

# 家庭用エコ設備を題材とした 数学「課題学習」導入用ゲーミング教材の開発と実践

Development and Practice of Gaming Teaching Materials for Introducing Mathematics  
“Problem- Based Learning” on the Theme of “Home Eco-Facilities”

山岸玄弥\* 濱瀬理紗子\* 柳田聖登\* 岡本敬\*\* 實川裕斗\*\*  
Genya Yamagishi\* Risako Hamase\* Kiyoto Yanagida\* Kei Okamoto\*\* Hiroto Jitsukawa\*\*

\* 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年度告示の高校学習指導要領で「総合的な探究の時間」を中心とする教育課程編成の重要性が強調されて以来、教育課程編成の様々なモデルが実践されてきたが、教科等横断的な探究活動たる「総合的な探究の時間」はその目標に沿った実践が行われているとは限らない。本稿では「新・逆向き設計」に基づき、「総合的な探究の時間」のテーマとして燃料電池に関する政策評価を掲げ、そのサブ課題として「数学I」の課題学習で太陽光発電またはエネファームの導入に関する定量的評価を行うゲーミング教材の開発と実践を行った。教材開発には東京工業大学松田研究室が開発しているIAGシステムを利用し、東京工業大学附属科学技術高等学校の1年生199名を対象として実践を行った。得られたデータにより、教材の内容理解や問題を解くことだけでなく、一般の政策評価に関わる汎用的な問題解決方法を習得させる方法の一端が示された。

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

平成30年告示の最新高校学習指導要領では教科等横断的な教育課程設計が求められており、通常教科の学習の集大成として「総合的な探究の時間」（以下、総合）が位置付けられている。学習指導要領改訂の背景には平成28年の中央教育審議会答申があり、総合に関して複数の問題点が指摘された。特に総合で育成すべき資質・能力や各教科との関連性について学校毎に取り組みの達成度が異なる点が問題視されている。

カリキュラム設計上の課題を解決する方法として、松田(2020)は「新・逆向き設計」と呼ばれる手法を提唱した。「新・逆向き設計」では総合のテーマをSDGsに関する政策評価とし、総合の活動で必要な各教科の見方・考え方を身につけるためのサブ課題を各教科の探究活動で実施し、さらに必要な内部知識を各教科の通常授業で与えるという段階的な教育課程設計手法である。

新・逆向き設計を適用したカリキュラム設計の実践に関する先行研究として、小山ら(2022)および熊谷・杉原・岡本・濱名(2023)の事例が存在する。両研究では新・逆向き設計のうち総合のテーマ設定から教科のサブ課題の開発、実践までを実施しており、ゲーミング教材を用いたサブ課題実践において詳細な知見を得ている。本研究では先行研究で指摘された複数の問題点に注目し、教材設計の改善方法を具体化することを目標とし、同様の手法に従って教材の開発、実践を行う。

## 2. 目的

本研究では先行研究で指摘された教材設計の改善点をもとに新たに教材を設計・実施し、設計手法を改善する。設計においては従来と同様にして新・逆向き設計に従い、まず総合で扱うテーマを想定し、続いて各教科の探究活動で実施するサブ課題を設計する。

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)の科目「数学Ⅰ」における課題学習の一環として、問題解決の実例をゲーミング教材によって提示し、問題解決の方法を習得することを目的とする。なお研究実施年度の当該科目における課題学習では、生徒は熊谷ら(2023)の先行研究で設計された教材を体験したのち、自分で課題学習のテーマを考案・研究しており、本研究で設計した教材は活動の中期に実施された。

小山ら(2022)、熊谷ら(2023)の先行研究で指摘された改善点に基づき、本研究では次の点に着目して設計を行った。まず、選択式問題の回答に際して提示する選択肢が少なかつたために生徒が課題内容を理解することなく教材を進行してしまつたことが指摘された。このため、本研究では誤りの選択肢を増やすとともに、複数の小問題を単一のスライドにまとめて出題した。これにより総当たり式に教材を進行することを防ぎ、教材の内容理解を要請した。

また、教材の問題が課題理解に重点化されていたため、当教材で扱った政策以外の政策を評価する汎用的な方法が指導できていたか否かが不明であったとの問題点が指摘された。新・逆向き設計における市民教育の観点から、教科の探究活動では特定の政策に関する専門的知識や問題解決を教育目標とするべきではなく、総合の前段階のモデルケースとして体験活動を通じて汎用的な問題解決方法を身につけることが求められる。本研究で設計する教材では、スライド毎に後述の問題解決のモデル上における位置付けを示し、数学の問題解決の手法が適用されたことを明示した。また発問についても単なる計算のみでなく考え方に関する発問を設けることで、生徒が提示された問題を解くと同時に、その問題を解く必要性を受容し、汎用的な見方・考え方の適用方法を習得することを期待した。

加えて、教材の実施前後で生徒に与えられた教育効果を評価する手法が無かつたことが問題点として挙げられている。本研究の実践では教材実施前と教材実施後にそれぞれアンケートを実施することで、想定する効果が得られたか否かを評価することができた。

### 3. 本研究における教材の解説

#### 3.1 教材の概要

本研究ではSDGsに関連した総合のテーマとして「燃料電池に関する政策評価」を想定し、数学Ⅰの課題学習のサブ課題として「家庭用エコ設備の比較」を設定した。家庭用エコ設備の導入費用の定量的評価、ならびに二酸化炭素排出量を削減するための太陽光発電導入促進政策の定量的評価をゲーミング教材で体験することを通じて、一般の数学的な政策評価に必要な見方・考え方と手法を習得させることを教育目標とした。

家庭用エコ設備の比較において対象とした設備は「太陽光発電」と「家庭用燃料電池(エネファーム)」である。教材のストーリーは次の通りである。まず、Aさんの家庭と

称したある家庭でこれらのエコ設備の導入を検討し、経済効率性を第一の良さとして収支を定量的に評価する。次いで政府の立場に立ち、各家庭が経済効率性を重視するとした上で、環境適合性を高めるために太陽光発電の導入を促進する政策を挙げ、適切な基準価格の設定を考案することを到達点とする。市民の選択における定量的評価によって関連性を高め、さらに為政者という異なる立場から異なる良さに基づいた評価を行うことで、問題解決において複数の良さから代替案を発送したり利害関係者の存在を意識したりするよう支援する。

ゲーミング教材は東京工業大学松田研究室が開発しているIAG(Instructional Activities Game)システムを用いて開発した。IAGシステムではブラウザ上で動作するゲーミング・シミュレーション型教材を開発することができる。教材はテキストと画像を含むスライドから構成され、表示される指示に従って進行する。発問を含むスライドでは発問に回答するためのプルダウンメニューやテキストボックスが設定されており、回答に対応して正誤や解説のフィードバックが返される。

