

# 数学的な問題解決授業における授業設計と実施を 支援するシステムの開発

野呂孝佑<sup>†</sup> 市川尚<sup>†</sup> 富澤浩樹<sup>†</sup> 阿部昭博<sup>†</sup>

**概要:** 文部科学省は中学校・高等学校の数学の授業において、生徒が目的意識を持って主体的に取り組む数学に関わりのある様々な活動として数学的活動の充実化を求めている。筆者らはこれまでに、数学的活動を支援するシステムを開発してきた。このシステムは、タブレット端末を用いて教室の外へ出たグループワーク形式の数学的活動を支援する。本研究では、その先行システムの問題点を運用およびヒアリング調査により分析し、数学的活動の中でも特に、数学的な問題解決授業の設計支援の必要性を課題とした。そこで、数学的な問題解決授業の設計を支援する授業設計支援機能を設計し、プロトタイプの開発と評価を行った。

**キーワード:** 問題解決授業, インストラクショナルデザイン, アクティブラーニング, 数学的活動

## Development of the System to Support Design and Implementation of a Mathematical Problem-solving Lesson

KOSUKE NORO<sup>†</sup> HISASHI ICHIKAWA<sup>†</sup>  
HIROKI TOMIZAWA<sup>†</sup> AKIHIRO ABE<sup>†</sup>

**Abstract:** Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology in Japan seeks to enrich mathematical activities in math classes of junior high school and senior high school, where students may be independently involved, with a clear sense of purpose, in a variety of activities related to math. In the past, we developed a system which supports mathematical activities in classes. This system was used to assist students in such mathematical activities as they go outside of the classroom to study in group forms by using tablet-type devices. In this study, we have analyzed the problems of the previous system through actual use by the teachers and hearing survey on the system, and as a consequence we have concluded that they need designing support for problem-solving lesson in math. Finally, we have designed a lesson design support function which enables teachers to plan mathematical problem-solving lessons, and then we have developed and evaluated the prototype system.

**Keywords:** Problem-solving Lesson, Instructional Design, Active Learning, Mathematical Activity

### 1. はじめに

中学校、高等学校の数学に関して、国立教育政策研究所の全国学力・学習状況調査では、数学の知識・技能の活用を苦手としている生徒の割合が大きいという結果が出ている[1]。一方、文部科学省の学習指導要領では、数学の基本的な知識だけでなく、事象を数学的に考察・表現し、創造性を培い、数学の良さを認識し、それらを積極的に活用する態度を育てるために、中学校・高等学校の数学の授業において数学的活動を充実化することを求めている[2][3]。数学的活動とは生徒が目的意識を持って主体的に取り組む数学に関わりのある様々な活動のことであり、以下の3つの配慮事項が定められている。①自ら課題を見だし、解決するための構想を立て、考察・処理し、その過程を振り返って得られた結果の意義を考えたり、それを発展させたりすること。②学習した内容を生活と関連付け、具体的な事象の考察に活用すること。③自らの考えを数学的に表現し根拠を明らかにして説明したり、議論したりすること。数

学的活動には幅広い活動が含まれ、3つの配慮事項の1つだけを満たすような場合でも数学的活動とされている。なお、実際の現場では受験を目指し、公式を学んで式を解くような数学の授業が多く、数学的活動についてはあまり重視されていない。また、文部科学省の次期学習指導要領等に向けたこれまでの審議のまとめ[4]では、アクティブラーニングの推進の重要性や数学的に問題解決をする過程について述べており、その内容からは数学的活動における3つの配慮事項を全て満たすような授業が求められていることが読み取れる。本研究ではそういった授業を「数学的な問題解決授業」と呼ぶことにする。

筆者らはこれまでに数学的活動を充実化するために、タブレット端末を用いた数学的活動を支援するシステム[5]を開発してきた。先行システムを用いた実践授業の効果として、授業の動機づけに関する有用性が確認できた。しかし、慣れない授業のため、教員がシステムを活用した数学的な問題解決授業を作ることが難しいという問題等があった。そこで、本研究では数学的な問題解決授業の授業設計支援機能のプロトタイプを設計・開発し、評価を行った。

<sup>†</sup> 岩手県立大学大学院ソフトウェア情報学研究科  
Graduate School of Software and Information Science, Iwate Prefectural  
University

