

も く じ

■開催日時：2023年11月12日（日）

■テーマ：多様なスキルの開発を支える学習デザインとその支援技術／一般

1) 学術論文を入力とする観点を反映した要約生成システムの構築-----	1
○田邊肇比古（北陸先端科学技術大学院大学），リ ケンコン（北陸先端科学技術大学院大学）， 長谷川忍（北陸先端科学技術大学院大学）	
2) 言語活動を取り入れた授業における形態素解析を用いた「指導と評価の一体化」への試み 高等学校「物理基礎」の知識習得の授業を例として-----	8
○棟田陽（広島市立大学大学院），永山忍（広島市立大学大学院），市原英行（広島市立大学大学院）， 井上智生（広島市立大学大学院）	
3) 算数文章題乗除の統合的解釈と学習課題化 -----	16
○平嶋宗（広島大学）	
4) 自動車修理業における指導の実態調査と指導者支援システムの提案-----	24
○高井由佳（大阪産業大学），岸木翔太郎（大阪産業大学），池元茂（ボデーガレージイケモト）	
5) 肢体不自由者のための自立活動支援アプリケーション-ユーザーサポート機能の拡充-----	28
○佐野颯舞（国立東京工業高等専門学校），土方啓寿（国立東京工業高等専門学校）， 吉本定伸（国立東京工業高等専門学校），谷本式慶（東京都立村山特別支援学校）	
6) 錯視画像作成教材 VisioCraft の開発 -----	30
○小林伸行（山陽学園大学），児玉太一（岡山県立大学），高橋功（山陽学園大学）	
7) 物理現象を題材としたバーチャル遊び場創りによるプログラミング教育の実践-----	34
○田代穂香（長崎大学／長崎純心大学），土手絢心（長崎大学）， 北村史（長崎大学），瀬戸崎典夫（長崎大学）	
8) プログラミング的思考力を育むための小学校プログラミング授業支援 -児童の主体的な学びを目指した授業教材の改良- -----	38
○伊西瑠奈（東京工業高等専門学校），市岡徹郎（東京工業高等専門学校）， 吉本定伸（東京工業高等専門学校），鈴木雅人（東京工業高等専門学校）	

9) 小学校向け安全マップ活動支援システム-ユーザビリティ向上のための機能改良- ----- 41

○小野寺星（東京工業高等専門学校），菊地花梨（東京工業高等専門学校），
倉持宏斗（東京工業高等専門学校），吉本定伸（東京工業高等専門学校）

学術論文を入力とする観点を反映した要約生成システムの構築

田邊 肇比古^{*1}, リ ケンコン^{*1}, 長谷川 忍^{*2}

^{*1} 北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科

^{*2} 北陸先端科学技術大学院大学 遠隔教育研究イノベーションセンター

Construction of a summary generation system that reflects the viewpoints of academic papers

Tanabe Hatsuhiko^{*1}, Li Jinghong^{*1}, Hasegawa Shinobu^{*2}

^{*1}Division of Advanced Science and Technology, Japan Advanced Institute of Science and Technology

^{*2} Center for Innovative Distance Education and Research, Japan Advanced Institute of Science and Technology

The purpose of this research is to develop a summary generation system that reflects the viewpoints of academic papers. This is achieved by building a point-of-view classifier for the main text of an article and generating a summary using the sentences classified by the point-of-view classifier as input. The accuracy of the point-of-view classification is important for the final summary generation, and section information is used to improve the accuracy. We verified the possibility of useful summary generation by defining important sentences and learning the degree of importance.

キーワード: 学術論文, 観点, 自動分類, 自動要約, 深層学習, 汎化性能

1. はじめに

研究者や学生が新たな領域で研究を始める際, 関連領域の論文サーベイを通して先行研究の動向を理解する必要がある. 査読を通過する前の論文を一般に公開するプレプリント・サーバーである arXiv⁽¹⁾などにより Web 上で膨大な学術論文が日々出版される状況において, 多くの論文を読み内容を理解することが重要である. このことから, 論文の情報を効率的に収集及び整理し, より効果的な論文サーベイをサポートする要約生成技術が求められている.

論文に対する要約技術は, 1 つの論文全体の要約に主眼が置かれている⁽²⁾. 研究者や学生の理解度や研究の進捗状況に応じて注目すべき研究観点が異なることから, 研究背景や方法といった特定の観点で生成することは効果的であると考えられる. しかし, 観点を反

映した要約を生成する研究は十分ではない.

2. 関連研究

2.1 論文要約

学術論文サーベイのための研究としては, 学術論文の典型的な構造である「序章」「関連研究」「提案手法」「評価実験」「結論」のセグメントに着目して要約を生成するものがある⁽³⁾.

要約には論文の主な要点である「目的」「提案手法」「先行研究に対する位置づけ」「実験の設定やその結果」「貢献」などが含まれていることが望ましいと考え, 論文をセグメントで分割した後, 各セグメントから重要文を抽出し統合したものを要約とするものである.

2.2 観点を反映した要約生成

要約を生成する際には膨大な情報の中から必要とする情報を含んだ文章を抽出する手法が用いられる.

学術論文に対する要約生成では，研究活動支援を目的に研究背景などの観点を反映した要約生成システム (ViewPoint Refinement in Automatic Summarization)⁽⁴⁾が開発されている．抽出要約を一種の文章分類タスクとみなし，観点ごとに分類した文章そのものを要約文とするものである．

また，必要とする情報を含む文章を抽出するという研究も行われている．文章の重要度を他の文章と意味的な共通集合を持つ度合いで定義し，この重要度をもとに文書の中核となる文章をマイニングする研究がある⁽⁵⁾．マイニングされた文章を入力として抽象要約を行うことで，もとの文章の内容と乖離した文を生成する可能性を減らしつつ，文の流れが流暢で読みやすい要約生成を目指すものである．

本研究では，事前学習言語モデルを用いて観点分類器を構築し，汎用性を考慮して未知の論文に対する観点分類精度の評価を行う．また，観点毎に分類した文章を入力とする抽象要約を生成することで指定した観点を含む要約の生成を試みる．

3. 提案手法

観点毎の要約を生成するために，まず論文の本文に含まれる文章を観点で分類する．分類した文章を入力として要約を生成することにより，任意の観点毎の要約を生成する手法を提案する．全体像を図 1 に示す．

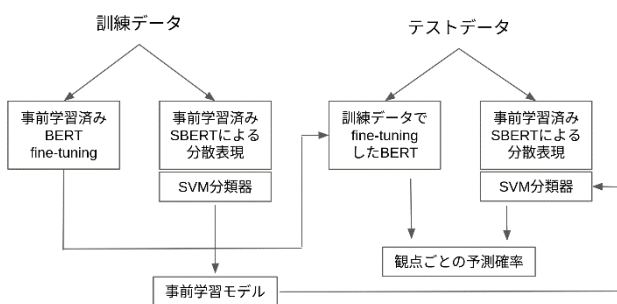


図 1 全体像

3.1 前処理

本研究では学術論文の本文を対象に，Apache Tika と呼ばれる Java で開発されたドキュメント分析・抽出ツールを利用し，学会のサイトから取得した論文の本文を抽出した．専門家により文単位で分割した文章に対して「背景」「目的」「方法」「実験・実践」「結果」「知見」「関連研究」からなる観点ラベルと観点ごとの

重要度ラベルを付与した．付与されたラベルのうち，観点ラベルは観点分類の教師データとして使用し，重要度ラベルは要約生成における正解要約として使用する．

3.2 観点分類

本研究では，図 2 に示すように Transformer⁽⁶⁾を基礎とした BERT⁽⁷⁾と Sentence BERT(SBERT)⁽⁸⁾を用いて観点分類器を構築する．前処理したデータセットを訓練データとテストデータに分割して扱うが，ここで 1 つの論文における文章が訓練データとテストデータの両方に含まれないようにして学習を行う．また，文章を BERT のへ入力するためには文章をトークン化する必要がある．トークン化とは文章を単語レベルに分割した上で BERT に入力できる形式へ変換することであり，形態素解析器の MeCab⁽⁹⁾を用いて単語に分割した後，WordPiece⁽¹⁰⁾で単語をトークン分割したものを入力として使用する．

BERT に関しては，訓練データにより fine-tuning を行いテストデータで観点毎の予測確率を得る．SBERT に関しては SBERT 自体の fine-tuning は行わず，事前学習モデルにより得られる分散表現を SVM に入力として与え学習することで事前学習モデルを構築する．テストデータに関しては SBERT により得られた分散表現を事前学習モデルに入力することで観点毎の予測確率を得る．

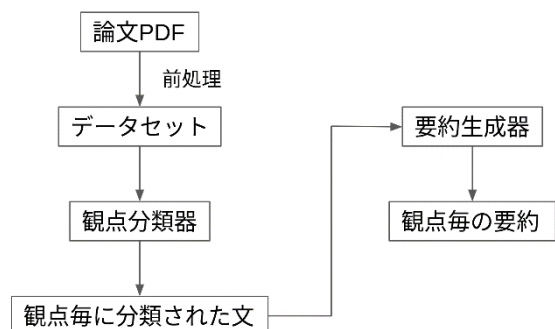


図 2 観点分類モデル

3.2.1 BERT

Generative Pre-trained Transformer(OpenAI GPT)⁽¹¹⁾のような fine-tuning アプローチは，方向性言語モデルにより一般的な言語表現を学習するが，この方向性により事前学習で学習された表現が制限さ

れている。一方、BERT は双方向から文脈を取り込むという考えに基づき、すべての層で左右両方の文脈を共同で条件づけすることで、ラベル付けされていないテキストから双方向表現を事前学習する Transformer ネットワークである。タスク固有のアーキテクチャを大幅に変更することなく、出力層を追加するだけで質問応答や文のクラス分類、言語推論を含む様々な NLP タスクのモデルを作成可能にする。

3.2.2 Sentence BERT

Sentence BERT は siamese network と triplet network を使用して BERT を fine-tuning することで、コサイン類似度で比較して意味的に重要な文のベクトルを生成するものである⁽⁸⁾。ある文章とそれに類似する文章のペアを学習データとして与えて、これらの文章ペアから生成されるベクトル同士が似たベクトルになるように BERT を fine-tuning することで得られた文のベクトルは、意味の類似性比較やクラスタリング、意味に基づいた情報検索タスクに用いることができる。

3.2.3 セクション情報の付与

観点分類精度の試みとして、学術論文が章節項立てで構成されることに着目し、本文を文章単位に分割した後、各文章の先頭に章節項というセクション情報を付与する。概要を図 3 に示す。

「3.4 プログラミング時の活動データ収集」というセクションに「授業は約 100 名の学生を対象に行った」という文章が存在したとき、文章単位に分割した本文「授業は約 100 名の学生を対象に行った」のみを 1 データとしていたが、ここではセクション情報「3.4 プログラミング時の活動データ収集」を本文の先頭へ付与する。このとき、付与するセクション情報のパターンは以下である。

- (1) 「3.4」等のセクション番号のみ
 - (2) 「プログラミング時の活動データ収集」等のセクション名のみ
 - (3) 「3.4 プログラミング時の活動データ収集」等のセクション情報全体
- (1)～(3)それぞれを文章単位に分割したすべての本文に適用し、BERT と SBERT それぞれの分散表現を用いて観点分類を検証する。

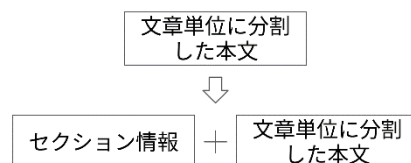


図 3 セクション情報の付与

3.3 学習

実応用を考慮すると未知の論文に対して観点分類は行われるものであるため、1 つの論文の文章が訓練とテストデータの両方に含まれていることは適切ではない。そこで、検証においては訓練用とテスト用で論文単位に分けて扱う。BERT の場合、分類タスクのため [CLS] トークンに出力層を接続して fine-tuning 及び推論を行う。SBERT の場合、SBERT を用いるのは入力した文の分散表現を獲得するところまでとし、SBERT 自体の fine-tuning は行わない。つまり、訓練データから SBERT により分散表現を獲得し、得られた分散表現を入力として SVM を学習した後、学習した SVM を用いてテストデータの分類を行う。

3.4 要約生成

本研究では、Bidirectional and Auto-Regressive Transformers(BART)⁽¹²⁾を用いて要約生成器を構築する。BART は BERT と同様に大規模データセットで事前学習したものを fine-tuning して目的のタスクに適用する。事前学習を行うにはデータ及び計算リソースが不足していることから、翻訳や要約、言語モデリング等のテキスト生成タスクのためのツールである fairseq の事前学習モデルを使用する。また、文章を BART へ入力するためには文章をトークン化が必要があるが、ここでは形態素解析器の Juman++⁽¹³⁾を用いて単語に分割した後、SentencePiece⁽¹⁴⁾でトークン化したものを入力として扱う。

3.4.1 BART

BART は BERT を Seq2Seq の形にしたもので、Encoder と Decoder を大量のテキストデータで事前学習したモデルであり、Seq2Seq の仕組みにより機械翻訳や文章の要約に用いられる⁽¹²⁾。また、BERT と同様に fine-tuning することで目的の文章の要約を高精度で生成できる。BERT の双方向 Transformer と

OpenAI GPT の片方向 Transformer を組み合わせた機構であり, BERT を Encoder として入力処理することに用い, OpenAI GPT の Auto-regressive Decoder で Encoder から出力された情報を受け取って文章を生成するものである.

4. 実験

4.1 データセット

教育システム情報学会(JSiSE)の 2012 年度の論文 18 編(JSiSE2012)と 2013 年度の論文 22 編(JSiSE2013)をデータセットとして用いる. 前処理の手続きに従って論文をそれぞれの文章に分割しラベルを付与した.

4.2 観点分類の実験設定

BERT は大規模な文章を用いて汎用的な言語パターンを学習することから 1 から自分で学習することは現実的ではない. そこで, 一般に公開されている東北大学の乾研究室が作成した日本語の学習済みモデルを用いる⁽¹⁵⁾. また, JSiSE2012 を訓練データ JSiSE2013 をテストデータとして検証する. 学習に際して, BERT に入力する文章を単語に分解するトークナイズにおける最大トークン数は 128 に設定する. また, バッチサイズは 16, 学習率は 1×10^{-5} , エポック数は 5 とする.

SBERT は東北大学の乾研究室が作成した日本語の学習済み BERT を fine-tuning して作成された SBERT を用い⁽¹⁶⁾, これにより得られた分散表現を特徴量とし SVM で観点分類を行う. SVM は rbf カーネルを指定し, 誤分類の許容範囲である C を 1.0, カーネル係数を 0.001, その他のパラメータは sklearn のデフォルト値とする.

4.3 観点分類結果

先行研究の手法である Word2Vec と PV-DM とこれらの出力結果を組み合わせた Combined-method, BERT および SBERT のセクション情報を付与せず本文のみを使用する場合における観点分類結果を表 1 に示す.

表 1 より, BERT が最も精度が高い結果となった. SBERT においては, 適合率は先行研究を上回っていたが, 再現率と F1 スコアは先行研究を下回る結果で

あった.

表 1 セクションなしにおける観点分類結果

方法	適合率	再現率	F1スコア
Word2Vec	0.36	0.30	0.30
PV-DM	0.38	0.33	0.34
Combined-method	0.41	0.33	0.35
BERT(ours)	0.49	0.44	0.44
SBERT(ours)	0.43	0.30	0.31

次に, 論文本文に加えてセクション情報全体を付与した場合における観点分類結果を表 2 に示す.

表 2 セクション情報全体を付与における観点分類結果

方法	適合率	再現率	F1スコア
Word2Vec	0.52	0.44	0.46
PV-DM	0.45	0.39	0.40
Combined-method	0.52	0.43	0.45
BERT(ours)	0.66	0.69	0.67
SBERT(ours)	0.53	0.47	0.49

表 2 より, 表 1 と同様に BERT が最も精度が高い. また, すべての手法において精度が向上しており, SBERT は先行研究を上回る結果となった. このことから, SBERT はセクション情報といった, 内容に制約のある文字情報が含まれている文章において精度が向上すると考えられる. しかし, SBERT は BART に比べると精度が劣ることから, 観点分類用に SBERT 自体の fine-tuning が必要であると考えられる.

4.4 3 行要約データセット

観点毎の要約生成器を構築において, 観点毎の文章を BART に入力として与えて要約を生成するが, BART で要約を生成するためには事前学習モデルを fine-tuning する必要がある. fine-tuning に使用するデータは要約したい文章とその文章の要約文のペアが数千単位で必要になるため, 3 行要約データセットを用いる⁽¹⁷⁾.

3 行要約データセットは、ニュースポータルサイトである livedoor ニュースをスクレイピングして構築する。ニュース記事には本文の他に「ざっくり言うと」という欄が設けられており、記事の内容を説明する文章が 3 つ付与されている。これを記事の要約と見立てて作成したものが 3 行要約データセットである。

4.5 重要度の学習

3 行要約データセットで学習したモデルを重要度データセットで fine-tuning することで、論文における各観点においてより重要な文章を含んだ要約を生成することが可能であるか検証する。

4.6 要約生成の実験設定

BART も BERT と同様、大規模な文章を用いて汎用的な言語パターンを学習することから 1 から学習することは現実的ではないため、一般に公開されている学習済みモデルを使用する⁽¹⁸⁾。この学習済みモデルを 3 行要約データセットにより fine-tuning する。また、学習済みの BART はトークン数の上限が 1024、文字数にして 1500 文字程度の制約があるため、入力する記事のうち 1500 文字を超えるものは除外し、学習率は 3×10^{-5} 、エポック数は 5 として学習する。

4.7 要約生成結果

観点が「背景」の本文に対して生成された要約を表 3 に示す。

表 3 「背景」の要約例

本文	問題に対して複数の選択肢を提示し、その中から正解を選ばせるといった多肢選択問題は、e ラーニングの教材における典型的な出題形式である。この多肢選択問題における誤選択肢に関しては、(I) 正解を判別できないようにするための誤選択肢（本稿では無意味誤選択肢と呼ぶ）、という考え方と、(II) 学習者が間違いうる誤選択肢（本稿では有意味誤選択肢と呼ぶ）、という考え方がある。前者の場合、正解の選択肢以外はすべて同等の誤りとなり、解説も正解の解説を用意すればよ
----	--

	いことになり、比較的簡単に用意することができる。しかしながら、学習者に対しては正解を教えるだけしかできず、学習者の誤りを活かした学習は行うことができない (1)。後者の場合には、学習者がある誤選択肢を選択したとすると、その誤選択肢が表す誤りを学習者が犯していたということとなり、そのとらえられた誤りに応じたよりきめの細かな支援が可能となる。したがって、学習の効果の面から考えると教材としては有意味誤選択肢で構成された多肢選択問題が望ましいと言える。しかしながら、(A) 学習者が犯しそうな誤りを反映した誤選択肢を用意する必要があり、さらに、(B) 個々の誤選択肢に対する解説の用意が望まれるため、作成に大きなコストがかかることになる。本研究は、(B) の有意味誤選択肢に対する解説文の自動生成を目指したものである。多肢選択問題の自動生成に関する研究はこれまでに盛んに行われている (2) (3)。しかし、これらの手法はいずれも生成される誤選択肢は有意味であるとは言えなかった
生成要約 (3 行要約データセット)	学習者が間違いうる誤選択肢を紹介している。正解の選択肢以外はすべて同等の誤りとなり、解説も正解の解説を用意すればよいことになる。学習者に対しては正解を教えるだけしかできず、学習者の誤りを活かした学習は行うことができない
生成要約 (3 行要約 + 重要度データセット)	e ラーニングの教材における典型的な出題形式である。この多肢選択問題における誤選択肢に関しては、学習者が間違いうる誤選択肢（本稿では有意味誤選択肢と呼ぶ）、という考え方がある。前者の場合、正解の選択肢以外はすべて同等の誤りとなり、解説も正解の解説を用意すればよいことになり、比較的簡単に用意することができる。しかしながら、学習者に

対しては正解を教えるだけしかできず、学習者の誤りを活かした学習は行うことができない。後者の場合には、学習者がある誤選択肢を選択したとすると、その誤選択肢が表す誤りを学習者が犯していたということとなり、そのとらえられた誤りに応じたよりきめの細かな支援が可能となる。したがって、学習の効果の面から考えると教材としては有意味誤選択肢で構成された多肢選択問題
--

表3より、3行要約データセットから生成された要約文は、要約対象の本文に対して3行の要約が出力されていることがわかる。これは 3行要約データセットで学習したことによると考えられる。また、要約内容に関しては適切なものが生成できているとは言えない。本文はeラーニングの教材における出題形式についての内容で、著者は「1. 正解を判定できないようにするための誤選択肢（無意味誤選択肢）」と「2. 学習者が間違いうる誤選択肢（有意味誤選択肢）」の2つの出題形式を説明し、2の方が学習者にきめ細かい支援が可能となると述べている。しかし、生成された要約を見ると、1の出題形式の内容に関する説明のみとなっており要約としては不十分であると考えられる。

