

理科教育とキャリア教育の連携を図るゲーミング教材の開発

Development of a Gaming Instructional Material for Career Education in Science

永井大暉* 保志場圭佑* 松田稔樹*,**
Daiki Nagai* Keisuke Hoshiba* Toshiki Matsuda*,**

* 東京工業大学 ** 江戸川大学情報教育研究所
*Tokyo Institute of Technology **Edogawa Institute of Information Education

2011年の中教審答申で指摘された通り、学校におけるキャリア教育、特に、各教科におけるキャリア教育の実施には大きな課題がある。その状況を改善するために、本稿では、教職実践演習の特定課題研究で取り組んだ高校理科におけるキャリア教育用ゲーミング教材の開発について報告する。当該教材では、融雪剤メーカーの社員として、塩害が起こらない融雪剤で最も良いものを提案して合意を取るというミッションを課し、理科の知識を活用した問題解決を求める。また、社内及び農家の人との議論や合意形成で、コミュニケーション能力の発揮や企業倫理に即した行動を求める。形成的評価を行い、結果も考慮した改善策を検討するとともに、類題作成のためのポイントも検討した。

キーワード：キャリア教育、理科教育、ゲーミング教材、縦糸・横糸モデル、失敗体験

1. はじめに

1.1 背景

中央教育審議会(2011)は、2008年に諮問された「今後の学校におけるキャリア教育・職業教育の在り方について」の審議結果を答申した。この時期は、1993年頃から2004年頃に生じたいわゆる就職氷河期(厚生労働省2019)を脱却しかけた後、再びリーマンショックで就職状況に暗雲が垂れ込めた時期である。また、2008年は学習指導要領改訂に関する答申が1月にあり、2008～9年に小中及び高校の学習指導要領が改訂された点にも注意を向ける必要がある。

答申は、若者の「社会的・職業的自立」や「学校から社会・職業への円滑な移行」に課題があるとの認識に立ち、分析を行っている。前者については、職業人としての基本的な能力の低下や職業意識・職業観の未熟さ、身体的成熟傾向にもかかわらず精神的・社会的自立が遅れる傾向、進路意識や目的意識が希薄なまま進学する者の増加といった課題を挙げている。後者については、若年層における完全失業率や非正規雇用者の割合の高さ、産業構造の変化に伴う求職希望者と求人希望との不適合、企業内教育で人材育成をする余裕が不足していることなどが指摘されている。

これらに対して、学校教育側の問題点として、以下のよう

拡大の一方で、その就職率が他学科より低く、非正規雇用の比率も高い点である。ここから、普通科における学習と、社会・職業とのかかわりが薄い傾向があると指摘している。大学教育に関しても、約4割の学生が、将来の職業に関連する知識や技能について、「これまでの授業経験は役立っていない」、約8割の学生が「自分の実力は不十分」と回答するなど、学生のニーズに対応した職業に関する教育が不十分としている。さらに、TIMSS調査での中学生、PISA調査での高校生の回答で、将来就きたい仕事や自分の将来のために数学や理科を学ぶという意識が国際的にみて低いことを指摘している。その上で、仕事や職業に必要な力を学校教育の中でどう育成するかが十分明確にされていないことを課題としている。また、教員選考で教職以外の職業を経験した者が少ないこと、高校普通科での進路指導において大学進学に重点が置かれている点も課題としている。

1.2 キャリア教育の定義と目標

以上の現状分析を受けて、キャリア教育を「一人一人の社会的・職業的自立に向け、必要な基盤となる能力や態度を育てることを通して、キャリア発達を促す」教育と定義し、特定の活動や指導方法に限定されず、様々な教育活動を通して実践されるものとした。一方、職業教育は、「一定又は特定の職業に従事するために必要な知識、技能、能力や態度を育てる教育」とし、学校教育のみで完成するものではないこと、変化の激しい社会では多様な職業に対応し

うる社会的・職業的自立に向けて必要な基盤となる能力や態度の育成が重要なことを指摘している。

その上で、幼児期から高等教育まで体系的にキャリア教育を進めること、その中心として基礎的・汎用的能力の育成を重視すべきことを指摘している。その基礎的・汎用的能力としては、人間関係形成・社会形成能力、自己理解・自己管理能力、課題対応能力、キャリアプランニング能力の4つを挙げている。

人間関係形成・社会形成能力は、他者の考えや立場を理解し、相手の意見を聴き自分の考えを伝え、他者と協力・協働して社会に参画する力である。具体的な要素として、他者の個性を理解する力、他者に働きかける力、コミュニケーションスキル、チームワーク、リーダーシップ等を挙げている。

自己理解・自己管理能力とは、「やればできる」という自分の可能性を含めた肯定的理解に基づき、主体的に行動する一方で、自らを律し、進んで学び成長しようとする力である。具体的な要素としては、自己の役割の理解、自己の動機づけ、忍耐力、前向きに考える力、主体的行動等を挙げている。