## 2. 分析

### 2.1 先行システムについて

本研究の先行システムは、タブレット端末を用いて教室の外へ出たグループワーク形式の数学的活動を支援し、数学授業への学習意欲の向上、数学的活動への関心・理解の促進を目的として開発された。図1に先行システムの画面例、図2に実際の授業風景を示す。生徒はシステム上で提示される目的地に行き、提示された問題や実際の現場を眺めながらシステム上のキャンパスに手書きで解答を書き込んでいく。数学を身近なものに感じてもらうために、問題は中学生・高校生が実際に直面するようなストーリー形式のものとしており、はじめに背景状況が生徒に提示され、現地へ行って生徒が直面した問題状況を解決し、最後に自分たちの考えをまとめてプレゼンを行うといった内容の活動を行う。数学の問題を解くにあたって必要となるツールや、問題を解くためのヒントとなるテンプレート画像も用意されている。また、教員は問題として提示するスライドの登録や授業中の生徒の進捗管理などを行うことが可能であり、生徒・教員の両方を支援している。例えば、図1、図2では体育祭の準備というストーリーの中で、陸上トラックのスタート地点を求める問題を体育館で実践している。

先行システムを用いて授業実践を行った結果、授業の動機づけに関しての有用性が確認できた。しかし、授業構成が複雑、授業時間が足りない、授業の難易度が高いなどの理由から混乱する生徒が見受けられたこと、慣れない授業のために教員がシステムを活用した数学的な問題解決授業を作るのが難しいこと、授業の準備に関しては教員1人で行うのではなく筆者らがサポートを行っていたことが問題として挙げられていた。

### 2.2 先行システムの運用

先行システムの問題点を踏まえ、準備から実践まで全て教員に任せられた状態で継続的に利用があるのか、その状況でシステムが問題なく動くのかを運用を通して確認した。その結果、2015年度はI高等学校の中学生向けの学校説明会において3回の実践が行われ、3回中2回の実践は準備から実施まで教員に全て任せることができた。また、運用は先行システムの不具合を調整しながら行ったため、システムは問題なく動いた。内容については、数学の魔法陣を埋めていく問題が使われ、数学的活動の配慮事項の①、③について配慮した実践が行われた。しかし、この実践では過去に行った問題を再利用しており、新しい問題は作られなかった。また、②については配慮されておらず①、②、③全てに配慮した数学的な問題解決授業は行われなかった。

### 2.3 他校へのヒアリング調査

先行システムは1つの中高一貫校だけが対象となっていたため、他校におけるニーズやシステムに対する意見をすることを目的にヒアリング調査を行った。1回目のヒアリ

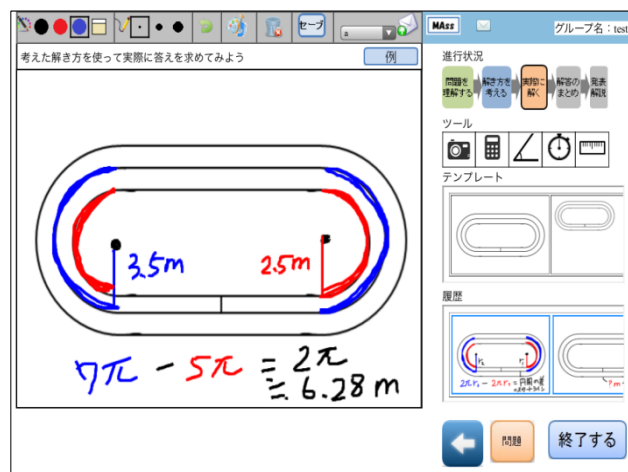


図1 生徒の解答画面例

Figure 1 Student Answer Screen.



図2 授業風景

Figure 2 Lesson Scene.

ング調査は2015年10月24日12:30~13:30に行われた。対象はS高等学校の数学教員1名である。2回目のヒアリング調査は2015年12月12日13:00~14:30に行われた。対象はK高等学校の数学教員3名である。ヒアリング調査の結果、小・中学生向けの数学に興味を持たせる実践に利用できそう、高等学校の課題研究において利用できそう、授業効率の向上や授業の理解促進に繋がるといい、問題や授業実践の環境の準備を楽にしてほしい、アイデアを考えるのが大変だといった意見を頂くことができた。

### 2.4 研究課題

先行システムを用いて授業実践を行った結果、授業設計と実施の難易度の高さに関する問題が挙げられていた。先行システムの運用では、数学的な問題解決授業が行われなかった。ヒアリング調査では、新しい問題の作成や授業の環境を整えるのが大変という意見を得た。これらの結果から、本研究では数学的な問題解決授業の授業設計を支援することを目的とした。また、これまでのシステムと統合し授業設計から実践までの一連の活動を支援することとした。

### 3. 関連研究

#### 3.1 ジャスパー教材設計 7 原則

授業設計についての研究分野としてインストラクショナルデザイン (ID) がある。ID は「教育活動の効果・効率・魅力を高めるための手法を集大成したモデルや研究分野、それらを応用して学習環境を実現するプロセス」のことを指す[6]。ID には授業設計支援に関する様々な理論が存在するが、本研究ではその中でも数学・数学分野において実績があり、数学的な問題解決授業の設計を支援しているジャスパー教材設計 7 原則[7]を採用することにした。この原則は、米国テネシー州バンダービル大学学習テクノロジーセンターにおける教材の開発研究「ジャスパープロジェクト」を通して提案された原則であり、そのプロジェクトでは小・中学生を対象に数学・算数の問題発見と解決の技能育成を目標とした物語形式のビデオ教材を開発している。また現実の様々な場面に授業を置く「アンカードインストラクション」という考えに基づいて開発が行われている。表 1 に、教材設計における 7 つの原則[8]を示す。

