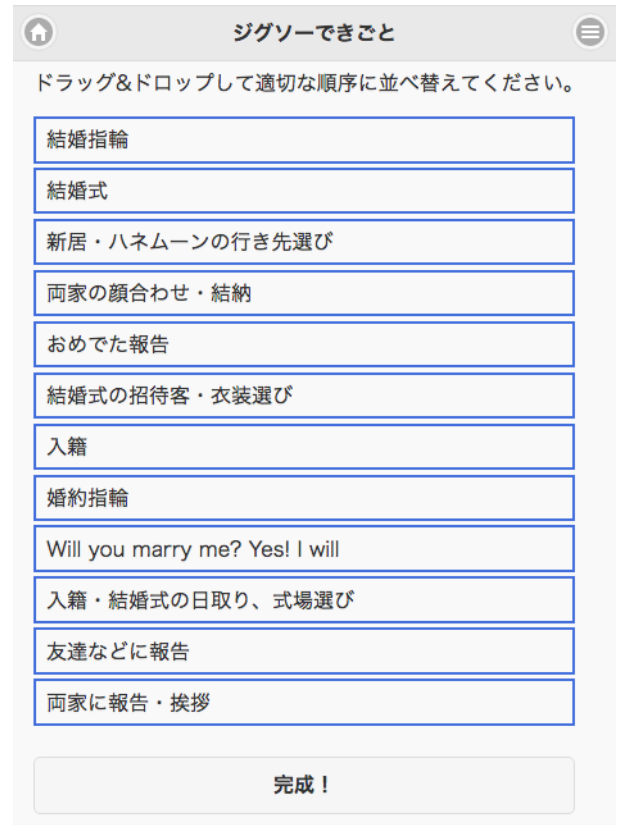


図 4 結婚の段取り
Fig. 4 Wedding procedure

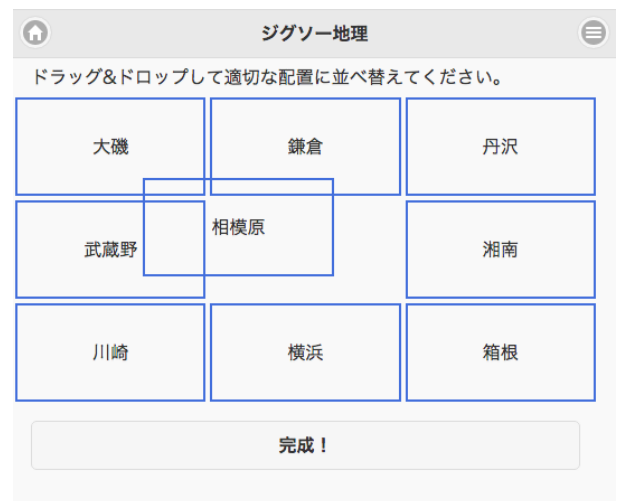


図 5 湘南の位置を問うパズル
Fig. 5 Location of Shounan

ていて、難易度が高いと予想される。図 8 のパズルに対して図 9 のような共起行列が得られたすれば、「s3」関数宣言の開始の次に「s11」関数宣言の閉じカッコを動かすことが多いと分かる。すると「まず、関数の開始・終了といった、決まり切った構文を整えることから着手する」という戦略がとられていると言えるだろう。図 10 は、各行を最初に動かした割合である。ここからも、まず何をするかを読み取れる。