課題対応能力は、課題を発見・分析し、計画を立てて処理し、解決できる力である。具体的な要素として、情報の理解・選択・処理等、本質の理解、原因の追究、課題発見、計画立案、実行力、評価・改善等を挙げている。

キャリアプランニング能力は、自らの立場・役割と関連づけて働くことを位置づけ、多様な情報を活用しながらキャリアを形成していく力である。具体的な要素として、学ぶこと・働くことの意義や役割の理解、多様性の理解、将来設計、選択、行動、改善等を挙げている。

なお、基礎的・汎用的能力以外に必要な要素としては、基礎的・基本的な知識・技能、論理的思考力・創造力、意欲・態度及び価値観、専門的な知識・技能を挙げている。

キャリア教育の充実に向けた課題とされているのは、実践が特別活動や総合的な学習の時間に限定され、教科・科目等における取組や関連付けが不十分という点である。これは、学習指導要領(文部科学省2009)の総則が、「学校のエデュケーション全体を通じ、組織的・計画的な進路指導を行い、キャリア教育を推進する」よう求めていることに反する。

1.3 教科・科目等におけるキャリア教育の取組

答申は、高等学校(特に普通科)におけるキャリア教育の推進として、キャリアを積み上げていく上で必要な知識等を、教科・科目等を通じて理解させることを提言している。その具体例としては、公民科や家庭科等で、今日の社会が分業によって成り立ち、相互に支え合って働く必要があることを理解したり、労働者としての権利や義務、雇用契約の法的意味、求人情報の獲得方法、人権侵害等への対処方法、相談機関等に関する情報や知識等を学習すること、仕事と家庭生活のライフバランスを図るために必要な知識等を学習することを挙げている。しかし、これらは、前述し

た指導要素の基礎的・基本的な知識・技能の一部に過ぎない。この他、普通科でも職業専門科目を開設することを推奨しているが、それは専門的な知識・技能に該当する。結果的に、「中心として」扱ふべきとされた基礎的・汎用的能力の指導については、全く触れられていない。

答申後、文部科学省(2011)は、キャリア教育の手引きを発行し、その中で各共通教科におけるキャリア教育の実践例を示している。そこでは、各教科の必修科目の内容と基礎的・汎用的能力との関連性が示されている。例えば、「国語総合」に関して示されている表では、人間関係形成・社会形成能力と、「A 話すこと・聞くこと」の(1)イ「目的や場に応じて、…」とウ「課題を解決したり…」、「C 読むこと」の(1)ウ「文章に描かれた人物、…」とエ「文章の構成や展開を確かめ、…」などが関連づけられている¹⁾。他教科も、同様の表が示されており、学習指導要領の改訂に合わせて、更新版(文部科学省2023)も発行されている。

国立教育政策研究所・生徒指導・進路指導研究センター(2013)には、「課題対応能力」にかかわる力は、日常の教育活動で向上させることができ、既実践もされているはずだが、教師がキャリア教育との関連性を認識していない点が問題だとしている。しかし、教科・科目の内容は、教科の目標達成のために設定されたもので、キャリア教育のためのものではない。「教科・科目等における取組や関連付けが不十分」との現状は、関連性があることで自ずと解決されるわけではない。むしろ、各教科における情報教育の進展を阻害した「従来通りの指導をしていけば〇〇教育になる」という認識を助長するだけである。本研究では、Bruer(1993)が、汎用的方略が転移しない理由を考察し、インフォームドな指導を提案したことに着目する。

教科教育にキャリア教育を積極的に融合させた先行研究に着目すると、例えば、Numazaki and Matsuda(2016)が、数学教育とアントレプレナーシップ教育との融合を意図して開発した「事業計画立案」ゲームがある。この教材は、前節で参照した中央教育審議会答申をふまえて開発された。基本的には、Ito and Matsuda(2013)の数学「課題学習」用教材で、問題解決の手順に即して数学的な見方・考え方(松田1993)の活用を促すために開発された教材設計フレームを用い、4つの基礎的・汎用的能力を育成するものである。この教材のポイントは、汎用的資質・能力の育成という観点から、数学「課題学習」用の教材設計フレームワークを用いつつ、題材として、キャリア教育に必要な「事業計画立案」を扱い、数学的な知識・方法をキャリア教育に必要な文脈に転移させることを意図している点である。実践前後のアンケート調査によれば、数学は、「あなたが将来就くだろう仕事で役に立つ」、「キャリアプランを立てるのに役に立つ」が5%水準で有意に高まり、「より良い問題解決のために、数学的な見方・考え方を意識して活用することが大切」も、10%水準で有意に高まる傾向が見られた(沼崎・松田2016)。これは、TIMSSやPISA調査を引用して指摘された問題点を解消するのに役立つ可能性を示している。