ジャスパー教材設計 7 原則を用いた関連研究としては、SPECC モデルに基づいた標本調査における授業デザイン[9]がある。この研究ではジャスパープロジェクトの考えを参考にして授業デザインを行ったが、授業設計支援を行っているものではない。

#### 3.2 授業・教材設計支援

授業・教材設計支援システムに関する研究として、例えば、井上ら[10]は、要求仕様を入力すると指導案が出力されるようなシステムを開発した。山崎ら[11]は、課題学習の授業設計に必要な条件をチェックリスト化し、それを適用した教師教育教材を開発した。

ID の分野においても、ID 活動を支援するためのツールとして、ID 理論を適用した授業・教材の設計支援するような ID ツールが開発されてきた。例えば、GBS 理論の適応度チェックリストの開発[12]では、紙媒体のチェックリストの質問に解答していくことで教材のウリと不足・改善点を明確にし、GBS 理論を適用した教材の設計を支援する。コンピュータベースの ID ツールとしては GAIDA[13]や IDLE-TOOL[14]が挙げられる。GAIDA はガニエの 9 教授事象を適用したツールで、ガイダンスとして 9 教授事象の各事象の説明を提供する。授業の作成方法については、事例として 4 種類の教材が登録されており開発する教材に近いものを選択し参考にするというものになっている。IDLE-TOOL は GBS 理論を適用したツールで、専門知識無しでも理論を適用した教材の作成が可能となっている。授業の作成方法については、教材のサンプルが登録されておりサンプルを徐々に編集して教材を作成するというものになっている。ID ツールにおいてジャスパー教材設計 7 原則を適用したものは見当たらなかった。

表 1 ジャスパー教材設計 7 原則[7][8]

Table 1 7 Principle of Jasper Teaching Materials Design.

① ビデオ提示	登場人物や場面の紹介、物語進行にビデオを使う。複雑な情報を文字表示せずに表示する。
② 物語形式	子供たちの身にも起こりうる起承転結のある物語を用意する。
③ 生成的学習	学習者自身で問題の答えを導き出すまでは物語の結末や問題解決の方法を見せない。
④ 情報埋め込み設計	必要な情報はすべてビデオ (物語) に埋め込む。
⑤ 複雑な問題	意図的に複雑な問題を用意する。これにより教師は共に問題を解決する仲間であるという雰囲気も作れる。
⑥ 類似冒険のペア化	2 つの異なる物語で類似技能を扱い、2 種類の物語を比較し技能に関して応用可能な部分と物語固有の部分を検討する。
⑦ 教科間の連結	同じビデオで他教科の情報を提供する。

### 4. システム設計

#### 4.1 設計方針

本研究では、2 つの設計方針を定めた。システムの対象はこれまでと同様に高等学校および中学校とする。

(1) 数学的な問題解決授業を扱っているジャスパー教材設計 7 原則を適用した授業設計支援機能を開発する。原則の適用を支援する方法については、関連研究に挙げた GAIDA、IDLE-TOOL、チェックリストの活用を参考に、原則について説明を行うこと、原則に沿った具体的な事例を提示しカスタマイズしながら授業を作成してもらうこと、入力項目およびチェック項目を提示することとした。

(2) 新しく開発した授業設計支援機能と既存システムの統合を行う。授業設計支援機能で作成した授業を実践可能なものとしてシステムに登録するため、先行システムの問題登録機能に対して授業準備支援機能を追加する。これにより、授業設計から実施までの一連の活動をシステムで支援することが可能となる。

#### 4.2 システム構成

本システムの構成を図 3 に示す。本システムは授業中の利用と授業前・授業後の利用に分けられる。授業中は生徒・教員共にタブレット端末を用いる。教員が授業の準備や振り返りを行う際には PC を用いる。生徒用の活動支援機能では、物語を生徒に提示し、解答を行い、解答をまとめ、解答のプレゼンを行うことができる。教員用の進捗管理機能では、生徒の解答状況を確認し、生徒にヒントを送信し、

表2 入力項目とチェック項目  
 Table 2 Input Items and Check Items.