3 行要約データセットに加えて重要度データセットから生成された要約文は、3 行要約データセットのみで学習させたときよりも生成された要約文が長いことがわかる。これは、重要度データセットにおける重要文の数が 3 行ではないことが原因と考えられる。内容に関しては、著者は本文で「1. 正解を判定できないようにするための誤選択肢（無意味誤選択肢）」と「2. 学習者が間違いうる誤選択肢（有意味誤選択肢）」の2つの出題形式を説明していたが、2 の出題形式しか要約に含まれていないが、2 つの出題形式の長所と短所に関しては要約文に含まれており、有意味誤選択肢に着目する内容となった。また、重要文ラベルが付与された太字の文章が部分的にしか含まれておらず、重要文を含むように学習は十分ではないと考えられる。さらに、生成された文章の末尾が途中で途切れる形であることから、正解要約として与えた重要度が付与された文章の形式を工夫する必要があると考えられる。

ここで、重要文を正解要約として「背景」の要約生成例に対する ROUGE スコアを算出する。結果を表 4 に示す。

表 4 より、重要度データセットで fine-tuning することで重要な内容が含まれるようになり ROUGE スコアは向上した。しかし、要約文が長くなったことによるスコアへの影響を検証できていない。

表 4 生成された「背景」の要約文における ROUGE スコア

	ROUGE-1	ROUGE-2	ROUGE-L
重要度データセット未使用	0.387	0.131	0.194
重要度データセット使用	0.412	0.195	0.218

5. おわりに

研究者や学生が分野理解やサーベイ等の研究活動を行う際、観点を考慮した要約を生成することは効率及び効果の面からしても重要である。本研究では、指定した観点の内容を含んだ要約を生成するため、論文の本文を観点ごとに分類した。そして、分類された文章を入力として要約を生成することで観点を含んだ要約生成を検証した。観点分類においては、BERT を用いることで先行研究の実験設定においては先行研究と同様の精度が得られたことに加え、学習データとテストデータを論文単位で分離するより汎用的な評価を実施することで先行研究手法の精度を上回ることを確認した。また、本文に加えてセクション情報を付与することで精度向上を図り、セクション番号とセクション名を合わせたセクション情報全体を付与することが最も観点分類精度を高めるという知見を得た。

論文要約においては、抽象要約手法を用いたことで各観点においてどのような要約が得られるのか知見を得た。観点ごとの特性を考慮して要約生成手法を改良していくことで、研究者や学生の分野理解やサーベイの効率化につながることを期待される。

参 考 文 献

- (1) “arxiv,” <https://arxiv.org/>.
- (2) Danish Contractor, Yufan Guo, and Anna Korhonen. Using argumentative zones for extractive summarization of scientific articles. COLING ’12, pp.663–678, 2012.
- (3) SHIN Wonha and 白井 清昭, “セグメント構造を考慮した学術論文の包括的要約の自動生成の提案,” 言語処理学会 第 23 回年次大会 発表論文集, 2017
- (4) リ ケンコン, 太田光一, and 長谷川忍, “観点を反映した深層強化学習による学術論文の自動要約生成,” in 信学技報, ser.ET2020-19, vol.120, no.167, 石川, 9 月 2020, pp.53–56, 2020 年 9 月 10 日
- (5) 重松 祐匡 and 尼崎 太樹, “文章間情報を用いた抽出的要約生成器 est,” 人工知能学会全国大会論文集, vol. JSAI2022, pp.1P5GS605–1P5GS605, 2022
- (6) A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, et al., “Attention is all you need,” CoRR, vol. Abs/1706.03762, 2017
- (7) J. Devlin, M. Chang, K. Lee, et al., “BERT: pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding,” CoRR, vol. Abs/1810.04805, 2018
- (8) N. Reimers and I. Gurevych, “Sentence-bert: Sentence embeddings using siamese bert-networks,” in EMNLP/IJCNLP (1), K. Inui, J. Jiang, V. Ng, and X. Wan, Eds. Association for Computational Linguistics, 2019
- (9) T. KUDO, “Mecab: Yet another part-of-speech and morphological analyzer,” <http://mecab.sourceforge.net/>, 2005
- (10) Google. (2018) The wordpiece algorithm in open source bert. [Online]. Available: <https://github.com/google-research/bert/blob/master/tokenization.py>
- (11) A. Radford, K. Narasimhan, T. Salimans, et al., “Improving language understanding by generative pre-training,” 2018
- (12) M. Lewis, Y. Liu, N. Goyal, et al., “BART: denoising sequence-to-sequence pre-training for natural language generation, translation, and comprehension,” CoRR, vol. Abs/1910.13461, 2019
- (13) A. Tolmachev, D. Kawahara, and S. Kurohashi, “Juman++: A morphological analysis toolkit for scriptio continua,” in Proceedings of the 2018 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing: System Demonstrations. Brussels, Belgium: Association for Computational Linguistics, Nov. 2018
- (14) R. Sennrich, B. Haddow, and A. Birch, “Neural machine translation of rare words with subword units,” in Proceedings of the 54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers). Berlin, Germany: Association for Computational Linguistics, Aug. 2016
- (15) M. Suzuki, “Pretrained japanese bert models,” <https://github.com/cl-tohoku/bert-japanese>.
- (16) I. Sonobe, “Japanese sentence-bert model,” 2021, <https://huggingface.co/sonoisa/sentence-bert-base-japanese-mean-tokens-v2>.
- (17) 小平 知範 and 小町 守, “Tldr 3 行要約に着目したニューラル文書要約,” 電子情報通信学会 技術研究報告 = IEICE technical report : 信学技報, vol. 117, no. 212, pp. 193–198, 09, 2017
- (18) M. Ott, S. Edunov, A. Baevski, et al., “fairseq: A fast, extensible toolkit for sequence modeling,” in Proceedings of NAACL-HLT2019: Demonstrations, 2019

言語活動を取り入れた授業における形態素解析を用いた

「指導と評価の一体化」への試み

— 高等学校「物理基礎」の知識習得の授業を例として —

棟田 陽^{*1}, 永山 忍^{*1}, 市原 英行^{*1}, 井上 智生^{*1}

^{*1} 広島市立大学 大学院 情報科学研究科

An Attempt on “Integration of Instruction and Evaluation” Using Morphological Analysis in Classes with Language Activities - In a Class for Knowledge Acquisition of High School “Basic Physics” -

Yo Muneta^{*1}, Shinobu Nagayama^{*1}, Hideyuki Ichihara^{*1}, Tomoo Inoue^{*1}

^{*1} Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University

新高等学校学習指導要領の総則において「指導と評価の一体化」の必要性が明確化された。「指導と評価の一体化」を図るために行われる形成的評価としては、生徒の記述文の分析によるものがよくみられる。しかしその分析には多くの時間を必要とし、その結果を直ちに指導の改善に反映させることは難しい。本稿では、高等学校「物理基礎」の知識習得の授業において「指導と評価の一体化」の試みを紹介する。言語活動を取り入れ、「指導」「記述文による形成的評価」「形成的評価に基づく指導改善及び指導の手当の提示」を1単位時間内に行う。「記述文による形成的評価」のために、記述文の形態素解析の結果から形成的評価を行う関数を提案する。この関数を実際の授業での生徒の記述文に適用した結果、生徒の理解の状況や思考の変容を可視化することができた。このことは、1単位時間の授業内で「指導と評価の一体化」の実現に有用であることを示すものである。

キーワード: 高等学校学習指導要領, 言語活動, 指導と評価の一体化, 形態素解析

1. はじめに

平成30年に告示された高等学校学習指導要領の「第3款 教育課程の実施と学習評価」では、「主体的・対話的で深い学びの実現に向けた授業改善」及び「学習評価の充実」が示されている⁽¹⁾。「主体的・対話的で深い学びの実現に向けた授業改善」の中では、学習の基盤となる資質・能力としての言語能力を育成するために、各教科・科目等の特質に応じた「言語活動の充実」が求められている⁽²⁾。「学習評価の充実」では、生徒の主体的・対話的で深い学びの実現に向けた授業改善を行うと同時に、いわゆる評価のための評価に終わることのないよう「指導と評価の一体化」を図り、学習の

成果だけでなく、学習の過程を一層重視し、生徒が自分自身の目標や課題をもって学習を進めていけるような評価が求められている⁽²⁾⁽³⁾。

「指導と評価の一体化」の効果的な実現に寄与する評価として、形成的評価がある⁽⁴⁾。形成的評価とは「単元などの教育プログラムの開始後、教育目標に応じた成果が得られているかについて、指導過程の途上で適宜把握、判断し、その結果をそれ以降の教育計画に活用するための評価」⁽⁴⁾のことである。「指導と評価の一体化」を図るために行われる形成的評価としては、生徒の記述文の分析によるものがよくみられる⁽³⁾⁽⁵⁾。しかし、教師は記述文の分析を授業終了後に実施し、次

表 1 一般的な問題形式

問題文	(物理量 x' を与えて) 物理量 $x = x_1$ の場合、物理量 y はいくらになるか.
評価	「理解できている」、「理解できていない」の2通り

の時間の授業で生徒にその評価を伝えることとなり、記述文による形成的評価を直ちに指導の改善に反映させることは難しい。また、教科指導を担当する生徒数が300人程度の場合もあり、分析・評価に多大な時間を必要する場合もある。令和4年度高校教師の1日当たりの在校等時間が10時間^⑥とあるように、教師への負担が大きい。

本稿では、高等学校「物理基礎」の知識習得の授業において形態素解析を用いた「指導と評価の一体化」の試みを紹介する。言語活動を取り入れ、「指導」「記述文による形成的評価」「形成的評価に基づく指導改善及び指導の手当ての提示」を1単位時間内において行う。「記述文による形成的評価」のために、記述文の形態素解析を行い、形態素の品詞と語の分析結果から形成的評価を行う関数を提案する。

2. 物理授業における言語活動について

2.1 物理授業における言語活動の必要性

物理の授業において、教師による一方向的な講義形式による授業は、生徒に物理を理解させることにあまり成功していないことが明らかになっている^⑦。これに対して、授業へ生徒の積極的な参加をうながすために、例えば出題された問題を周辺の生徒どうしで話し合うような言語活動を取り入れると、学習効果の上がる研究報告がある^⑧。

以上のことから、物理の授業において、言語活動を取り入れた主体的・対話的な深い学びの実現が必要である。

2.2 言語活動を取り入れた知識習得を目的とした物理授業における形成的評価のための問題文の在り方

高等学校学習指導要領解説総則編において、「主体的・対話的で深い学び」の「深い学び」の実現には、生徒が各教科等の特質に応じた「見方・考え方」を働

かせながら、知識を相互に関連付けてより深く理解したりすることなどが求められている^⑨。そして、高等学校学習指導要領解説理科編において、高等学校理科の「見方・考え方」とは、「自然の事物・現象を、質的・量的な関係や時間的・空間的な関係などの科学的な視点で捉え、比較したり、関係付けたりするなどの科学的に探究する方法を用いて考えること」とある^⑩。さらに、文部科学省国立教育政策研究所の『指導と評価の一体化』のための学習評価に関する参考資料（高等学校理科）において、ワークシートの記述文の評価の例として、「根拠を示して定量的に回答しているもの」を評価A、「定量的に回答しているもの」を評価B、「定性的に回答しているもの」を評価Cとしている^⑪。

以上のように、言語活動を取り入れた知識習得を目的とした物理の授業において、「深い学び」の実現には、定性的、定量的な理解度の評価を行う必要がある。しかし、物理量 x 、物理量 x' 、物理量 y の間に関係式があり、この関係式の理解度に関わる形成的評価の一般的な問題形式は、表1のような形式が多く見られる。この形式では2通りの評価しかできないため、定性的、定量的な理解の状況の評価を行うことができない。そのため、形成的評価のための問題に対する回答は、定性的、定量的どちらでも回答可能な記述文で回答させる必要がある。

2.3 形成的評価の問題文に対する回答記述文の形態素解析を用いた分析について

前述したように、教師が記述文の分析を行うには多くの時間を必要とし、記述文による形成的評価を直ちに指導の改善に反映させることは難しい。しかし、形態素解析を用いて記述文を分析することで、記述文による形成的評価を1単位時間内において指導の改善に反映させることは可能である。

形態素解析とは、文を、意味を持つ最小単位である形態素に分割し品詞等を判別する処理のことである。生徒の回答記述文を形態素解析し、形態素の品詞と語を分析することで、生徒の基本的な概念や原理・法則の定性的・定量的な理解の状況を把握することができる。例えば、形態素の品詞の「形容詞」・「数詞」が現れた場合は、その語を分析することで、教師は生徒の定性的・定量的な理解の状況を把握できる。一方、「形

表 2 多段階評価が可能な問題形式

問題文	(物理量 x' を与えて) 物理量 $x = x_1$ の場合と物理量 $x = x_2 = x_1 \times 2$ (2 倍) の場合では、物理量 y はどのようなになるか。
評価	「物理現象の理解」, 「定性的な理解」, 「定量的な理解」, 「表現力」等の多段階評価

容詞」・「数詞」が現れない場合は、基本的な概念が理解できていないことが分かる。これを物理の問題に当てはめると、物理量 x と物理量 y の間に反比例の関係がある問題で、「物理量 x を 2 倍にすると、物理量 y はどのようなになるか」という問いに対して、生徒 P は「小さくなる.」、生徒 Q は「大きくなる.」、生徒 R は「1/2 倍になる.」、生徒 S は「2 倍になる.」と回答があったとする。形態素の品詞を分析すると、生徒 P と Q の文では「形容詞」が現れ定性的に考えていることが分かり、生徒 R と S の文では「数詞」が現れ定量的に考えていることが分かる。また、「形容詞」と「数詞」の形態素の語を解析すると生徒 P と R は正解で法則等が理解できているが、生徒 Q と S は不正解で法則等が理解できていないことが分かる。

このように、形態素の品詞の「数詞」「形容詞」の語を分析することで、生徒の基本的な概念や原理・法則の定性的・定量的な理解の状況を把握することができ、多様な観点での多段階評価が可能となる。

3. 形成的評価のための問題文と回答記述文に対する形態素解析を用いた評価手法

物理の知識習得を目的とした授業で、言語活動を取り入れた主体的・対話的な深い学びの実現を図るために、形成的評価の問題文を、「物理現象の理解」, 「定性的な理解」, 「定量的な理解」等の多様な観点での多段階評価が可能なように工夫する方法と、その回答記述文に対する形態素解析による評価手法について述べる。

3.1 多段階評価の可能な問題文の工夫

物理量 x , 物理量 y の間に比例や反比例の関係があり、この 2 つの物理量に関係する演示実験を行った後の形成的評価を行うための問題を、表 2 の工夫した問

表 3 想定される物理量 y_1 , y_2 の回答

① 物理量 y_1 , y_2 を定量的な数値で回答
② 物理量 y_1 , y_2 の間の定量的な関係 (比例・反比例等の関係) を回答
③ 物理量 y_1 , y_2 の間の定性的な関係を回答
④ 誤った回答

題形式にする。このように、工夫した問題では、生徒の回答記述文の形式がある程度定まるため、形態素解析を用いることで回答記述文の評価が可能となり、1 単位時間内に「指導」, 「記述文による形成的評価」, 「形成的評価に基づく指導改善」という形式の「指導と評価の一体化」が実現できる可能性がある。

3.2 形態素解析を用いた回答記述文の評価の方法

表 2 の工夫した問題に対する回答記述文に形態素解析を用い、評価を出す方法を述べる。

表 2 の工夫した問題文に対して、回答記述文が下記のようなものとする。

「物理量 x が x_1 の場合、物理量 y は y_1 となり、物理量 x が x_2 の場合、物理量 y は y_2 となる。」

この場合をテンプレートとして、形態素解析を用いた評価を出す。

生徒は、与えられた物理量 x_1 , x_2 に対して求める物理量 y_1 , y_2 の回答について、表 3 の①～④の場合が想定される。①の理解度が最も高く、①から④に従って、理解度が低くなっている。

以下に、形態素解析を用いた評価の方法を示す。

(1) 回答記述文の形態素解析

本手法では、Gi NZA⁹⁾を用いて回答記述文の形態素解析を行う。

| 物理量 | x | が | x_1 | の | 場合 | , | 物理量 | y | は | y_1 | と | なり | , | 物理量 | x | が | x_2 | の | 場合 | , | 物理量 | y | は | y_2 | と | なる | . |

(2) 評価のために必要な語句の抽出

(1)の形態素解析の結果から、「 x_1 」「 y_1 」「 x_2 」「 y_2 」を抽出し、以下の組合せを作る。

(x_1 , y_1), (x_2 , y_2)

表 4 抽出語句 y_1, y_2 から Y_1, Y_2 への数値化

抽出語句 y_1 or y_2	Y_1 or Y_2 への数値化
「正解の大きな方の数値」	+9
「正解の小さな方の数値」	-9
「2 倍」	+3
「1/2 倍」	-3
「大きい」	+1
「小さい」	-1
上記以外の記述	0

(3) 回答記述文のベクトル化

ここで「ベクトル化」とは、回答記述文から評価のために抽出した語句を数値に変換することを示す。(2)で抽出した語句の組合せを数値 X_1, X_2, Y_1, Y_2 に変換して、回答記述文をベクトル化する。

抽出語句(x_1, y_1) →ベクトル化→ (X_1, Y_1)
抽出語句(x_2, y_2) →ベクトル化→ (X_2, Y_2)

以下に具体的な変換手順を示す。

(a) 数値 X_1, X_2 及び数値 Y_1, Y_2 の符号について

数値 X_1, X_2 の符号は、それぞれの数値に対応する語句 x_1, x_2 の大きさを比較して、大きな値を示す語句に対応する方を正の数、小さな値を示す語句に対応する方を負の数とする。例えば x_1 が「10kg」、 x_2 が「20kg」であれば、 X_1 がマイナスで、 X_2 がプラスとなる。なお、数値 Y_1, Y_2 の符号についても数値 X_1, X_2 と同様に、それぞれに対応する語句 y_1, y_2 が示す大きさから決定した。例えば y_1 が「小さい」、 y_2 が「大きい」であれば、 Y_1 がマイナスで、 Y_2 がプラスとなる。

(b) 求める物理量 y の語句 y_1, y_2 から対応する数値 Y_1, Y_2 への変換

回答記述文における語句 y_1, y_2 からは、生徒の定量的な理解、定性的な理解等の理解度を把握することができる。数値 Y_1, Y_2 の絶対値は、定量的な回答の場合は大きく、定性的な回答の場合は小さくした。次に、本手法での数値 Y_1, Y_2 の数値化について述べる。

表 3 の①～④の理解度に応じて、 Y_1, Y_2 の絶対値を、①の場合は「9」、②の場合は「3」、③の場合は「1」、④の場合は「0」とした。①場合は②

表 5 抽出語句 x_1, x_2 から X_1, X_2 への数値化

抽出語句 x_1, x_2	X_1, X_2 への数値化
語句 x_1 が有り	$X_1 = -20$
語句 x_1 が無し	$X_1 = 0$
語句 x_2 が有り	$X_2 = +20$
語句 x_2 が無し	$X_2 = 0$

(ただし、 $x_2 = x_1 \times 2$ のため、 $X_1 < X_2$ となる。)

の場合の 3 倍、②の場合は③の場合の 3 倍とした。3 倍した理由は以下のとおりである。②の回答記述文が「 x_1 の場合は、 x_2 の場合と比較して 2 倍である。」の場合、 Y_1, Y_2 の絶対値は「3」である。一方、「 x_1 の場合は、 x_2 の場合と比較して 2 倍であり、 x_2 の場合は、 x_1 の場合と比較して 1/2 倍である。」のように、1 つの回答が 2 つの文からなるとき、本手法での分析方法では、 Y_1, Y_2 の絶対値の合計は「6」となる。この場合の評価値が、最も理解度の高い回答文①に対する評価値との差が大きくなるようにした。具体的には、① : ② = 9 : 3 とした。語句 y_1, y_2 と対応する数値 Y_1, Y_2 の関係を表 4 に示す。

(c) 与えられた物理量 x の語句 x_1, x_2 から対応する数値 X_1, X_2 への変換

回答記述文において、 x_1, x_2 またはその特徴を用いて回答を試みている場合は、その対応する X_1, X_2 の絶対値を大きくし、 x_1, x_2 を使わずに回答している場合は、 X_1, X_2 の値を小さくした。本手法では、2 つの場合を明確に区別するために、前者の絶対値として「20」、後者の絶対値として「0」を用いた。なお、前者の値として「20」を用いた理由は、次のとおりである。 x_1, x_2 を使わずに表 3 の①を回答している場合の Y_1, Y_2 の絶対値の合計値は表 4 から「18」となる。後述する(4)の関数 S から回答記述文の定量的・定性的等の評価を算出する際に、表 4 の最大値「9」の 2 倍よりも大きい値にする必要があるためである。表 2 の例では $x_2 = x_1 \times 2$ としており、これに従って、語句 x_1, x_2 に対応する数値 X_1, X_2 の関係を表 5 に示す。