教科・科目の教育とキャリア教育とを結びつける方策として、遠藤(2016)の技術者モラル教育の視点が参考になる。それは、技術者モラル教育を通じて工業科目を学ぶことへの動機づけを高め、工業科目の学習成果を評価する際に、技術者モラルとして求められる問題解決力の修得状況を評価するという視点である。遠藤の実践は工業科で行われているが、普通科では、共通教科・科目で同様の(職業倫理の)視点を取り入れることが考えられる。特に、理科は普通科で技術教育を行う機会になりうる。

職業倫理を題材に教科学習への動機づけをする場合、専門性を身につけないと失敗することを体験させる必要がある。その際、安全な環境で失敗パターンを経験できるゲーミング教材の活用が有効である(吉川2023)。問題解決型のゲーミング教材は、特定の正解があるわけではなく、また、同じ解に到達するとしても、その(解決)過程が様々である。課題対応能力を育成する観点からも、繰り返し学習することが大事になる。そのためには、ICTを活用して時間的・空間的制約を取り除くことや、ログを分析してフィードバックし、解決過程を振り返らせることも大事である。

2. 目的

ここまでの議論をふまえ、本研究では、技術者モラル教育の視点も取り入れて、理科教育とキャリア教育の連携を図るゲーミング教材を開発する。上述の通り、問題解決型の教材は、繰り返し取り組むことが望まれる。もちろん、同じ教材を繰り返すことも意義があるが、学習成果の転移を図るには、類題に取り組むことも必要である。そこで、開発した教材の類題を作るための汎用化の枠組みも検討する。また、教職課程履修者を対象に形成的評価を行い、改善が必要な点についても検討する。

3. ゲーミング教材の開発

3.1 概要

開発する教材では、融雪剤メーカーの社員として、塩害が起こらない融雪剤で最も良いものを提案して合意を取るというミッションを達成する。対象は高校3年で、化学の1コマ分(50分)で実施できるよう設計した。必要とする知識は主に凝固点降下と化学平衡であるが、塩害が起こるかどうかは塩化物イオンを含むかどうかで判断する。その他、人体や動物、金属等への害が無いかどうかは、安全シートを参照するので、知識として持っている必要は無い。

汎用的資質・能力として課題対応力を育成する観点から、課題解決のフレームワークには問題解決の縦系・横系モデル(松田2016)を使用する。このモデルに即して課題解決を進めつつ、各過程終了時には次に取るべき行動を毎回確認することで、縦系・横系モデル自体の理解と活用方法を学べるようにした。

ストーリー作成時には各過程でのアウトプットを特に重視した。以下が各過程でのストーリーの流れである。

3.2 目標設定過程

概要に示した課題設定・状況を、業界紙のニュース記事および行政からの通知として提示する。塩成分を含む融雪剤は使用禁止になり、代わりに塩成分を含まない融雪剤には補助金を提供するというものである。補助金は、人・動物、地下水への影響が少ない場合、より多く提供される。

その後、会社の上司や同僚との話し合いを通して、候補には、「塩化マグネシウム」「塩化ナトリウム」「プロピオン酸ナトリウム」「酢酸ナトリウム」があること、1kgの水の凝固点を-20度に下げる費用を1000円以下で、できるだけ安くすることを決める。その他、副目標として、「水質への影響を小さくする」「車のタイヤなど金属腐食を抑える」「コンクリートへの腐食を抑える」のいずれか1つを選択する。

最後に、法令遵守や企業の社会的責任について、図1のように確認した上で、今後の作業方針と関連づけて縦系・横系モデルの確認を行う。また、次の代替案発想過程で検討すべき事項(「融雪剤の知識を習得しながら、目標を達成出来そうな代替案を発想する」)も確認する。

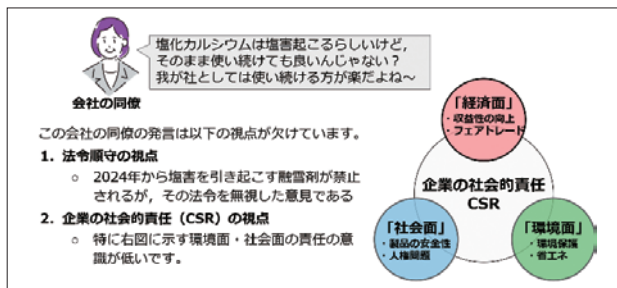


図1 CSRについて説明しているスライド画面

3.3 代替案発想過程

最初に、融雪剤は、それが水に溶けた時に発生する融解熱と凝固点降下で雪を溶かすことを説明する。その後、会社から提示された4つの代替案について、1kg当たりの費用(図2)、1kgの水の凝固点を20度下げるのに必要な質量を計算させ(図3)。塩害が起こるか否か、皮膚や眼への有害性について調査させる(図4)。情報収集後に調査結果を表5の形でまとめる。