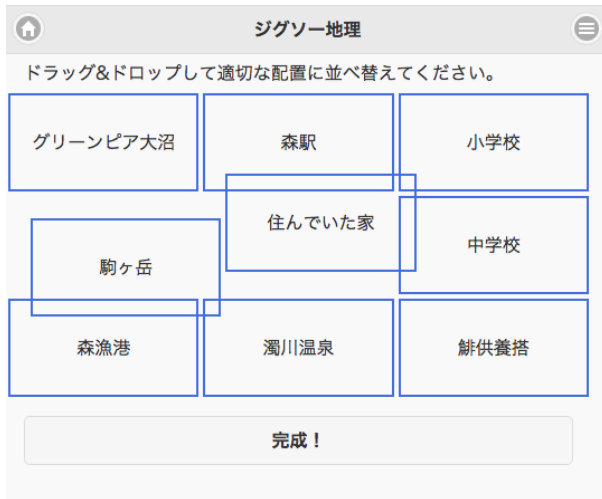


図 6 生まれ故郷
Fig. 6 Birthplace

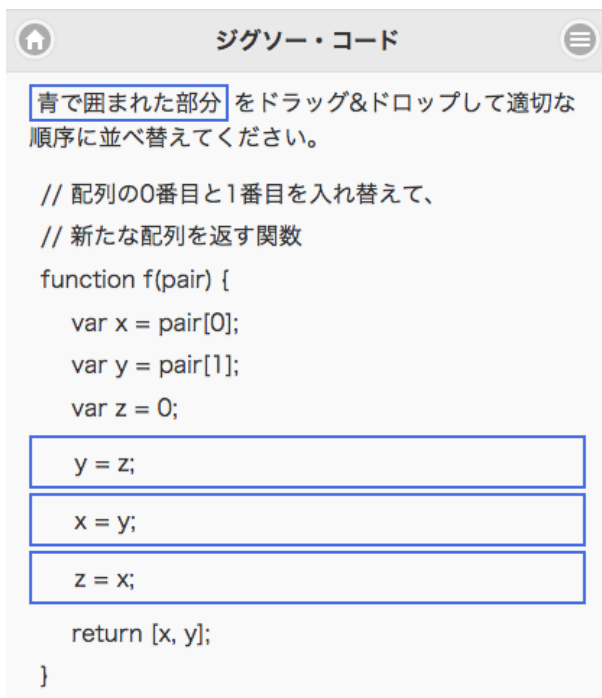


図 7 変数の値の入れ替え #1
Fig. 7 Replacement of values of the variables #1

図 11 は [9] の短冊型問題の回答過程を測定する例である。あるグループの回答者たちが「i を 1 から n まで 1 ずつ増やしながらか、くり返し」と「ここまでが「くり返し」の範囲」とを、セットで選ぶ傾向があると判明したら、そのグループはプログラムのくり返し構造を身につけていると言えるかもしれない。

5. 考察: 想定される論点

まだ、過程を測定・分析しましょうと提案してるだけの段階である。具体的な測定データや分析結果がないままでは机上の空論となりかねないが、発想を広げ目標をイメー

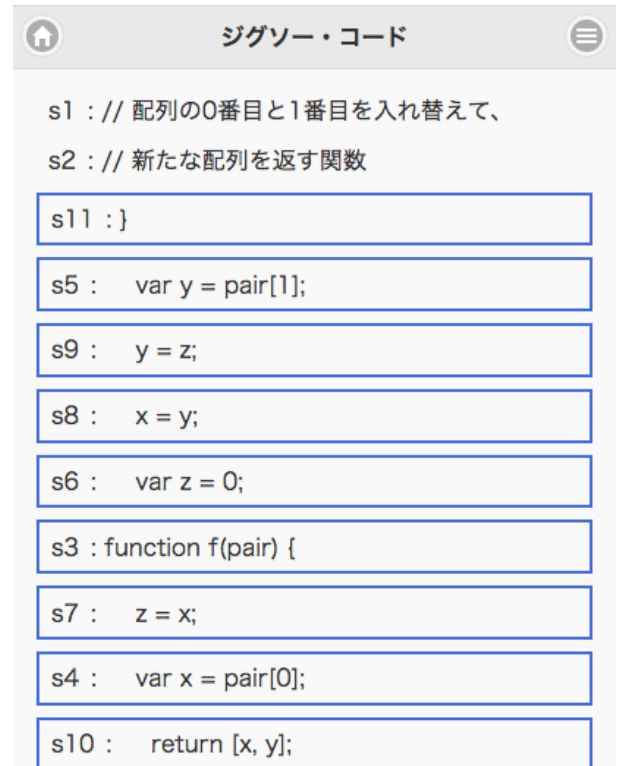


図 8 変数の値の入れ替え #2
Fig. 8 Replacement of values of the variables #2

n \ n+1	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11
s3	0	3	1	0	2	1	0	0	7
s4	0	3	7	1	1	0	1	1	0
s5	0	2	2	7	0	0	0	3	1
s6	2	0	0	4	7	2	3	1	0
s7	0	0	0	2	2	8	2	0	0
s8	1	0	0	1	0	1	2	1	2
s9	0	1	0	1	5	1	4	0	1
s10	1	2	4	2	1	1	1	4	0
s11	2	3	0	0	0	0	0	5	5

図 9 並べ替え操作の共起行列。「最初に決まり切った構文を整える」という戦略が多く採用されていると考えられる。

Fig. 9 Collocation matrix for reordering operation

ジするため、いくつか議論のポイントを提示する。

5.1 パズルの手がかりと思考力

いくつかの手がかりで、パズルの難易度を調整できるだろう。難易度を調整する要素は、作問のノウハウとなるだろう。さらに進んで「思考力」の内訳に結びつくかもしれない。手がかりは、穴埋め問題の「対策」[9]と同類であろうか。あるいは、思考力を構成する立派な要素であろうか。