以上のように、語句を数値化することにより、後述

表 6 関数 S の値と評価との関係

関数 S の値	評価	
$S=+378$ または $S=+189$	A (A1/A2)	学習した知識を理解して正しい値を求めており、定量的に理解している。
$+189 > S \geq +63$	B	比例・反比例の関係として定量的に理解している。
$+63 > S \geq +21$	C	定性的に理解している。
$+21 > S \geq +3$	D	定量的に回答しようとしているが、表現に誤りがある。
$+3 > S \geq +1$	E	定性的に回答しようとしているが、表現に誤りがある。
$S \leq 0$	F,G	基本的な概念や原理・法則の理解ができていない。

表 7 回答記述文例と評価に至るまでの分析の流れ

回答記述文例	語句抽出	ベクトル化	関数 S の値	評価
物理量 x が x_1 の場合、物理量 y は y_0 となり、物理量 x が x_2 の場合、物理量 y は $y_0/2$ となる。	(x_1, y_0) $(x_2, y_0/2)$	$(-20, +9)$ $(+20, -9)$	+378	A
物理量 x が x_2 の場合は、物理量 x が x_1 の場合と比較すると、物理量 y の値は $1/2$ 倍となる。	$(x_2, 1/2 \text{ 倍})$ $(x_1, \text{〃})$	$(+20, -3)$ $(-20, 0)$	+63	B
物理量 x が x_2 の場合は、物理量 x が x_1 の場合と比較すると、物理量 y の値は小さくなる。	$(x_2, \text{小さい})$ $(x_1, \text{〃})$	$(+20, -1)$ $(+20, 0)$	+21	C
$1/2$ 倍となる。	$(\text{〃}, 1/2 \text{ 倍})$	$(0, -3)$	+3	D
小さくなる。	$(\text{〃}, \text{小さい})$	$(0, -1)$	+1	E
物理量 x が x_2 の場合は、物理量 y の値は 2 倍となる。	$(x_2, 2 \text{ 倍})$	$(+20, +3)$	-57	F
物理量 x が x_2 の場合は、物理量 y の値は 4 倍となる。	$(x_2, 4 \text{ 倍})$	$(+20, 0)$	0	F
「語句 x_1, x_2, y_1, y_2 」が無い文	$(\text{〃}, \text{〃})$	$(0, 0)$	-400	G

するように、2次元座標 (x - y 平面) 上で、生徒の回答を可視化することができる。

(4) 評価のための関数 S の値の計算

生徒の回答記述文の評価のための関数 S は X_1, X_2, Y_1, Y_2 を変数とする関数として、次のように定義する。

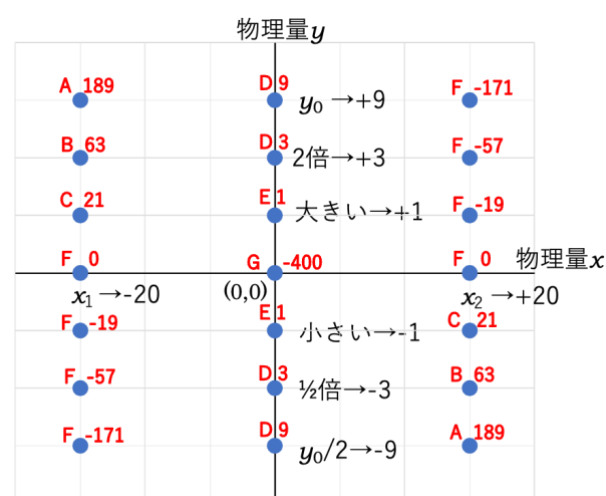
$$S = a(X_1 \cdot Y_1 + X_2 \cdot Y_2) + |Y_1| + |Y_2|$$

($X_i=0, Y_i=0$ の場合 $S=-400$)

関数 S の定義の意図を以下に述べる。

(a) $a(X_1 \cdot Y_1 + X_2 \cdot Y_2)$ の項

a は、+, - の符号であり、物理量 x と物理量 y が反比例の関係の場合 - とし、物理量 x と物理量 y が比例の関係の場合 + とし、 $X_1 \cdot Y_1 + X_2 \cdot Y_2$ は、物理量 x と物理量 y が比例または反比例の関係であることを理解しているかを評価する。以上のことから、比例・反比例の関係を正しく捉えている場合は $S > 0$ 、誤って捉えている場合は $S < 0$ となる。さらに、 X_1, X_2 や Y_1, Y_2 の値の大きさにより定量的、定性的な理解も評価する。

図 1 物理量 x と物理量 y が反比例の場合の回答記述文のベクトル化と評価との関係

(b) $|Y_1| + |Y_2|$ の項

求められている物理量 y を答えているか否か、定量的、定性的に捉えているかを評価する。

(5) 関数 S から評価への変換

表 6 に、関数 S の値と評価との関係を示す。

表 8 「指導と評価の一体化」を図る授業の流れ

授業の流れ	指導要領との関係
物理量 x と物理量 y との間に因果関係がある日常生活と関連した演示実験を見せる.	「主体的な学び」のきっかけ
物理量 x と物理量 y に関わる基本的な概念や原理・法則の説明を行う.	「知識習得」
物理量 x と物理量 y に関わる問題「物理量 $x = x_1$ の場合と物理量 $x = x_2 = x_1 \times 2$ (2 倍) の場合では, 物理量 y はどのようになるか。」を思考させる.	「形成的評価」を行うための問題の出題
生徒に, 簡単に 1 回目の思考をさせ, 回答させる. 回答は記述文形式とし, 生徒には定性的, 定量的どちらで回答しても良いことを伝える.	「言語活動」
生徒の回答をクラスに提示し, 教師はコメントを行い, 生徒は, 2 回目の思考の参考とする.	「対話的な学び」「指導と評価の一体化」
生徒に 2 回目の思考をさせて, 根拠も合わせて回答させる.	「深い学び」
形態素解析を用いて生徒の記述文を評価する. 評価に応じて, 生徒に「指導の手当て」を提示し, 3 回目の思考をさせる.	形態素解析を用いた「指導と評価の一体化」「深い学び」

表 9 指導の手立て

評価	指導の手立て
A (A1/A2)	基本的な概念や原理・法則を使って回答の根拠を説明させる.
B	授業で学習した式を使って, 正しい値を考えさせる.
C	授業で学習した式を使って, 定量的に考えさせる.
D	文章を修正させる.
E	文章を修正させる.
F	教科書や映像を見て, 現象の理解をさせる.
G	教科書や映像を見て, 現象の理解をさせる. 義務教育段階の復習をさせる.

3.3 回答記述文例と関数 S による評価

物理量 x と物理量 y の関係が反比例の関係の場合について, 表 7 に, 回答記述文例と評価に至るまでの分析及び評価を示す. また, 図 1 に, 回答記述文のベクトル化及び評価と関数 S の値を示す. 各点が回答記述文のベクトル化されたもの, 各点の左上の記号が評価, 右上の数値が関数 S の値である. 第 2 象限, 第 4

表 10 言語活動を取り入れた知識習得の授業の流れ

授業の流れ	指導要領との関係
閉管楽器を吹いて, 閉管楽器の長さ L 変えると音の高さ f が変化する演示実験を行う.	「主体的な学び」のきっかけ
演示実験に関わって, 問題「音の高さは閉管楽器の何と関連しているか」を回答させる.	「診断的評価」を行うための問題
音の高さ f と閉管楽器の長さ L の間には, $f = V / (4L)$ (V : 音速) の関係式が成り立つことを教える. (開口端補正は無視)	「知識習得」
問題「楽器において, 340Hz の低い音と 1 オクターブ高い 680Hz の高い音を出したい. それぞれの音を出すためには, 管の長さをどのようにするとよいか。」を考えさせる.	「形成的評価」を行うための問題
生徒に, 簡単に 1 回目の思考をさせ, 回答をパソコンに入力させる. 回答は記述文形式とし, 生徒には定性的, 定量的どちらで回答しても良いことを伝える.	「言語活動」
生徒の回答をクラスに提示し, 教師は回答にコメントを行うことで, 生徒の 2 回目の思考のための手助けとする.	「対話的な学び」「指導と評価の一体化」
生徒に, 2 回目の思考をさせて, 根拠も合わせて回答させる.	「深い学び」
生徒の記述文を分析し, 評価する.	「指導と評価の一体化」

象限にベクトル化されたものが正解となり, 第 1 象限, 第 3 象限にベクトル化されたものが不正解となる. また, 第 2 象限, 第 4 象限の縦軸の絶対値が大きいほど, 定量的に考えており, 理解度が高いことを示す.

このように, 形態素解析と数値化・ベクトル化を行うことで, 生徒の回答・思考を上手く分類でき, 可視化することができる. これにより教師は, 生徒の理解の状況を把握することができる.

4. 言語活動を取り入れた知識習得の物理授業

4.1 言語活動を取り入れた知識習得の物理授業における形態素解析を用いた「指導と評価の一体化」を図る授業

言語活動を取り入れた知識習得の物理授業において

表 11 1 回目の思考と 2 回目の思考の回答記述文

生徒の回答記述文を分類した文	評価
340 Hz の音は 0.25m の管を使い、680Hz のほうは 0.125m の管を使う．	A
高い音の方が低い音の場合の 1/2 倍の長さにする． 高い音の方が低い音の場合の半分の長さにする． 低い音の方が高い音の場合の 2 倍の長さにする．	B
高い音は低い音よりも短くする． 低い音は高い音よりも長くする．	C
2 倍する．1/2 倍する．半分にする．	D
長くする．短くする．	E
文章の誤り	F
無回答等	G

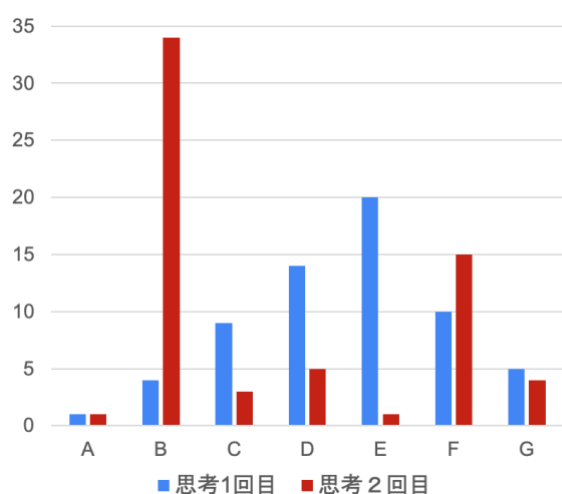


図 2 評価と各評価の人数

形態素解析を用いた「指導と評価の一体化」を図る授業の流れを表 8 に示す．また、表 9 に、表 8 の最後の「指導の手立て」を示す．

4.2 実践授業の実施

実践授業を表 8 に基づいて実施した．

- (1) 日時：2023 年 3 月 6 日
- (2) 場所：中国地方 Y 高等学校
- (3) 学年：1 学年
- (4) 人数：63 名（2 クラス）
- (5) 単元：「物理基礎」波（音と振動）
- (6) 内容：「楽器の物理」
- (7) 回答データの収集：Google Workspace
- (8) 授業の流れ：表 10 に示すとおり

4.3 生徒の回答記述文による評価

表 11 に、表 10 の 1 回目の思考と 2 回目の思考にお

表 12 評価が下がった生徒の回答記述文

思考 1 回目	思考 2 回目「評価 F」
「評価 C」 低い音は長く、高い音は短くする．	基本振動を 1m の長さとし、100Hz とすると、340Hz の低い音を出すには、基本振動の 3.4 倍、長さは 3.4m となる．680Hz の高い音を出すには、基本振動の 6.8 倍、長さ 6.8m よって、低い音は高い音の 1/2 の長さとなる．
「評価 B」 340Hz の時の 2 分の 1 の長さでふくと 680Hz になる．	340Hz の波長が 1m のとき、680Hz にするには、波長を 2m にする．680Hz の波長が 1m のとき、340Hz にするには、波長を 0.5m にする．

思考 2 回目

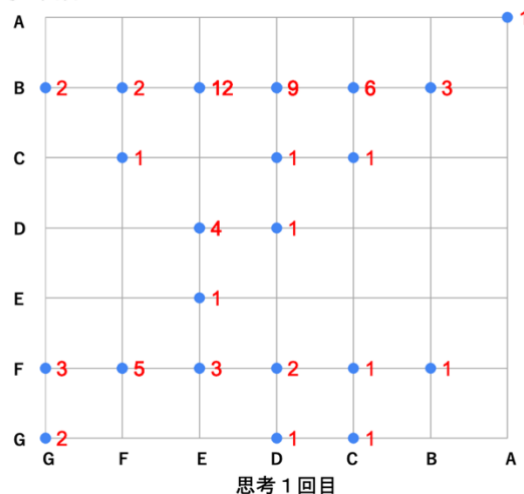


図 3 思考 1 回目から思考 2 回目の評価の変容

いて、生徒の回答記述文を分類した文と表 6 に基づく回答記述文の評価を示す．

4.4 「対話的な学び」・「深い学び」による評価の変容

図 2 と図 3 は、表 10 の 1 回目の思考の回答の評価と、1 回目の思考の後、「対話的な学び」「深い学び」を行った後の、生徒の 2 回目の思考の評価の変容をグラフにしたものである．

図 2 では、横軸を評価、縦軸を各評価の生徒人数としており、クラス全体の評価の変容を見ることができる．図 3 は、横軸に思考 1 回目の評価、縦軸に思考 2 回目の評価、グラフ中に該当する人数を示す．グラフの右下の部分は評価が下がった生徒、左上の部分は評価が上がった生徒を示している．

このように、生徒の思考の変容をも可視化できる．

4.5 実践授業の検証と考察

図 2、3 をもとに「対話的な学び」「深い学び」に関

する学習効果について考察する。これは、思考1回目に評価Eの人数が多かったものが、思考2回目に評価Bが増えている。これは、1回目の思考の後、生徒の回答のクラスの提示によって、他の生徒の回答や教師からのコメントによる学習効果が現れたためと考える。

一方、思考2回目に評価Fの生徒も増加している。思考1回目は評価Cまたは評価Bで、思考2回目に評価Fになった生徒の回答記述文を表12に示す。思考1回目の回答から、どちらの生徒も演示実験をよく観察していたことがわかるが、思考2回目でそれを正しく記述しようとしたときに、振動数と波長の反比例の関係を誤って比例関係と表現していることがわかる。このように、言語活動により生徒の理解の状況やその変化を明確にできることがわかる。今後、「振動数」と「波長」の関係の正しい概念を定着させる指導改善を行う必要があることが明らかとなった。

以上のように、形成的評価のための問題文を工夫し、実践授業での生徒の回答記述文を分析した結果、多段階評価が可能になった。

5. おわりに

本稿では、言語活動を取り入れた「知識習得」の授業において、形成的評価のための問題文を工夫し、形態素解析を用いて記述文の評価を行うことで、より一層の「指導と評価の一体化」の充実を図る試みを行った。高等学校「物理基礎」の知識習得の授業において、生徒の回答記述文を、形態素解析(Python「GiNZA」)を用いて分析した。その結果、教師が行う評価とかなり一致した。

今後は、回答文が長文になると形態素解析を用いての評価が困難であったため、記述文の回答方法を工夫したり、形態素解析による記述文の分析の精度が上がるようにプログラムを修正したい。そして、1単位時間内で「指導」・「記述文による形成的評価」・「形成的評価に基づく指導改善及び指導の手当ての提示」という形式の「指導と評価の一体化」の実現を図っていきたい。このことは「学習指導要領の趣旨の実現に向けた個別最適な学びと協働的な学びの一体的な充実に関する参考資料(令和3年3月版)」⁽¹⁰⁾に示されている「ICTも最大限活用しながら、多様な子供たちを誰一

人取り残すことなく育成する『個別最適な学び』の実現へと繋がっていく可能性があると考える。

参 考 文 献

- (1) 文部科学省: “高等学校学習指導要領”(2018)
- (2) 文部科学省: “高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説 総則編”(2019)
- (3) 文部科学省国立教育政策研究所: “「指導と評価の一体化」のための学習評価に関する参考資料(高等学校理科)”, 東洋館出版社 (2021)
- (4) 有斐閣 現代心理学辞典: “教育評価”, 有斐閣(2021)
- (5) 大方祐輔: “「指導と評価の一体化」を図る授業デザイン: 高等学校化学基礎「酸化還元反応」の単元開発”, 中等教育研究紀要／広島大学附属福山中・高等学校, 63巻, pp.43-50 (2023)
- (6) 文部科学省: “教員勤務実態調査(令和4年度)【速報値】(概要版)”, https://www.mext.go.jp/content/20230428-mxt_zaimu01-000029160_1.pdf (2023年9月25日確認)
- (7) エドワード・F・レディッシュ著, 日本物理教育学会監訳: “科学をどう教えるか: アメリカにおける新しい物理教育の実践”, 丸善出版, 東京 (2012)
- (8) 文部科学省: “高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説 理科編 理数編”(2019)
- (9) Megagon Labs: “GiNZA: 日本語自然言語処理オープンソースライブラリ”, <https://www.megagon.ai/jp> (2023年9月28日確認)
- (10) 文部科学省: “学習指導要領の趣旨の実現に向けた個別最適な学びと協働的な学びの一体的な充実に関する参考資料(令和3年3月版)”, https://www.mext.go.jp/content/20210428-mxt_kyoiku01-00014639_13.pdf (2023年9月27日確認)

算数文章題乗除の統合的解釈と学習課題化

平嶋 宗^{*1}

^{*1} 広島大学

Integrated Interpretation of Arithmetic Word Problem of Multiplication & Division and Design of Learning Task

Tsukasa Hirashima ^{*1}

^{*1} Hiroshima University

When a multiplication or division relation exists in an arithmetical situation, there will inevitably be two multiplications and four divisions. These multiplications and divisions encompass partition division and quotative division, as well as multiplications and divisions using operand smaller than one. Explaining these multiplications and divisions in the same arithmetic situation is called an integrated interpretation. This integrated interpretation is formalized based on the triplet quantity proposition model. Making the integrated interpretation into a learning task is also proposed.

キーワード: 算数文章題, 乗除, 統合的解釈, 三量命題モデル, 三者共有計算可能表現, 学習者・教授者・システム, 等分除, 包含除, 小数の乗除, 割合

1. はじめに

乗除算はそれぞれ数学としては一つの意味しか持たず, 除算は乗算の逆演算として定義される. これに対して, 文章題における乗除算は多様な意味を持つ. たとえば, 包含除, 等分除や, 割合の乗除算, 1 より小さい演算数を用いた乗除算は, それぞれ特有の課題として教えられる. これらは, それぞれの特有の課題に適した教え方が取られるが, その反面, それらが異なるものであるかのように理解される懸念がある. 乗除の文章題に対する統一的なモデルを持ち, 漸進的にその意味を拡張していくようにすることが, 学習に資するのではないかと考えたのが本稿となる.

算数的場面^{*1}に 乗算もしくは除算が存在すれば, 二つの乗算と四つの除算の関係が必然的に存在し, 等分

除・包含除, 1 より小さい演算数を用いた乗除算, を網羅する. 同一の算数的場面でこれらの乗除算を網羅的に解釈することを本稿では算数文章題乗除の統合的解釈と呼ぶ. この統合的解釈は, 文章題乗除で学ぶべき多くのトピックが, 同一の場面において関係づけながら学べることを意味している. この統合的解釈を学習目標に設定することを指向して, 三量命題モデルに基づく定式化と学習課題化について検討する.

以下本稿では, まずは統合的解釈の基礎となる三量命題モデル⁽¹⁾について概説する. さらに, 同一量を介した四則場面間の統合的解釈, 同一場面における和差場面内及び乗除場面内の統合的解釈について述べる. 次に, 乗除に関する場面内統合的解釈に焦点を当て, 教科書等の一般的な説明との差分についてより詳細に論じる. さらに, 統合的解釈の学習課題化と予備的な実験評価について報告する.

2. 三量命題モデル

三量命題モデルでは, 1 回の演算で解ける算数文章題 (単位問題) を三つの量で構成されるものとし, こ

^{*1} 算数的場面とは, 「数学的表現 (数式) に変換可能な量及び量間の関係」を「読解によって抽出可能な言語的もしくは図的表現」とする. そして, 「数学」が対象とできるのは「数学的表現に変換された後」であることから, 算数文章題の重要性は「量と量間の関係の読解」にあり, したがって算数文章題の本質であるとの立場をとる. この立場から, 「結果としての数学」ではなく, 「過程としての読解」に焦点を与えた統合的解釈を本稿で述べる. 数学文章題も同様に読解が本質であり, 算数文章題との違いは代数的な処理にあるとする.