製品コード	名称	価格	在庫
販売元 131-00167 JAN 4987481287778	20kg	見通り	20以上 待受中
販売元 131-00162 JAN 4987481368613	JIS J0500019 O 8159 25g	希望納入価格 1,380円	20以上 待受中
販売元 133-00161 JAN 4987481432680	JIS J0500019 O 8159 100g	希望納入価格 1,740円	20以上 待受中
販売元 135-00165 JAN 4987481287761	JIS J0500019 O 8159 500g	希望納入価格 1,760円	20以上 待受中

図2 製品検索(富士フィルム和光純薬株式会社2023)⁽²⁾

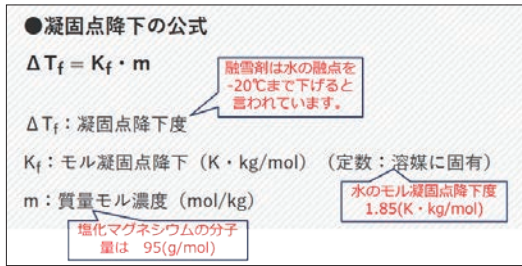


図3 水1kgの凝固点を -20°C に下げる時の必要量計算

安全データシート

1. 化学品及び会社情報	
製品名	酢酸ナトリウム
製品コード	195-01087,199-01085,197-01081
2. 危険有害性の要約	
GHS分類 物質又は混合物の分類 薬に対する更なる更なる毒性/ 劇刺激性	

図4 SDS (富士フィルム和光純薬株式会社 2023)⁽²⁾

融雪剤候補	1kgの費用	-20°C にする必要量	-20°C にする費用	有害性(皮膚)	有害性(眼)	塩害有無
塩化カルシウム	1500円	400 g	600円	なし	区分1	有り
塩化マグネシウム	3520円	342 g	1203円	区分2A	なし	有り
塩化ナトリウム	1590円	316 g	502円	なし	区分2B	有り
プロピオン酸ナトリウム	9000円	519 g	4671円	区分4	区分2B	無し
酢酸ナトリウム	1100円	443 g	487円	なし	区分2B	無し

図5 CaCl_2 と4つの候補の情報を比較・整理した表

3.4 合理的判断過程

代替案について一通り調べたところで、それらを批判的に検討し、不適切なものを削除する、より良く改善できるものは改善方針を立てるのが、本過程の役割である。まず、そもそも制約条件を満たすのかという観点から、塩害が起きる可能性のある2つの案は削除する。次に、価格面の条件(1kg当たり1000円以下)を満たすかについて、補助金率を調べた上で、プロピオン酸ナトリウムを削除する。残った酢酸ナトリウムは、人体への影響があるというデメリットがあることを確認した上で、代替案が1つではより良い決定ができないため、トレードオフ解消を図るため、副目標に「人・動物への影響を小さくする」を追加して、新たな代替案が無いのか探すことにする。

3.5 代替案発想過程②+合理的判断過程②

会社の同僚が新たに「尿素」「アクリル酸」「ケイ酸ナトリウム」という3つの融雪剤候補を提案する。代替案発想過程①と同様に、提案された各案について、1kg当たりの費用、1kgの水の凝固点を20度下げるのに必要な質量を計算させ。塩害が起きるか否か、皮膚や眼への有害性について調査させる。ただし、学習時間を短くするため、最初に皮膚や眼への有害性を調べさせ、それらが無い尿素につい

でのみ、残りの情報を計算・調査させる。

まず、尿素は塩害を起こさないことについて、塩化物イオンを含まないことで確認する。さらに、補助金率を調べ、1kgの水の凝固点を20度下げるのに必要な費用が1000円以下になることも確認する(図6)。

融雪剤候補	1kgの費用	-20°C にする必要量	-20°C にする費用	補助金反映後の費用
尿素	1740円	649 g	1129円	565円
酢酸ナトリウム	1100円	443 g	487円	292円

図6 尿素と酢酸ナトリウムの比較表

3.6 最適解導出過程

最適解導出過程は2段階に分かれている。1段階目は、主目標・副目標・制約条件を再確認し、制約条件を満たす2つの候補に絞られたことを確認した上で、費用と人への有害性について得られた情報を表に整理する。2段階目は、自分で設定した3つ目の副目標について、情報収集してどちらが優位かを判断する(図7~9)。

