

電柱地中化政策を題材とした 数学「課題学習」導入教材の開発と実践

Development and Practice of Introductory Teaching Materials for Mathematics "Problem- Based Learning" on the Theme of "Removal of Roadside Utility Poles"

熊谷健太* 杉原沢理* 岡本敬** 濱名高宏**

Kenta Kumagai* Takumichi Sugihara* Kei Okamoto** Takahiro Hamana**

* 東京工業大学 ** 東京工業大学附属科学技術高等学校

*Tokyo Institute of Technology **Tokyo Tech High School of Science and Technology

平成30年に改訂された高等学校学習指導要領では、教育課程編成において「総合的な学習の時間」を中心にカリキュラム設計をすることを目標としている。本稿では、新・逆向き設計に基づき、「総合的な学習の時間」でSDGsに関連した政策、特に「無電柱化政策」の評価を行うこととし、そのサブ課題を「数学」探究活動で行うための導入を支援するゲーミング教材の開発と実践を行った。開発した教材は、「無電柱化政策」の施策を検討している東京都江戸川区一之江7丁目を舞台として、どのように無電柱化を行えば、投入した税金を回収できるのかを考える問題を扱う。開発は、東京工業大学松田研究室が開発しているIAGシステムを用いて行い、実践は東京工業大学附属科学技術高等学校の1年生178名を対象とした。その結果、生徒は教材の題材について把握することはできていたが、開発した教材の目的である問題解決の手法の習得については改善の余地があることがわかった。

キーワード：数学科教育法、総合的な学習の時間、新・逆向き設計、探究活動

1. はじめに

最新の平成30年に改訂された高等学校学習指導要領では、教育課程編成において「総合的な学習の時間」を中心に設計することを目標としている。その背景として、平成28年の中央教育審議会答申において、「総合的な学習の時間」がその目的に即した時間となっていないことが指摘されている点が挙げられるであろう。特に、松田(2020)では、テーマ設定に重点が置かれることで、各教科で学習した内容が「総合的な探究の時間」で活用されていないことが、カリキュラム設計上の問題点であると指摘している。これを改善するため、松田(2020)は「新・逆向き設計手法」と呼ばれるカリキュラム設計手法を提案した。新・逆向き設計とは、まず総合的な学習の時間のテーマ設定においてSDGsに関する政策の評価を行うこととし、そのサブ課題を、各教科の探究活動で行い、生徒に活用させたい各教科の知識や見方・考え方を設定して、通常の授業ではこの習

得を目指すというものである。これに則り、各教科の探究活動において各教科の知識や見方・考え方の活用方法を効果的に習得させる教材の開発と、その効果の検証を行う研究がおこなわれている。特に、教科「数学」の課題学習に注目した教材開発の先行研究としては、小山ら(2022)が挙げられる。これは2021年度「数学科教育法実践演習Ⅱ」において作成された学生によるゲーミング教材であり、ここでは、「0円ソーラー」と呼ばれる、再生可能エネルギーの普及に関する実際の政策と同じ構造を持つように、より身近な題材として「文化祭」における適切な予算配分を導出するというものであった。

2. 目的

本研究では新・逆向き設計に基づき、「総合的な学習の時間」に行うテーマをSDGsのようなトピックに関連する政策の評価を行うことと設定した。そのために全教科の学習成果が必要になるようにカリキュラムを設計した上で、対

応するサブ課題を各教科の探究活動で実施する必要がある。

本研究では東京工業大学附属科学技術高等学校(以下、附属高校と記す)の「数学Ⅰ」で課題学習に取り組む高校1年生の生徒を対象として、「数学Ⅰ」の学習内容や数学的な見方・考え方の活用方法の習得を目的としたゲーミング教材を開発し、その効果の検証を行うことを目的とする。

本研究の意義を明確にするため、先行研究である小山ら(2022)の教材との関係を整理し、本研究の新規性について述べる。先行研究では、政策評価に使える数学の領域固有知識を生徒に提示し、生徒の理解度は高くはないものの課題学習の進め方の一例を示すことができたことが明らかにされた。さらに、生徒がゲーミング教材に対してどのように取り組んだかについて、進捗状況や回答率から分析している。しかし、ゲーミング教材内で用意された設問に要した時間のデータが整理しきれておらず、各生徒がどのようにゲーミング教材に取り組んだのかは曖昧であった。本研究では、この点について各生徒がどの設問に、どのぐらい時間をかけたのかを詳細に解析することにより、生徒の教材に対する取り組みに関してより詳細な分析結果を得た。

さらに、先行研究ではゲーミング教材のまとめが紙面で配布され、生徒が最後まで教材を終えていなくても事後アンケートを実施できる状態にあり、生徒の教材に対する理解度の分析が曖昧であった。本研究では事前に手順を説明することに加え、ゲーミング教材の内容を紙面で配ることを避け、ゲーミング教材の最後で画面上に事後アンケートのQRコードを出す対策をしたことで、教材を終えた生徒のみに実施させることができた。さらに、生徒が政策評価に対して生徒が数学を使える動機付けを行えたかに関して、本研究では事後アンケートにこれらを盛り込むことで、分析を可能とした。

なお、先行研究では、対象となった生徒が実際に課題学習のテーマ設定をどのように行ったかに関する考察を行ったが、本研究では昨年と比較して対象となる生徒の課題学習の実施時期が全く異なるため、その情報は収集していない。

3. 本研究における教材の解説

3.1 教材の概要

本教材は、新・逆向き設計に基づき、「数学Ⅰ」の学習内容や、数学的な見方・考え方の活用方法を習得させることで、生徒の課題学習への取り組みを支援することを目的としており、総合的な学習の時間に、「無電柱化政策の評価」に関する課題学習を行うことを前提として、「無電柱化政策」をコストの面から数学的に評価するといったサブ課題を教材のテーマとした。

本研究で開発したゲーミング教材の構成は以下の通りである。まず、上記サブ課題を題材として、生徒が課題解決に向けた探究活動を仮想的に体験してもらうため、松田

(2015)の「問題解決の縦糸・横糸モデル(以下、縦糸・横糸モデル)」に基づき、「導入⇒目標設定過程⇒代替案発想過程⇔合理的判断過程⇒最適解導出過程」の順に構成し、各過程の中では「情報収集⇒処理⇒まとめ」の順に進めていく。

また、ゲーミング教材を通して体験する縦糸・横糸モデルの各過程の中で「数学Ⅰ」の学習内容や、数学的な見方・考え方に関する発問に答えながら探究活動を進める設計にした。