ゲーミング教材では松田(2015)の「問題解決の縦糸・横糸モデル」に従って比較評価・政策評価を行う。縦糸・横糸モデルは問題解決の段階をモデル化したものであり、縦糸過程として大枠となる「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」の順に進行し、各過程で横糸過程として外部・内部知識の操作にあたる「情報の収集⇒処理⇒まとめ」を実施する。本教材では表示するスライドの最上部に縦糸過程の進行度を表示し、常に活動毎の目的を明確化することをねらつた。なお設計にあたっては通常授業内で当モデルが既習事項であるとしているが、附属高校では異なるモデルを指導している。両モデルは類似性が高く、いずれも問題解決の手法として有用であることから、教材内で復習として縦糸・横糸モデルを提示することで、問題解決のモデルに沿って活動を実施することの重要性を認識させることとした。

また実際に定量的評価を実施するために必要な領域固有知識として、数学Ⅰの数と式、2次関数、データの分析を想定した。これらに加えて数学Ⅰの範囲外である数列の考え方を利用する箇所が存在するため、教材内の必要箇所別途説明を加えた。

#### 3.2 導入と目標設定過程

ゲーミング教材の導入段階では、教材で扱う対象への理解と教材の進め方を共有することが目的である。最初にある家庭でエコ設備を導入するというストーリーを与える。ここでは導入する設備の選択肢として、「太陽光発電」「エネファーム」および「太陽光発電とエネファームの両方」の3つが挙げられる。次にエコ設備の代替案となる太陽光発電とエネファームについて外部知識を与える。特に今後の活動では与えられたデータから設備のコストと効果に関わる情報を適切に選択する必要がある。太陽光発電および

エネファームの概要を確実に理解するため、選択式の発問を複数設ける。

導入過程で必要となる考え方は、問題解決の枠組みに従って評価することの重要性を再認し、解法の良さを特定することである。上記の事前知識は概ねエコ設備の環境的利点に偏っており、直感的には太陽光発電とエネファーム両方の導入が最良であるかのように誤認しやすい。そこで登場人物の台詞で直感的評価を代弁し、それを疑う形で問題解決の枠組みに沿った評価を行う流れを作る。なお以下に続く過程でも同様に、問題解決における数学的な見方・考え方や手法を強調する際には、登場人物に台詞で説明させる形式をとっている。

続く目標設定過程では、重視したい良さを生徒に指摘させた上で、定量的評価の対象として経済効率性を取り扱い、経済効率性の評価に関わる汎用的な評価手法として、将来の利益を推定するために収支すなわち効果とコストの差を時間の関数で表す方法をとることを共有する。

### 3.3 代替案発想過程①

代替案発想過程①で提示する数学的な考え方は、収集したデータから評価に必要なデータを適切に選択し抽象化すること、および関数を評価するために図表化することである。

代替案発想過程①では、ストーリーで提示した3通りの導入方法を比較評価する。ここでいう代替案とは、3通りの導入案をさすのではなく、導入方法を比較する手法をさすことに注意する。代替案発想過程①では基礎的な比較方法として、各パラメータに時間変化がないものと仮定した最も単純なモデルで利益の関数を作成する。

まず太陽光発電のみを導入した場合のコストと効果を算出する発問を行う。なお計算に必要なデータは表にまとめて提示しているが、生徒が自分で問題解決を行う際は外部知識の収集、処理、まとめから行うべきものであるため、与えられたデータは既に整理された結果であることを示しておく。太陽光発電の評価では1年毎の収益を求めさせる発問が用意されているが、ここで与えるデータは、発電設

備の設置費用、年間の維持費、導入による月間の電気代削減量、月間の売電収益である。1年毎の収益を計算するに際しては設置費用は必要でないこと、また維持費、電気代削減量、売電収益のいずれがコストないし効果にあたるかを考える必要がある。

太陽光のみを導入した場合の利益の年次変化を考察するため、関数を評価する方法としてグラフ化を提案し、1次関数で表す。ここではグラフの概形を提示し、軸との交点などの値を求める問題によって、グラフの座標と与えられたデータとの対応を考えることを要請する。この対応は後により複雑なモデルを導入する際に必要不可欠となる。

エネファームのみを導入した場合と両方を導入した場合の1年毎の収益の算出については、太陽光の場合と同様の作業となるため省略する。3つの導入方法それぞれの導入費用と1年毎の収益を表で提示し、利益を設置からの経過年数の1次関数で表す(図1)。

エコ設備の耐用年数は一律20年を見込んでいるが、グラフを用いずに20年後の利益を計算して大小比較するだけでは、設備が途中で損壊する場合や転居する場合を想定した評価になっていない。そのため、評価方法として20年後の利益の大小に加え、経年とともに優位である(最も利益が高い)導入方法が転換することに着目し、「設置後〇〇年から〇〇年までの間は、〇〇(導入方法)が優位である」という形で結果を記述させる。これにより、「太陽光発電のみの導入は優位である期間が最長であるため安定性が高い選択肢である」という評価が可能になり、図表化の有効性を明示的に指導することができる。

### 3.4 合理的判断過程①

当過程では代替案発想過程①の評価をもとに、さらに評価に安定性を持たせるための代替案を例示する。未来の事象を予測して選択を行うにあたっては、条件を変えて考えたり素朴なモデルからより事実に即したモデルへ変更することで、多様な状況に対応した代替案を発想するべきであると指導する。特にここでは、初期の評価で用いたパラメータが時間変化することを想定し、時間変化を踏まえた評価の方法を実践する。

第一の追加評価では、太陽光発電での売電価格の変化に注目する。売電価格のグラフを提示し、価格が年々低下傾向にあることから、今後の価格変化を評価に盛り込むことを考える。初期に示した売電価格は固定価格買取制度によるものであり、設置から10年間は当初の価格で売電可能だが、それ以降は価格の変動が利益に影響すると予想される。10年後の価格を予想するため、売電価格がほぼ直線的に減少していることからまず売電価格のグラフを用いて価格を関数で近似する案が挙げられるが、ここで現実に即した制約条件に触れる。既知の関数である1次関数や2次関数で近似すると値が負に転じてしまい、売電価格の予測としては適切でない。そのため第二の案として売電価格の前年比に注目し、価格が前年度の定数倍になると推定する。数列や

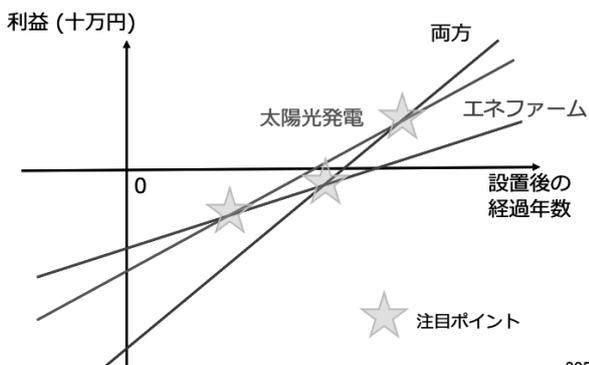


図1 経過年数と利益のグラフ (スライド #305)