	無機			有機	
	塩化カルシウム	塩化ナトリウム	塩化マグネシウム	尿素	CMA
BOD (mg-O/g)	<0.01	<0.01	<0.01	10	110

図7 水質への影響の比較表 (株式会社トクヤマ 2022)⁽²⁾

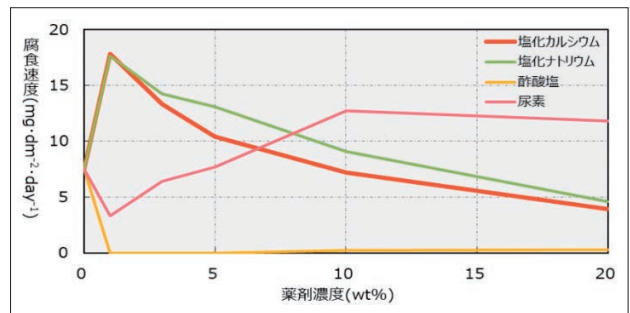


図8 金属腐食について比較した図 (大原・福山1997)

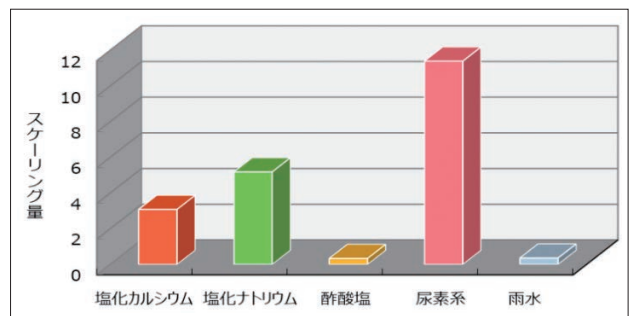


図9 コンクリート劣化の比較 (株式会社トクヤマ 2022)

3.7 合意形成過程

合意形成過程は3段階に分かれている。1段階目は、前過程で優位と判断した案のメリット・デメリットを整理する。2段階目は、ステークホルダー(農家)との合意形成や社内

での上申である。提案した案への質問を受け、デメリットへの対策を調整する。この中で、CSRなどのキャリア教育との関連性を持たせた発問(どちらも富栄養化の可能性があるため、それへの対策として水質調査を行うか、融雪剤以外の影響であると主張するか)を行い、反応を収集する。3段階目は、成功・失敗フィードバックである。2段階目で選んだ選択肢によって、成功や失敗の結果を表示する。失敗を経験できることがゲーミング教材の良さでもある。

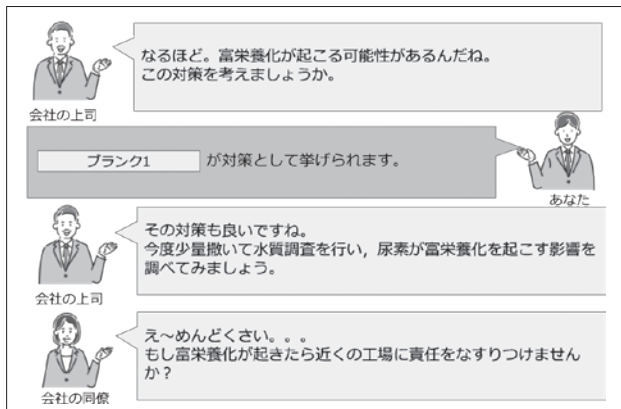


図10 社内会議で富栄養化対策を議論する場面

3.8 解説

解説ではゲーミング教材内の重要学習事項を取り上げ、ふり返りをさせて、知識の定着を図っている。1つ目の縦糸・横糸モデルの解説では、その重要性や各過程の説明を行っている。2つ目は、社内の同僚・上司に加え、政府関係者や農家の人などのステークホルダーとの話し合いを振り返っている。ここでは合意形成等をするにあたって、人間関係・社会形成能力が必要であることを学ぶ。3つ目に、企業の意義や社会的責任(CSR)を扱い、企業が社会に及ぼす影響を知ることで職業観・勤労観を養う。

4. 教材の形成的評価と改善・汎用化の方向性

4.1 教職課程履修生による評価

表1は、今回開発した教材を教職実践演習の履修生(筆者らを除く10名)および来年度実習生(5名)に依頼し、教材内

表1 開発したゲーミング教材を教職課程履修生に体験してもらった際の事前・事後アンケートの結果 (*は5%有意)

質問項目	事前	事後
1.融雪剤がどういうものかを知っている/わかった	3.0	4.6*
2.自分は問題解決が得意だと思ふ/思った	2.7	2.7
3.普段の問題解決では問題解決のプロセスを意識して行っている/行うことが大事だと思った	2.1	4.0*
4.より良い問題解決のために、科学的な見方・考え方を意識して活用することが大切だと思ふ/思った	4.0	4.6*
5.科学的な見方・考え方が身に付いていると思ふ/付いたと思ふ	2.5	4.0*
6.色々なトピックを通じてそれぞれの分野の専門知識を習得することは大事だと思ふ/思った	4.4	4.1
7.色々なトピックを通じて理科や情報などの見方・考え方を習得することは大事だと思ふ/思った	4.4	4.4
8.理科は、あなたが将来就くだろう仕事で役に立つと思ふ/思った	4.6	4.4