図 1 「オレオレ詐欺」の作者は、当初「…2 つの種類が

s3	8	38%
s4	0	0%
s5	1	4%
s6	2	9%
s7	0	0%
s8	0	0%
s9	1	4%
s10	2	9%
s11	0	0%

図 10 最初に動かした行の割合

Fig. 10 Percentage of lines moved first

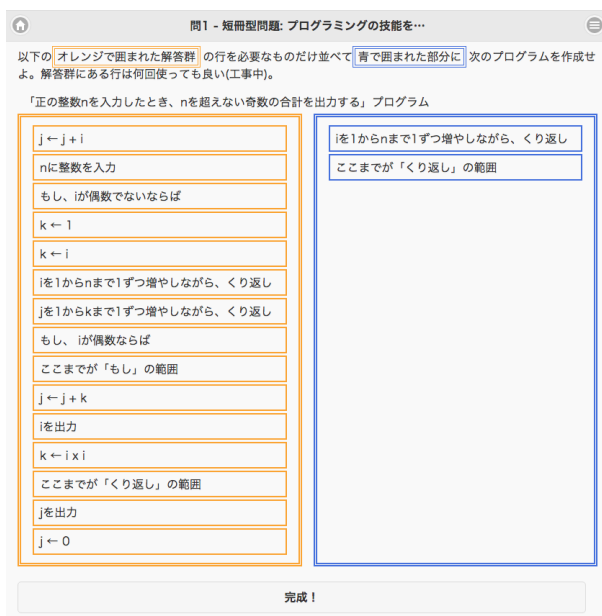


図 11 短冊型プログラミングの測定

Fig. 11 Measurement of split-paper programming

ある。」「ひとつは…」、「もうひとつは…」としていた。順序の自由度を増やすために「ひとつは…」、「ひとつは…」と、「もう」を外した。このような「手がかり」は、本家ジグソー・パズルで言えば「ピースの形」に該当し、完成絵柄を考えることなくパズルを解く助けになる。

図 3 のような学校の歴史であれば、「…開学」というできごとは、まっ先に動かして先頭に配置したいと考えるだろう。

「…2つの種類がある。」「ひとつは…」、「ひとつは…」や「…開学」という手がかりを見つけて活用することは、思考力として評価すべきであろうか。

5.2 過程評価と成績・合否判定

過程の評価を、合否判定や成績に結びつけられるであろうか。

5.2.1 試行錯誤

試行錯誤ということばがあるように、過程には誤りと考えられる操作が含まれるかもしれない。誤った操作は減点の対象であろうか。正解に向かってまっすぐ進むことが、求められる「思考力」なのであろうか。並べ替え問題で言えば、ソート・アルゴリズムのように、正解に向かって進む正しい手順の効率などのみが加点の対象であろうか。

「引っかけ問題」に引かかるのは減点の対象であろうか。あるいは、引っかけ問題にひっかかるのは、ある種のパターンを身につけていることを示しているの、それ自体は加点の対象ではないであろうか。

5.2.2 統計的な傾向と個別の操作

図 11 の説明で『あるグループの回答者たちが「i を 1 から n まで 1 ずつ増やしなが、くり返し」と「ここままで「くり返し」の範囲」とを、セットで選ぶ傾向があると判明したら、そのグループはプログラムのくり返し構造を身につけていると言えるかもしれない。』と述べた。グループの傾向として言えることと、個々の回答者の評価とは同じであろうか。「セットで選んだ」回答者に加点し、「セットで選ばなかった」回答者を減点してよいであろうか。

6. まとめ

並べ替えに限定しても、さまざまな分野に応じたパズルが考えられることを示した。また、それぞれ測定・分析することでプレイヤーの知識や戦略を推定できる可能性を示した。本稿で紹介したパズルは、当日、参加者が操作できる形でデモンストレーションする予定である。同様に発想することで、さまざまなパズルや測定・分析手法が考案されて、現場の学習・指導に役立つことを期待している。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 17K01085 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 緒方広明、大学教育におけるラーニング・アナリティクスの導入と研究、日本教育工学会論文誌 41(3), 221-231, 2018
- [2] Amazon, Kindle, <https://www.amazon.co.jp/>
- [3] 楠見孝 編, (2015) "批判的思考：21世紀を生きぬくりテラシーの基盤"
- [4] 山内肇ら (2012) "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"
- [5] 大場みち子, 山口琢, 高橋慈子, 小林龍生, 藤原亮, 文章作成とレビュー効果の測定と分析, 情報処理学会, 研究報告コンピュータと教育 (CE), 2018-CE-144(28), 1-7, 2018
- [6] Michiko Oba, Taku Yamaguchi, Shigeko Takahashi, Tatsuo Kobayashi, Analysis of Relationship between Text Editing Process and Evaluation of Written Text in Logical Writing, 研究報告コンピュータと教育 (CE), 2017-CE-141(10), 1-9, 2017
- [7] 山口琢, 大場みち子, 藤原亮, 高橋慈子, 小林龍生, 読解・作文行動の測定と分析手法, 情報処理学会, 研究報告教育学習支援情報システム (CLE), 2018-CLE-24(24), 1-8, 2017
- [8] 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, 情報処理学会, 研究報告コンピュータと教育 (CE),2017-CE-142(27),1-6, 2017
- [9] 角田 博保, 久野 靖, 短冊型問題: プログラミングの技能を評価可能な試験出題形式, 夏のプログラミング・シンポジウム 2016「教育・学習」(2016)
- [10] 西田 知博, 植原 啓介, 角谷 良彦, 鈴木 貢, 中山 泰一, 香西省治, 高橋 尚子, 中西 通雄, 松浦 敏雄, 増澤 利光, 萩谷 昌己, 萩原 兼一, 「情報科」大学入学者選抜における CBT システムの研究開発, 情報処理学会 情報教育シンポジウム論文集,2017(28),182-187 (2017-08-10)
- [11] 久野 靖, 情報教育とプログラミング教育: 私達は当事者である(べき)かも?, 第 20 回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ (PPL 2018), 2018