指数関数は未習事項であるが、前年比は累乗や変化の割合の応用として扱えると判断し、計算方法とともに提示した。

10年後の売電価格を算出し、代替案発想過程①と同様にグラフ化すると、太陽光のみ・両方導入のパターンは導入後10年以降の利益が減少し折れ線形のグラフになるが、評価は前過程の評価とほぼ同一であることが読み取れる。

第二の追加評価では、エネファームでのガス価格の変化に注目する。ガス価格は不規則に変動しており、第一の追加評価のように関数で近似したり前年度との差や比を一定とみなしたりする予測方法は適さないと考えられる。そこで、1年毎のガス価格の変化量を変数 $a$ とおき、利益を $a$ の関数で表すことによって $a$ の値に応じた評価を実施する。1年毎の収益が $a$ ずつ変動するため、利益は経過年数 $x$ の二次関数となり二次の係数に $a$ を含む。実際の作業ではまず $a=1,000$ として利益が二次関数的に減少することを確かめ、続いて利益を変数 $a$ の関数で表し、最後にグラフソフトGeogebra上を用いて優位性が逆転するような $a$ の値を特定する。ここでは式変形に数列の知識を用いるが、計算過程は選択事項として解説用の外部リンクを設ける。またグラフソフトの操作方法は通常授業で既に扱っていることを想定している。作業の結果として、ガス価格が過去10年間にみられた程度の変動幅で推移したとしても、場合によってはエネファームの利益が常に太陽光発電を上回ることも、或いは耐用年数である20年を経過してもエネファームの利益が正にならずコストを回収できないことも想定されると結論づけられる。以上の議論を踏まえると、太陽光発電はエネファームよりも経済的な安定性が高いと評価することができる。

### 3.5 代替案発想過程②と合理的判断過程②

教材で扱う内容の量からみて、生徒が教材を時間内に完了できるか否かが不明であったため、合理的判断過程①を終了した時点で生徒は最後の最適解導出過程へ分岐し移行する選択肢が与えられる。時間が10分以上残っている場合は「さらに検討」することを選択し代替案発想過程②へ進むよう指示するものとした。

代替案発想過程①から合理的判断過程①にかけては家庭の立場で経済効率性を重視した定量的評価を実施した。代替案発想過程②以降は立場を変更し、国が二酸化炭素排出量を削減するために家庭用太陽光発電の導入を促進する政策を考案する段階に入る。エネファームではなく太陽光発電を推進する根拠としては、エネファームの温室効果ガス削減効果が燃料となる水素の製造方法に大きく依存するという外部知識が背景にあるが、単に太陽光発電の経済的安定性が高いという点から誘導するにとどめている。

題材とする政策は、国が企業の太陽光パネル販売額に基準価格を設け、基準価格より安価でパネルを販売する企業に対しては法人税を減税するものである。単に太陽光発電の導入に補助金を歳出するのでは、導入件数は増加するものの政府の財政に悪影響を与える。そのため太陽光パネル

の購入にかかる消費税を収益とし企業へ間接的に費用を支払うものとする。これにより為政者の立場では政策を実行するには財源を補う利益や経済効果が重要となる点を生徒に意識させ、また政策の実現可能性に対する疑問を解消する。

基準価格を変数 $s$ として、二酸化炭素削減効果を基準価格の変数で表すことを目標とする。二酸化炭素削減効果は太陽光発電の導入件数に比例し、導入件数は太陽光がエネファームに優位である期間に比例すると仮定して計算を行う。 $s$ の大小に応じて図1の太陽光発電の利益のグラフは $y$ 軸方向に平行移動し、移動量によってはエネファームの利益のグラフとの交点が耐用年数に含まれなくなることがあるため、 $s$ の制約条件を考える必要がある。変数を含む複数の式変形の発問を経て、最終的に二酸化炭素の削減効果をグラフに表す。同時に国の収支も $s$ の関数で表されるが、収支の算出過程は授業時間の制約により省略し、結果のみ与える。

基本的に基準価格が低いほど導入件数は増加するが国の収支は減少するため、収支と二酸化炭素削減効果のいずれの良さを重視するかによって最適な $s$ の値は異なる。そこで「収支が最大となる点」「収支が負でない中で削減効果が最大となる点」などの条件に応じた $s$ の値を選ばせることで結論とする。

### 3.6 最適解導出過程

合理的判断過程で得た結論を改めて提示し、教材のまとめとする。また家庭毎の生活スタイルの相違や政策実施におけるガス会社への配慮など、定量的評価が難しい事項も存在することへも言及する。なお合意形成過程は教材内で実施しないが、教材終了後のアンケートにおいて生徒に家庭の立場で太陽光発電とエネファームとそれら両方のいずれを導入したいと考えるか質問している。

## 4. ゲーミング教材の実践の概要と結果

### 4.1 実践の概要

ゲーミング教材は2023年2学期の最終週に、附属高校の1年生199人(うち欠席3人)を対象として、「数学I」の授業1時間内で実践した。教材は視聴覚教室で1人1台のパソコンを用い、一部通信環境に問題が発生した際には生徒個人のスマートフォンを使用して取り組んでもらった。端末以外の配布物として教材にログインするための指示などを含む説明紙および計算用紙を配布し、必要ならば電卓や計算用紙を使用してもよいことを指示した。教材と事前・事後アンケートへのハイパーリンクはGoogle Classroomで配布され、授業時間内に教材が完了しなかった生徒も後に教材を完了しアンケートへ回答するよう指示がなされた。

教材における発問および選択肢は表1の通りである。ただしスライド番号は教材内の順序と一致しない箇所がある。

表1-1 各発問内容と選択肢  
(表1の注：発問番号は3桁のスライド番号と小問の番号を示す。)