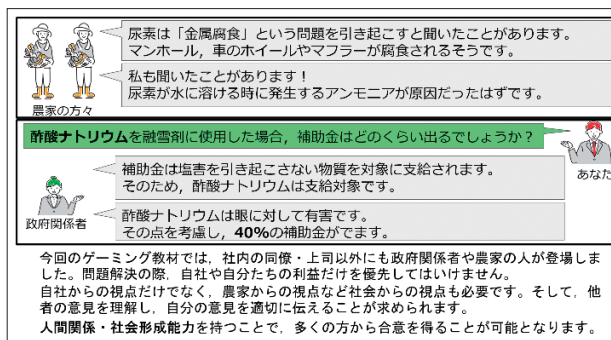


図11 人間関係・社会形成能力の必要性についての解説

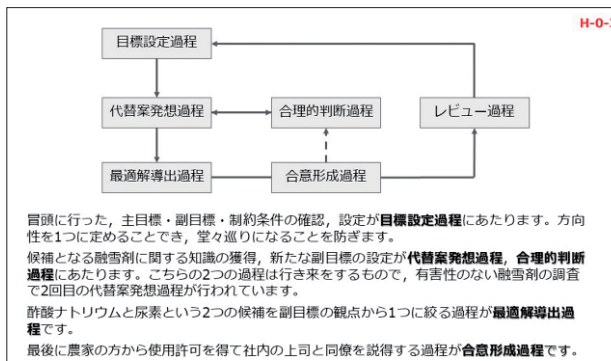


図12 縦糸・横糸モデルについてふり返る場面

に設定した事前・事後アンケートに回答してもらった結果である。回答への協力は、7名から得た。

アンケート内容は、事前と事後で表現が異なる。集計では、「そう思わない」「どちらかというと思わない」「どちらでもない」「どちらかというと思ふ」「そう思ふ」を1~5の5段階の数値に変換した。事前・事後を対応のあるt検定で比較した結果、有意差の見られたQ1とQ4、Q5の結果から、今回のゲーミング教材が化学の教科教育に有効であることが示唆された。また、Q3の結果から、キャリア教育として課題対応能力の育成に対しても有効であることが示唆された。ただし、今回の回答は、生徒の反応を的確に推測して回答したものとは必ずしも言えない。

4.2 ログにおける正答率や反応時間の分析

ゲーミング教材の学習過程は、毎画面の反応時間、回答、その正誤判定、遷移先などがログとして残る。ある画面で誤答した場合、同じ画面を繰り返す場合もあれば、別の画面に遷移する場合もある。前者の場合は、1回毎の反応時

間が残るが、以下の処理ではその合計時間を集計する。

なお、教材は、過程ごとに中断することも、同じ過程に繰り返し取り組むこともできるが、今回は、初回の取り組みのみを分析対象にする。また、画面の数値に誤記があり、正しく計算しても正解とマッチしない画面が2つあった。代替案発想過程の4種類の融雪剤のうち、3、4種類目の計算を行う箇所である。その部分を通過していないC、G(4種類目のみ)、D(両方)については、当該部分が積算対象から外されている。

まず、全過程を終了するのに要した学習時間を個別に求めた結果が、表1である。ただし、この結果には、特定の画面で他の画面とは大きく異なる時間が経過しており、離席していたと判断した「離席処理分」(2行目)を含んでいない。表1の3行目(「再困難画面」)は、離席していたと判断した根拠として、それ以外の画面で通過するのに最も時間を要した画面の通過時間を示した。

表1 ログから得られた学習時間の分析結果(単位:分)

	A	B	C	D	E	F	G
全学習時間	58	49	116	27	123	99	54
離席処理分	-	430	281	88	224	173	-
最困難画面	8.9	11.8	30.3	6.6	11.6	72.2	7.2

離席処理分は、特定の1画面のみであり、B以外は、1回で正解しているか、過程の最初の画面の1回目の反応だった。一方、Fの再困難場面は、Bの離席処理分と同じ画面で、何度も誤答した結果である。このケースも、Webや教科書で復習してから取り組んだのか、休憩をとったのか判断がつかない時間があつたが、総学習時間に含めた。

当該画面は1種類目の融雪剤について凝固点降下の計算をする問題であり、この教材の中の核心部分で難易度が高い。教材では、まず、1つ目の画面で計算結果の入力を求め、誤答した場合は、次の画面でヒントを与えて正解するまで繰り返し入力を求める。上述の時間を要したケースは、いずれも2画面目での反応時間であるが、長時間を要したのは誤答を繰り返す中の1回のみである。最初の融雪剤に関しては、2人が1画面目で正解したが、2画面目を1回で正解できた学生は1人のみである。それ以外の4人は、ヒントを見た後も、2回、6回、10回以上、10回以上、それぞれ誤答している。一方、2種類目の融雪剤では、1画面目で4人が正解し、残りの3人は、2画面を1回または2回で通過できた。3種類目の融雪剤は、画面に提示した分子量が間違っていたが、1人は1画面目で正解し、4人は2画面目で1~4回以内に正解した。4種類目に取り組んだのは、A、B、E、Fの4人で、3人は1画面目で正解し、残る1人も2画面目を1回で通過した。