	入力項目	チェック項目	補足
A	タイトル		
B	取り上げる数学的知識	2つの物語は同じ数学的知識を必要とする…⑥	
C	身に付けさせたい能力	2つの物語の身に付けさせたい能力は同じである…⑥	
D	物語の背景	生徒の役割と場面設定が記載されている…① 現地へ行く理由や状況が記載されている…②	DとEの2つの項目に入力することで起承転結のある物語の作成を目指し②物語形式に対応する。
E	生徒が現地で直面する問題状況	生徒たちの身にも起こりうる物語になっている…② どんな式を立てる必要があるのかを明示していない…③	
F	問題を解決するための方法	問題解決に必要な数値データを明示的に提示しない…① 数値データは物語の中ですべて取得できる…④	2つ以上の式を入力することで⑤に対応する。
G	問題を解決するために必要となる立式		
H	問題解決に必要な数値データ		
I	使用するツール		
J	考えられる他教科への拡張の内容		この項目に入力することで⑦に対応する。

※表内の丸数字は表1 ジャスパー教材設計7原則の丸数字に対応している

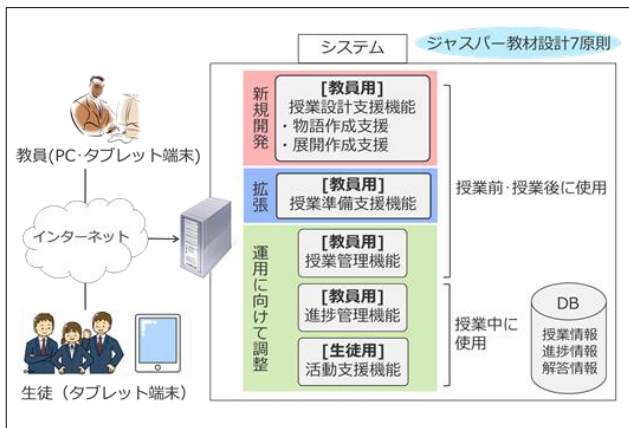


図3 システム構成図  
 Figure 3 System Architecture.

生徒の解答を用いた解説も行うことができる。教員用の授業管理機能では、提示する問題を登録し、授業の実践日や実践時間を登録するほか、過去の解答も参照することができる。授業設計支援機能の部分が本研究で新規開発する部分となる。授業準備支援機能は教員用の授業管理機能における提示する問題の登録部分を拡張する。

### 4.3 授業設計支援機能

授業設計支援機能は授業設計に対して、物語作成支援、展開作成支援の2つの支援を行う。それぞれの支援の各所において、ジャスパー教材設計7原則への適用を促している部分があるが、これらの内容については文献[7]を参考に、7原則の意図や期待している効果などを踏まえながら作成している。なお、本研究は7原則にあるようなビデオを扱ったものではないが、①ビデオ提示については、物語提示スライドおよび現地を実際に見ながら活動することによって代替することにした。

### 物語作成支援：(a) 入力項目およびチェック項目の提示

単純に表1のような原則を提示するだけでは、原則に沿った物語の作成が困難であるため、入力項目およびチェック項目に沿って物語を作成してもらい原則の適用を図る。入力項目は入力フォーム、チェック項目はチェックボックスを用意し、これらに対して入力を行うことで物語を作成する。表2に入力項目およびチェック項目を示す。表内の丸数字は、それぞれが7原則のどこに対応しているかを示す。それぞれの入力項目は2つずつ入力し、2つの物語を作成してもらうことにより⑥類似問題のペア化に対応する。DとEの2つを入力することで起承転結のある物語の作成を目指し②物語形式に対応する。Gに2つ以上の式を入力させることにより⑤複雑な問題に対応する。Jを入力することで⑦他教科との連結に対応する。

### (b) 具体的な事例の提示

入力内容についての理解を深めてもらうことや、アイデアを考える際のヒントとして、具体的な事例の提示を行う。具体例の提示方法は2つある。1つ目は、事例を一覧表示し、その中から選択した1つの事例の内容を全て入力項目に反映する方法である。1つの事例全体を見ることが出来るため、入力内容の全体の流れを理解する際に役立つことを意図している。2つ目は、各事例の内容を入力項目ごとにリスト化して表示する方法である。こちらは、複数の事例の内容を入力項目ごとに見ることが出来るため、1つ1つの入力項目の内容に対する理解促進や、アイデアへのヒントとして役立つことを意図している。

**展開作成支援：**システムの使い方、ジャスパー教材設計7原則の説明、授業の展開方法の説明を提示し、本システムについて理解を深めてもらう。授業の展開方法の提示では、入力項目やチェック項目では満たすことのできない7原則



における注意事項も説明する。注意事項は以下の3つである。丸数字はそれぞれが7原則のどこに対応しているかを示す。物語の結末は授業のまとめを行うまで教えない(③), 教師は共に問題を解決する仲間であるという雰囲気を作る(⑤), 2種類の物語を比較し技能に関して応用可能な部分と物語固有の部分を検討する(⑥)。

#### 4.4 授業準備支援機能

この機能は設計した授業を実施するための準備として、スライド画像の作成、必要な情報が全て取得可能かどうかのチェックなどを行う機能である。考えた物語は物語提示スライドとして生徒に提示されるため、スライド画像データの作り方、システムへの登録方法を提示し、登録を行ってもらおう。また、物語作成の際に「問題解決に必要な数値データ」として入力されたデータの1つ1つがチェック項目として表示され、実践の環境において全て取得できるかを確認する。