発問番号	発問内容	選択肢(正解に◎)	備考
101-1	Aさんの家庭では、新たに何の導入を検討していますか?	①太陽光発電 ②エネファーム ③太陽光発電かエネファーム ④太陽光発電かエネファームかその両方 ◎	正解するまで次へ進まない
103-1	太陽光発電は太陽の光を利用している.	①正しい ◎ ②誤り	2回誤答すると強制的に次へ進む
103-2	家庭の消費電力よりも発電量の方が長い時間帯は、電力会社から電気を買う必要はない.	①正しい ◎ ②誤り	
103-3	作って余った電気は捨てるしかないので、できるだけ使い切った方がよい.	①正しい ②誤り ◎	
104-1	発電ができない夜間も太陽光発電でつくった電気を使用できる.	①正しい ②誤り ◎	2回誤答すると強制的に次へ進む
104-2	昼間に発電して余った電気は電力会社に売り利益にすることができる.	①正しい ◎ ②誤り	
104-3	電気の売電価格は常に一定である.	①正しい ②誤り ◎	
106-1	エネファームは空気中にある水素と酸素を化学反応させて、電気をつくる.	①正しい ②誤り ◎	2回誤答すると強制的に次へ進む
106-2	化学反応により発生する熱を給湯に利用する.	①正しい ◎ ②誤り	
106-3	省エネである.	①正しい ◎ ②誤り	
107-1	エネファームで作った電気は売電目的である.	①正しい ②誤り ◎	2回誤答すると強制的に次へ進む
107-2	排熱で沸かしたお湯は、キッチンやお風呂などの給湯に利用する.	①正しい ◎ ②誤り	
107-3	都市ガスにより発電した電気を使用できるため、電気会社から購入する電力が削減できる.	①正しい ◎ ②誤り	
108-1	化学反応により作った電気は不安定なので、電力会社から購入する電気に比べ送電ロスが大きい.	①正しい ②誤り ◎	2回誤答すると強制的に次へ進む
108-2	エネファームの大きな利点は、発電時に出た熱を家庭内で利用できることである.	①正しい ◎ ②誤り	
108-3	エネファームは二酸化炭素を出さないという点で環境性に優れているが、化学反応の反応率が低いことによるエネルギーの利用率の低さが課題である.	①正しい ②誤り ◎	
110-1	ダブル発電の方が太陽光発電のみの時より売電量は増加する.	①正しい ◎ ②誤り	2回誤答すると強制的に次へ進む
110-2	太陽光発電でつくった電気が優先的に利用されるため、都市ガスの使用量が削減できる.	①正しい ②誤り ◎	
202-1	エコ設備を導入するにあたり、あなたが重視したい良さはなんですか.	自由記述	2個以上回答する

表 1-2 各発問内容と選択肢

302-1	維持費を含めた1年ごとの収益は [?] 万円/年である.	①10.8 ②11.2 ③11.6 ④13	3回誤答すると強制的に次へ進む
303-1	グラフの空欄に当てはまる数字を答えなさい. [1] (初期費用)	①-140.5 ◎ ②-129.3 ③-11.2	3回誤答すると強制的に次へ進む
303-2	同上 [2] (10年後の利益)	①-252.5 ②-112 ③-28.5 ◎	
303-3	同上 [3] (20年後の利益)	①83.5 ◎ ②224 ③281	
305-1	グラフによると, 設置してから [?] 年までは	①6.1 ◎ ②7.2 ③12.5	正解するまで次へ進まない
305-2	[?] が最も利益が高く,	①太陽光 ②エネファーム ◎ ③両方	
305-3	そこから [?] 年までは	①13.4 ②16.8 ③18.4 ◎	
305-4	[?] が最も利益が高い.	①太陽光 ◎ ②エネファーム ③両方	
305-5	太陽光パネルやエネファームの寿命は, 一般的に20年程度だとわかった. 20年後の利益が最も高いのは [?].	①太陽光 ②エネファーム ③両方 ◎	
305-6	だが, 故障などの安定性も考慮すると, [?] のパターンが最も利益が高くなりやすい(そうである期間が長い).	①太陽光 ◎ ②エネファーム ③両方	
314-1	基準価格 $s$ (十万円)が小さくなるほど, 太陽光発電の導入件数は [?] するので,	①増加 ◎ ②減少	2回誤答すると強制的に次へ進む
314-2	CO <sub>2</sub> 削減効果は [?] になります.	①大きく ◎ ②小さく	
314-3	また, 家庭が太陽光発電を導入する過程で, 国は [?] による増収が見込めます.	①消費税 ◎ ②法人税 ③代金 ④社会保障	
314-4	一方, 電力会社は価格を下げなければならないので, 政策に協力 [?] になります.	①しづらく ◎ ②しやすく	
403-1	今まで習った関数を思い出すと, 太陽光発電の売電価格は [?] 関数で近似できそう.	①1次 ◎ ②2次 ◎	両方正解. ただし, 次へ進むのが早すぎる場合は「よく読んでください」と警告

表1-3 各発問内容と選択肢

404-1	太陽光発電の売電価格はどの関数でも近似できるが、現実に即した制約条件として [?] になることを考えると、	①売電価格は正 <input checked="" type="radio"/> ②売電価格は単調減少	3回誤答すると強制的に次へ進む
404-2	[?] で近似するのは適切でない。	①1次関数 <input checked="" type="radio"/> ②2次関数	
404-3	[?] が適切であるか確かめるには、	①1次関数 ②2次関数 <input checked="" type="radio"/>	
404-4	[?] を計算すれば良い。	①2次方程式の判別式 <input checked="" type="radio"/> ②10年後の価格 ③y軸との交点の座標	
406-1	隣り合う年の価格の [?] を一定だとみなす場合、1次関数で近似したのと同様に、いつかは価格が負になってしまいます。	①差 <input checked="" type="radio"/> ②比	2回誤答すると強制的に次へ進む
406-2	一方、隣り合う年の価格の [?] を一定だとみなす場合、価格は常に正になります。	①差 ②比 <input checked="" type="radio"/>	
407-1	2024年の売電価格が16(円/kWh)で、1年ごとに売電価格が前年度の0.924倍になるとした場合、2034年の売電価格は [?] 円になると予測されます。	①3.84 ②7.27 <input checked="" type="radio"/> ③147.84	3回誤答すると強制的に次へ進む
423-1	都市ガスの料金を [?] として計算できれば良さそう。	①定数 ②変数 <input checked="" type="radio"/>	1回誤答すると強制的に次へ進む
425-1	ガス料金が1年あたり1000円ずつ値上がりすると仮定したときの、 $x$ 年後の年次収入(円)	① $67000 - 1000x$ <input checked="" type="radio"/> ② $67000 + 1000x$ ③ $67000 - 1000x^2$	3回誤答すると強制的に次へ進む
426-1	425の設定において、1年目までの年次収入の和(円)	①65000 ②66000 <input checked="" type="radio"/> ③67000	3回誤答すると強制的に次へ進む
426-2	425の設定において、2年目までの年次収入の和(円)	①131000 <input checked="" type="radio"/> ②132000 ③134000	
426-3	425の設定において、3年目までの年次収入の和(円)	①195000 <input checked="" type="radio"/> ②198000 ③201000	
427-1	ガス料金が1年あたり $a$ 円ずつ値上がりすると仮定したときの、 $x$ 年後の年次収入(円)	① $67000 - ax$ <input checked="" type="radio"/> ② $67000 + ax$ ③ $67000 - ax^2$	3回誤答すると強制的に次へ進む
428-1	427の設定において、1年目までの年次収入の和(円)	①67000 ② $67000 - a$ <input checked="" type="radio"/> ③ $67000 - 2a$	3回誤答すると強制的に次へ進む
428-2	427の設定において、2年目までの年次収入の和(円)	①134000 ② $134000 - 2a$ ③ $134000 - 3a$ <input checked="" type="radio"/>	
428-3	427の設定において、3年目までの年次収入の和(円)	①201000 ② $201000 - 3a$ ③ $201000 - 6a$ <input checked="" type="radio"/>	