の三つの量は、二つの存在量と一つの関係量で構成されるとする。そして、存在量は演算に独立であり、関係量は演算を決定する量になっているとする。

筆者の先行研究であるモンサクン^②および三角ブロック^③は、この三量命題モデルを算数文章題のドメインモデル^④として設計されている。この設計アプローチはドメイン駆動型設計法と同様であり、設計された学習課題に対する活動を通して、モデル自体を学習者・教授者・システムで共有することを指向したものとなっている。つまりこの三量命題モデルは、学習者・教授者・システム間で共有の計算処理が可能な表現であり、この表現を用いることで、文章題が解ける理由を三者で共有することができる。この意味で、三量命題モデルは、三者共有計算可能モデルとなっている。この考え方を推し進め、モデルそのものの直接的な学習対象化を検討するのが本稿となる。

3. 算数文章題四則の統合的解釈

3.1 場面間統合的解釈と場面内統合的解釈

四則の算数文章題を同じ量を介して関係づけることを本稿では「同一量を介した四則の場面間統合的解釈」と呼ぶ。たとえば、「リンゴの個数」を用いて四則の算数的場面を作成することができ、それぞれの場面においてこの「リンゴの個数」は異なる役割を担う。これは同一量に対する異なる見方としての四則演算の解釈を提供しており、統合的解釈の一種といえる。

また、同一の和差の場面においては二つの加算と四つの減算、同一の乗除の場面においては二つの乗算と四つの除算の存在を説明することを、本稿ではそれぞれ和差及び乗除の場面内統合的解釈と呼ぶ。これも、和差と乗除それぞれを同一場面の異なる演算として解釈しうることを示しており、統合的解釈の一種といえる。次節ではこれらの統合的解釈の図式化を行う。なお、一般的な四則の解釈との間に生じる差異について

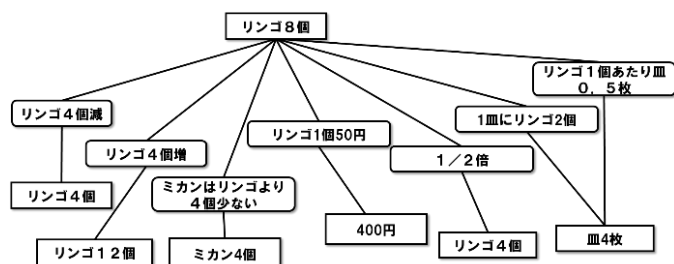


図1 場面間統合的解釈の図式化

は、4章で検討する。

3.2 場面間統合的解釈

図1に、「リンゴ8個」という量を含む四則の算数的場面のいくつかを例示した。三量命題モデルに基づいて、三つの量命題で一つの場面が構成されており、長方形が存在量、角丸長方形が関係量となっている。

この図には、7個の算数的場面が記述されており、それぞれ図の左から数式で表すと、 $8 - 4 = 4$ 、 $8 + 4 = 12$ 、 $8 - 4 = 4$ 、 $8 \times 50 = 400$ 、 $8 \times (1/2) = 4$ 、 $8 \div 2 = 4$ 、 $8 \times 0.5 = 4$ となる。数式で表した七つの場面のうち最後の二つは同一場面といえるので、2.4で述べる乗除場面内統合的解釈に属するものといえる。また、「 $1/2$ 倍」を「リンゴ1個100円」と同様に関係量として取り扱っている点については、3.3および4.5で説明する。

3.3 乗除場面内統合的解釈

ある二つの存在量間に乗除の関係があるとすれば、その二つの量間には、量間の変換に関する関係量が二つ存在する。二つとなる理由は、存在量のどちらを基準とするかによって二つの関係量が存在するからである。そして、二つの存在量と一つの関係量間には、一つの乗算と二つの除算が存在する。これを例示したのが図2である。この図は、「リンゴ8個と皿4枚に乗除の関係が存在する」とした場面を表しており、この二つの存在量（リンゴ8個と皿4枚）を関係づける関係量として、「1枚当たり2個」と、「1個当たり $1/2$

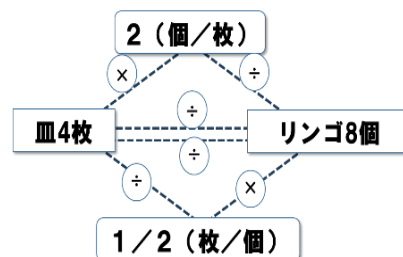


図2 1あたり量に関する上下三角図

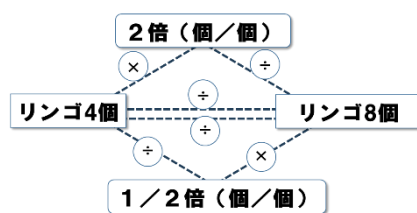


図3 割合に関する上下三角図

2枚」が存在することを表しており、それぞれの関係量を二つの存在量と組み合わせることで、それぞれ一つの乗算と二つの除算が成立している。同一場面において同一関係量を用いた二つの除算が、それぞれ包含除と等分除になっており、同一場面についての包含除と等分除の統合的説明となっている。この図を上下三角図と呼び、(上三角形の関係量) > (下三角形の関係量) として記述する。

また、同一場面において、演算数が1より小さい乗算及び除算が含まれている。したがって、この場面における量間の演算関係を受け入れることができれば、「1より小さい数」を掛けると元の量より小さくなること、および「1より小さい数」で割ると元の量より大きくなることが必然として解釈できる。

図3は、「割合」に関しての乗除の上下三角図である。単位は(個/個)として消えると解釈されることが多いが、図中の2倍と1/2倍を区別する必要がある。そのためには「何についての個」を「何についての個」で割っているのかを知っている必要がある。知っているということは消えていないということであり、たとえば「(「リンゴ8個」の個数) / (「リンゴ4個」の個数)」という単位を知っていることになる。またこれは、「1あたり量」と同型であり、同様の量とみなしてよいことになる。

3.4 加減場面内統合的解釈

二つの存在量の間に加減の関係が存在すれば、加算に関する関係量と減算に関する関係量が存在し、それぞれの関係量と二つの存在量との組み合わせで一つの加算と二つの減算が存在する。この事例を図式化したのが図4左である。図4左はリンゴ8個とミカン4個という算数的場面であり、この場面を「合わせる」と解釈すれば、「合わせて12個」という関係量と組み合わせることで $8 + 4 = 12$ という式になり、この場面を「比べる」と解釈すれば、「差は4個」という関係量と組み合わせることで、 $8 - 4 = 4$ という式になる。こ

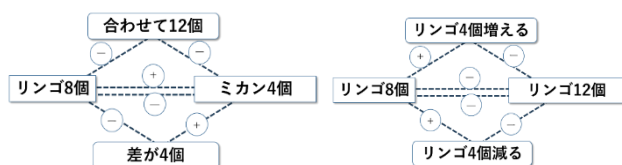


図4 合併比較・増減場面の上下三角図

れによって、「合わせる問題」と「比べる問題」が同じ場面の解釈の違いとして説明できる。これは、比較・合併場面における和差の場面的統合といえる。

図4右は、「増える」、「減る」の場面の図式化である。増える、減るとは、同一対象の時間的な量の変化の場面と捉えることができる。二つの異なる時間における量の差となるので、「比べる」の一種とみなせる。少ない方の存在量を時間的に前とすると「増える」となり、時間的に後とすると「減る」となる。この図4右で、同一の二つの存在量に対して時間の割り当てを変えることによって、増える、減る、およびそれらに伴う二つの加算と四つの減算を図式化できている。増減場面における和差の場面的統合といえる。

4. 乗除の説明において生じる差分の検討

4.1 「量」から「量」の変換としての乗除

乗除に関する三量命題モデルでは、二つの存在量間の乗除による変換を可能にするのが関係量であるとしている。関係量は、二つの存在量の除算としての単位を持ち、二つの存在量のうちどちらを基準にするか(分母にするか)によって、二つの関係量が存在し、それぞれの関係量と二つの存在量の組み合わせにおいて、それぞれ二組の1乗2除が存在する。以下では、この三量命題モデルに基づく乗除の説明において、文章題の乗除に対する一般的な説明・取り扱いとの間に生じる差異について述べる。

4.2 等分除と包含除における式の一致と場面の一致

従来の算数指導においては、同一の割り算の式を用いて、等分除と包含除の二つの異なる考え方を説明する。この場合、算数的場面は異なったものとなる。これに対して本稿で述べる統合的解釈では、同一の算数的場面において等分除と包含除を説明する。この場合、導かれる割り算の式は異なったものとなる。この差分について検討する。

割り算の式を一致される従来の方法は、式から出発して、その式で表される場面が複数あることを説明している。つまり、式に対して問題や場面を導くという「作問」的な考え方での説明となっている。式からの作問・作場面という活動自体の有用性はあると考えられるが、導入的な説明において適当であるかどうかは、

疑問が残る．また，等分除と包含除の違いを説明したいとすると，同じ場面においてこの二つを存在することを示すほうが自然といえる．算数の文章題を「量と量間の関係を読解」と捉える立場からは，式の一致よりも，場面の一致が重要であることは明らかである．

統合的解釈では，解くときと同じように量と量の関係を読解する過程で，等分除と包含除の二つの読解の仕方が存在すると説明する．また，式は演算数と結果数が入れ替わったものになるが，同じ数値を使っているので，同じ場面に対する式である説明は容易といえる．

同一場面内で等分除と包含除を具体的な操作として説明すると，図5のようになる．図5上は，皿4枚とリンゴ8個に乗除の関係があることを表す図であり，具体的な演算（乗算，等分除，包含除）のいずれにも解釈可能である．図5下左は等分除として皿4枚に同じ量だけリンゴを割り当てて行く操作において，最初のリンゴ1個を割り当てた図となる．図5下右は，包含除として皿1枚に2個のリンゴを割り当てていく操作において，最初の1皿にリンゴを2個割り当てた図となっている．存在量と関係量，そして，ある関係量においては，基準存在量と比較存在量が決定されるとすると，等分除が二つの存在量から関係量を導くための除算であり，比較存在量と関係量から基準存在量を求めるための除算が包含除となっている．

4.3 二つの関係量と真分数・小数の存在

図2，図3より，低学年で扱う算数的場面においても真分数や小数を用いた乗除が含まれていることを示した．これは，関係量が二つの存在量のいずれかを基

皿4枚とリンゴ8個に乗除関係が存在することを表した図

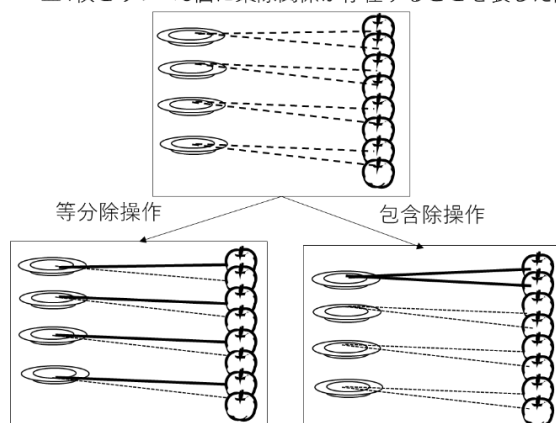


図5 等分除と包含除の具体的操作化

準にすることによって決まり，したがって2種類存在すること，そして，そのうちの片方は真分数・小数になることを意味している．掛けることによって大きくなる，割ることによって小さくなる，が成立している算数場面において，掛けることによって小さくなる，割ることによって大きくなることが同時に成立することは，対応付けられた説明になることから，真分数や小数の乗除を独立して説明するよりも，受け入れやすいものとなる可能性がある．

また，この関係は，関数として考えた場合， $Y=aX$ と $X=(1/a)Y$ の関係として自明であるともいえるが，算数において教える対象になっている形跡はなく，数学においては自明のこととして扱われており，学習者の自得にゆだねられている可能性がある．

なお，量を離散量と連続量と分類する場合には，図2の $1/2$ (枚／個) は不適切となるが，その代わり，図2下側の演算関係が存在しないことになる．先行研究の調査⁽⁵⁾では，調査対象とした13名の教員・教員免許保持者全員がこの演算関係も算数において教える対象になると判断するが多いことが分かっており，検討を要する従来の解釈との差分の一つである．

4.4 関係量としての「一あたりの量」

算数文章題では，(一あたり量) × (いくつ分) = (全部の量) という式を用い，この式においては「一あたり量」と「全部の量」が同じ単位である，と説明がされることがある．これに対して三量命題モデルでは，「一あたり量」を関係量とし，「全部の量」とは単位が異なるものとして扱う．一般的な教科書においても，「単位量」という考え方が導入された時点で，一あたり量は関係量となり，量間の変換のための量，つまり関係量となる説明がなされることがある．これは，それまで存在量としての扱いが，関係量としての扱い変わることを意味しており，三量命題モデルの観点からすると大きな意味の変更になっており，この変更が学習上の障害になっていることが懸念される．

4.5 関係量としての「割合」

「割合」は単位を持たない量として説明されることがあるが，実際には「もとにする量」と「比べる量」のそれぞれをどの量としたかを把握していることが不

可欠な量である。したがって、単位は存在しているといえる。たとえば、「持っていたリンゴの数が2倍になった」という2倍は、「今持っているリンゴの量／前に持っていたリンゴの量」という関係における量であり、「前に持っていたリンゴの量／今持っているリンゴの量」という関係の量と区別できていなくてはならない。「割合」のこの解釈は、2倍とは、「もとにする量1あたりの比べる量」のこととなり、「1あたり量」と「割合」を同一視していることになる。ここから導かれる差異については、さらに4.6で述べる。また、5.2.4で述べる大学生群3での実施例では、「1あたり量」と「割合」を同様に扱うことが違和感なかったことを示唆する結果を得ている。

4.6 二重数直線と四マス関係表

4.6.1 一あたり量の算数的場面

乗除の算数的場面を図示する場合、二重数直線と呼ばれる記法が用いられることがある。まず図2で表した「一あたり量」に関しての算数的場面の三量命題モデルに基づく二重数直線を図6に示した。図自体については従来のものと同様であるが、現れている量の解釈が異なる。ここで、図6の右の数直線に関して説明すると、2:1あたり量、8:全部の量、4:いくつ分、と説明されるが、「1」については説明がないのが従来の説明である。これに対して三量命題モデルでは、2と1が組となって「1あたり量」となっていると説明する。図では、皿1枚のところに、リンゴが2個、となっているが、これだけでは事実を述べているだけで乗法が成立しない。この事実を、「皿1枚にリンゴが2個」と解釈することによって、乗法が成立しているといえ、「2」は「1」とセットで解釈すべきとなる。

4.6.2 割合の算数的場面

次に割合に関しての三量命題モデルの線分図を差分がより分かりやすくなる事例として「Aさんはシュート8回で入ったのが4回。シュートした回数は入った回数の2倍（入った回数はシュートした回数の1/2倍）」という算数的場面を用いて記述すると、図7のようになる。ここでは、「割合」と「1あたり量」が同じものとして取り扱われている。

これに対して一般的な「割合」に関する線分図は、図8のようなものとなる。三量命題モデルでは、線分

として表現されるものは存在量であったのに対して、一般的な説明では、「一あたり量」の場面では同様に存在量であるが、「割合」に関しては、関係量が数直線となり、一貫していない。筆者の推定では、二つの量を同一数直線上に並べることで、「割合」の大きさを直感的に捉えることができるというメリットを重視しているのではないと思われるが、図ごとに数直線の意味が異なるのは、理解に対する障害となることが懸念される。また、図7のように「一あたり量」として記述しても何ら論理的におかしな点が存在せず、したがってそのように考える児童が存在した場合に、図7としない理由の説明は難しいと思われる。なお、図3の場面についても三量命題モデルに沿って線分図化すると、図9のようになる。

また、従来の線分図では、シュートの場合では、シュートの回数を増やしたときどうなるか、といったことと同じ線分上で考えることができない。つまりこれは、従来の割合の線分図は、正比例としてのグラフ化に対応していないものとなっているといえる。1あたり量の場合にはグラフ化できていたものが、割合においてできないものになるのは大きな変更となるが、それだ

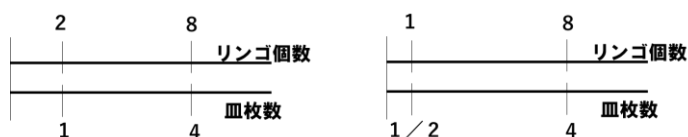


図6 一あたり量に対する二重数直線

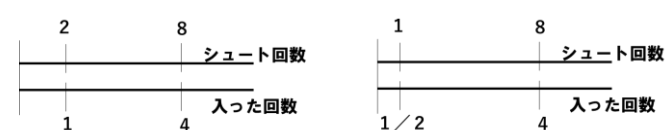


図7 割合に対する二重数直線(1)

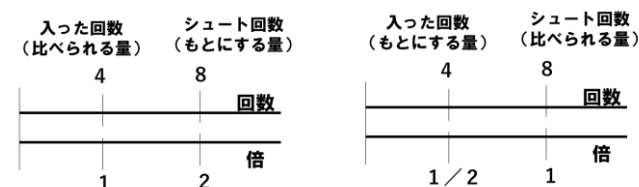


図8 従来の割合に対する二重数直線

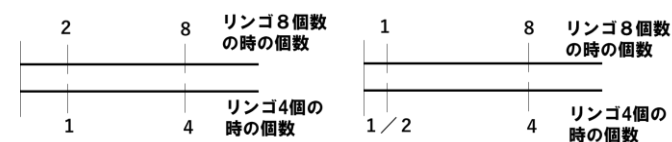


図9 割合に対する二重数直線(2)

けの学習上の利点があるかどうかは疑問となる。

4.6.3 四マス関係表

四マス関係表は計算処理を行ううえで便利なものとされているが、各マスに何が入るかの意味づけは十分とはいえないようであり、二重線分図と同様に、上段下段をそれぞれ異なる存在量とする場合と、上段に二つの異なる存在量、下段に関係量となる割合を配置するがあり、一貫していない。比例式の図的表現として捉えればどちらの記述でも計算処理上不都合はないが、量間の関係の意味づけを算数文章題の本質であるとする、意味づけが一貫していない解き方の妥当性は疑問が残る。

4.6.4 比例式との関係

二つの存在量を X, Y とし、 X と Y が乗除の関係を持っている場合、 $X:Y=1:a$ の比例式が成り立つ。この比例式を構成する四つの数が、二重線分図や四マス関係表を構成する四つの数となる。三量命題モデルが三つの量で成立するのは、関係量は、 X が 1 あたりの a として、 a を用いているからである。また、この式は、 $Y=aX$ を表しているに過ぎないといえる。算数の文章題で扱う乗除はこの式に統合できるものであり、意味を持った量の関係としてこの式を説明しつつ、一貫性を担保ことが本稿の目指すことである。

4.7 関係量の相対性

他の存在量に対して関係量の役割を持つ量についても、他の関係量との組み合わせによっては存在量として扱われる場合がある。たとえば、速度は時間と距離という存在量に対しては関係量であるが、相対速度という関係量に対しては存在量として加減が可能となる。また、加速度という関係量を用いると、乗除が可能となる。これを関係量の相対性と呼ぶ。

5. 統合的解釈の学習課題化

5.1 統合的図式再構成課題

本稿では、学習場面において存在する量と量間の関係を図式化してきた。これらの図式を部品化し、その組み立てを学習者に行わせることが学習課題化の基本となると考えている。

図 10 に統合的図式再構成課題の一例を示した。個々のカードは量命題を表しており、三つのカードの組み

合わせで算数的場面を作成する課題となっている。(I)のカードを利用するように制約しているが、可能な組み合わせを限定することで、課題 1 での網羅的な組み合わせ、課題 2 における足りないカードの補完、課題 3 の他者との話し合い、を可能にするためである。また、この課題は「リンゴ 8 個」を介して四則の場面が繋がる場面間統合となっているが、「リンゴ 8 個」と「皿 4 枚」に関しては、場面内統合となっている。さらに、三つの量間の関係づけだけを求めており、それらの演算を明示させることはこれらに関しては行っていない。これは、演算としてではなく、関係として考える課題を設定する意図がある。場面に対しての複数の演算を考えさせる課題は、別途必要と考えている。カードの組み合わせに対して文章を書かせているのは、

・課題 1

(I) のカードに加えて、(II) - (VI) のカードから 1 枚、(A) - (F) のカードから 1 枚を選んで組み合わせ、数式で表現できる場面をできるだけたくさん作ってください。さらに、その場面を文章で表現してください。
(例) (I, A, III) 「リンゴが 11 個ありました。リンゴが 3 個減りました。リンゴが 8 個あります」