### 5. プロトタイプ

#### 5.1 プロトタイプ開発

プロトタイプ開発は段階的に行うこととし、まず、授業設計支援機能の開発を行った。本システムの開発は PHP, JavaScript を用いて行い、Web ブラウザ上で動作する。

図4は授業設計支援機能の画面例である。画面上部にある2つのボタンの内、左側のボタンを押すと展開作成支援の内容が提示される。右側のボタンを押すと、過去の事例の一覧が表示され、参照したい事例を選択すると実際に使われた問題画像を見た上で事例の内容を入力項目に反映することができる。クエスチョンマークを押すと、入力項目ごとに注意点や入力内容の詳しい説明を提示する。入力項目はテキストでの入力や手書きの入力が可能となっている。鉛筆のマークを押すとキャンバスが表示され、タッチペン等を使い画面に手書きで入力した内容を登録することができる。「問題を解決するために必要となる立式」および「問題解決に必要な数値データ」は複数の入力が必要となるため「+」、「-」を押してテキストボックスの数を増減する。「問題解決に必要な数値データ」はデータの内容だけでなく、どこからデータを取得するのかも選択する。選択項目は物語提示スライド、現地、テンプレートスライド、その他の4つである。使用するツールは画像を押すと選択ができるようになっている。各項目の下にチェックボックス付きのチェック項目が表示されており、チェック項目が満たされているかどうかを利用者が判断し手動でチェックをする。全てのチェック項目が満たされていないと次の画面に進むことができない。

#### 5.2 プロトタイプ評価 I

開発したプロトタイプの評価を行った。評価1の段階ではシステムの使い方の説明が入力内容の説明のみとなっており、事例の表示もテキストのみとなっていた。また入力

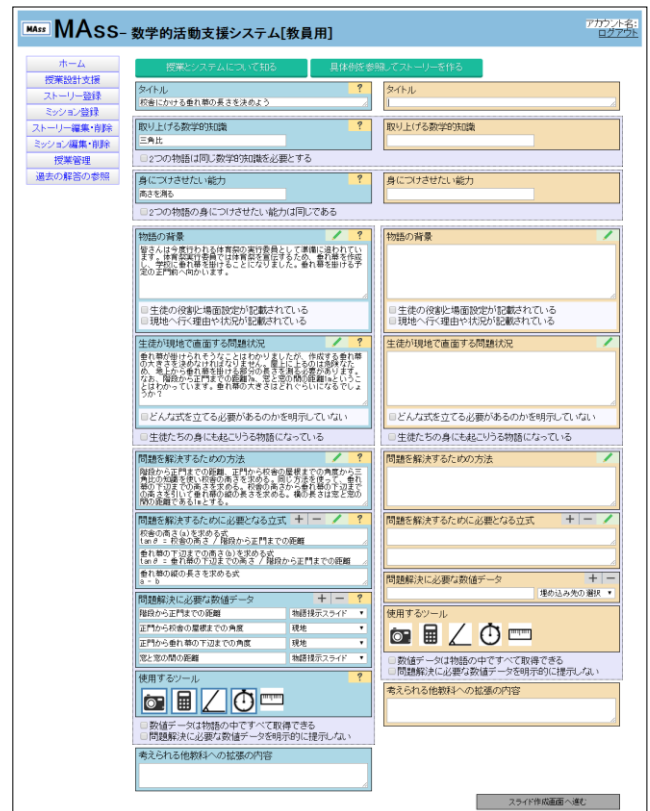


図4 授業設計支援画面例

Figure 4 Lesson Design Support Screen.

の手書き機能も未実装であり、すべてのチェックボックスがチェックされていなくても次の画面に進めるようになっていた。この評価の目的は本システムの授業設計支援機能（物語作成支援と展開作成支援）によって、教員が実際に物語を作成できるのかを確かめることである。日時は2016年8月22日16:30~18:00、対象はI高等学校A先生とI中学校B先生2名とした。A先生は9年間数学のみを教えており、情報の高校・専修免許を持っている。B先生は5年間数学のみを教えている。問題解決授業について、2人の先生ともにやりたいが時間がないという現状である。普段の授業でのコンピュータ利用について、2人の先生とも部分的に使っている。これまでの先行システムの利用状況について、A先生は問題作成と授業実践どちらも経験しており、B先生は授業実践のみ経験している。評価はシステムと評価の説明を15分、プロトタイプを使った授業の作成を45分、半構造化インタビューを30分という流れで行った。物語作成支援の部分のみ評価を行い、半構造化インタビューではプロトタイプの有用性について質問をした。

実際に作成された問題を表3に示す。1列目のアルファベットは表2に対応している。A先生は1問の問題を作成することができ、時間は25分かかった。B先生は2問作成することができ、時間は45分かかった。2人の先生に共通することとして、問題解決に必要な数値データが全て文章の中で明示されているため原則①ビデオ提示の内容が満た

表 3 作成された問題 (1)

Table 3 Created Problems (1).