表1-4 各発問内容と選択肢

429-1	$a$ の値が大きいほど、ガス価格は[?]なり、	①高く ◎ ②安く	正解するまで次へ進まない
429-2	「エネファームのみ導入」の利益は[?]なります。	①多く ②少なく ◎	
429-3	$a$ が[?]程度より小さければ、「エネファーム」は「太陽光発電のみ導入」よりも早く費用を回収できますが、	①-0.03 ◎ ②0.04 ③0.05	
429-4	$a$ が[?]程度より大きければ、「エネファーム」は、耐用年数である20年が経過しても、費用を回収できない見込みになります。	①0.008 ②0.009 ③0.01 ◎	
452-1	先ほどと同様にグラフを描いて考えると、太陽光発電の利益がエネファームを上回るのは[?]年後になります。	① $2.22s - 18$ ◎ ② $2.22s - 32.2$ ③ $0.89s + 2.86$ ④16.9	4回誤答すると強制的に次へ進む
452-2	ここでは、太陽光発電とエネファームの耐用年数は20年間であるとしします。 もし[?]のときは常に太陽光発電の方が上回り、	① $s < 4.5$ ② $s > 4.5$ ③ $s < 8.1$ ◎ ④ $s > 8.1$	
452-3	[?]のときは常にエネファームが上回るようになります。	① $s < 8.1$ ② $s > 8.1$ ③ $s < 17.1$ ④ $s > 17.1$ ◎	
453-1	太陽光の導入件数が、「太陽光の利益がエネファームを上回っている年数」(太陽光優位である年数)に比例すると考えると、基準価格が $s$ (十万円)のとき、 $\text{CO}_2$ 削減量は現在の[?]倍になります。 ただし耐用年数は20年で、 $8.1 \leq s \leq 17.1$ としします。	① $2.73 - 0.16s$ ◎ ② $0.36s - 2.95$ ③ $6.23 - 0.36s$	4回誤答すると強制的に次へ進む
455-1	国の収支が最大となるのは $s = [?]$ のとき。	①0 ②8.125 ③10.918 ④14 ◎ ⑤17.1	正解するまで次へ進まない
455-2	国の収支が負でない間に導入件数が最も多いのは $s = [?]$ のとき、	①0 ②8.125 ③10.918 ◎ ④14 ⑤17.1	
455-3	導入件数が最大である間に国の収支が最も大きいのは $s = [?]$ のときになります。	①0 ②8.125 ◎ ③10.918 ④14 ⑤17.1	

教材実施前後にはGoogleフォームでアンケートを実施した。アンケートの項目及び回答方式は表2の通りである。以下、説明のためアンケートの質問順に便宜的にアルファベッ

トを振る。事前アンケートの質問1～質問7は事後アンケートの質問3～質問9と同一のものである。事後アンケートの質問のうち、A,Bは教材の内容理解の状況をはかるもの、

C,E,Fは事前アンケートと比較して数学的な問題解決の方法の習得状況をはかるものであり、D,G,H,Iは事前アンケートと比較して数学的な問題解決に向かう態度を調べることを目的とする。

表2 事前・事後アンケートの質問項目

質問番号	質問	回答方法
A 事後1	あなたがAさんだった場合、太陽光発電、エネファーム、両方のうち、どれを導入しますか？	選択式 ①太陽光発電 ②エネファーム ③両方
B 事後2	(事後①の回答に対し)その理由はなんですか？	記述式
C 事前1・ 事後3	次の中で正しい文を選択してください。	選択式 ①経済効率性を考えるときは、効果(得られる金額)について検討すべきである。 ②経済効率性を考えるときは、コスト(失われる金額)について検討すべきである。 ③経済効率性を考えるときは、効果とコストの両方の面から検討すべきである。
D 事前2 事後4	データを比較する方法を一つ挙げてください。	記述式
E 事前3 事後5	2040年の時の電力の売電価格を予想する上で適切だと思われる方法を全て選べ。	選択式 ①一次関数に近似して、2040年の時の値を考える。 ②二次関数に近似して、2040年の時の値を考える。 ③2012年から2023年までの平均値を2040年の時の値として考える。 ④前年比が一定として、2040年の時の値を考える。 ⑤上記の中に適切なものはない。
F 事前4 事後6	2040年の時の電力の売電価格を予想する上で適切だと思われる方法を全て選べ。(注:「電力の売電価格」は誤記、「ガス価格」の想定)	選択式(複数回答可) ①一次関数に近似して、2040年の時の値を考える。 ②二次関数に近似して、2040年の時の値を考える。 ③2012年から2023年までの平均値を2040年の時の値として考える。 ④前年比が一定として、2040年の時の値を考える。 ⑤上記の中に適切なものはない。
G 事前5 事後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すか？	選択式・5件法 ①(全く感じない)～⑤(強く感じる)
H 事前6 事後8	数学で学んだことを使って世の中の問題を分析することは重要だと考えますか。	選択式・5件法 ①(全くそう思わない)～⑤(非常にそう思う)
I 事前7 事後9	数学で学んだことを使って世の中の問題を分析することは楽しいと思いますか。	選択式・5件法 ①(全くそう思わない)～⑤(非常にそう思う)

## 4.2 実践の結果

以下では教材実施後のシステムログおよびGoogleフォームの集計結果を示す。実践中に端末のトラブルが発生した際には異なるアカウントでログインするよう指示したため、対象生徒数と教材実施データの件数は問題毎に異なる場合

があるが、分析内容によりデータ統合または外れ値として処理するなどの対応をとっている。

教材内の発問に対する初回の回答数、正解・不正解の件数、初回正答率は表3の通りである。発問に誤答した場合は正答するか規定の回数誤答するまで再度回答させる形式をとっており、正誤については初回の回答のみを集計した。

スライド#314,#452,#453,#455は分岐後の発問であるため回答件数が少ない。またスライド#202の発問は自由記述問題のため省略した。

表3 発問に対する回答と初回正答率

スライド	回答件数	正答	誤答	正答率(%)
101	196	160	36	81.63
103	195	158	37	81.03
104	195	134	61	68.72
106	194	80	114	41.24
107	193	171	22	88.60
108	192	152	40	79.17
110	192	113	79	58.85
302	190	150	40	78.95
303	190	136	54	71.58
305	189	91	98	48.15
314	38	22	16	57.89
404	183	54	129	29.51
406	179	166	13	92.74
407	178	138	40	77.53
423	172	112	60	65.12
425	166	141	25	84.94
426	164	130	34	79.27
427	160	139	21	86.88
428	156	85	71	54.49
429	139	43	96	30.94
452	53	2	51	3.77
453	44	20	24	45.45
455	43	6	37	13.95

生徒が各スライドで初回の回答に要した時間を集計した。発問を含むスライドに対して初回の回答に要した時間の10%トリム平均は67.11秒であり、発問を含まないスライドでは10.34秒であった。図2は#202を除く発問を含むスライドについて、回答としてとりうる選択肢の組合せの総数と、その発問の初回回答に要した時間を、横軸のみ対数目盛の散布図で表し一次近似曲線を付したものである。