・課題 2

使えないカードを見つけて、そのカードを使えるようにするために必要なカードを作ってください。
・使えないカードの番号を記載し、そのカードを使うために使えるカードを記載してください（複数あります）。

・課題 3

各自の回答を他の人と比べてみてください。

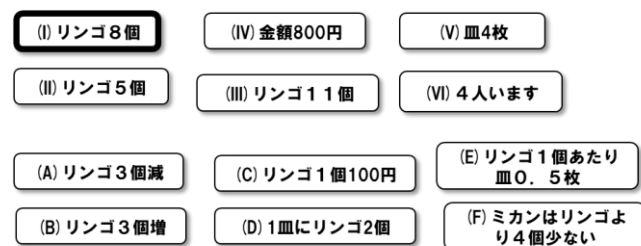


図 10 統合的図式再構成課題

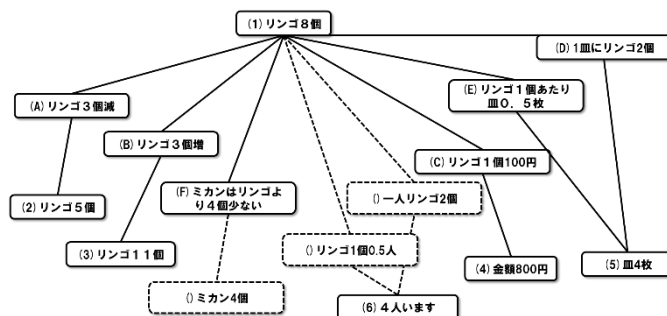


図 11 統合的図式の再構成

量命題の組み合わせが適切に解釈されていることを確認するためである。図 11 の実線部分が課題 1 の解答であり、破線部分が課題 2 の解答となる。

5.2 アンプラグド課題としての試験の実施

筆者はこれらの課題を先行研究同様に、自動診断・フィードバックを伴ったシステムとして実装することを予定しているが、アンプラグドな課題として実施可能であると考えている。この考えに沿って、教員グループを対象とした実施を 2 回、大学生グループを対象とした実施を 3 回行った。これらについて概説する。

5.2.1 教員らによる実施

教員グループ 1 は、小学校校長 2 名、教育委員会所属小学校教員 1 名、中学校教頭 1 名の計 4 名、教育グループ 2 は、同一小学校の教員 13 名であった。教員に対する実施では、いずれの場合も話し合いながらの実施であった。結果として、本課題は教員にとっても真剣に考え、また話し合うことが必要となる課題であること、算数の文章題の範囲を超えているわけではなく、学習の目標になりえること、および、従来の内容に単なる発展ではないため、どのように接続するかに関して十分な検討が必要であること、を示唆する結果を得た。これらの議論をもとに、小学校の授業導入に関する検討を進めており、詳細については別途報告する予定である。

5.2.2 大学生群 1

被験者は筆者の研究室に所属する情報系大学学部・大学院生であり、三量命題モデルについての話を聞いたことがあるが、研究課題として取り組んだことはない学生である。この実施は図 10 の課題設定どおりに実施しており、課題 1, 2 を 20 分で行ってもらった。15 分で課題 3 を実施してもらった後、{5: そう思う, 4: ややそう思う, 3: どちらともいえない, 2: あ

表 1 大学生群 1 のアンケート結果

	5	4	3	2	1
課題は簡単だった	2	6	2	0	0
深い理解を必要とする課題であった	6	4	0	0	0
課題で考えた関係の存在を知っていた	0	4	1	3	2
算数文章題の学習になった	5	4	1	0	0
他の人と話し合いで答え合わせができた	9	1	0	0	0
話し合うことで新しい気づきがあった	7	3	0	0	0

まりそう思わない, 1: そう思わない}, の 5 件法でアンケート調査を行った。結果を表 1 に示した。

全員が深い理解を必要とする回答しており、9 割が学習になったとしている。また、話し合いに対しては全員が肯定的な回答となっている。特殊性のある被験者群ではあるが、大学生にとっても図 10 の課題は実行する価値のあることが示唆された。

5.2.3 大学生群 2

インドネシアの国立大学の情報系学部 (3 年生) に属する学生に対して同様の課題を実施し、61 名分のデータを収集した。同期オンラインでの実施であったため、課題 3 は省略した。内容は英語化している。知識モデリングの一般論の後、算数の文章題という単純と思われている課題に対してモデリングの意義を説明する前段階としての課題として取り組んでもらっており、三量命題モデルの説明は事前には行っていない。

アンケート内容と結果を表 2 にまとめた。8 割が深い理解を必要とする課題であったとし、9 割弱が学習になったと回答している。カードの分類の妥当性についても回答してもらったところ、6 割強が肯定し、否定は 1 割に満たなかった。また、その二群がどう違うかについても自由記述で回答してもらったが全員が何らかの説明を行っており、概ね存在に関する量と操作に関する量の分類である主旨の回答となっており、分類の意図は読み取れていたことが示唆される。

5.2.4 大学生群 3

情報系大学学部 3 年生 (国内) に対しても実施 2 と同様の形で課題を実施し 81 名分のデータを収集した。

表 2 大学生群 2 のアンケート結果

	5	4	3	2	1
課題は簡単だった	12	21	21	4	3
深い理解を必要とする課題であった	25	24	11	1	0
課題で考えた関係の存在を知っていた	4	3	8	15	31
算数文章題の学習になった	35	19	6	1	0
カードを (I)-(VI) と (A)-(F) に分けたのは適当である。	23	16	20	2	0

表 3 大学生群 3 のアンケート結果

	5	4	3	2	1
課題は簡単だった	23	34	16	7	1
深い理解を必要とする課題であった	46	22	10	1	2
課題で考えた関係の存在を知っていた	14	22	19	19	7
算数文章題の学習になった	28	38	9	2	4
カードを (I)-(VI) と (A)-(F) に分けたのは適当である。	47	22	4	6	2

実施3では、「割合」としての関係量を含めるために、

(C)を「 $1/2$ 倍」に、(IV)を「800円」に置き換えている。データを収集できた全員が「割合」の文も一あたり量と同様に使った場面構成ができていた。アンケート結果は表3に示したが、概ね同じであったといえる。割合を入れても結果に差が現れなかったことから、この課題を考えるうえでは、一あたり量と割合を関係量として取り扱うことは被験者らにとって違和感があることが示唆される。

5.3 アンブラグドな実施の考察

図11に示した再構成課題は、教員及び大学生に好評であった。特に、話し合いにおいての有用性について、ほぼ全員の賛成が得られた。これは、三量命題モデルによる、(1)算数の文章題を分割・部品化、(2)部品の可視化・操作対象化、が認知的妥当性を持っていることを示唆しており、その結果として、(3)部品とその操作の共有化、ができていと考えられる。

この結果を踏まえて、教育現場での利用方法に関して、継続的に検討を進める予定である。また、話し合いが活性化されるとの指摘は「三者共有計算可能表現」の実現を示唆している。

大学生の実施を通して、リメディアル教育、あるいはリスキリングの一環としての運用可能性が示せたと考えている。大学生群2と3に関しては、三量命題モデルの説明なしに課題を行わせたにもかかわらず、良好な結果を得ており、これは三量命題モデルに基づく四則の統合的解釈及びその課題化が被験者らの認知に近い形で提供できていたことが示唆される重要な結果であると考えている。また、存在量と関係量の分離、「割合」と「一あたり量」を関係量として取り扱うことに関して、疑義が出なかったことは、本統合的解釈の妥当性を示唆するものとなっている。

6. おわりに

三量命題モデルは、全ての量に単位を求める。この単位は量概念そのものであり、「リンゴ8個」の単位は、「リンゴ8個」となる。このような単位を持たせることによって、文章題を量に分解して考えても計算可能としている。たとえば、「リンゴ8個の $1/2$ 倍はリンゴ4個である」と「リンゴ4個の2倍はリンゴ8個

である」に含まれる $1/2$ 倍、2倍を文から独立させるためには、それぞれに(リンゴ4個/リンゴ8個)、(リンゴ8個/リンゴ4個)という単位が必要とある。「 $1/2$ 倍」自体は無単位でもよいが、文章題を構成する量として用いる際には、関係量として関係づける二つの存在量で構成される単位が必要となる。

「文」に頼るのではなく、「量」として捉えるための計算可能な表現が三量命題モデルである。このモデルを用いることで、算数文章題を量で部品化し、その組み合わせとして作問を行わせる作問学習が成立した。この作問学習における部品としての量が、単にシステムにとって計算可能というだけでなく、学習者と教授者にとっても共有の計算可能表現になっているとの知見が本稿になっている。元々は知識工学的発想からの始まったものであるが、学習者・教授者・システムによる共有の計算可能表現を作り出すことは知識工学の目標の一つであり、本稿はその成功例となる可能性がある。教材は時間的安定性が高い対象であることから、同様のアプローチ^⑥で教材分析の可能性は大きいと期待している。

参 考 文 献

- (1) 平嶋宗. (2021). 思考の外在的行為化の場としての仮想空間-学習支援の立場から-. 人工知能, 36(4), 476-479.
- (2) 平嶋宗, 前田一誠, 岩井健吾, 山元翔, 松本慎平, 林雄介. (2022). 量命題を部品とした算数単位文章題組立作問学習ソフト「モンサクン」の小学校全学年での試験的利用. 教育システム情報学会誌, 39(3), 357-367.
- (3) Hirashima, T., Furukubo, K., Yamamoto, S., Hayashi, Y., & Maeda, K. (2016). Practical use of triangle block model for bridging between problem and solution in arithmetic word problems. ICCE2016, 36-45.
- (4) 平嶋宗. (2023). 学習支援におけるドメイン駆動設計. In 人工知能学会全国大会論文集 第37回
- (5) 守山 映見里, 尾坂 隆児, 清水 拓海, 林 雄介, 平嶋宗: 三量命題モデルのオープン化としての複数算数文章題連結的組立演習システムの開発と予備的評価, 教育システム情報学会誌, 41(1) (掲載予定)
- (6) 平嶋宗. (2015). 「学習課題」中心の学習研究: 情報構造としての学習課題の再定義と構造操作としての学習活動の設計. 人工知能, 30(3), 277-280.

自動車修理業における指導の実態調査と 指導者支援システムの提案

高井由佳^{*1}, 岸木翔太郎^{*1}, 池元茂^{*2}

^{*1} 大阪産業大学

^{*2} ボデーガレージイケモト

Survey on the Actual State of Guidance in the Auto Repair Industry and Proposal for an Instructor Support System

Yuka Takai^{*1}, Shotaro Kishiki ^{*1}, Shigeru Ikemoto ^{*2}

^{*1} Osaka Sangyo University

^{*2} Body Garage Ikemoto

We have been visualizing the skills of skilled engineers and producing educational materials to promote the transfer of skills in the automotive repair field and to encourage young engineers to join and remain in the field. Through this research, we have realized that the quality of engineer education has been deteriorating due to the lack of support for engineers who provide instruction in the field. Therefore, the purpose of this study was to clarify the situation of engineers who provide instruction in automotive repair engineers and to propose a system to support the engineers who provide instruction.

キーワード: 自動車修理, 技術継承, 技術者教育, 指導者教育, 指導者支援

1. はじめに

自動車修理業は、エンジンや計器に関わる自動車整備と車体外観に関わる自動車板金塗装に大別できる。自動車整備は車検等で自動車に不具合がないかを確認することが主たる仕事であり、自動車整備士という国家資格が必要となる。自動車板金塗装は事故等で損傷した車体を元の形状にもどすことが主たる仕事である。車体整備士等の関わる資格はあるが、従事するにあたって必須ではない。このため特別な教育を受けていなくても自動車板金塗装業に入職することが可能である。しかし、板金塗装作業は1件1件車体の状態が異なるため、自動車整備より難易度が高いとされている。さらに、板金塗装作業にはマニュアルのない作業が複数存在し、熟練者が過去に受けた指導や経験を元に熟練者から非熟練者へと口頭で指導を行っている場合が多い。したがって熟練者の指導力や指導内容は一定の水

準が保たれている保障はない。

人材不足の問題は、自動車板金塗装業においても大きな課題となっている。直近でも車体整備専門雑誌にて人材確保に関わる特集⁽¹⁾が組まれており、業界の問題意識も高い。このため、自動車板金塗装業を取りまとめる日本自動車車体整備協同組合連合会（車協）では積極的に非熟練者向けの講習会を開催している支部もある。しかしながら車協に属さない工場も多く、打開策となるには至っていない。

このような状況を受け、筆者らは自動車板金塗装作業を各種情報機器にて測定し、作業の可視化・数値化を進め⁽²⁾、測定結果を盛り込んだ教材作成を進めてきた⁽³⁾。この作業の測定の中で、参加いただいた熟練者から「感覚的な作業を指導することの難しさ」や「非熟練者との円滑なコミュニケーションをとることの難しさ」を聞かされることが度々あった。

そこで本研究では、アンケート調査により自動車板金塗装業の指導者の置かれている状況を明確化し、指導者の指導を支援するシステムの開発を目指す。本報ではアンケートの結果をまとめ、指導者支援システムを提案した。

2. 調査の概要

2.1 調査対象

アンケート調査は自動車板金塗装業に従事し、現在指導を行っている、または、過去に指導を行っていた技術者を対象とした。車協の全支部にアンケート調査を依頼する手紙を郵送した。アンケート回答には Google Forms を用いた。地域による回答数の偏りを避けるため、各都道府県の回答件数の上限を 5 件とした。

2.2 アンケート調査項目

アンケート項目は、(1)アンケートに回答する指導者自身に関する項目（性別、年齢、勤務先の従業員数、勤務先の都道府県、これまで指導を行った人数）、(2)回答する指導者が最後に指導を行った指導対象者（今後は非熟練者と呼ぶ）に関する項目（性別、年齢、入職時の形態）、(3)指導の状況に関する項目（指導が十分に行えているか、指導内容がうまく伝わっていると感じるか、非熟練者は上達していると感じるか、コミュニケーションをどのようにとっているか、指導で困っていることがあるか）、(4)勤務先の非熟練者育成に関わる項目（社外研修の状況、育成マニュアルの有無）とした。(3)、(4)の質問に対しては、その回答を選択した理由を自由記述にて回答させた。

3. 調査結果

3.1 指導者自身に関する項目

61 名から回答を得ることができた。回答者は全て男性であり、平均年齢は 51.7 歳（±8.29 歳）であった。

図 1 に勤務先の従業員数のヒストグラムを示す。従業員数が 1～5 名の工場に勤務している回答者が最も多く、従業員数が多くなるにつれ回答件数が減る傾向がみられた。

アンケートは全国に満遍なく依頼を行ったが、一部

の都府県からしか回答を得ることができなかった。回答数が上限の 5 名に達したのは、宮城県、東京都、神奈川県、大阪府、奈良県、佐賀県、鹿児島県であった。さらに上記以外の 12 府県から回答があった。これら以外の道府県からは 1 件も回答が得られなかった。

図 2 にこれまで指導を行った非熟練者の人数を示す。2 人が最も多く、次に 5 人が多かった。一方で 20 人以上に指導をしたことがあるという回答が 6 件あった。

3.2 非熟練者に関する項目

現在指導している、または、最後に指導を行った非熟練者の性別は男性が 56 人、女性が 3 人、回答しないが 2 人であった。非熟練者の平均年齢は 28.7 歳（±8.84 歳）であった。

図 3 に非熟練者の入職時の形態を示す。高卒が最も多く、次いで専門学校卒が多かった。自動車修理の教育を受けて入職する非熟練者は約 15%であった。

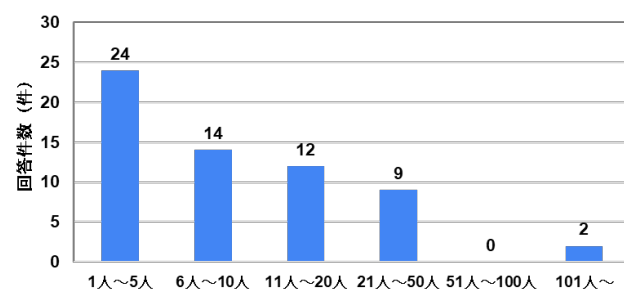


図 1 勤務先の従業員数

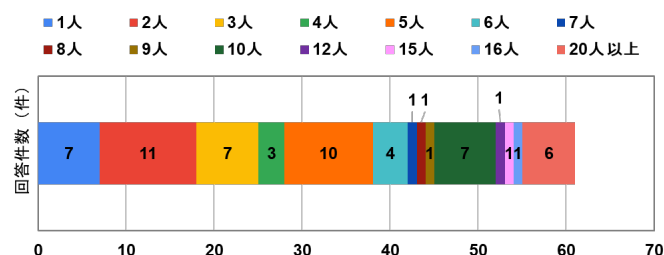


図 2 これまで指導を行った非熟練者の人数

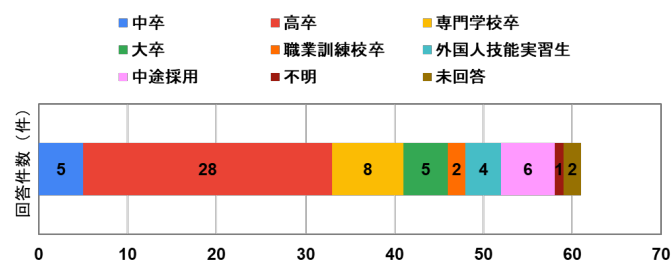


図 3 非熟練者の入職時の形態

3.3 指導の状況

図 4 に「非熟練者への指導は十分に行えていますか」という問いに対する回答を示す。『十分ではない』とい

う回答が最も多く約56%を占めた。『十分でない』と回答した理由としては、『時間不足』を挙げる回答者が最も多く約半数を占めた。次に『指導者の数や力量の不足』を挙げる回答者が多かった。

図5に「指導内容がうまく伝わっていると感じますか」という問いに対する回答を示す。『伝わっている』との回答が最も多く約53%を占めた。『伝わっている』と回答した理由としては『非熟練者の上達が確認できた』との回答が最も多かった。一方、『伝わっていない』、『わからない』と回答した理由としては『上達がみられない』や『離職』を挙げる回答が多かった。

図6に「非熟練者は日々上達していると感じますか」という問いに対する回答を示す。『上達している』との回答が最も多く約74%を占めた。『上達している』と回答した理由としては、『成長を実感する』が最も多く、次に『できる仕事が増えた』が多かった。

図7に「非熟練者とのコミュニケーションはどのようにしていますか（複数選択可）」という問いに対する回答を示す。『積極的に会話をしている』との回答が最も多く、次に『指導時に話をする時間をとっている』との回答が多かった。

図8に「非熟練者の育成において困っていること」を自由記述で問うた回答を示す。約半数は『困っていることはない』との回答であった。困っていることとしては『指導方法』、『年齢の違いによる意欲・意識の違い』が多く、次いで『入職者の減少』、『定着率の悪化』が多かった。

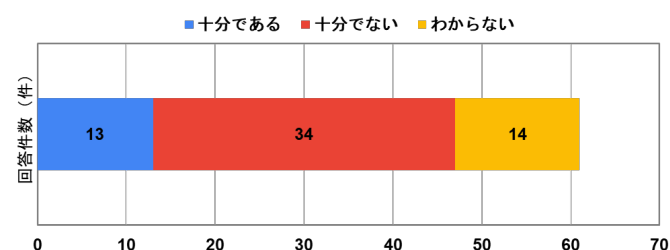


図4 「非熟練者への指導は十分に行えていますか」への回答

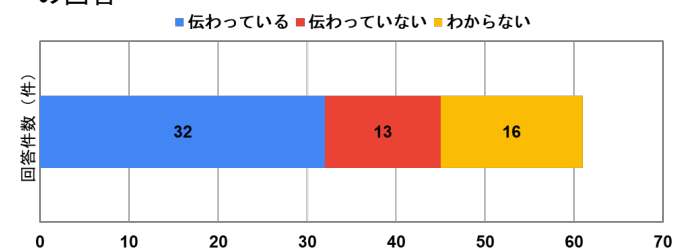


図5 「指導内容がうまく伝わっていると感じますか」への回答

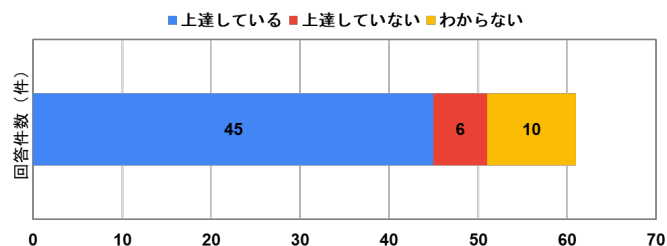


図6 「非熟練者は日々上達していると感じますか」への回答

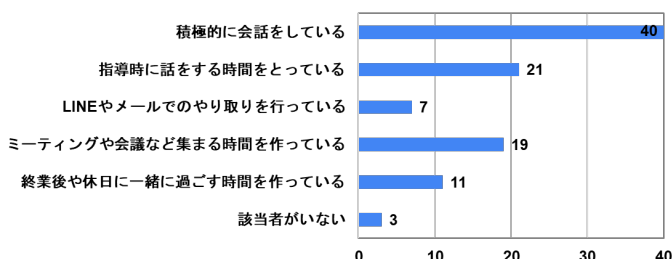


図7 「非熟練者とのコミュニケーションはどのようにしていますか」への回答

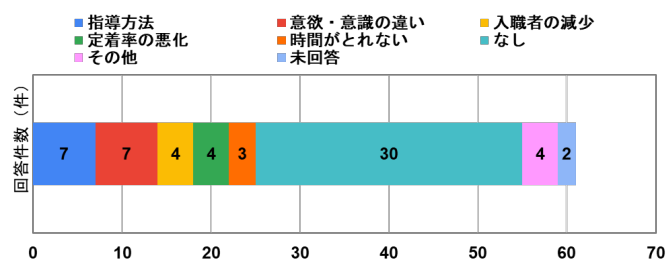


図8 「非熟練者の育成において困っていること」への回答

3.4 勤務先の非熟練者育成に対する状況

図9に「社外研修は行っていますか」という問いに対する回答を示す。未回答を除くと『行ったことがない』が最も多く約39%を占めた。次に多かった回答は『1年に2～3回』であった。1年から数年に1回以上社外研修を行っているとの回答をまとめると約38%であった。『行ったことがない』の理由は71%が『特に理由はない』という回答であったが、その他は『時間がとれない』、『機会がない』という回答が多かった。『社外研修を行っている』理由は、『技術向上』が最も多く、その他は『社外の人との交流』、『案内があったため』といった回答が複数あった。