	A 先生	B 先生	
A	タイルを使って花壇を作ってみよう	二種類のお菓子の個数は？	未記入
B	数列 (等差数列) (数学 B)・図形の線対称 (中学校)	一次不定方程式	一次不定方程式
C	タイルの柄をきれいに作り, 枚数も含めて埋めることができるようになる	一次不定方程式の利用	一次不定方程式の利用
D	A 高校では校舎の花壇を作ることになりました. 花壇はタイルで作ることになり, クラスメイトがいろいろな柄を決めようと考えています.	文化祭でとあるイベントの商品としてお菓子を買うことにした. 所持金 3000 円を使い切り, 2 種類のお菓子を金額が安いお菓子が多くなるように用意したい. それぞれ何個ずつ買えばよいか.	今 200 円を持っている. 10 円と 15 円の駄菓子を 10 円駄菓子が多くなるようにしたい. それぞれ何個ずつ買えるか.
E	花壇を作るためには, 赤いタイルと白いタイルを用意しなければなりません. 重さは 1 枚 500g のタイル, 枚数は 100 枚使うことになりました. タイルは一辺 15cm の正三角形で, 花壇の外枠は 4 枚のタイルを組み合わせるとして, つなげていきます. このカラーだと赤いタイル, 白いタイルは何枚必要ですか? (文章では伝わりにくいので画像を添付します)	選んだ 2 種類の金額によっては 3000 円ぴったり使えないこともある. 選んだ商品で 3000 円使い切れることを先に知っておくためには?	実際に頭の中で計算していくと, 10 円と 15 円の組み合わせはいくつかある. 解が一つではないということはこの式はどのような式になるのだろうか?
F	ホワイトボードツールを使って (書いて) タイルを予測する. 数式を作って $An=a1+(n-1)d$ ( $a1$ は初項, $d$ は公差, $n$ は項数) 考えてもよい.	'安い金額' $X$ , '高い金額' $Y=3000$ の一次不定方程式を解く. さらに求めた $X$ と $Y$ について $X$ が多くなるような範囲を求めて, 個数を導く.	$15X+15Y=200$
G	$An=a1+(n-1)d$ (等差数列の一般項)	'安い金額' $X$ , '高い金額' $Y=3000$	未記入
	未記入	未記入	未記入
H	未記入	商品の金額が分かる写真 (現地)	未記入
I	カメラ, 電卓, 角度, ストップウォッチ, 距離測定	カメラ, 電卓	使わない
J	未記入	未記入	未記入

※表内の丸数字は表 1 ジャスパー教材設計 7 原則の丸数字に対応している

せないこと (B 先生は 2 問目のみ明示されている), D に現地へ行く理由や状況が記載されていないため②物語形式を満たせていないこと, G が 1 つしか入力されていないため⑤複雑な問題が満たせていないこと, J を入力していないため⑦強化間の連結が満たせていないことがわかった. また, A 先生は 1 問しか作成していないため⑥類似問題のペア化が満たせていなかった. チェック項目についてはチェックされていない個所が複数あった.

半構造化インタビューの結果, プロトタイプの有用性については次のような意見をいただいた。「物語作成支援について, 初めて物語作成を行ったのでこういった内容を書けばいいのだということが分かって楽だった (B 先生). システムへの入力について, 図を書いて登録したかった (A 先生). 2 つの問題作成について, 類似問題はどの程度のレベルものを作ればいいのか分からなかった (B 先生). 事例参照について, 単元などでアーカイブ化されたものがあると良い (A 先生), 増やしたほうが良いと感じた (B 先生).」

評価 I では物語が作成できるのかを確かめることを目

的としたが, 2 人の先生が 1 問以上の問題を作成することができた. しかし, 問題内容が原則のいくつかに沿っていないことから, システムの使い方や授業設計原則の説明が必要という問題が見つかった. また, システムの有用性に関しては, 半構造化インタビューの結果から, 事例の参照やチェック項目, 入力項目を用意することは入力内容を理解させるという点で有用であることが分かった. しかし, システム上に図や数式を手書きできる機能が必要であること, システムの使い方や授業設計理論の内容について説明不足であること, 事例の数が足りないこと, 事例の検索がしづらいことなどの問題が見つかった. そこで, システムの使い方の説明の追加, 事例の表示に画像データを追加, 手書き機能の追加, チェック項目による画面遷移の制限の追加の 4 点についてシステムの改善を行った (4 章で説明した内容は改善後のものである).