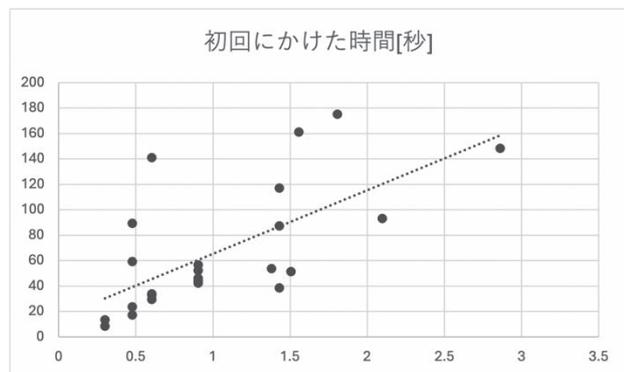


図2 選択肢の組合せの総数と初回回答にかけた時間

表3のうち特に正答率が低かった発問の小問毎の正答率を表4に示す。

表4 小問毎の初回正答率

スライド	小問番号	正答	誤答	正答率(%)
106		80	114	41.24
	106-1	81	113	41.75
	106-2	193	1	99.48
	106-3	190	4	97.94
110		113	79	58.85
	110-1	187	5	97.40
	110-2	114	78	59.38
305		91	98	48.15
	305-1	170	19	89.95
	305-2	185	4	97.88
	305-3	121	68	64.02
	305-4	180	9	95.24
	305-5	182	7	96.30
	305-6	128	61	67.72
404		54	129	29.51
	404-1	89	94	48.63
	404-2	169	14	92.35
	404-3	101	82	55.19
	404-4	90	93	49.18
428		85	71	54.49
	428-1	147	9	94.23
	428-2	87	69	55.77
	428-3	97	59	62.18
429		43	96	30.94
	429-1	95	44	68.35
	429-2	98	41	70.50
	429-3	80	59	57.55
	429-4	75	64	53.96
314		22	16	57.89
	314-1	35	3	92.11
	314-2	32	6	84.21
	314-3	24	14	63.16
	314-4	35	3	92.11
452		2	51	3.77
	452-1	25	28	47.17
	452-2	33	20	62.26
	452-3	11	42	20.75
453	453-1	20	24	45.45
455		6	37	13.95
	455-1	34	9	79.07
	455-2	26	17	60.47
	455-3	10	33	23.26

また、本教材の進行度を3段階に分けて評価した。表5において、進行度2は全てのスライドを完了したことを、進行度1は教材前半終了時の分岐点(スライド#429)で分岐して後半を経ず終了したことを、進行度0は分岐点に到達しなかったことをそれぞれ表す。

表5 教材進行度

進行度	件数	割合(%)
0	58	29.6
1	109	55.6
2	29	14.8

教材進行度1,2それぞれについて教材終了に要した時間は図3-1.2の通りである。教材終了時間には授業内でとられた約35分の作業時間に加え、授業終了後の課題として作業した時間が含まれる。

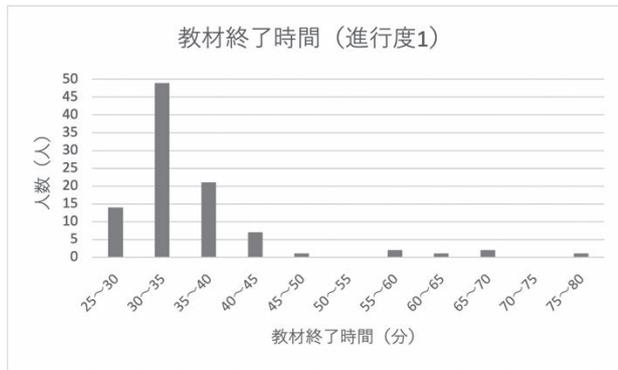


図3-1 進行度1の教材終了時間

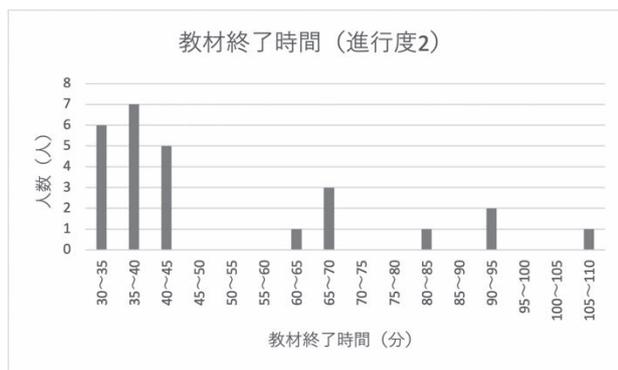


図3-2 進行度2の教材終了時間

過程毎の累計通過時間のトリム平均を表6に示す。表6に挙げたスライドは問題解決の各過程の最後に位置する。なお合理的判断過程①-1,2は3.4節で述べた二つの追加評価にそれぞれ対応する。

表6 各過程の累計時間

スライド	過程名	累計時間(秒)
111	導入	454.8
204	目標設定	619.6
305	代替案発想①	1208.8
408	合理的判断①-1	1525.2
429	合理的判断①-2	2061.8
314	代替案発想②	2080.6
455	合理的判断②	3109.9

次に、Googleフォームのアンケート結果の一部を表7～表13に示す。以下、表題の事前○・事後○はそれぞれ事前アンケート・事後アンケートの該当する問題番号を表す。

表7 質問Aの結果

選択肢	回答件数
①	86(61.9%)
②	13(9.4%)
③	40(28.8%)

表8 質問Cの結果

選択肢	事前回答件数	事後回答件数
①	10(5.1%)	9(6.5%)
②	5(2.6%)	3(2.2%)
③	181(92.3%)	127(91.4%)

表9 質問Eの結果

選択肢	事前回答件数	事後回答件数
①	170(86.7%)	46(33.1%)
②	20(10.2%)	78(56.1%)
③	10(5.1%)	4(2.9%)
④	53(27.0%)	45(32.4%)
⑤	8(4.1%)	13(9.4%)

表10 質問Fの結果

選択肢	事前回答件数	事後回答件数
①	26(13.3%)	20(14.4%)
②	5(2.6%)	15(10.8%)
③	89(45.4%)	38(27.3%)
④	31(15.8%)	47(33.8%)
⑤	78(39.8%)	44(31.7%)

表11 質問Gの結果

選択肢	事前回答件数	事後回答件数
①	3(1.5%)	2(1.4%)
②	9(4.6%)	3(2.2%)
③	30(15.3%)	18(12.9%)
④	76(38.8%)	53(38.1%)
⑤	78(39.8%)	63(45.3%)