図10に「社内に育成マニュアルがありますか」という問いに対する回答を示す。『マニュアルはない』との回答が最も多く約75%を占めた。一方で、マニュアル

があるとの回答は約 13%であった。『マニュアルがない』理由としては、『教え方を統一できない』、『必要性を感じない』、『今はないがマニュアルが欲しいと思っている』との回答があった。『マニュアルがある』理由としては、『作業の再現性』、『品質の均一化』、『時間短縮』を挙げる回答が多かった。

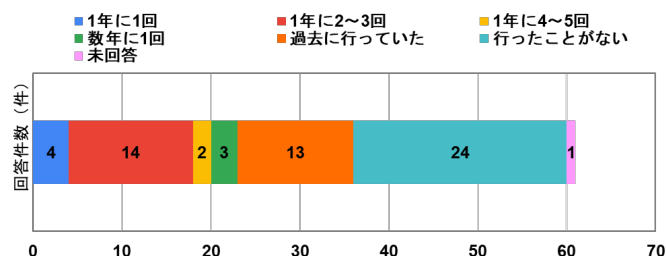


図 9 「社外研修は行っていますか」への回答

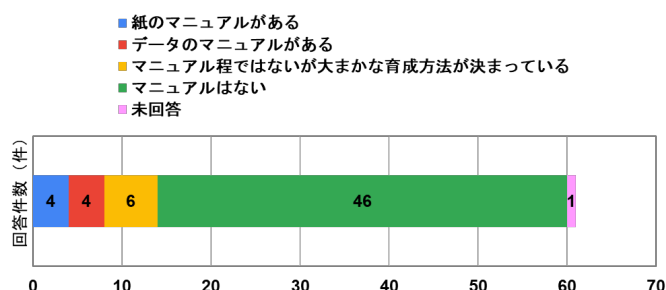


図 10 「育成マニュアルがありますか」への回答

4. 指導者支援システムの提案

図 8 で示した指導者が困っていることに着目すると『人材の参入や定着が難しい』、『指導方法』、『年齢の違いによる意欲・意識の違い』という回答が多かった。

『指導方法』に関しては、これまで筆者らが進めてきた研究が一助になると考えられる。『年齢の違いによる意欲・意識の違い』については指導者が非熟練者の考え方を尊重しコミュニケーションを積極的にとる必要がある。また、図 1 で示したように自動車板金塗装業は小規模企業が大半を占めており、社内に指導者が 1 名しかいない場合も少なくない。このような場合、指導者の抱える悩みを相談する相手がおらず、指導方法の改善を進めることが難しくなる。

これらを加味すると、以下の要件を満たしたシステムが適していると考えられる。

- コーチング方法の教示
- マニュアル化可能な作業の指導方法の教示
- 指導者と非熟練者のコミュニケーションを促進

するツール

- 指導者同士のコミュニケーションを促進するツール

今後は、これらをパッケージにしたシステムの構築を進める。

5. おわりに

自動車板金塗装作業の指導者が置かれている状況をアンケートにて明確化し、指導者を支援するシステムの要件として以下を選定した。

- コーチング方法の教示
- マニュアル化可能な作業の指導方法の教示
- 指導者と非熟練者のコミュニケーションを促進するツール
- 指導者同士のコミュニケーションを促進するツール

謝辞

本研究は JSPS 科研費(23 K 0 2 6 9 5)の助成を受けたものです。また、本研究の遂行にあたり、日本自動車車体整備協同組合連合会および各支部、株式会社プロトリオス 長谷川氏にご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 青山竜: “人材確保, その方法は様々”, ボデーショップレポート, Vol.51, No.8, pp.12-23 (2023)
- (2) 池元茂, 高井由佳, 濱田泰以, 桑原教彰: “自動車板金修理における打刻手順から見る工程解析”, 日本機械学会論文集, Vol.84, No.864, pp.17-00552-1-17-00552-10 (2018)
- (3) Shigeru Ikemoto, Yuka Takai, Hiroyuki Hamada, Noriaki Kuwahara: “Creation and Usability Evaluating of E-Learning Contents for Automobile Repair Block Painting”, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol.8, No.12, pp.333-337 (2017)

肢体不自由者のための自立活動支援アプリケーション

-ユーザーサポート機能の拡充-

佐野 颯舞^{*1}, 土方 啓寿^{*1}, 吉本 定伸^{*1}, 谷本 式慶^{*2}

^{*1} 国立東京工業高等専門学校, ^{*2} 東京都立村山特別支援学校

Development of Self Reliance Activity Support Application for Physically Handicapped People

-Expansion of Functions for Supporting User-

Soma Sano^{*1}, Hirotoshi Hijikata^{*1}, Sadanobu Yoshimoto^{*1}

^{*1} National Institute of Technology, Tokyo College

^{*2} Tokyo Metropolitan Murayama School for Special Needs Education

特別支援学校等の教育の場において、肢体不自由のある児童生徒に対して、体を動かすといった自立活動の指導が行われている。その際に、児童によって興味を持つもの、肢体不自由の度合いや併発している障害が異なるため、それぞれに対応した機器を用意する必要があり、教諭らの負担となっている。本研究では以上の背景から、Kinect センサを利用して、肢体不自由者の体を動かす自立支援活動を行うためのアプリケーションの改良に取り組んでいる。本稿では、ユーザーサポートのための機能の拡充について報告を行う。

キーワード: Azure Kinect, 自立支援, 肢体不自由者, アプリケーション

1. はじめに

本研究は特別支援学校で行われている肢体不自由のある児童生徒の自立活動⁽¹⁾の支援を目的としている。文部科学省の特別支援学校学習指導要領では自立活動について、「健康の保持」、「心理的な安定」、「人間関係の形成」、「環境の把握」、「身体の動き」、「コミュニケーション」の6つの区分からなる、障害による学習上又は生活上の困難の改善・克服を目的とした指導領域のこととされている⁽²⁾。研究で改良を進めるアプリケーションは肢体不自由のある児童生徒へ向けたものであり、健康の保持と身体の動きの2つの区分を主な柱としており、Assistive Technology(以下 AT)と呼ばれる現代のテクノロジーで障害者のサポートを行う技術を活用したものである。AT 機器を使う際には児童生徒ごとに興味のあるもの、肢体不自由の度合いや障害の状態といった教育的ニーズの違いを考慮する必要がある。

ある。また、教育的ニーズに合わせた機器の準備やその利用方法の学習等も必要であり、特別支援学校の教諭、介護職員にとって大きな負担となる。このような課題を改善するにあたって、Azure Kinect センサの汎用性に着目し、単一の機器でより幅広い支援を行えるアプリケーションの改良を進めている。

本アプリケーションはゲーム形式で行い、児童生徒が画面上に映っている自分に気づき、自ら体を動かして画面上のターゲットに向かって変化を起こそうとすること、また、ゲームの画像でストーリー性を持たせることにより、児童生徒の興味を引くことを配慮して開発を行っている。本稿では Azure Kinect を利用したアプリケーションの特にユーザーサポート機能の拡充について報告をする。

2. アプリケーションの概要

自立活動支援アプリケーション⁽³⁾では、Azure Kinect センサから得られた骨格情報を利用して、画面に児童生徒を表示させ、児童生徒の手や足に表示させたオブジェクトをターゲットまで移動するゲームが実装されている。

アプリケーションを起動するとタイトル画面が表示され、「ゲームへ」「スコア確認」「設定」の3つのボタンが表示される。「ゲームへ」ボタンを押すとメニュー画面へと移動する。この画面ではプレイヤー、ゲームの種類、ターゲットへの移動回数、ゲームを行う手、BGMの有無、ターゲットの移動速度、ターゲットの大きさ、ゲーム時のターゲットへの移動回数の表示方法を設定することができる。メニュー画面の右下にある「ゲームスタート」ボタンを押すことでゲームを行う前の画面に移動する。ゲームを行う前の画面では、選択したゲームの種類に対応したテキストとアニメーションが画面に表示される。「ゲームへ」ボタンを押すことで選んだ種類のゲーム画面へと移動する。ゲームは「もぐらたたき」「虫取り」「フルーツキャッチ」「ふきふきぞうきん」「テニス」「Quest」「フルーツキャッチ2」「サッカー」の8種類がある。

タイトル画面にある「スコア確認」ボタンを押すとスコア確認画面へ移動する。この画面から「ゲーム編集画面へ」ボタンを押すと BGM、ターゲットに触れた際の音、ゲーム名、プレイ前の画面で表示されるテキストやゲーム中に使用される画像の変更を行うことができる。

3. アプリケーションの開発状況

昨年度までに開発されたアプリケーションをもとに改良案を検討した。以下にこれらを踏まえた開発状況を示す。

3.1 説明画面の改良

ゲームを行う前の画面全てに「ゲーム説明」ボタンを置き、このボタンを押すことで、各ゲームを説明する画面が表示されるようにした。加えて、ゲームの画像編集機能で画像を変更した場合、ゲーム説明画面でも変更された画像になるように改良を行った。これに

より、はじめてのユーザーでもよりゲームを理解して進めることができると考えられる。

3.2 プレイヤーの活動記録保存機能の開発

ゲームをクリアした後に、どのような設定でいつゲームを行ったのかを記録するためにプレイヤーの活動記録保存機能を開発した。ユーザーの各ゲームの状況がわかるようになり、より効果的な支援につながると考えられる。今後、さらなる改良を進めていく必要があると考えられる。

4. おわりに

本研究では、Azure Kinect を用いた自立活動支援アプリケーションの改良を行っている。本稿では、ユーザーサポート機能の拡充のための、各ゲームの説明画面の改良、プレイヤーの活動記録の保存機能についてその状況を報告した。

今後は、特別支援学校の教諭等のフィードバックから、既存の機能の改良や、新たな機能の開発として画面に映る児童生徒の大きさを調整する機能の検討など、より児童生徒や教諭、介護職員にとって使いやすいアプリケーションへと改良を行っていく。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご協力いただいた特別支援学校の教諭、介護職員、児童生徒の皆様に感謝の意を示します。

参 考 文 献

- (1) 中井滋, 高野清: “特別支援学校 (肢体不自由における自立活動の現状と課題 (1))”, 宮崎教育大学紀要, 46, pp. 173-183 (2011)
- (2) 文部科学省, “特別支援学校教育要項・学習指導要項解説 総則編(幼稚園・小学部・中学部)”
https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2019/02/04/1399950_3.pdf(2023 年 10 月 2 日確認)
- (3) 金井賢, 小出新, 吉本定伸, 谷本式慶: “肢体不自由者のための自立活動支援アプリケーション-アプリケーションの改良-”, 教育システム情報学会研究報告. vol36 no. 5, pp. 7-9 (2022)

錯視画像作成教材 VisioCraft の開発

小林 伸行^{*1}, 児玉 太一^{*2}, 高橋 功^{*3}

^{*1} 山陽学園大学 地域マネジメント学部

^{*2} 岡山県立大学 保健福祉学部

^{*3} 山陽学園大学 総合人間学部

Development of educational tool “VisioCraft” for creating optical illusions

Kobayashi Nobuyuki^{*1}, Kodama Taichi^{*2}, Takahashi Isao^{*3}

^{*1} Sanyo Gakuen University Faculty of Regional Management

^{*2} Okayama Prefectural University Faculty of Health and Welfare Science

^{*3} Sanyo Gakuen University Faculty of Human Science

錯視表現は知覚や美術に関わる知的関心を喚起する格好の題材であり、視覚芸術・資格メカニズムの理解促進と関心の喚起といった学習教材として取り上げられてきた題材である。トロンプルイユのようにあたかも3次元の立体に感じられる錯視画を授業で取り上げるとき、学生に描かせる場合には立体に見えるようにゆがませて描く必要がある。この画像の作成支援をするオリジナルアプリケーションの制作について報告をする。

キーワード: トロンプルイユ, トリックアート, 美術教育, 教材開発

1. はじめに

本研究では錯視表現におけるオリジナルアプリケーションの制作とその活用についての研究である。錯視表現は見ることの不思議さを導くとともに、知覚や美術に関わる知的関心を喚起する格好の題材である。絵画を始めとする視覚芸術を専攻したり、趣味で絵を描いたりしているわけでもない限り、多くの初学者にとって錯視表現の描画は敷居の高い活動である。したがって、単に視覚メカニズムにおける解説を与えるだけではなく、実際の描画時の手順について明示する必要があるが、錯視表現の作成方法について述べた多くのテキストにおいては、この点の説明が十分ではなく、感覚的なものに留まっている現状がある。そこで本研究では、全ての学習者が錯視による表現を作成できることを目指した錯視画像作成教材(VisioCraft)の作成を試みた。

錯視図形に関する教材の先行研究としては、神田らは「トリックアート制作支援ツールの開発⁽¹⁾」におい

て、運動錯視の発生条件を明らかにし、その知見を用いて運動錯視のトリックアート制作支援ツールを開発している。後藤は「海外の数学文化を取り入れた教材開発 — Optical toy を事例として —⁽²⁾」において小学校低学年が体験できるような教材開発として錯視などを取り扱い教材化の研究を行っている。森長は「「錯視」や「だまし絵」指導におけるデジタル教材の開発^{(3),(4)}」において、中高生を対象としたデジタル教材として、電子黒板やタブレットを用いた授業を想定した教材開発を行っている。これらの先行研究では、我々が考えているような錯視画像の見本を作成するようなツールではなく、どちらかというと錯視やトリックアートを体験するような授業を想定している。

本研究において錯視を授業で取り上げる。トロンプルイユ(Trompe-l'œil)のようにあたかも3次元の立体に感じられる錯視画を授業で取り上げるとき、特に学生に描かせる場合には立体に見えるようにゆがませて描く必要がある。学生に立体に見えるようにゆが

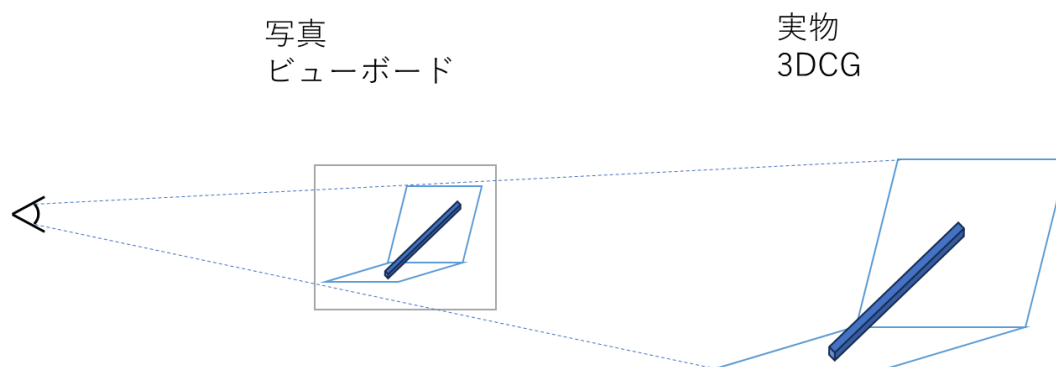


図 1 3次元立体の2次元の画像への変換

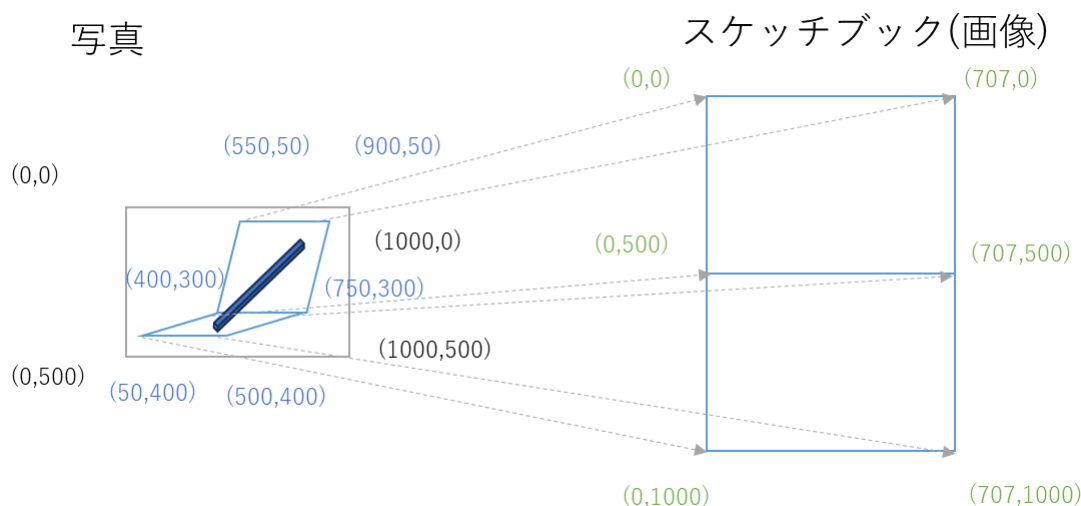


図 2 写真からスケッチブック（錯視画像）への変換

ませた図形を頭に思い浮かべるのはかなり困難である。本論文では、美術の授業などで錯視を取り扱いさまざまな研究を進めていくことを予定している。

2. VisioCraft で用いた理論

本稿で作成したオリジナルアプリケーションである錯視図形作成教材 VisioCraft で用いている理論を説明する。図 1 に示すように 3 次元の立体を 2 次元の画像に変換するもっとも簡単な方法はデジタルカメラやスマートフォン等で画像に変換することである。これは 3 次元 CG にビューボード設定してレンダリングを行うのと同じ作業である。ここでは背景として錯視画像を描くスケッチブックなどと共に立体を写真に収めることにする。スケッチブックの 2 つの平面にこの立体物をゆがませて描き、同じ角度で固定すれば立体の錯視画像になる。これは見たい画像を背景の形状に合わせて変換することで容易に行うことが可能である。今回の場合ではプロジェクションマッピングのような複雑な形状ではなく、スケッチブックの 2 つの平面に

アフィン変換を行えばよい。そのため、難しい変換は行っていない。

スケッチブックは JIS 規格のものを想定しているため、上下それぞれの用紙の縦と横の比は $1:\sqrt{2}$ となり、写真の画像内のスケッチブックの青の各点 (x, y) から実際に描くスケッチブックの緑の頂点の座標 (x', y') への写像として表される。こちらが知りたいのは点 (x', y') の変換前の座標であるため次の数式で計算する。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix}$$

図 2 の上の平面の場合の変換 $(550, 50) \rightarrow (0, 0)$, $(900, 50) \rightarrow (707, 0)$, $(400, 300) \rightarrow (0, 500)$, $(750, 300) \rightarrow (707, 500)$ を代入し、変換行列を計算すると次式のようになる。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.495 & -0.3 & 550 \\ 0 & 0.5 & 50 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix}$$