また、本教材では「数学Ⅰ」の数と式、関数、図形と計量の知識を前提としている。数と式、関数とグラフの単元の見方、考え方を活用しながら与えられた情報を基に関数を作成し、グラフを活用して政策の比較・検討を行っていく。また、与えられた図形を既知の図形とみなし、図形と計量の知識を使い面積を求める活動も行う。

以上が教材で数学と関連する内容であるが、ストーリーについても述べる。日本では、毎年地震や台風などの様々な災害が起こっている。それに対応して、日本では様々な政策が取られており、その中でも本教材では、防災および減災を行う観点から、無電柱化政策を取り上げる。無電柱化政策とは、電柱の地下化により停電や火災等の二次災害防止の目的で提案された政策であり、都市部を中心に様々な地域で行われてきた。今回は、その中でも現在進行形で政策を進めている東京都江戸川区一之江7丁目を舞台として、無電柱化政策を評価することとした。

本教材を開発する際、IAGシステムを用いた。本教材の開発では、IAGシステムの中でも、特にスクリプトとスライドの2つに焦点化した。スクリプトの書き方については、小山ら(2022)が開発したスクリプトをベースとして、一部を「理科教育法実践演習Ⅱ」の履修者の協力も得て進めた。また、前例にない発問のパターンを作成する際には、教材として授業内で配布された東京工業大学松田研究室で開発されたIAGシステムの記述方法学習ツールを参考とした。

3.2 導入+目標設定過程

導入では、無電柱化政策の概要の理解と、災害対策としての無電柱化政策の良さの強調を目的としている。まず、日本の災害対策において達成してほしい良さを発想させた後、それらの災害対策が実際に国や地方自治体の政策によって行われていることを提示する。その中で「避難・輸送経路の確保」という良さを担保する政策として無電柱化政策を提示し、無電柱化政策の概要を説明する。また、政策を一市民視点で評価することを目的としているため、政策の舞台を江戸川区一之江7丁目と限定し、その地域の住民の視点で評価を行うよう強調する。

目標設定過程では、まず、無電柱化政策の良さについて情報収集を行う。以降の議論では、納めた税金の使われ方が適切かどうか評価することを念頭においている。ここでは無電柱化を行った時にそれらの良さが要因となり、宅地価格が上昇し、住民が負担する固定資産税が増額すること

に言及する。そこで、無電柱化政策の費用を、住民が負担する固定資産税増額分で回収するという方策を考え、回収しきるまで何年かかるか(t とおく)を計算し、それと平均無電柱化整備期間(7年)を比較することで、費用対効果の面から無電柱化政策を評価することを考える。すなわち、 $t < 7$ であれば費用対効果が高く、 $t \geq 7$ であれば費用対効果はないか、むしろ低いとみなすことができる。その際、情報の整理と目標の明確化のため、図表化の見方・考え方を活用させる。

まず、江戸川区一之江7丁目全域の無電柱化する案を検討する。無電柱化整備費用を求める前に、まず無電柱化の方法を収集し、防災の観点をもとに最適な方法を選択させる。この段階では、裏配線と呼ばれる方法と、道路に共同溝を作り、そこに電線を入れることで地下化する電線共同溝方式を述べるが、防災の観点から共同溝による無電柱化を行うとして教材が進行する。そして、整備費用と道路の総延長の情報をもとに、整備費用を求める。

なお、裏配線とは、電柱が立つ場所を主要な道路沿いから避ける工法であり、裏通りから宅地への配線を行うものである。しかし、この工法では電柱が倒壊してしまった場合は自宅からの避難が難しくなる可能性や、電線がショートして火災が発生する危険性がある。すなわち、災害時の道路交通に対するリスク管理としては有効であるが、共同溝方式に比べるとそれ以外のリスクが高いため今回の教材では取り扱っていない。

次に、固定資産税増額分を求める。その前に、宅地価格増額分を求めることを目標とする。なぜなら、固定資産税は不動産の評価額(=宅地価格)の1.4%と定められているため、宅地価格増額分が分かればよいことになる。本教材では、宅地価格増額分を求める方法として、2つを紹介する。

1つ目は、宅地価格上昇割合、住宅数、個々の住宅の宅地価格を数量化し、それを用いて宅地価格増額分の数式化を行う方法だ。その際、世帯数の情報を元に、住宅数と世帯数の大小関係を予想させた後、2世帯住宅の割合を与えて、数式化を行うことで住宅数を導出するといった流れを取る。その後、個々の住宅の宅地価格のデータは膨大なため、別の方法を用いるように誘導し、2つ目の方法を紹介する。

2つ目は、対象地域の1㎡あたりの地価を調べ、対象地域の面積を求めることで、住宅の宅地価格の総和を求めるという手法だ。その際、対象地域の面積については、図形的な見方・考え方をを用いることで四角形の面積とみなし、これを対角線で区切り2つの三角形が組み合わさったものとして捉えることで、「図形と計量」で学ぶヘロンの公式を活用し、面積を導出させる。

これら2つの値、すなわち無電柱化整備費用と、固定資産税増額分を、それぞれ y 切片、傾きとする1次関数を用いることで、図1のように、その交点の x 座標から t を求める。その結果と無電柱化整備期間の平均を比較することで、対象地域全域の無電柱化案は費用対効果が悪いことを示す。

目標設定過程(情報の処理)

今までのことをグラフ化すると、次のように整理できます。

1次関数(青いグラフ)の係数 a と b に入る値は、何を表す値でしょうか?

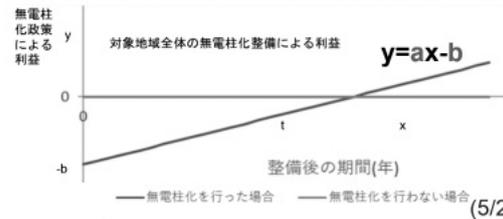


図1 グラフ化を用いた情報の整理

3.3 代替案発想過程①

対象地域全体を無電柱化する案は早々に税金の費用対効果の面からその効果が低いことが計算できたため、その代替案として、限られた財源の中で、無電柱化政策を行う道路を選ぶことを検討する。実際の政策においても国や地方自治体は、優先的に無電柱化する道路を設定している。具体的には、国は「①電柱倒壊リスクがある市街地等の緊急輸送道路」を優先するよう設定しており(国土交通省(2022))、江戸川区は「②都市計画道路事業における無電柱化延長」を優先するよう設定している。(江戸川区(2019))今回は、①を幹線道路(環状7号線)、②を介護施設から避難所までの道路と考え、代替案①を「幹線道路優先案」、代替案②を「介護施設から避難所までの道路整備優先案」とし、それぞれ代替案発想過程①、②で考える。ここでは、代替案発想過程①についてより具体化して考える。Google mapを元に、江戸川区一之江7丁目の中で①に該当する道路を見つけ、無電柱化の整備に必要な距離を導出する。また、無電柱化により宅地価格が上昇すると考えられる住宅は整備道路に接している住宅と考え、その面積を情報収集する。ここまでの情報収集の過程はあらかじめゲーミング教材の中で行われるものであって、教材を体験する生徒はこれらの情報をもとに計算を進めることとなる。