### 5.3 プロトタイプ評価 II

プロトタイプ評価の結果をもとに, システムを改善し再度評価した. 評価の様子を図 5 に示す. この評価でも授業

表 4 作成された問題 (2)

Table 4 Created Problems (2).

C 先生		
A	校舎にかけられる垂れ幕の長さを決めよう	校舎の高さを測る
B	三角比	三角比
C	高さを測る	長さを測る
D	皆さんは今度行われる体育祭の実行委員として準備に追われています。体育祭実行委員では体育祭を宣伝するため、垂れ幕を作成し、学校に垂れ幕を掛けることになりました。垂れ幕を掛ける予定の正門前へ向かいます。	文化祭の実行委員会として、校舎に看板を取り付けるためのロープの長さを調べるために、校舎の前に行きます。
E	垂れ幕が掛けられそうなことはわかりましたが、作成する垂れ幕の大きさを決めなければなりません。屋上に上るのは危険なため、地上から垂れ幕を掛ける部分の長さを測る必要があります。なお、階段から正門までの距離 7m、窓と窓の間の距離 1m ということがわかっています。垂れ幕の大きさはどれくらいになるでしょうか？	教室は文化祭の準備で他の団体が使用しているため、校舎の外側から高さを測らなければなりません。駐車場の端から校舎までは 10m であることが分かっているため、これを利用して校舎の高さを測りましょう。
F	階段から正門までの距離、正門から校舎の屋根までの角度から三角比の知識を使い校舎の高さを求める。同じ方法を使って、垂れ幕の下辺までの高さを求める。校舎の高さから垂れ幕の下辺までの高さを引いて垂れ幕の縦の長さを求める。横の長さは窓と窓の間の距離である 1m とする。	駐車場の端から校舎までの距離と、立っている場所から校舎の屋根を見上げる角度、三角比を利用して計算で高さを求める。
G	校舎の高さ(a)を求める式 $\tan \theta = \text{校舎の高さ} / \text{階段から正門までの距離}$	校舎の高さ = 校舎から駐車場の端までの距離 $\times \tan \theta$ ただし、 $\theta$ は校舎の屋根を見上げる角度
	垂れ幕の下辺までの高さ(b)を求める式 $\tan \theta = \text{垂れ幕の下辺までの高さ} / \text{階段から正門までの距離}$	未記入
	垂れ幕の縦の長さを求める式 a - b	
H	階段から正門までの距離 (物語提示スライド)、正門から校舎の屋根までの角度 (現地)、正門から垂れ幕の下辺までの角度 (現地)、窓と窓の間の距離 (物語提示スライド)	駐車場端から校舎までの距離 (物語提示スライド)、校舎の屋根を見上げる角度 (現地)
I	カメラ、電卓、角度、ストップウォッチ	未記入
J	未記入	未記入

設計支援機能についての評価を行った。評価の目的はシステムについて知らない先生でも物語を作成することができるのかを確認することである。評価 I と同様の方法で、日時は 2016 年 10 月 31 日 16:00~16:50、対象は I 高等学校 C 先生 1 名とした。C 先生は 30 年間数学のみを教えており、情報・工業・理科の免許を持っている。問題解決授業について、3 ヶ月に 1 度程度のアクティブラーニングを実施しており、授業にコンピュータはほとんど利用していない。先行システムについて、実践の存在は知っているが内容については全く知らない。評価は、システムと評価の説明を 10 分、プロトタイプを使った授業の作成を 25 分、半構造化インタビューを 15 分という流れで行った。

実際に作成された問題を表 4 に示す。表の見方は表 3 と同様である。C 先生はシステムに登録されている事例と、新たに自分で考えた問題の計 2 問の問題を作成することができ、時間は 25 分かかった。2 問目の G が 1 つしか入力されていないため⑤複雑な問題が満たせていないこと、2 つの異なる物語で類似技能を扱わなければいけないが、物語が非常に似ているため異なる物語とは言えず⑥類似問題のペア化が満たせていないこと、J を入力していないため⑦



図 5 評価の様子

Figure 5 Evaluation Scene.

強化間の連結が満たせていなかった。チェック項目については全てチェックされていた。

半構造化インタビューの結果、プロトタイプの有用性について以下のような意見をいただいた。「具体的な事例があることで流れが見えて良かった (C 先生)。一度作ってみるとどんな問題を作ればいいのか分かり、他のアイデアも浮かんだ (C 先生)。」

また、評価 I に参加した A 先生に、改善後のシステムを

見てもらったところ、「システムの使い方の説明が前回よりは分かりやすくなった。事例の表示に関しては、画像データが載ったことでイメージがしやすくなった。事例だけでなく公式集や図形などの、アイデアにつながるようなものを用意してはどうか。手書き機能は良いと思う。紙に書いたものを登録できるようにしてみてもどうか。」という意見をいただいた。