表12 質問Hの結果

選択肢	事前回答件数	事後回答件数
①	3(1.5%)	2(1.4%)
②	4(2.0%)	3(2.2%)
③	22(11.2%)	6(4.3%)
④	63(32.1%)	44(31.7%)
⑤	104(53.1%)	84(60.4%)

表13 質問Iの結果

選択肢	事前回答件数	事後回答件数
①	8(4.1%)	5(3.6%)
②	22(11.2%)	8(5.8%)
③	49(25.0%)	19(13.7%)
④	68(34.7%)	60(43.2%)
⑤	49(25.0%)	47(33.8%)

## 5. 考察

### 5.1 ゲーミング教材について

まず教材全体で扱う事項の量に関して、教材を全て完了した生徒が全体の僅か14.8%にとどまったことから、教材の内容が授業時間に見合わず明らかに過多であったことが指摘される。教材の前半(スライド#429以前)に限ってもおよそ3割の生徒が完了できなかったため、教材の前後半双方で内容が過剰であったと考えられる。表6の結果から特段冗長である過程が存在するわけではなく、全体として進行するペースが遅かったとみられる。

次に、単一のスライドに複数の小問を設けたことの効果について分析する。図2により、スライド全体としてとりうる選択肢が多いほど初回の回答にかかる時間が長くなっている。従って選択肢が増えることにより、発問に対して勘で正答を当てるよりも問題に取り組んで正答を導く方針に向かう生徒が増えると考えられる。

続いて個々の発問に関して、表4に挙げたように初回正答率が60%を下回った発問スライドについて分析を行う。

導入段階の発問#106はエネファームの仕組みを画像と文章から受容し、エネファームについて述べた3つの文章

の正誤を問う問題である。小問#106-1の初回正答率は42%にとどまった。対応する文章は「エネファームは空気中にある水素と酸素を化学反応させて、電気をつくる。」(誤り)であり、ヒント文章の「都市ガスやLPガスから取り出した水素と空気中の酸素を化学反応させて(後略)」を誤認しやすかったと考えられる。数学の領域固有知識には関連しない文章読解の問題ではあるものの、合理的判断過程①でエネファームのコスト要素としてガス価格を取り上げることから、内容理解を確認する意義があったと言える。

導入段階の発問#110も同様にダブル発電(両方導入)の内容理解を問うものであり、#110-2の「太陽光発電でつくった電気が優先的に利用されるため(後略)」(誤り)の判定においてヒント文章の「エネファームでつくった電気を優先的に使用し(後略)」を逃したものと思われる。ただし該当スライドのダブル発電の説明は、本質的には両方導入した場合の費用と効果が太陽光とエネファームそれぞれの費用と効果の合算にならないことの根拠にすぎず、後の活動のために重要であるとは言い難い。

代替案発想過程①の発問#305は、3つの導入方法について利益の年次変化をグラフで表し、結論を導く発問である。この発問は教材内で最多である6つの小問からなるもの、うち小問#305-1,2,4,5については初回正答率が90%近くの高水準であり、残る小問#305-3,6の正答率も60%台と極めて低くはない。全て正解となる組み合わせが要求されたために発問全体の正答率が低くなったと思われる。小問#305-3はスライドに添付されたGeogebraのリンクを開くことで交点の座標が分かるものであったが、実践中の巡視では座標が表示されていないスライド画像のみから値を推測しようとして困惑する生徒が多くみられたため、外部リンクを開く指示が不明瞭であったといえる。小問#305-6は優位である期間が最も長い選択肢を選ばせるものだが、問題文が「(前略)故障などの安定性も考慮すると、(#305-6)のパターンが最も利益が高くなりやすい(そうである期間が長い)」の形であったため、安定性を優位である期間に結びつける具体化・抽象化の操作が適切に行えなかったと考えられる。

合理的判断過程①の発問#404は、売電価格の変化を1次関数や2次関数で近似することの妥当性を現実的な制約条件と結びつけて判断する問題である。問題文は「現実即ち制約条件として(#305-1)になることを考えると、(#305-2)で近似することは適切でない。(#305-3)が適切であるか確かめるには、(#305-4)を計算すればよい。」であった。4つの小問のうち#305-2のみ正答率が92%と高く、売電価格を1次関数で近似することが妥当でないということは理解されているが、一方で他の小問の正答率は全て50%前後にとどまる。1次関数と2次関数を両方とも批判的に評価するということが直感的でなく提示されていない、グラフの要素と現実の事象の要素との対応を考えられていない、単に問題文の空欄が多く混乱しやすい、といった複数の要因が重なった結果、分岐前の発問のうちでは最低となる30%の正答率を引き起こしたと考えられる。

合理的判断過程①の発問#428は、ガス価格の変化を変数として累計の利益を表す問題である。ガス価格aの増加に伴って年次収入と利益は減少するが、1年目の利益を問う小問#428-1の正答率が94%と高い一方、2,3年目の利益を問う小問#428-2,3の正答率はそれぞれ56%、62%と一気に低下する。これは1年ごとの年次収入と、利益たる年次収入の和とを混同した結果である可能性が高い。

合理的判断過程①の発問#429は前半のまとめとなる発問であり、4つの小問はいずれも正答率が70%以下であった。#429-1,2はaの増減とガス価格の増減、エネファームの収支の増減の関係を問うものであり、考え方は5スライド前の#424で提示されていた。しかし#425から#428にかけて計算問題が連続したため、計算の処理に集中することでaを設定した意図が忘却されたと思われる。また#429-3,4では#305と同様にGeogebraを開く必要があるが、今回は変数として設定したaをアプリケーションのスライダーまたは再生ボタンで変動させ問題文の条件を満たす値を探すという複雑な手順を要求するため、問題を解く手順が分からなかったのだと考えられる。

最後に、分岐後の代替案発想過程②以降の発問#314,#452,#453,#455は教材全体の分量から十分な時間が残されている生徒が少なく、特に#452,#453では変数を含む比較的複雑な計算が要求されたことから、正答者数、正答率はいずれも極めて低い水準であった。

以上の分析から誤答の原因として、単一のスライドに含まれる小問が多すぎたこと、ストーリーを含めて「収支」「利益」や「年次収入」などの用語が生徒の混乱を招いたこと、そして一部に必要な見方・考え方が明示的に示されていないことが挙げられる。

## 5.2 Google フォームのアンケート結果について

Google フォームを用いた事前・事後アンケートの結果を分析する。事前アンケートの回答数196件に対して事後アンケートの回答数は教材を完了した生徒の数にほぼ等しい139件であった。

まずアンケートの質問A,Bでは、教材の前半で題材としたAさん一家の立場で、太陽光発電・エネファーム・両方のいずれを導入するかを理由とともに質問した。

太陽光発電を選択した86件のうち、根拠として教材の代替案発想過程①で指摘したように優位である期間が長いことに由来する安定性を挙げた回答は71%にあたる61件であった。また合理的判断過程①にあるガスの価格変動の不安定性を元にした回答が10件存在した。その他の根拠として、教材設計では意図していなかったが、太陽光発電は最も早く収支が正になることを指摘するものがあった。