3.4 合理的判断過程①

代替案発想過程①で発想した代替案①で整備対象となった道路の整備費用について考察する。まず、対象の道路の航空写真を元に、道路が地域内のすべての地点を横断しているために、この道路は裏配線の工事を行うことができないことに言及する。次に、電線共同溝方式を行った際の整備費用と、無電柱化整備による固定資産税増額分を計算する。それらをもとに、1次関数を用いて t を求める。その結果と無電柱化整備期間の平均を比較することで、代替案①の費用対効果が悪いことを示す。

3.5 代替案発想過程②

次に、代替案発想過程②を「介護施設から避難所までの道路整備優先案」についてより具体化して考える。Google mapを元に、実際の江戸川区一之江7丁目の中にある介護

施設と、避難所の位置を調べたところ、介護施設は5つあり、避難所は2つ見つかった。この避難所をそれぞれ避難所①、避難所②とする。介護施設の運営形態について調べると、そのうち1つが訪問介護制を取っていたので、その施設は今回の対象外として、残り4施設各々に対して避難所①と避難所②との距離をそれぞれ計算する。災害時には各施設から、一番近い方の避難所に避難するものと仮定し、その避難経路と、整備に必要な総距離を計算する。また、無電柱化により宅地価格が上昇すると考えられる住宅は整備道路に接している住宅と考え、その面積を情報収集する。ゲーミング教材ではこれらの情報収集の過程を提示し、それらの情報を処理してまとめる過程の一部を体験させ、合理的判断過程②へ進める。

3.6 合理的判断過程②

代替案発想過程②で発想した代替案②で整備対象となった避難経路の整備費用について考察する。まず、対象の避難経路の航空写真から、避難経路の道幅がとても狭いことを指摘し、裏配線は防災の観点から倒壊した際にリスクが高すぎることから実行不可能であることを指摘する。そして、電線共同溝方式を行った際の整備費用と無電柱化整備による固定資産税増額分を計算する。それらをもとに、1次関数を用いて t を求める。その結果と無電柱化整備期間の平均を比較することで、代替案②の費用対効果が良いことを示す。

3.7 最適解導出過程

教材ではまず、これまでの議論をまとめ、②が良い政策であると結論を出す。しかし、今回は災害対策という観点にしぼり、費用対効果の面だけに注目し、2つの工法のみから評価を行った。しかし、本当は他にもたくさんの工法や政策の観点が存在する事に言及し、地域の住民だけでなく、国や地域自治体、さらには住民の自治会など、様々なステークホルダーが存在するため、合意形成がいづれにしても難しいという問題点があることに言及する。

4. ゲーミング教材の実践の概要と結果

4.1 実践の概要

今回のゲーミング教材の実践は、2022年2期末の補講期間中に、東京工業大学附属科学技術高等学校の1年生を対象として、「数学Ⅰ」の授業の中で実施した。対象となる生徒200人中、本実践はそのうち178人に体験してもらった。なお、体験した人数が対象となる生徒の人数より少ないのは、この日欠席が22名であったことによる。教材は1人1台のパソコンを用いて取り組んでもらった。実践の中では重要な単語や数値はメモを取るように口頭、および教材の冒頭でも指示を出しており、計算問題では電卓を使用することを許可していた。授業中に教材を最後まで終える

ことができなかった生徒には宿題として後日実施させた。

実践の対象となる生徒に関し、実践の時点での既習事項をまとめる。ここでは特に「数学Ⅰ」、および松田(2015)による「問題解決の縦糸・横糸モデル」に焦点化する。まず、「数学Ⅰ」に関しては全クラス2学期の中盤から後半にかけて標準的な「数学Ⅰ」の範囲を終え、本実践時点では「数学Ⅱ」の因数定理までを終えていた。さらに、「ヘロンの公式」については教科書(俣野ら 2022)の本文(p.156)「三角形の面積」の例題4(3辺を与えて余弦定理を経て面積を求める問題)に「ヘロンの公式」を参照する記述があり、全クラスで例題4の直後に扱っている。

本実践にあたって、対象となる生徒に対して行われた事前の説明について述べる。対象となる生徒は、1学期末の補講期間中に実施した「数学Ⅰ」の授業内において、事前に山崎・松田(2015)によるゲーミング教材を実施している。この授業ではプリントを用いて「数学」課題学習の流れが説明され、生徒が作成するレポート用紙が配付された。この説明において、「日常において疑問に思っていることを数学の知識を用いて解決することを修得するために、東工大の協力を得て教材を実施します」という説明がなされている。その後、夏休み期間を挟み2学期開始後約1か月で中間レポートが回収され、第三著者、第四著者が中心となりレポートを確認し、生徒に戻したのち、3学期の中間で最終レポートが回収される。

本実践は2学期の補講期間中の「数学Ⅰ」の授業において、課題学習が進行している途中に実施されている。本実践の冒頭で、「課題学習の最終レポートを進めるにあたり、今回は政策について、数学の知識を用いて評価することを修得するために、東工大の協力を得て教材を実施する」という位置づけである旨の説明がなされている。

また、縦糸・横糸モデルについては、1年生は「グローバル社会と技術」の「第3章情報モラル」で「縦糸・横糸モデル」を学習している。本実践の時点では対象となる生徒が所属する5クラスのうち、4クラスは既習、1クラスは3学期に学習予定となっている。

次に、教材内で用意した発問は次ページ以降の表1の通りである。ここで、表1の発問の列にある括弧内の数字は、発問が行われるスライドの番号を指している。★印は、3回間違えると、正答は示されず強制的に次のスライドに移動する発問を表している。

また、教材実施後にGoogleフォームを用いたアンケートを実施した。その項目は以下の通りである。

・質問1「今回の課題で検討できた災害対策の観点は何かであったでしょうか」。この質問の選択肢は、①「無電柱化政策を町全体で行うと費用を回収する効率が悪いので、一部の区域に限った場合を計算し、比較することで評価した」、②「無電柱化政策を一部の区域に限った場合を計算したが、どれも費用に見合う効果的な政策ではなかった」、③「無電柱化政策において、他の工法の方が工事費が安い場合があり、地下化するのは効率のよい方法とは言えないことがわ