この行列を用いて各ピクセルの画素値を双一次補間(Bi-linear)の場合は近傍ピクセルの加重平均を用いて計算することで求める画像を作成する。スケ

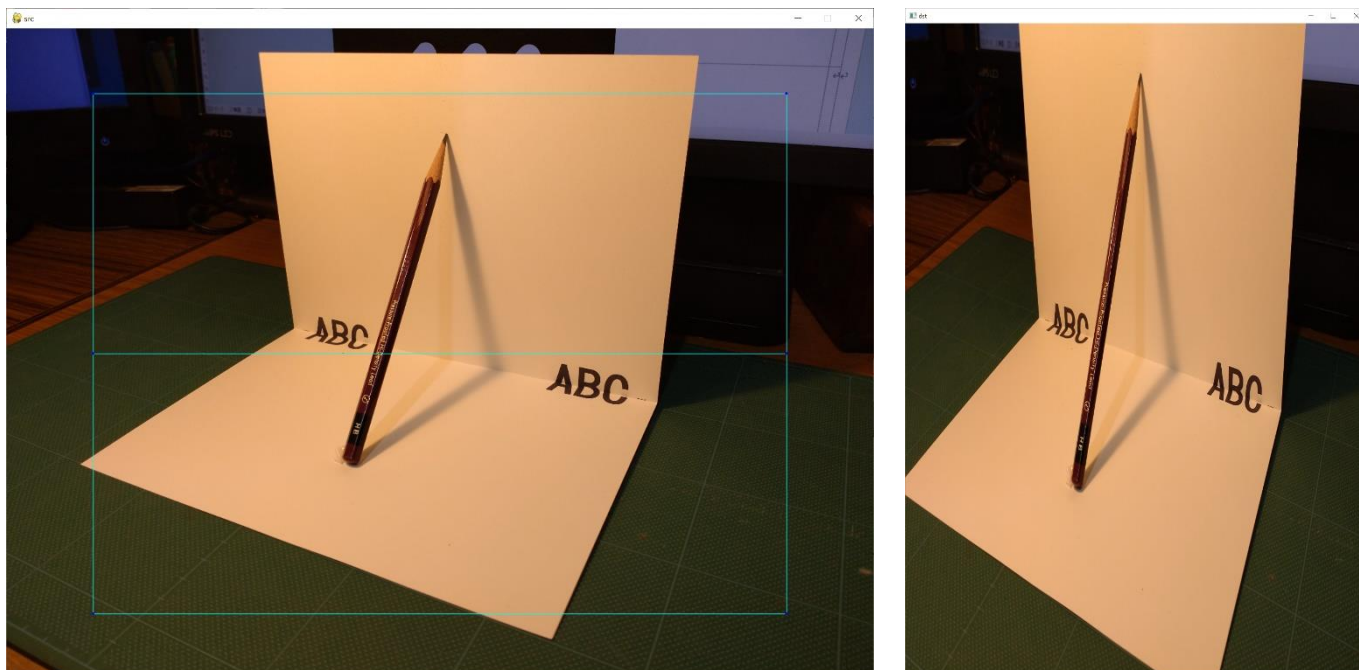


図 3 VisioCraft で画像ファイルを開いたところ（左：操作画面，右：プレビュー画面）

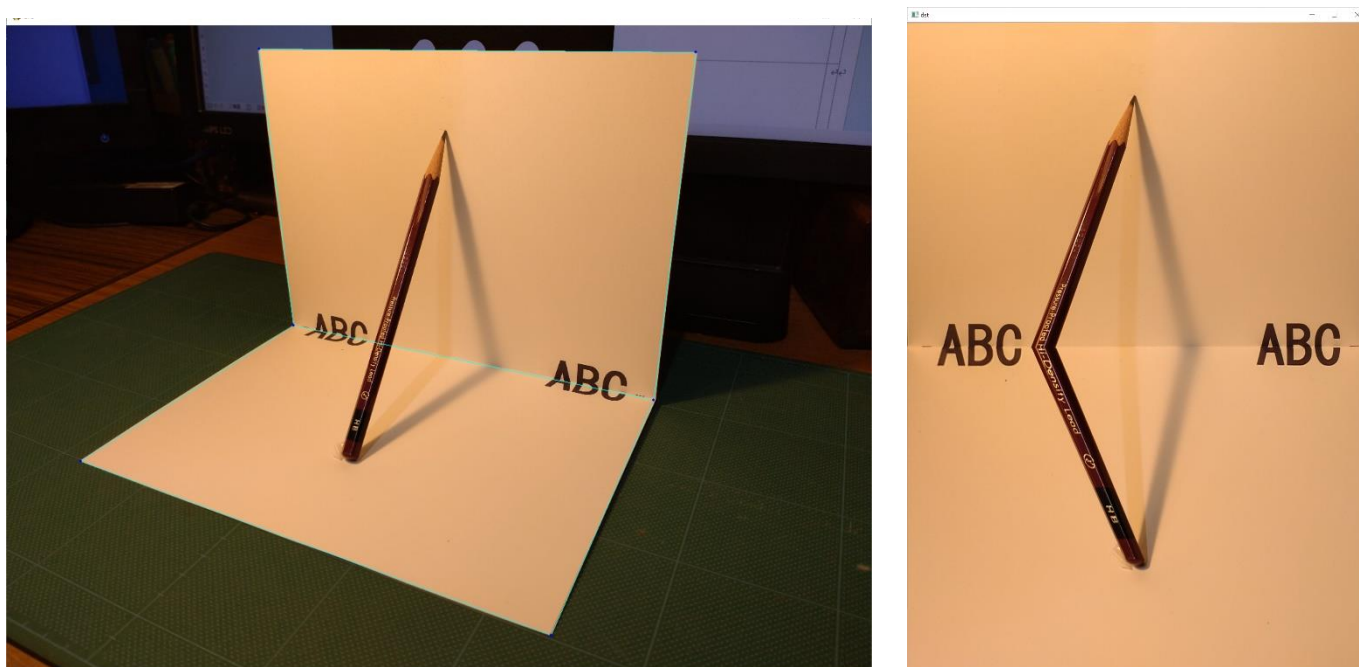


図 4 頂点を設定したところ（左：操作画面，右：プレビュー画面）

ッチブックの下半分も同様の手順である。

3. VisioCraft（錯視画像作成教材）

3.1 アプリ画面・機能の説明

今回作成した錯視画像作成ツール VisioCraft の説明を行う。VisioCraft を実行すると画像ファイルを選択するようファイルダイアログが表示される。元画像となる写真画像を選択しファイルを開くと操作画面（図 3 左）と返還後の画像を表示するプレビュー画面（図 3 右）が表示される。

操作画面に「日」の文字のように 2 つの四角が水色

の線が表示され、各頂点と交点に青い点がある。上の四角がスケッチブックの上の部分、下の四角がスケッチブックの下部分に合うように、青い頂点をドラッグして動かし、操作画面の 6 つの頂点を画像内の頂点に揃えることで出力画像を作成する。図 4 は各点を画像に合わせて設定した状態を示す。

[ESC] キーを押すことで VisioCraft を終了し、VisioCraft のあるフォルダにカラー画像「output.png」とグレースケール画像「output_g.png」が出力されるので印刷して使用する。



図 5 撮影した元画像（左）と制作した錯視画像（右）

表 1 Windows 開発環境

Python	3.10.11
PyCharm 2022.2.1 (Community Edition)	
opencv-python	4.80.74
pygame	2.5.0
Pillow	10.0.0
Pyinstaller	5.13.0

3.2 VisioCraft の開発環境

VisioCraft は Windows 上で Python を用いて開発を行っている（表 1）。実行ファイルの作成には Pyinstaller を用いている。Pyinstaller は Python のプログラムを簡単に実行ファイル変換してくれる反面、プログラム実行に時間がかかり、ファイルサイズが大きくなるのが欠点である。Python の OpenCV を利用することで画像処理を容易に記述できる。

4. 錯視画像の制作

VisioCraft を用いた錯視画像を制作する方法を説明する。制作方法の流れは次の通りである。

- 背景となるキャンバスに立体物を配置し、錯視画像の基となる画像をデジタルカメラで撮影する。このとき光の当たり方により出来上がった画像の立体感に差が出る。
- VisioCraft で画像ファイルを読み込み配置した立体物の変形した画像を作成する。
- 変形した画像を元に印刷あるいは描画した画像

を撮影時と同じ位置に配置して確認する。図 5 は、人形を配置して撮影している場面と、出来上がった錯視画像を表している。

5. おわりに

本研究では、トロンプレイユのような立体的に見えるトリックアートを作成することは困難である。そこで、錯視画像作成教材 VisioCraft を開発した。

今後の課題としては、VisioCraft を利用して授業を行い、学習効果や効果的な学習方法や教授方法の研究を行う。ユーザが使用しやすいように VisioCraft をインターフェースの改善を行っていきたいと考えている。

参 考 文 献

- (1) 神田 尚希, 渡辺 賢悟, 宮岡 伸一郎: “トリックアート制作支援ツールの開発”, 芸術学会論文誌 Vol.11, No.2, pp.21-28 (2012)
- (2) 後藤 学: “海外の数学文化を取り入れた教材開発 — Optical toy を事例として —”, 数学教育学会誌 Vol.58, No.1・2, pp.61-70 (2017)
- (3) 森長 俊六: “「錯視」や「だまし絵」指導におけるデジタル教材の開発”, 美術家教育学会誌 No.39, pp.347-359 (2018)
- (4) 森長 俊六: “「錯視」や「だまし絵」(2) — 「わかりやすさ」に関する調査 —”, 広島大学付属中・高等学校中等教育研究紀要 No.66, pp.69-80 (2019)

物理現象を題材としたバーチャル遊び場創りによる プログラミング教育の実践

田代穂香^{*1, *2}, 土手絢心^{*1}, 北村史^{*1}, 瀬戸崎典夫^{*1}

^{*1} 長崎大学, ^{*2} 長崎純心大学

Programming Education Practice of Creating a Virtual Playground with Physical Phenomena

Honoka Tashiro^{*1, *2}, Kenshin Dote^{*1}, Fumito Kitamura^{*1}, Norio setozaki^{*1}

^{*1} Nagasaki University, ^{*2} Nagasaki Junshin Catholic University

In this study, we conducted a three-year programming education program for high school students, in which the subject was the creation of a virtual playground with an awareness of physical phenomena. The possibility that the design of the three-year program would promote the participants' motivation toward the production activities and interest in related knowledge was examined based on the participants' subjective evaluation questionnaires. The results suggest that production activities using Unity may promote participants' interest in programming and related subjects.

キーワード: プログラミング教育, Maker Education, STEAM 教育

1. はじめに

近年, 21 世紀型スキルを有した人材の育成に向け, 学習指導要領の改訂をはじめ, 様々な教育革新がなされている. 小学校から高等学校までの学校教育課程で必修化されたプログラミングにおいては, 創造力, 課題解決力, 表現力, 合理性・論理的思考力, 意欲, コーディング・プログラミングスキル, コンピュータの原理の理解といった 7 項目を身につけることが期待されている (総務省, 2015). 一方, 海外では, ものづくり活動が 21 世紀型スキルの育成に関与する可能性について示されている (Taylor, 2016). したがって, 21 世紀型スキルを有した人材育成の手立てとして, 創造的な活動を通した学びの場の充実や, プログラミング教育の学習効果に関する知見の蓄積は喫緊の課題であろう.

そこで, 本研究では, 高校生を対象とし, ものづくりを題材としたプログラミング講座を実施した. さらに, 参加者および活動の一部を変更して本講座を 3 ヶ

年実施し, 制作物をカテゴリごとに分類することで, めあての設定や教示内容と学びとの接続について明らかにすることを目的とした.

2. 研究方法

2.1 実践の概要

本研究では, 長崎県教育委員会によるサイエンス・テクノロジー人材育成事業「プログラミング講座 VR コース」において県内の高校生に向けたプログラミング講座を 3 ヶ年実践した. 本講座には参加者の定員が設けられており, 3 年とも約 2 倍の倍率であった. また, 受講希望者の中から選抜された生徒らは, 計 16 時間 (4 日間) のプログラミング講座を受講した. なお, 2021 年は 20 名の高校生が参加した. また, 2022 年には 18 名が参加し, 2023 年には 30 名が参加した. 参加者は, 2 名 1 グループとなり, ゲーム開発プラットフォーム (Unity) がインストールされた PC を用いて制作活動に取り組んだ.

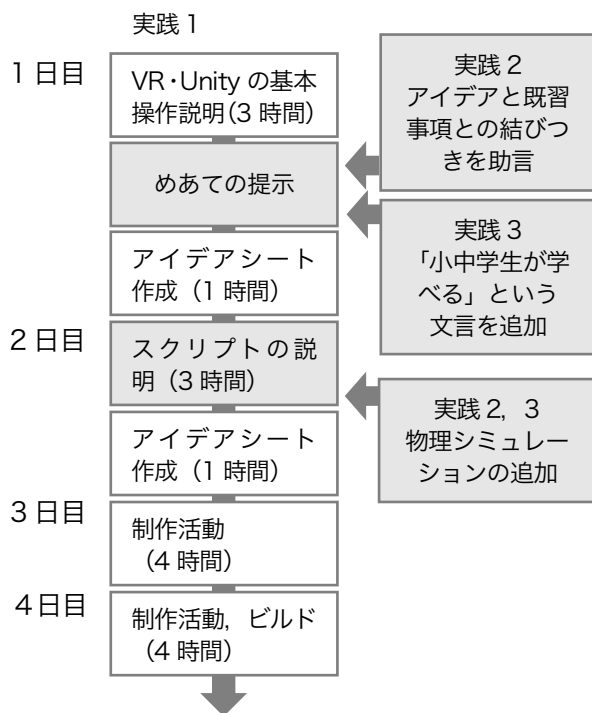


図1 実践の流れと変更点

なお、本研究では、2021年の講座を実践1、2022年の講座を実践2、2023年の講座を実践3とする。

図1に本講座の主な流れと各回の変更点を示す。本研究は、講座の内容による参加者の学びについて比較するため、実践2および実践3において一部変更点を設けた。

まず、1日目に、参加者は、VRに関する基礎知識やUnityの基本的な操作方法について3時間学んだ。次に、活動のめあてを提示した。制作物のテーマを決定するため、創造的な思考を促すワークショップを1時間実施した。なお、本ワークショップで参加者は、白紙のA3用紙をアイデアシートとして、取り入れたい

アイデアや制作したいものの設計イメージなどを自由に記入した。めあてについて、実践1および実践2では、「物理的な事物・現象を意識した、今までにない遊び場を創ろう」と設定した。さらに、実践2では、「今まで学校で学んだ内容をテーマにしてみてもいいかな」といった言葉かけをすることで、既習事項を意識したアイデアの創出を促した。実践3では、よりユーザーを意識した制作活動となるよう、「物理的な事物・現象を意識した、今までにない小中学生が学べる遊び場を創ろう」と設定し、小中学生を学びの対象とするように明示した。

2日目は、スクリプトの書き方や、物理シミュレーションの実装方法について3時間学んだ。次に、初日のワークショップで作成したアイデアシートを用いた活動を1時間実施し、より具体的な制作物のテーマや設計指針を立てた。なお、実践2および実践3では、参加者の主体的な学びや物理特性への理解を促すため、弾性力の違う床やシーソーといったオブジェクトを追加し、「釣り合わせるには?」「質量が違っているとどうなる?」といった問いかけを行った(図2)。

3日目および4日目は、各ペアのテーマに沿った遊び場の実装に向け、制作活動に取り組んだ。なお、活動の記録として、遊び場のコンセプトや設計指針、調べたことについてワークシートに記入した。

2.2 評価方法

本講座における制作活動に対して、アンケートによる主観評価を得た。参加者は、17の質問項目に対して「とてもそう思う」、「ややそう思う」、「あまりそう思わない」、「全くそう思わない」の4件法により回答した。なお、4件法による回答は、「とてもそう思う」を4点、「ややそう思う」を3点、「あまりそう思わない」を2点、「全くそう思わない」を1点として各質問項目の平均値を算出し、1要因参加者間比較による分散分析を行った。

また、著者のうちの3名で生徒らが制作した遊び場を「複数教科の内容を含む遊び場」、「単一教科の内容を含む遊び場」、「教科の内容を含まない遊び場」の3つのカテゴリに分類した。

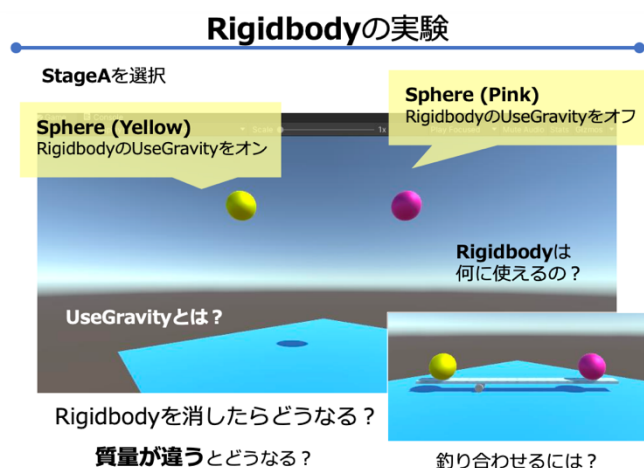


図2 提示したオブジェクトの例

表 1 講座における主観評価

	実践 1 n=20 平均(SD)	実践 2 n=18 平均(SD)	実践 3 n=29 平均(SD)	F 値 (df)	多重比較
制作活動は楽しかった	3.80(0.40)	3.94(0.23)	3.86(0.34)	$F(2,64)=0.84$	<i>n.s.</i>
制作活動に積極的に取り組んだ	3.85(0.36)	3.72(0.45)	3.76(0.43)	$F(2,64)=0.48$	<i>n.s.</i>
制作活動を通して新しいことに気づいた	3.75(0.54)	3.78(0.42)	3.79(0.41)	$F(2,64)=0.05$	<i>n.s.</i>
制作活動を通して新しい知識を得た	3.95(0.22)	3.94(0.23)	3.79(0.48)	$F(2,64)=1.45$	<i>n.s.</i>
今回のような制作活動をもっとしたい	3.85(0.36)	3.94(0.23)	3.83(0.38)	$F(2,64)=0.67$	<i>n.s.</i>
制作活動のために積極的に調べ学習をした	3.56(0.59)	3.78(0.42)	3.52(0.68)	$F(2,64)=1.12$	<i>n.s.</i>
調べ学習によって新たな知識を得た	3.65(0.48)	3.78(0.42)	3.79(0.41)	$F(2,64)=0.69$	<i>n.s.</i>
今まで学校で学んだ知識が役に立った	2.90(0.77)	3.11(1.05)	2.76(0.90)	$F(2,64)=0.80$	<i>n.s.</i>
プログラムの構造について考えることができた	3.45(0.50)	3.72(0.45)	3.48(0.68)	$F(2,64)=1.25$	<i>n.s.</i>
プログラミングについて理解が深まった	3.50(0.59)	3.72(0.56)	3.59(0.72)	$F(2,64)=0.55$	<i>n.s.</i>
プログラミングをもっと学びたくなった	3.85(0.36)	3.78(0.42)	3.87(0.34)	$F(2,64)=0.30$	<i>n.s.</i>
物理的な事物・現象について考えることができた	3.30(0.56)	3.61(0.49)	3.52(0.62)	$F(2,64)=1.47$	<i>n.s.</i>
物理的な事物・現象について理解が深まった	3.25(0.62)	3.44(0.60)	3.17(0.79)	$F(2,64)=0.82$	<i>n.s.</i>
物理的な事物・現象についてもっと学びたくなった	3.45(0.50)	3.33(0.67)	3.38(0.76)	$F(2,64)=0.14$	<i>n.s.</i>
今までにない遊び場を創ることができた	3.60(0.49)	2.94(0.70)	3.07(0.78)	$F(2,64)=4.93$	*
バーチャル環境でこそこできる遊び場を創ることができた	3.65(0.48)	3.33(0.75)	3.55(0.56)	$F(2,64)=1.34$	<i>n.s.</i>
Unity の操作は簡単だった	1.85(0.65)	2.11(1.05)	1.90(0.84)	$F(2,64)=0.49$	<i>n.s.</i>

実践 3 における有効回答は 30 名中 29 名 * $p<.05$

3. 結果・考察

表 1 に 1 要因参加者間比較による分散分析の結果を示す。また、表 2 に全ての制作物のカテゴリ分類を示す。制作物は、ユーザーに遊び場を体験させる「体験型」と、クイズ形式で知識を問う「問題型」の 2 つに分類することができた。

「制作活動は楽しかった」、「制作活動に積極的に取り組んだ」、「制作活動を通して新しいことに気づいた」、「制作活動を通して新しい知識を得た」、「今回のような制作活動をもっとしたい」の 5 項目に関して、全ての質問項目で有意な差はなかった。このことより、全ての実践において参加者は、同程度の満足度や学びを得たことが示唆された。

次に、「制作活動のために積極的に調べ学習をした」、「調べ学習によって新たな知識を得た」、「プログラムの構造について考えることができた」、「プログラミングについて理解が深まった」、「プログラミングをもっ