システム改善後の評価Ⅱでは対象をシステムについて知らない先生としたが、事例やシステムの使い方の説明があることにより問題の作成はできることが分かった。システムの改善点については、事例の提示の仕方の変更やシステムの使い方の説明を追加したことにより、以前よりは分かりやすくなった。チェック項目による画面遷移の制限、手書き機能についても有用性があると分かった。

## 5.4 考察

プロトタイプ評価Ⅰ・Ⅱでは、授業設計支援機能に着目して評価を行った。物語作成支援として入力項目およびチェック項目の提示と具体的な事例の提示を行ったが、これらを提示したことにより、入力内容の理解促進やアイデアを考える際の支援、7原則の適用を促すことに繋がった。

入力項目に関しては、入力の際に数式や図を入力したいというニーズがあり、手書き入力機能を追加することで対応したところ、有用であるという意見をいただくことができた。入力項目に未入力の部分や、原則に適さない内容の入力が見受けられたため、システムの使い方や授業イメージ説明を追加したが、2回目の評価でも同様の問題が残ったため、更なる改善が必要である。チェック項目についてはすべてのチェックボックスをチェックしないと次の画面に進まないようにしたことで、すべてのチェック項目をより確認してもらうことに繋がった。

事例の提示については事例の数を増やすことが課題として挙げられたため、入力した事例を過去の事例として蓄積する仕組みを作ることでこの課題を解決したい。その際、利用者が新しく登録した事例を参照できるようにしていくかについては今後検討していく。

## 6. おわりに

本研究では、先行システムの運用およびヒアリング調査により先行システムの問題点を分析し、数学的な問題解決授業の設計支援の必要性を課題とした。そこで、ジャスパー教材設計7原則を適用した数学的な問題解決授業の設計を支援するための機能についてプロトタイプの開発と評価を行った。評価の結果として物語の作成が行われ、システムの有用性も確認されたが、実際に作成した内容が効果的な問題解決授業となるのかは、実際の授業で学習者に評価する必要がある。また、本評価では、筆者がジャスパー教材設計7原則を満たしているかを確認したが、IDの専門家などに確認してもらう必要もある。今後は評価結果に基づ

いてシステムを開発し、授業準備支援機能を含め、授業設計から授業実践までの一連の活動が支援できているのかを確かめるための評価を行う予定である。

## 参考文献

- [1] 国立教育政策研究所：平成27年度全国学力・学習状況調査、<http://www.nier.go.jp/kaihatsu/zenkokugakuryoku.html>(2016-11-1)。
- [2] 文部科学省：中学校学習指導要領解説数学編(2008)。
- [3] 文部科学省：高等学校学習指導要領解説 数学編(2009)。
- [4] 文部科学省：次期学習指導要領等に向けたこれまでの審議のまとめ(案)、[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo3/053/siryo/\\_icsFiles/fieldfile/2016/08/22/1376199\\_2\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/053/siryo/_icsFiles/fieldfile/2016/08/22/1376199_2_1.pdf)(2016-11-1)。
- [5] 野呂孝佑, 市川尚, 富澤浩樹, 阿部昭博：タブレット端末を用いた数学的活動を支援するシステムの中学校への適用, 情報処理学会第77回全国大会公演論文集, 5ZF-05(2015)。
- [6] 鈴木克明：教育の効果・効率・魅力を高めるインストラクショナルデザイン, サイエントフィック・システム研究会(2005)。
- [7] 鈴木克明：教室学習文脈へのリアリティ付与について～ジャスパープロジェクトを例に～, 教育メディア研究, Vol.2, No.1, pp.13-27(1995)。
- [8] 市川尚, 根本淳子, 鈴木克明：インストラクショナルデザインの道具箱101, 北大路書房(2016)。
- [9] 佐藤由季子, 御園真史：SPECCモデルに基づいた標本調査における授業デザイン-アニメーション教材を利用して-, 日本教育工学会研究報告集, Vol.14, No.1, pp.143-148(2014)。
- [10] 井上久祥ほか：授業設計支援エキスパートシステムの構築, 日本教育工学雑誌, Vol.20, No.1, pp.33-47(1996)。
- [11] 山崎浩也, 松田稔樹問題解決フレームワークに基づく数学「課題学習」の授業設計支援(学習支援環境とデータ分析/一般), 日本教育工学会研究報告集, Vol.15, No.1, pp.323-330(2015)。
- [12] 根本淳, 鈴木克明：ゴールベースシナリオ(GBS)理論の適応度チェックリストの開発(<特集>実践段階のeラーニング), 日本教育工学会論文誌, Vol.29, No.3, pp.309-318(2006)。
- [13] Tennyson, R. and Ann, B. (Eds.): Automating instructional design: Computer-based development and delivery tools, pp.377-402, Springer-Verlag(1995)。
- [14] Bell, B.: Investigate and decide learning environments: Specializing task models for authoring tools design, Journal of the Learning Sciences, Vol.7, No.1, pp.65-105(1998)。