かった」となっている。

・質問2～5「今回の教材から、政策の評価を数学を用いて行うときの問題解決はどのように行っていましたか？」は、「代替案発想／合理的判断過程」「目標設定過程」「最適解導出過程」「合意形成」の4つの項目に対して、その順番を「最初」、「2番目」、「最後」、「今回は行っていなかった」の4つから選択するものである。

・質問6「今回の教材で未検討の「避難経路」「二次災害の」予防の観点があれば、教えてください」（任意）は自由

記述の質問である。

・質問7「世の中の問題を、数学で学んだことを使って分析しようとしたとき、その準備は大変だと感じましたか？」については、5件法であり、3を中央として、大変と感じない場合は1の方向へ、大変と感じる場合は5の方向へと、それぞれの方向に数字が設定されている。

・質問8「今回の教材は、今自分が取り組んでいる「数学」課題学習のレポート作成の役に立つと思いませんか？」については、質問7と同様に設定された5件法である。

表1-1 各発問内容と選択肢

(表1の注：発問の括弧内の数字はスライド番号、◎はその発問の正答、★は3回誤答で次へ強制進行の発問)

発問	発問内容	選択肢
1(102)	災害対策における良さを答える	自由記述
2(105)	無電柱化して達成される良さを答えよ (順不同) ※2つの解答欄を設定し、それぞれ選択肢から1つ選んで解答するよう求めた	①水害を予防する ②避難、輸送経路の確保◎ ③必要な物資の確保 ④火災・停電などの二次災害の軽減◎ ⑤液状化現象の対策 ⑥地域住民の避難所の確保
3(202)	住民の立場にあるとしたとき、どのようにこれらの良さを評価すればよいか (図2を参照しながら解答する)	①一之江7丁目全体を無電柱化することで評価する ②一之江7丁目の一部を無電柱化することで評価する◎ ③一之江7丁目の無電柱化は見送ることで評価する ④一之江7丁目の他の災害対策と比較することで評価する
4(204)	無電柱化の費用の回収と固定資産税が上がることの関係性を答えよ	①無電柱化整備費用を固定資産税で賄えるのを待つことで回収できる ②無電柱化整備費用を固定資産税の増額分で賄えるのを待つことで回収できる
5(205)	縦軸を無電柱化政策による利益、横軸を無電柱化政策による利益としたとき一次関数の傾きと切片を答えよ (図3参照) ※2つの解答欄を設定し、それぞれ選択肢から1つ選んで解答するよう求めた	①宅地価格 ②無電柱化整備費用(Bの正答◎) ③固定資産税増額分(Aの正答◎)
6(211)	対象区域内の道路の総延長を12.4km、無電柱化整備費用を3.5[億/km]とするとき無電柱化整備費用はいくらか答えよ	①46.2 ②43.4◎ ③38.2
7(212)	住宅数をn、それぞれの住宅の宅地価格をx ₁ ,...,x _n 、無電柱化による宅地価格上昇率をy%としたとき、無電柱化によって宅地価格はいくら上昇するか	①(x ₁ +x ₂ +...+x _n)× $\frac{y}{100}$ ◎ ②(x ₁ +x ₂ +...+x _n)× $\frac{(100+y)}{100}$ ③(x ₁ +x ₂ +...+x _n)×y
8(215)	対象区域の世帯数を2676世帯とするとき、住宅の数nは2676と比較してどのようになるか	①n<2676 ◎ ②n>2676
9(216)	2世帯住宅の割合が10.8%、1世帯住宅の割合が89.2%のとき住宅数nが満たす式は次のどちらになるか	①2× $\left(\frac{10.8}{100}\right) \times n + 1 \times \left(\frac{89.2}{100}\right) \times n = 2676$ ◎ ②2× $\left(\frac{10.8}{100}\right) \times 2676 + 1 \times \left(\frac{89.2}{100}\right) \times 2676 = n$

表1-2 各発問内容と選択肢

発問	発問内容	選択肢
10(217)	2世帯住宅の割合が10.8%, 1世帯住宅の割合が89.2%のとき住宅数nが満たす式は次のどちらになるか	① $2 \times \left(\frac{10.8}{100}\right) \times n + 1 \times \left(\frac{89.2}{100}\right) \times n = 2676$ ◎ ② $2 \times \left(\frac{10.8}{100}\right) \times 2676 + 1 \times \left(\frac{89.2}{100}\right) \times 2676 = n$
11(222)	3辺の長さがa, b, c, としたヘロンの公式を用いると三角形の面積Sはどのように表されるか	① $\frac{1}{2}\sqrt{S(S-a)(S-b)(S-c)}$ ② $S(S-a)(S-b)(S-c)$ ③ $\sqrt{S(S-a)(S-b)(S-c)}$ ◎
12(223) 解答欄A ★	対象区域の面積を30万6337㎡, 道路幅を4m, 道路の総延長を12.4kmとすると宅地面積は何万㎡になるか答えよ	① 30.62 ② 25.67 ◎ ③ 22.91
12(223) 解答欄B ★	解答欄Aのとき, 1㎡あたりの平均地価が32万9307[円/㎡]とすると宅地価格の総和は何億円になるか答えよ	① 845.45 ◎ ② 84.55 ③ 0.08
13(224) 解答欄A ★	宅地価格の総和を845.45億円, 無電柱化によって宅地価格が13.8%上昇するとき, 宅地価格はいくら増加するか答えよ	① 116.67 ◎ ② 84.55 ③ 11.84
13(224) 解答欄B ★	解答欄Aのとき, 固定資産税が宅地価格の1.4%かかるとすると無電柱化によって固定資産税はいくら増加するか答えよ	① 1.63 ◎ ② 1.18 ③ 0.17
14(225) 解答欄A	固定資産税増額分を1.63[億/年], 無電柱化費用を43.4[億円]としたとき, 無電柱化によって利益出るまで何年かかるか答えよ	① 5 ② 27 ◎ ③ 41
14(225) 解答欄B	解答欄Aの結果は無電柱化整備期間の平均7年と比較したとき費用対効果はどのように言えるか	① 高い ② 低い ◎
15(308) 解答欄A	固定資産税増額分を0.15[億/年], 無電柱化費用を1.75[億円]としたとき, 無電柱化によって利益出るまで何年かかるか答えよ	① 4 ② 12 ◎ ③ 16
15(308) 解答欄B	解答欄Aの結果は無電柱化整備期間の平均7年と比較したとき費用対効果はどのように言えるか。	① 高い ② 低い ◎
16(313)	「介護施設から最寄りの避難所までの道が無電柱化することで, 電柱倒壊リスクがなくなり, 介護が必要な人が施設から避難所まで避難することが出来る」ことが満たされるために, 最低限どのルートが無電柱化整備すれば良いでしょうか (図4参照)	① “①から最寄りの避難所+④から最寄りの避難所+⑤から最寄りの避難所” ② “①から最寄りの避難所+②から最寄りの避難所+③から最寄りの避難所” ③ “②から最寄りの避難所+③から最寄りの避難所+④から最寄りの避難所+⑤から最寄りの避難所” ◎
17(317)	表より避難所から施設までの整備が必要な距離の和はいくつになるか (図5参照)	① 410 ◎ ② 860 ③ 950 ④ 1810
18(321) 解答欄A	固定資産税増額分を0.33[億/年], 無電柱化費用を1.435[億円]としたとき, 無電柱化によって利益出るまで何年かかるか答えよ	① 3 ② 4 ◎ ③ 7