両方を選択した40件の根拠のうち半分当たる20件では、代替案発想過程①のもう一つの結論である、長期的な利益が最大になることを根拠としていた。太陽光発電と併せて、これらの根拠を挙げた生徒は、教材で挙げた解の良さを理解しており解の良さを念頭に置いた活動により適切

な結論が導けたと推測できる。

一方でエネファームを選択した13件の回答では「自然災害に弱い」「太陽光発電は環境にやさしくない」「家にあるから」といった根拠が挙げられていた。代替案発想過程①では経済効率性のみを良さとして評価を行ったが、自然災害への対応や設備自体の影響による環境適合性を評価することも可能であり、これらの意見は本教材の評価を拡張するものとして、あるいは生徒が自身のテーマで数学的評価を行うにあたって極めて重要である。

質問Cは数学的な問題解決の手法の中核にあたる経済効率性の評価方法を問うものであり、事前・事後とも90%以上の生徒が正答として用意された選択肢③を回答した。このことから、生徒の多くは本来的に定量的評価の方法を選択できると考えられる。教材中の目標設定過程では「効果-コスト>0」の形で要点をまとめており、実践中には生徒が該当スライドの内容を配布プリントなどに写す様子がみられた。しかしながら正答率は向上しなかったため、上記まとめと、効果とコストの両方が評価に必要であることの結びつきを明示的に指導しなかったことが原因であると推測される。

質問E,Fは数学的な問題解決の手法の一つとして将来の値を予測する方法を複数選択式で選択する課題である。まず売電価格の予測に関する質問Eでは、直線的な推移から一次関数近似が最も自然に見えるが、教材内で現実に即した制約条件から否定される。一次関数近似を選択した生徒の割合は教材実施前の86.7%から実施後の33.1%へ大きく減少した。一方で同一の制約条件から否定される二次関数近似を選択する生徒は56.0%と最多であり、教材内で採択した方法を選択する生徒は教材実施後も31.9%にとどまった。続いてガス価格の予測に関する質問Fに関しては、教材での手法からは適切なものはないとするのが想定解であった。事前アンケートでは平均値をとる方法を有力とする回答が45.4%と最多であったが、教材実施後は27.3%へ減少した。その一方で本来質問Eの正答である前年比をとる方法を選択する回答が15.8%から33.8%へ増加し最多となってしまった。ここでゲーミング教材の正答率と照会すると、一次関数近似を棄却することは発問#404-2に、前年比を用いた評価方法は発問#406,407によく関連しており、これらの発問の正答率が高いことと合致する。一方で質問の正答の選択肢にかかわる発問#404の他の小問や発問#423の正答率は低い。以上のことから、課題の解決において適用された考え方を単に示す場合、生徒は提示された複数の評価方法を受容し実際に計算を行うことはできるが、どの状況にいずれの評価方法が適しているかを選択する課題を一部しか解決できず、汎用的な評価方法の習得は依然中途段階にあるといえる。

質問G,H,Iは課題学習へ向かう態度を評価するものであった。各項目は選択式であり、数学的な問題解決に好意的な回答を大きい値とする5件法であった。その結果、いずれの項目でも最も肯定的とする「5」を選択する生徒の割合が

増加し、それ以外の選択肢の割合は減少から微増程度に変化した。従って生徒は教材から問題解決の重要性を受容することができたとみられる。

## 6. 課題と改善点

まず教材全体の最大の課題として、教材の分量が45分(前後のアンケートを含めれば35分)の授業時間内で扱うことができる量を大きく上回っていた。特に後半の為政者側の政策評価を完了できた生徒は全体の僅か15%程度であり、十分な作業時間が確保されていたとはいえない。改善点として、まず導入部分で後の活動に必ずしも必要でない情報を確認する発問があったため、本教材での太陽光発電とエネファームの説明のように前提知識に関する発問は必要最低限にするか、補助プリントを用いて別途提示することが有効である。加えて合理的判断過程②のように抽象的な作業を実施させる場合は、十分にフィードバック及びヒントを用意することで作業時間の効率化を図る必要がある。

研究目的に照らして実践を評価すると、まず選択肢を増やし単一のスライドに小問をまとめる試みにより、問題毎に費やす時間は増加することが示唆された。一方で誤答に対して小問ごとに適切なフィードバックを返すことができていたとは言えない。ゲーミング教材のさらなるシステム活用により、誤答した小問や誤答の選択肢に対応したスライドを表示することで更なる改善が見込める。

発問ごとに適用すべき数学的な見方・考え方を提示することについては、事前・事後アンケートの価格予想に関する質問の結果から、生徒が単に提示された問題を解く活動を超えて、その問題が問題解決のどの過程に位置し、その問題を解くことがどのような考え方に基づいて要請されるのかを認識する活動は完成されなかった。また、実際に他の政策評価を行うに際して同様の手法を適用することが可能になったか否かを評価することはできなかった。続く研究においては事後アンケートで全く別の題材を用意し、教材で扱った数学的な問題解決の方法を転化することが可能か否かを評価することが望まれる。

事前・事後アンケートに関しては、上記のように教材の内容理解と見方・考え方の習得状況の双方を比較評価することが見込まれるため、教材評価ツールとしての有用性が明らかになったと言える。

最後に、本研究における実践の範囲外であるが、通常教科の授業におけるカリキュラム設計について述べる。新・逆向き設計では総合のサブ課題として通常教科の探究活動で身につけるべき資質・能力を規定しており、探究活動自

体に必要な能力は全てそれ以前の授業で習得されていることが望ましい。例えば本研究で実施したように将来の値を予測する方法を複数の手法から選択する課題を盛り込むならば、それぞれの予測手法が通常授業で取り扱われていれば、探究活動で教材理解に掛かる時間を節約することができる。数学の通常授業でそれぞれの数学的な見方・考え方や手法を問題に適用する方法を提示するためには、総合に関する題材を含む文章題を通常授業の課題に含めることが有効であると思われる。

## 7. まとめ

本研究では課題学習の導入用ゲーミング教材を開発・実践し、その効果を分析した。先行研究で不明であった点、特に活動のそれぞれの段階において適用すべき問題解決の方法および見方・考え方を提示することの有効性と限度を明らかにすることができたほか、教材の分量やアンケートに関する知見が得られた。しかしながら問題解決の汎用的方法を習得させる方法を確立するには至らなかった。今後の研究実践においては特に教育効果の評価方法を検討し、教材設計のモデル構築に繋げることが急がれる。

## 謝辞

本研究の実施に当たって、多大なご指導、助言を賜りました東京工業大学の松田稔樹教授、永原健太郎講師に厚く感謝申し上げます。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年生生徒に感謝申し上げます。

## 参考文献

- 熊谷健太,杉原沢理,岡本敬,瀧名高宏,(2023)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,Informatio : 江戸川大学情報教育研究所 20, 19-30
- 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
- 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(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