融雪剤がイオンに分解することで、凝固点がより大きく降下するという事実は、7人中5人が忘れており、ヒントを見ても4人はすぐに気づけなかった。しかし、一度、知識を確認して正しく理解すれば、同じ失敗を繰り返す可能性

は低くなっている。仕事をする上で、全ての記憶を疑っていたら作業は進まないから、何は自分を信じ、何は疑い確認するのか、それが仕事の成否に関わることを認識させる必要がある。また、そのリスクを下げるためにも、一人で意思決定せずに、チームで協力することの重要性をキャリア教育の一環として認識させる必要がある。

表1の「最困難画面」の内容を確認すると、BとFは、前述した1種類目の融雪剤について正解するまで凝固点降下の計算を行う問題である。Gは3種類目の融雪剤で同様の計算をする問題だが、表示されていた数値が間違っていたことが原因である。Dは1つ目の融雪剤の安全データシートを読み取る問題で、D以外の6人中5人は1回で、残る1人も2回目で正解していた。Eは、図5の場面であり、Eも含めてここを通過した4人全員が1回で正解している。

Aは合意形成過程の冒頭で、4つの選択肢(「農家の人に使用してよいか確認」「社内で尿素使用に向けた上申」「政府の人に補助金の確認」「塩害被害の調査」)から、適切な作業の進め方を選択させる問題である。正解は、「農家への確認⇒社内で上申」であるが、(異なる副目標を選択してここを通過していない2名を除き)5名全員が1回目は誤答しており、Aの誤答回数が特に多いわけではない。Cは、合意形成過程で、農家の人から尿素が金属腐食を招く可能性を指摘され、その化学反応式の一部を選択肢から回答する問題である(図13)。この問題に1回で正解したのは1人で、ここを通過した他の4名は、2、3、4、4回目に正解した。Cは4回目に正解したが、時間が1桁大きい。

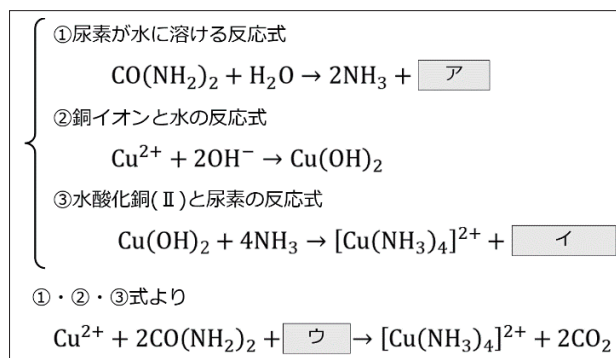


図13 縦糸・横糸モデルについて繰り返る場面

Dのように、安全データシートの読み取りでも間違いが発生する可能性がある。教材では、誤答した時にシートの読み取り方を解説した後、正解するまで回答を求める。よりリアリティを高めるなら、安全データシートの読み方を自分で調べるかどうかを選択させ、さらに読み取った結果が正しいかどうかを正誤判定せずに、チームで確認し合うかどうかを選択させるといったシナリオが考えられるだろう。

合意形成過程の進め方を確認するのは、教材側で用意したシナリオに即して進めるためであるが、選択したシナリオに即して動作を変えることも可能である。その場合、農家の人および社内会議で、何を説明し、議論し、質問を受

け、どう回答し、どうまとめ、話を進めるのか、つまり、シナリオそのものを学習者に作らせ、そのシナリオ次第で結果が変わるように作るのも1つの手である。

一方、**図13**の化学反応式を理解したり導いたりする必要は必ずしも無いだろう。これは尿素が銅を腐食させることを確認するためだが、副目標に「車のタイヤなど金属腐食を抑える」を選択した場合は、**図8**で尿素が金属腐食を招くことを確認している。つまり、化学反応式を持ち出さなくても、確認する方法は他にある。人への影響については安全データシートで確認したのと同様である。重要なことは、それらは外部知識で確認できることか、内部知識を活用しなければ導けないことかの識別である。

4.3 改善方針

今回の教材は、松田(2018)で提案されたゲーミング教材開発手法の範囲で開発された。それ故、**図5**の代替案の比較表は、事前に作成したスライドを用いているため、表中の数値と事前に計算した値とが一致しなければならない。つまり、計算を誤ったまま意思決定に進むというような仮想体験をさせることが難しい。結果的に、「安心して失敗できる」機会を提供するというゲーミング教材の利点を生かせていない。キャリア教育と教科教育とを関連づけ、教科学習への動機づけを行うなら、「正しい理解の下に意思決定を行わないと、誤った判断が招くリスクは大きく、取り返しがつかない可能性もある」という体験をさせたい。