表1-3 各発問内容と選択肢

発問	発問内容	選択肢
18(321) 解答欄B	解答欄Aの結果は無電柱化整備期間の平均7年と比較したとき費用対効果はどのように言えるか	①高い ◎ ②ちょうどいい ③低い
19(402) ★	今回の教材の目標は次のうちどれか答えよ ※2つの解答欄を設定し、それぞれ選択肢から1つ選んで解答するよう求めた	①火災・停電などの二次災害の軽減 ②避難、輸送経路の確保 ◎ ③水害を予防する ④地域住民の避難所の確保 ◎ ⑤必要な物資の確保 ⑥液状化現象の対策

目標設定過程(情報の収集)

良さの観点	既存の電線のまま	無電柱化(地下化)
避難・輸送経路の確保	電柱倒壊により経路が塞がる可能性あり	可能
停電や火災等の二次災害のリスク	高い	低い
情報通信ネットワークの安全性	情報通信回線の遮断のリスクあり	情報通信回線遮断のリスクを軽減
景観	変わらない	良くなる
バリアフリー	変わらない	良くなる

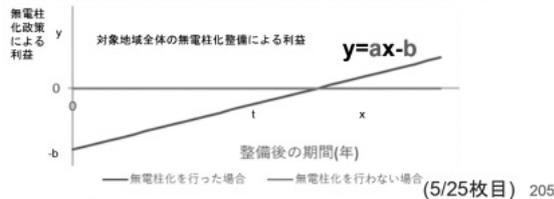
(2/25枚目) 202

図2 スライド202

目標設定過程(情報の処理)

今までのことをグラフ化すると、次のように整理できます。

1次関数(青いグラフ)の係数aとbに入る値は、何を表す値でしょうか?



(5/25枚目) 205

図3 スライド205

代替案発想過程②(情報の収集・処理)

江戸川区一之江7丁目にある介護施設と運営の形態について以下にまとめました。

- ①ケアリッツー之江(訪問介護)
- ②グループホームきららー之江(老人ホーム)
- ③ケアホームうららー之江(老人ホーム)
- ④フィットリハー之江(通所介護施設)
- ⑤ともいきケアー之江(通所介護施設)

(12/20枚目) 313

図4 スライド313

代替案発想過程②(情報の処理・まとめ)

	避難所①との距離	避難所②との距離
ケアホームうらら、グループホームきらら	240[m]	350[m]
フィットリハー	450[m]	0[m]
ともいきケア	170[m]	600[m]

表より、避難所から施設までの整備が必要な距離の和(整備延長)は、 $A[m]$ となります。Aに入る数値は...

(16/20枚目) 316

図5 スライド316

4.2 実践の結果

今回のゲーミング教材では19個の発問を設けた。用意した発問は、生徒に思考を促すもの(発問1, 発問3)を除き、選択式となっている。発問1, 発問3は生徒に思考してもらうことが目的のため、正答を用意していない。発問1, 3以外の結果は表2の通りである。また、誤答した場合はもう一度答える、あるいは3回間違えると強制的に次のスライドに移るといった場合もあるため、以下のデータは各生徒が1回目に解答したときのデータのみを集計している。

表2 各発問の正答率の結果

発問 (スライド番号)	解答数	正解	不正解	正答率 (%)
2(105)	181	159	22	87.8
4(204)	180	138	42	76.7
5(205)	180	91	89	50.6
6(211)	180	156	24	86.7
7(212)	180	80	100	44.4
8(215)	180	134	46	74.4
9(216)	134	81	53	60.4
10(217)	45	27	18	60.0
11(222)	179	141	38	78.8
12(223)	178	48	130	27.0
13(224)	177	63	114	35.6
14(225)	177	98	79	55.4
15(308)	176	102	74	58.0
16(313)	140	78	62	55.7
17(317)	139	58	81	41.7
18(321)	139	81	58	58.3
19(402)	174	143	31	82.2

以下、発問1, 3を除いた各発問に対して正答および生徒の回答の傾向を記す。なお、正答率のみが記載されている発問は、正答が最も多く選択された選択肢である。

発問2の正解は②と④(順不同)であり、正答率は87.8%で

あった。

発問4の正解は②であり、正答率は76.7%であった。

発問5の正解は、解答欄Aが③、解答欄Bが②であり、正答率は50.6%であった。なお、二番目に多い回答は解答欄Aが①、解答欄Bが②であり、全体の15.0%であった。

発問6の正解は②であり、正答率は86.7%であった。

発問7の正解は①であり、正答率は44.4%であった。なお、生徒の回答で一番多い回答は②であり全体の51.7%であった。

発問8の正解は①であり、正答率は74.4%であった。

発問9の正解は①であり、正答率は60.4%であった。

発問10の正答は①であり、正答率は60.0%であった。

発問11の正解は③であり、正答率は78.8%であった。

発問12の正解は、選択肢Aが②、選択肢Bが①であり、正答率は27.0%であった。なお、生徒の回答で二番目に多かったものは、選択肢Aが②、選択肢Bが②であり、全体の21.3%であった。

発問13の正解は、選択肢Aが①、選択肢Bが①であり、正答率は35.6%であった。なお、生徒の回答で一番多かったものは、選択肢Aが②、選択肢Bが②であり、全体の18.1%であった。

発問14の正解は選択肢Aが②、選択肢Bが②であり、正答率は55.4%であった。

発問15の正解は選択肢Aが②、選択肢Bが②であり、正答率は58.0%であった。

発問16の正答は③であり、正答率は55.7%であった。

発問17の正解は①であり、正答率は41.7%であった。なお、生徒の回答で二番目に多かったものは④であり、正答率は22.3%であった。

発問18の正解は、選択肢Aが②、選択肢Bが①であり、正答率は58.3%であった。

発問19の正答は①,②(順不同)であり、正答率は82.2%であった。

発問9, 10については、発問8で正答すれば発問9, 誤答すれば発問10となるため、この2つは解答数が少なくなっている。発問16から18に関しては任意での解答となっているため解答数が少なくなっている。以下の表3～19に、各発問の詳細なデータを掲載する。