と学びたくなった」、「物理的な事物・現象について考えることができた」、「物理的な事物・現象について理解が深まった」、「物理的な事物・現象についてもっと学びたくなった」、「バーチャル環境でこそこできる遊び場を創ることができた」、「Unity の操作は簡単だった」の項目について、全ての質問項目で有意な差はなかった。一方で、インターネットで調べたことが記入されたワークシートでは、実践 1 が Unity の基本的な操作に関する記述のみであるのに対し、実践 2 および実践 3 では「高校 2 年生までに習った数学・国語」、「エネルギー保存の法則・運動エネルギーなどの物理について」といった教科内容に関して記述されていた。このことより、実践 2 および実践 3 の参加者が、Unity の操作のみならず、関連する教科に関する知識が深まった可能性が示された。

また、「今まで学校で学んだ知識が役に立った」の項目について、実践間で有意な差はなかった。一方で、

表 2 制作物のカテゴリ

	実践 1 遊び場の具体例提示	実践 2 物理シミュレーションの追加 既習事項に関する言葉かけ	実践 3 学習対象の明示
複数教科	0 件/0%	4 件/44% 4 (体験) : 0 (問題)	8 件/53% 3 (体験) : 5 (問題)
単一教科	6 件 (体験) /60%	5 件/55% 4 (体験) : 1 (問題)	5 件/38% 4 (体験) : 1 (問題)
教科なし	4 件 (体験) /40%	0 件/0%	2 件 (体験) /13%

制作物のカテゴリを参照すると、何らかの教科内容と接続している制作物の割合は、実践1が60%であるのに対し、実践2では100%，実践3では91%であった。このことより、既習事項との接続を促す言葉かけめあての設定を行ったことで、図3のような教科の知識を意識した制作物が多くなったことが示唆された。

また、「今までにない遊び場を創ることができた」の1項目に関して、実践1と実践2、実践1と実践3でそれぞれ有意な差があった。実践2および実践3では、既習事項を意識したアイデア創出を促すための言葉かけや、めあての文言の追加を行った。制作物を比較しても、図3に示すような教科との接続のない制作物は実践2が0%，実践3が13%であるのに対し、実践1では40%と半数近い割合であった。このことから、実践1では、教科に捉われないアイデアの発想を促すことができたことが示唆される。

最後に、図4に示すような問題型の制作物の割合について、実践1は0%，実践2は10%であったが、実践3では40%と増加している。「小中学生が学べる遊び場」という学習対象を明示しためあてにしたことにより、ユーザーの学びの獲得を意識した設計を促したことが考えられる。



図3 教科との接続がない制作物（体験型）



図4 複数教科を題材とした制作物（体験型）

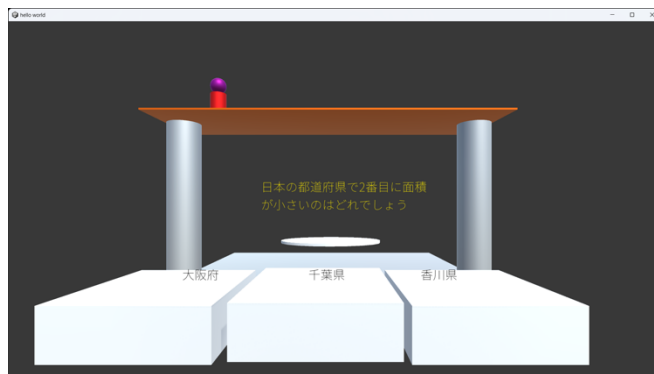


図5 複数教科を題材とした制作物（問題型）

4. まとめ

本研究では、長崎県教育委員会によるサイエンス・テクノロジー人材育成事業「プログラミング講座 VRコース」において県内の高校生に向けたプログラミング講座を3ヵ年実践した。また、本研究は、講座の内容による参加者の学びについて比較するため、実践2および実践3において一部変更点を設けた。

本講座における制作活動に対して、4件法による主観評価を得た。各質問項目の平均値を算出し、1要因参加者間比較による分散分析を行った。また、制作物をカテゴリごとに分類することで、めあての設定や教示内容と学びとの接続について明らかにすることを目的とした。その結果、Unityを用いた制作活動が参加者にとって、プログラミングや関連する教科への興味・関心を促し得る可能性が示唆された。また、実践2および実践3の参加者が、Unityの操作のみならず、関連する教科に関する知識が深まった可能性が示された。また、「小中学生が学べる遊び場」という学習対象を明示しためあてにしたことにより、ユーザーの学びの獲得を意識した設計を促したことも示唆された。

参考文献

- (1) 総務省:プログラミング人材育成の在り方に関する調査研究報告書, https://www.soumu.go.jp/main_content/000361430.pdf(2023年10月10日)
- (2) Taylor, B.: "Evaluating the Benefit of the Maker Movement in K-12 STEM Education", Electronic International Journal of Education, Arts, and Science (EIJEAS), 2, 1-22. (2016)

プログラミング的思考力を育むための 小学校プログラミング授業支援 -児童の主体的な学びを目指した授業教材の改良-

伊西 瑠奈^{*1}, 市岡 徹郎^{*1}, 吉本 定伸^{*1}, 鈴木 雅人^{*1}

^{*1} 国立東京工業高等専門学校

To foster programming thinking skills Support for Elementary School Programming Classes -Improvement of teaching materials for children's independent learning-

Runa Inishi^{*1}, Tetsuro Ichioka^{*1}, Sadanobu Yoshimoto^{*1}, Masato Suzuki^{*1}

^{*1} National Institute of Technology Tokyo College

2020 年度から小学校でのプログラミング教育が必修化されたが、プログラミング経験のない児童に対し専門知識を持たない教諭が適切な授業を計画し実行することは容易ではないと予想される。本研究では、プログラミング経験者の視点から文部科学省の提示する到達目標達成のために適切な授業教材の作成と授業の実践を行うことでプログラミング授業のモデルを提示し、児童の論理的思考育成と教諭の負担軽減を目指す。本稿では特に、授業実施後に行うアンケート内容の変更によるフィードバックを強化し、より理解しやすい授業教材に改良していくことで、プログラミング的思考育成の促進を目指す。

キーワード: 小学校プログラミング教育, ブロックコーディング, アクティブラーニング

1. はじめに

近年、急速に進展していく情報化社会において情報技術を効果的に活用しながら、課題を発見・解決していくことが求められる。このような能力を学校教育で育成していくため、文部科学省は 2020 年度から小学校でのプログラミング教育を導入した⁽¹⁾⁽²⁾。しかし、プログラミング教育未経験の小学校教諭が、同じくプログラミング未経験の児童に対し計画を立てて授業を実施する負担は大きいと予想される。本研究では、教諭の負担を軽減し児童の論理的思考を育成できるよう授業教材の開発、授業の実践を行っている。

文部科学省の「小学校プログラミング教育の手引」

⁽¹⁾によると、小学校でのプログラミング教育において

は、優先して育むべき能力として、「プログラミング的思考」が挙げられている。「プログラミング的思考」とは、「自分が意図する一連の活動を実現するために、どのような動きの組合わせが必要であり、一つ一つの動きに対応した記号を、どのように組み合わせたらいいのか、記号の組合わせをどのように改善していけば、より意図した活動に近づくのか、といったことを論理的に考えていく力」と示されている⁽¹⁾。この力はプログラミングだけでなく、社会の中で普遍的に必要とされる力であるとされる。

本研究ではこの「プログラミング的思考」の育成を主な目的として micro:bit⁽³⁾を用いた授業を軸とした教材開発と授業の実践を行う。

これまで、プログラミングをより簡単に身近に感じてもらうための信号機を題材としたプログラムを作成するテーマや、小学校理科の学習内容である電気の利用の単位と関連させた豆電球やコンデンサを用いたテーマ、主に総合の時間に重きを置いたライントレーサーを用いたプログラミングの授業等を作成・実施し、授業の度に、テーマや内容などのブラッシュアップを行ってきている。また、今年度は新たな取り組みとして中学校を対象としたプログラミング授業の実施に向けた教材開発も進めている。

本稿では、授業後アンケートに基づき行った、イントレーサーを用いた授業教材の更なる改良について報告する。

2. プログラミング授業について

2.1 使用機器

micro:bit は教育向けのマイクロコンピュータである。本体には LED や温度・光・加速度等のセンサ、マイクやスピーカー等を搭載しており、Python 等の一般的なプログラミング言語に加え、プログラミング初心者でも行えるブロックコーディングによるプログラミングができる。

また、ライントレーサーは光センサを利用して白地に黒のコース上を走行する車型ロボットである。光センサで読み取った値をもとにモーターを制御するプログラムを取り込んだ micro:bit をライントレーサーに差し込むことで、走行させることができる。

2.2 授業の概要

本報告で行う出前授業は「日常生活とプログラミングの関わりへの気づき」、「プログラムとフローチャートの対応関係への気づき」、「授業内の活動を通したプログラミングの楽しさへの気づき」の3つの目標を軸に構成する。基本的な授業の流れは図1に示す通りである。

ライントレーサーを用いた授業では、授業目標達成の一環として、授業全体を「プログラミングと交通との関連」をテーマにして構成している。

1校時目には、授業目標のうち特に「日常生活とプログラミングの関わりへの気づき」の達成のため、日常のどのような場面にプログラミングが使われている

か紹介する。プログラミング方法理解のための実習テーマは身近な歩行者用信号機のプログラム作成に定めている。また、初めて micro:bit を使う人でも授業を行うことができる構成を考え進めてきている。これにより、小学校教諭が単独でも実施できるように配慮している。

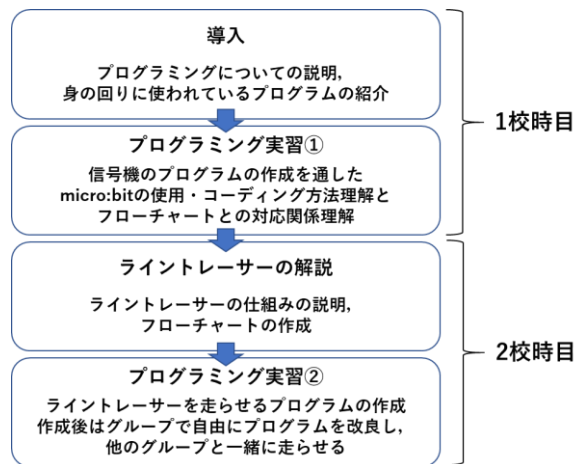


図1 プログラミング出前授業の流れ

2校時目は、対象となる小学校と話し合い、どういったテーマにするかを決定し、そのテーマに沿った授業を実施する。本報告ではライントレーサーを教材として用いた授業を扱う。

3. 現在の授業教材改良状況

本稿では、教材改良への初期段階として授業後に実施しているアンケート内容をより細かなものとし、授業に対して児童の感じた難易度や抱いた感想を具体的に把握する。これにより、抱える課題を明確にすることで、児童に伝わりやすく、主体的な学びに導けるような教材の開発・授業方法の検討を行う。

3.1 アンケート改良とその結果

3.1.1 従来のアンケート構成

従来のアンケートの構成は以下の通りである

- (1) 授業目標の達成の可否
- (2) 授業の進行(速度・分量・難易度)の程度
- (3) 授業に関係する感想(記述式)

3.1.2 新たなアンケート構成

課題発見と目標達成の実態把握のために行ったアンケートの概要は以下の通りである。

- (1) 授業内で特に改善すべき点を特定するため、授業

の流れを 7 分割し、それぞれについて 3 つの視点で問う設問を追加した。

- (2) 授業を通して、目標に定めている「プログラミング的思考の育成」が達成できているか把握するため、アンケートの最後にクイズという形でフローチャートの穴埋めを追加した。

3.1.3 授業の実施とアンケート結果

授業は、東京都八王子市の小学校 1 校の第 6 学年を対象に行った。授業内では、学んだことを活かしながら、ライントレーサーのプログラムを改良する児童の姿が見られた。

新たに設けた「授業の各行程に関して『楽しかったか』『難しかったか』『役に立ったか』を問う設問」に対し、全ての行程において「楽しかった」「役に立った」と肯定的に回答した児童は 9 割以上となっていた。

一方、信号機のプログラム作成までの授業前半部は「簡単だった」と答えた児童が 7 割近くを占めていたが、授業後半部のライントレーサーのプログラム作成については「難しかった」と答えた児童が 6 割近くとなっていた。

3.2 アンケート結果に基づく授業教材の改良

3.2.1 授業教材の改良方針

授業時の様子や、アンケートの結果から、適切な難易度の授業実施という点で、ライントレーサーのプログラム作成部分の難易度が少し高いものとなっていることが分かった。そのため、ライントレーサーのプログラム作成部分を中心に児童が理解しやすいように改良していく必要があると考えた。そこで、視覚的な理解を促すため、PowerPoint のアニメーション機能などを活用し、より理解しやすい構成としていくことで、授業教材の改良を行う。

3.2.2 授業教材の改良

(1) ライントレーサーが曲がる仕組みの説明詳細化

ライントレーサーが曲がる仕組みについて、難しいと答えた児童が半数以上であったため、改良の余地があると考えた。そこで、曲がる際の動作を細分化し、各動作に関してアニメーション付きのスライドを作成した。止まったタイヤを軸に車が曲がる動作など、各動作についての簡潔な説明を示し、その動作と対応する動きのみをアニメー

ションで表現することで、仕組みと実際の動作の対応関係が理解できることを目指して作成した。

(2) しきい値に関する説明の追加

ライントレーサーにおける光センサのしきい値に関して、これまでの授業の中で、口頭で簡潔に説明を行っていたものの、疑問がある様子の児童が見受けられた。そのため、光センサの読み取り値と白黒の対応を確認できる図を用い、仕組みと共に理解できるようスライドに説明を追加した。

4. おわりに

ライントレーサーのプログラミング授業教材の更なる改良のためにアンケート内容のブラッシュアップを行ったところ、ライントレーサーのプログラミング授業教材において改善すべき部分があることが分かった。ここから、児童がより理解を深めながら主体的に考え、授業に参加できるよう授業教材の改良を行った。

今後は、改良した授業教材を用いて実際に授業を行い、再度授業後アンケートによるフィードバックを得ることで改良点の有用性を検証する。また、これまでに作成された電気の利用の単元に対応した授業教材に関しても、より分かりやすく主体的に学べる内容となるよう検討していく予定である。

謝辞

本研究の遂行にあたり、ご協力いただいた小学校の教諭、児童、関係する皆様に心から感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 文部科学省 小学校プログラミングの手引(第三版)
https://www.mext.go.jp/content/20200218-mxt_jogai02-100003171_002.pdf
(2023 年 9 月 28 日確認)
- (2) 文部科学省 小学校学習指導要領(平成 29 年告示)
https://www.mext.go.jp/content/20230120-mxt_kyoiku02-100002604_01.pdf
(2023 年 9 月 28 日確認)
- (3) micro:bit
<https://microbit.org/get-started/features/overview/>
(2023 年 9 月 27 日確認)

小学校向け安全マップ活動支援システム -ユーザビリティ向上のための機能改良-

小野寺 星^{*1}, 菊地 花梨^{*1}, 倉持 宏斗^{*1}, 吉本 定伸^{*1}

^{*1} 国立東京工業高等専門学校

Safety Education Support System for Elementary School -Improvement of functions for enhanced usability-

Akari Onodera^{*1}, Karin Kikuchi^{*1}, Hiroto Kuramochi^{*1} Sadanobu Yoshimoto^{*1}

^{*1} National Institute of Technology, Tokyo College

近年、文部科学省によって地震や津波なども含む様々な課題に取り組む「生きる力」を育てるための新学習指導要領が実施されている。そのため児童の安全を確保する取り組みが求められ、多くの小学校では児童の安全意識を高めることを目的とした「安全マップ活動」が実施されている。本研究では Android タブレット端末を用いて、小学校安全マップ活動支援アプリケーションの開発を進めている。本稿では、児童がアプリケーションを快適に利用できるようにして活動の効果を高めることを目的としたアプリケーションの改良について報告を行う。

キーワード: 小学校, 安全教育, 防犯, 防災, 安全マップ, Android タブレット

1. はじめに

近年、学校における活動中の事故や登下校中における事件・事故、SNS の利用による犯罪など子供の安全を脅かす様々な事案が次々と顕在化している。そのため、児童生徒がいかなる状況下でも自らの命を守り抜けるよう自ら適切に判断し主体的に行動する態度の育成を図ることが重要とされている[1]。この安全教育活動の一環として、多くの小学校では児童に危険予測・回避能力を身に付けさせるために、「通学安全マップ」や「地域安全マップ」の作成活動が行われている。一方、文部科学省の学校の安全管理の取組状況に関する調査によると、全国の小学校での通学路安全マップの作成率は 93.9% (平成 19 年 3 月 31 日時点)[2]から 49.2% (平成 31 年 3 月 31 日時点)[3]に低下している。この要因として、安全教育の授業に多く時間を取られてしまうことがあげられるため、それぞれの学校に応じ、限られた時間で効果的な安全マップ活動を行う必要があると考えられる。これらの背景から本研究

では、安全マップ活動を Android タブレット端末により効果的に支援するアプリケーションの改良を行っている。本稿では、利用者のユーザビリティを向上させることを目標としたアプリケーションの UI, 機能の改良状況について報告を行う。

2. 安全マップ活動の概要

「安全マップ活動」とは、「防犯」、「防災」、「交通安全」の 3 つの観点において児童の安全意識を育むことを目的とした授業の一環で、フィールドワークを通して自分の住んでいる地域の安全な場所や危険な場所について調べ、児童の危険予測・危機回避能力の向上を目的とした活動である。

3. アプリケーションの概要

アプリケーションには安全マップ活動を行うための 4 つのモードが実装されている。

(1). デスクワークモード

フィールドワークを行う前の各班の活動エリアの登録を行うことができる。

(2). フィールドワークモード

実際に小学校の外に出て活動エリア内でフィールドワークを行い、安全・危険な場所のポイントの登録（写真やメモなど）が可能である。また、オフラインでの使用や、一般の人へのインタビューの記録もできる。

(3). まとめモード

発表会に向けた資料作成や記録のまとめが行える。また、発表会当日には、本モードを使用して作成した資料のスクリーン投影が行える。

(4). その他モード

教員が安全マップ活動で使用するデータの管理・編集、活動の設定を行うことができる。

4. アプリケーションの改良

4.1 ポイント登録の改良

フィールドワークモードではポイントを登録する際に写真を撮影し記録することができる。これまでの活動を通し、ポイントの「危険」「安全」などの種類を間違えた場合に登録をし直したいというニーズがあった。そこで、このような場合でもフィールドワーク時に撮影した画像を読み込み、再登録できる機能は有用と考え、写真撮影画面下部のボタンからすでに撮影された画像を選択する画面に遷移し、ポイントに過去画像の登録ができる機能を実装した。

本機能はフィールドワークモード用として開発した機能であるが、まとめモードのポイント編集時にも写真を選択できるよう実装することで、より利便性の向上につながると考えられる。また、インタビューポイントの登録時の写真登録を可能とする機能の実装についても検討を行う。

4.2 UIの改良

これまではデフォルトのフォントを利用していたが、より多くの利用者が快適にアプリケーションを利用できるよう、UDフォントに変更した。また、マップ読み込み時などの待機画面において、処理の進捗状況をユーザーに示すためのプログレスバーを導入し、ユーザーのストレス軽減のための機能を実装する予定で

ある。

4.3 紙地図作成機能の改良

その他モード機能の一つとして、フィールドワークで登録したポイントをまとめ、画像として出力する紙地図作成機能がある。より多くの種類のタブレットに対応するために、出力する画像サイズを自動調整する機能の開発を行い、ユーザビリティの向上を目指す。

5. まとめ

現在、文部科学省の学習指導要領に基づき、多くの小学校では「安全マップ活動」が実施されている。本研究では、安全マップ活動を支援するAndroidアプリケーションの開発を行っており、本稿では、アプリケーションのUI、システムの改良について報告を行った。これらの改良により利用者のユーザビリティが向上し、より効果的に活動を支援できるアプリケーションとなると考えられる。今後は活動を通したアンケート等のフィードバックをもとに更なる改善点を見出し、アプリケーションの改良を行っていく。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご協力いただきました小学校の教諭、児童、関係する皆様に心から感謝を申し上げます。

参考文献

- [1] 文部科学省第3次学校安全の推進に関する計画 (2022/03/25) https://www.mext.go.jp/content/20220325_mxt_kyousei02_000021515_01.pdf
- [2] 文部科学省 学校の安全管理の取り組み状況に関する調査（平成19年度実績）
http://www.mext.go.jp/a_menu/gakkouanzen/syousai/_icsFiles/afieldfile/2009/06/17/1267499.pdf
- [3] 文部科学省 学校の安全管理の取り組み状況に関する調査（平成31年度実績）
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/_icsFiles/afieldfile/2017/03/24/1289307_12.pdf