表3 発問2(スライド105) 解答数

B\A	①	②	③	④	⑤	⑥	空欄
①	0	0	0	0	0	0	0
②	0	0	0	29	0	1	0
③	0	0	0	0	0	0	0
④	0	130	0	0	4	2	0
⑤	1	2	0	9	0	1	0
⑥	0	0	0	0	0	0	0
空欄	0	0	0	0	1	0	1

表4 発問4(スライド204) 解答数

選択肢	①	②	空欄
解答数	40	138	2

表5 発問5(スライド105) 解答数

B\A	①	②	③	空欄
①	0	6	10	0
②	27	0	91	0
③	15	24	2	0
空欄	1	1	2	1

表6 発問6(スライド105) 解答数

選択肢	①	②	③	空欄
解答数	6	156	16	2

表7 発問7(スライド212) 解答数

選択肢	①	②	③	空欄
解答数	80	93	6	1

表8 発問8(スライド215) 解答数

選択肢	①	②	空欄
解答数	134	46	0

表9 発問9(スライド216) 解答数

選択肢	①	②	空欄
解答数	81	53	0

表10 発問10(スライド217) 解答数

選択肢	①	②	空欄
解答数	27	18	0

表11 発問11(スライド222) 解答数

選択肢	①	②	③	空欄
解答数	27	10	141	1

表12 発問12(スライド223) 解答数

B\A	①	②	③	空欄
①	19	48	9	0
②	19	38	10	0
③	7	17	4	0
空欄	0	1	0	6

表13 発問13(スライド224) 解答数

B\A	①	②	③	空欄
①	63	10	12	0
②	19	32	9	0
③	3	3	18	0
空欄	1	3	0	4

表14 発問14(スライド225) 解答数

B\A	①	②	③	空欄
①	18	37	6	0
②	3	98	10	0
空欄	0	1	1	3

表15 発問15(スライド308) 解答数

B\A	①	②	③	空欄
①	15	43	2	0
②	2	102	7	0
空欄	0	5	0	0

表16 発問16(スライド313) 解答数

選択肢	①	②	③	空欄
解答数	29	32	78	1

表17 発問17(スライド317) 解答数

選択肢	①	②	③	④	空欄
解答数	58	24	23	31	3

表18 発問18(スライド321) 解答数

B\A	①	②	③	空欄
①	7	81	0	0
②	4	23	10	0
③	1	9	1	0
空欄	0	2	1	0

表19 発問19(スライド402) 解答数

B\A	①	②	③	④	⑤	⑥	空欄
①	0	100	3	6	0	0	0
②	43	0	0	3	1	0	0
③	2	0	0	1	0	0	0
④	3	4	2	0	0	0	0
⑤	0	1	1	0	0	0	0
⑥	1	0	0	0	0	0	0
空欄	0	1	0	2	0	0	0

また、本教材の実施に要した平均時間は26.94分であった。所要時間のヒストグラムは図6の通りである。ヒストグラムは、横軸が[分]、縦軸が[人数]となっている。なお、最短時間は6分31秒、最長時間は42分49秒である。上図では30分以上35分未満がピークであり、その人数は47人である。

教材所要時間のヒストグラム

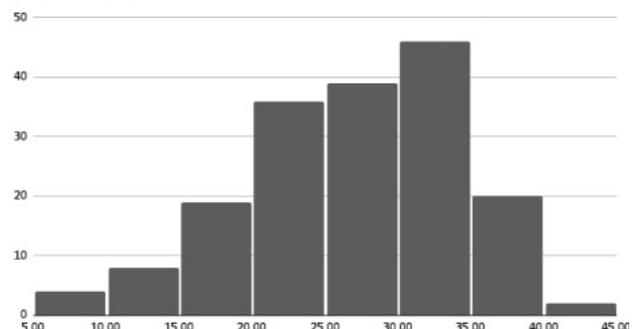


図6 教材所要時間のヒストグラム

以下、教材使用後に回答してもらったアンケートの集計結果について、質問1は表20、質問2～5は表21、質問7、8は表22、表23の通りである。なお、質問6は167人中31人が記述解答を行った。

質問7、8のそれぞれの中央値はどちらも4となった。

表20 質問1の結果

	人数(人)	割合(%)
選択肢①	134	81.2
選択肢②	11	6.7%
選択肢③	20	12.1%

表21 質問2～5の結果

	1番目	2番目	3番目	扱っていない	正答率(%)
代替案発想 合理的判断	11	93	47	12	57.1
目標設定	148	12	3	2	90.0
最適解導出	11	42	91	19	55.8
合意形成	5	20	16	122	74.8

表22 質問7の結果

	人数	割合(%)
5(感じた)	46	27.9
4	59	35.8
3	38	23.0
2	16	9.7
1(感じなかった)	6	3.6

表23 質問8の結果

	人数	割合(%)
5(思った)	42	25.5
4	51	30.9
3	47	28.5
2	19	11.5
1(思わなかった)	6	3.6

5. 考察

4章の結果より、本教材が総合的な学習の時間で必要な能力を育成する効果があったのかについての考察を行う。

5.1 教材の所要時間と発問の解答からの分析

まず、本教材の所要時間から考察を行う。表2から分かる通りゲーミング教材の実施状況を見るとすべての発問に解答できたアカウントの数は174であった。出席が178人であり、授業中の状況からも一人が一つのアカウントを操作していたため、ほとんどの生徒が教材を終えることができたと考えることができる。教材を実施する際の所要時間についても平均26.94分であり、図6から分かるようにほとんどの生徒が35分以内に教材を終えることができている。このことからアンケートや授業最初の準備の時間も考えると教材のスライドの量を5分ほど増やしても問題ないことが分かる。

次に本教材における発問とその解答から考察を行う。今回の教材は、①教材の内容を確認するための発問、②生徒の思考を促すための発問、③生徒に計算を行ってもらうための発問の3種類に分類される。なお、この3種類の分類の詳細として、①は発問2、19の2つ、②の発問は3、4、5、7、9、10、11、16の8つ、③の質問は6、8、12、13、14、15、17、18の8つである。それぞれの発問の正答率の平均は①85.1%、②61.3%、③55.0%となっており、②、③の発問の正答率が極めて低くなっている。

以下、正答率の低い発問について考察を行っていく。発問5は直前までのスライドの情報を元に1次関数を作るといふ発問であった。著者らは無電柱化政策によって増額する固定資産税を傾き、無電柱化整備費用を切片とする一次関数を想定していた。しかし、表5からわかるように生徒の解答として1番多かったものは正答の傾き=固定資産税増額分、切片=無電柱化整備費用であったが、2番目に多い解答は傾き=宅地価格、切片=無電柱化整備費用で全体の15%であった。スライド204の「宅地価格が増加し、固定資産税も増加」という記述から傾きを宅地価格と勘違いしたと考えられる。

発問7は無電柱化政策によって増加する固定資産税を文字式で表すといった発問である。この発問での正答は① $(x_1+x_2+\dots+x_n) \times y/100$ であるが、生徒の解答で一番多かったものは表7からわかるように② $(x_1+x_2+\dots+x_n) \times (100+y)/100$ で全体の51.7%を占めた。②の値は増額後の宅地価格の値である。発問7「それぞれの宅地価格を x_1, x_2, \dots, x_n としたとき、宅地価格の上昇分の総額を数式で表すと…」という記述から増額後の宅地価格の値を誤って求めてしまったと考えられる。

発問12は無電柱化政策を江戸川区一之江7丁目のすべての箇所で行った際の無電柱化整備費用を求める発問である。この発問では2つの解答欄が与えられており、解答欄Aでは江戸川区一之江7丁目の面積から道路面積を引くことで宅地面積を求め、解答欄Bでは解答欄Aの値から宅地価格を求めるというものになっている。導出に必要な各値については教材内で与えられており、数式も穴埋め形式で与えられているため生徒は計算を行うだけであったが正答率は27.0%と非常に低くなった。表12の生徒の解答をみると解答Aについては58.4%の生徒が正解している。また、解答欄Aで2番目に多い解答は30.62と答えた生徒で全体の25.3%であった。この30.62という選択肢は計算の際に単位を誤ると出てくる解であるため、多くの生徒が単位の変換に失敗したと考えられる。解答欄Bについても同様に正答は845.45であるが、単位の変形に失敗した際に導出される84.55という値が選択肢に入っている。選択肢Bで84.55と解答した生徒は全体の37.6%と多くの生徒が単位の変換に失敗して不正解になったことが考えられる。

発問13は発問12で求めた宅地価格から固定資産税がいくら増額したか求めさせる発問である。この発問も解答欄が2つあり解答欄Aではすでに教材内で与えられている宅地価格の上昇率と発問12の宅地価格から宅地価格の上昇値を求める、解答欄Bでは解答欄Aの値から固定資産税がいくら増加したか求めるものである。解答欄Bは数式が全てスライドに記載されており、解答欄Aの値を求めることができれば値を代入するだけで値を求めることができる。表13の生徒の解答を見ると、約半数の生徒が解答欄Aで誤った解答をしている。また、解答の正誤は問わず解答欄Aで各生徒が解答した値を用いて解答欄Bの値を求めている生徒は全体の63.8%だった。このことから生徒は計算する能力はあるが、宅地価格の上昇値の求め方が分からなかったことわかる。

発問14、15、18は教材内で検討した代替案を1次関数に表し、グラフから費用対効果が高いかどうか判断する発問である。この発問では1次関数を用いた数値計算の正答率は表14、15、18からわかる通りそれぞれ76.8%、85.2%、82.7%と非常に高い数値となっているが、費用対効果についての発問も合わせた正答率はどれも6割に満たない結果となった。このことから生徒は費用対効果についての知識がないままこの発問に臨んでいたことが考えられる。

発問16は江戸川区一之江7丁目にある介護施設(訪問介護、老人ホーム、通所介護施設)のうち、最低限どの施設の避難経路を無電柱化すれば災害時に避難しやすくなるかを問うものである。表16の正答以外の解答をみると訪問介護、通所介護施設と答えた生徒が20.7%、訪問介護、老人ホー

ムと答えた生徒が22.9%と答えた生徒数が割れている。2回目以降の解答も解答数がほぼ同数に割れていることから1回目の解答で間違った生徒はそれぞれの施設の特徴が分からずに答えている可能性があると考えられる。

発問17は発問16で答えた各施設と避難経路から実際に無電柱化する必要がある最低限の道路の距離を求めさせる発問である。この発問では江戸川区一之江7丁目にある2つの避難所と各介護施設との距離が表で与えられており、各避難距離の和が最小になる組み合わせを見つけるといったものである。選択肢は1810, 950, 860, 410で正答は410と選択肢の中の最小値を取っても正解になるにも関わらず表17からその正答率は41.7%、2番目に多い解答は与えられた表のどの組み合わせをしても導出されない選択肢の中で最大値である1810で22.3%であった。このことこの代替案の意図である必要最低限の無電柱化が生徒に伝わっていないことが考えられる。

5.2 Google フォームのアンケート結果について

質問1「今回の課題で検討できた災害対策の観点は何だったのでしょうか？」では今回の教材の内容確認を行うことが目的である。著者らとしては選択肢①「無電柱化政策を町全体で行うと費用を回収する効率が悪いので、一部の区域に限った場合を計算し、比較することで評価した」が解答に多く挙がること想定していた。結果は表20の通り選択肢①を選んだ生徒数は81.2%とほとんどの生徒が今回の教材について内容を把握できていたことが分かった。これは教材内で重要な用語や数値をメモに残すように指示した影響が出ているように考えられる。

しかし、質問2「今回の教材から、政策の評価を数学を用いて行うときの問題解決はどのように行っていましたか？」では目標設定過程が1番目、代替案発想/合理的判断過程は2番目、最適解導出過程は3番目となり、合意形成過程を本教材では扱っていないというのが正解だが、正答率は表21のように代替案発想/合理的判断過程、最適解導出過程はそれぞれ57.1%、55.8%と低い結果になった。

このことから、生徒は無電柱化政策の評価を行っていることは把握しているが、教材の目的である「[課題学習]で数学の知識をどのように活用するか指導する」の達成状況は不十分であると考えられる。

これは教材の中で縦糸・横糸モデルについての説明がなかったこと、問題解決の手順を学ぶという目標の共有がなかったことが原因だと考えられる。

5.3 ゲーミング教材の目的について

3章でも述べた本教材の目的である「数学Ⅰの学習内容」や「数学的な見方・考え方の活用方法」を修得させることが達成できたのかどうかについて考察する。まず、発問を次のように整理した。教材内で「数学Ⅰの学習内容」を修得させることが目的となっている発問は発問11のみであり、「数学的な見方・考え方の活用方法」を修得させることに焦

点化したものは発問6～7, 9～10, 12～18である。それ以外の発問1～5, 8, 19については、数学ではなく、政策(無電柱化政策)を理解しているかどうかの確認に費やされていた。

また、実践後のアンケートについては、数学からいったん離れた質問であり、質問1は教材のストーリー、質問2～5は問題解決の手順、質問6は課題学習のテーマを発想する設問、質問7は課題に対する取り組みのイメージ、質問8は自分が行っている課題学習への寄与を主観的に問う設問、となっている。

前提として、本教材で扱っている数学固有の知識については既習事項であり、発問11の正答率は78.8%であったことから、本教材が「数学Ⅰの学習内容」を修得させることに寄与したかどうかは定かではない。

一方、「数学的な見方・考え方の活用方法」については、「数と式」や「1次関数」、「図形と計量」を用いることができる具体的な場면을提示したということになるが、発問6～7, 9～10, 12～18の正答数の総和を、解答数の総和で割った、全体の正答率は52.5%であった。すなわち、平均すると半分近くの解答が一度誤っていたことを示しており、生徒にとって明らかな問題ばかりではなかったといえるであろう。最終的に174人の生徒が教材を最後まで終わらせていたということは、数学を活用する方法は必ずしも普段の問題を解いていれば自ずと明らかになる内容ではないということ、生徒の気が付かせる意味で貢献できた可能性は否定できない。

先行研究では、3分の1の生徒が最後の発問までたどり着かず終わっており、また正答率が低い問題の分析にとどまっていたことから、全体像が把握しきれず生徒が「数学的な見方・考え方の活用方法」を修得できたのかどうかの分析は曖昧であった。本研究においてはこれをもう少し詳細化でき、得られた新たな知見として、教科「数学」に関するゲーミング教材であるという趣旨を明確にして、生徒の数学に関する反応を詳しく分析するためには、数学以外の発問と、数学に関係する発問を分けて考えた方が良いことが明らかとなった。

6. 課題と改善点

教材の効果を評価するにあたって教材実施前後の生徒の評価が必要になる。今回の実践では昨年度の反省点を生かし、教材実施後に生徒に本教材の内容や問題解決の流れを把握できているかを、アンケートを改善することで評価することができた。しかし、教材実施前の生徒の評価を行ってなかったため、最終的に本教材で生徒にどのような変化が起きたかを評価することができなかった。

次に教材についての課題であるが、5章で述べたように問題解決の手順を指導する教材としては十分な効果を発揮することができなかった。教材実施前か教材冒頭に本教材の目的の共有を行う必要がある。授業の構成自体も考える

べきであろう。授業内容がゲーミング教材をやることのみで完結するのではなく、数学以外のところで教師が説明すればよい、すなわち全体で話を共有すればよいだけの内容の扱いについて考える必要がある。また、附属高校では縦糸・横糸モデルについては既習済であるため、教材内で確認の発問を用意し不正解者には解説を行うことでより良い効果を得られると考える。

また、縦糸・横糸モデルは生徒から見た場合にはあくまでも手順である。今回は「数学」課題学習の導入教材として作成したが、今回紹介した手法を、どうやってその他の政策にも適用できるのか、といった部分について、本教材がどの程度言及できていたかは定かではない。というのも、今回の教材は全体を通して無電柱化政策に特化しており、その他の政策に関してはどのように評価すればよいかには触れていない。

今回の教材では、具体的なある政策を例に、それを評価するときの手順を示すことはできたとしても、それを別の政策にも適用しようと思ったときに、どのようなデータが信頼性があるものであり、どのような目的の下で収集されたデータを収集する必要があるのか、そもそもデータの形からどのような処理の仕方があり得るのかや、収集して処理する際に、何に注目すればよいのかなど、準備段階で考えなくてはならないことは多数あり、他の問題に取り組もうと考えたときもこの段階が特に難しい。

生徒には、教材ではそのあたりの話を全くせず、今回の無電柱化政策に特化して、ほとんど天下りの的にデータだけを与えることとなった。したがって、「大変そう」と考えることはできても、どうして大変なのか？という詳細については今回の教材では分からない。

教材の内容では5章の考察で述べたように、正答率の低い主な要因は生徒に馴染みのない用語を使用していたこと、発問の内容が正しく生徒に伝わっていないことである。「費用対効果」など別の表現に変換できるものは表記を改善し、「宅地価格」、「固定資産税」など教材内で重要な単語についてはそれらについて説明したプリントを配布することで改善できると考える。

7. まとめ

本稿では、課題学習の指導教材としてのゲーミング教材を作成し、実践を通してその効果を検証した。縦糸・横糸モデルに基づき、数学的な見方・考え方をを用いて課題学習

に取り組む方法を習得させる目的であった。生徒から得られたアンケートの結果、教材の題材については把握することはできていたが、本教材の目的である問題解決の手法の習得については十分な効果を得られなかった。今後も問題解決について教材を開発する際は改善を行う必要があるだろう。

謝辞

本教育実践研究を進めるに当たり、指導や助言をいただいた東京工業大学の松田稔樹教授、永原健太郎講師に心から感謝いたします。また、実践にご協力を頂きました東京工業大学附属科学技術高等学校の先生方、ならびに1年生生徒に心からお礼申し上げます。

参考文献

- 江戸川区都市開発部都市計画課(2019), 江戸川区都市計画マスタープラン第1章, <https://www.city.edogawa.tokyo.jp/documents/12439/dai1shou.pdf>(参照日: 2023年1月29日)
- 国土交通省(2022)無電柱化の推進<https://www.mlit.go.jp/common/001474578.pdf>(参照日: 2023年1月29日)
- 小山桂佑, 山城六三郎, 樫村耕佑, 岡本敬, 永原健太郎, 野本文彦, (2022)身近な題材で数学的政策評価方法を指導する「課題学習」導入教材の開発と実践, *Informatio: 江戸川大学情報教育研究所* 19, 45-56
- 俣野博, 河野俊丈, 他57名(2022) 数学 I Advanced 東京書籍株式会社
- 松田稔樹(2015) 情報科教育で扱うべき問題解決活動の明確化と授業・教材の設計指針, *Informatio*, 12, 37-43
- 松田稔樹(2018)「縦糸・横糸モデル」を基盤とするインフォームドな指導を行うゲーミング教材の提案とその開発支援, *シミュレーション&ゲーミング*, 27(2):49-60
- 松田稔樹(2020)「総合的な学習の時間」から各教科に向けた逆向き設計の指導, *日本教育工学会研究報告会集, JSET20-4*, pp.103-110
- 山崎浩也, 松田稔樹(2014) 数学「課題学習」用ゲーミング教材とその設計フレームワークに関する教科連携の視点に立った改善, *日本教育工学会研究会報告集, JSET14-4*, 125-132