これを改善するには、例えば、入力された数値に基づき**図5**の表を自動的に作成する必要がある。この点については、現状の教材開発手法でも、ログから必要なデータを抽出し、表示に使うことが可能である。ただし、それを表形式で表示できるように少し拡張する必要がある。また、単に表示を変えればよいのではなく、誤った数値の場合、制約条件を満たす代替案や解としての優劣関係も変わるため、その後の分岐のさせ方なども詳細に検討する必要がある。

一方、そもそも正解に導く必要が無く、単に、学習者の判断に即して代替案を残し、シナリオを進めればよいと考えれば、分岐を複雑にする必要は無いとも考えられる。むしろ、それぞれの判断場面で適切な判断をしたのか、誤った判断をしたのかを評価し、最後にフィードバックできるようにすることが重要になるだろう。

誤った理解に基づき、計算間違いをした場合、現状の教材通りにシナリオを進行させることも可能であるが、人間関係形成・社会形成能力の育成という観点からも、課題対応能力の育成という観点からも、同僚や上司等とコミュニケーションしたり、自分の理解に間違いが無いかを情報収集して確認するなど、ミスや誤解が無いかを検討し修正する過程を取り入れることが重要である。それらは、合理的判断過程の一部に常に取り入れるよう改善する必要がある。

以上の改善をした場合、仮に誤った判断等をした場合のフィードバック方法も工夫する必要がある。今回の題材では、最も重要な誤りは、凝固点降下において凝固剤1molか

ら何molのイオンが電離するかで、必要量が大きく変わる点に気づけるかどうかである。この点を誤ると、本来、価格面で制約条件を満たす解を排除したり、優先順位を誤る可能性がある。その場合、ライバル会社の出現を想定し、同じ融雪剤を提案したのに、ライバル会社に価格面で負ける、あるいは、より良い融雪剤を提案したライバル会社に負けるなどの結果を提示し、その理由をふり返り過程で考えさせることも考えられる。これにより、自己理解・自己管理能力の向上に寄与することを期待する。

一方、今回の教材で工夫した点として、コスト、人への影響に加えて、3つ目の副目標を選択させるようにした。これによって、特定の正解が存在するわけではなく、多様な結論がありうるというリアリティは高まったが、教材内の分岐が複雑になった。ここで考慮すべきは、副目標を選択させる必要があるのかという点である。例えば、**図13**は、副目標として「水質への影響を小さくする」を選んだケースで、農家から「金属を腐食させる可能性」を指摘された場合の対応を考えさせている。つまり、選択していない他の副目標を検討させているのである。そうであれば、最初から全ての副目標を示した上で、制約条件を満たす代替案を絞り込み、最後の最適解導出過程で、いずれかの副目標を重視して優先順位を決めるが、達成度の低い副目標について疑問点や反対意見が出てきた時に、どのように合意形成するかのオプション案を考えさせるという統一的な流れで教材を作成する方がシンプルになるだろう。

4.4 汎用化の方向性

ここまでの議論をふまえ、類題を作成する上で、特に学習目標を達成するために共通化すべきポイントを検討する。

4.4.1 課題の状況設定と目標設定過程

課題対応(問題解決)能力を育成するために、基本的には問題解決の縦糸・横糸モデルに即した教材とする。同様の教材は、各教科の探究活動用教材でも開発されている(例えば、川口・蓮見・服部・浜瀬・山川ほか2023)。両者で同じモデルを使うことで、汎用的な問題解決力を育成できるが、問題解決力を育成すればキャリア教育になるのではなく、キャリア教育にふさわしい文脈を設定することが重要である。具体的には、実際の仕事で遭遇するような場面を設定することや、トレードオフ関係にある副目標の達成度が代替案によって異なる状況設定にすることである。これにより、どの案を選択しても、達成度の低い副目標に対する対策を考え、合意形成する必要が生じる。それを会社内、顧客等と議論する場面を設定することで、人間関係・社会形成能力の育成につなげることができよう。

4.4.2 代替案発想過程と合理的判断過程

改善案で検討した通り、教科の領域固有知識を誤って適用した場合に生ずるリスクを認識させ、それを回避するために、専門的知識とともに、自己管理能力や問題解決力、

コミュニケーション力が必要であることを認識させる必要がある。そのためには、ミスを犯す機会とその結果を認識させる必要があり、ミクロレベルで正誤の評価をするのではなく、最後まで活動した後に結果を示し、どこに問題があったのかを振り返らせるという枠組みが必要である。

4.4.3 最適解導出過程と合意形成過程

最適解導出過程は、副目標間にトレードオフ関係があることを前提に、いずれかの副目標を優先して代替案に順位付けをさせる。ただし、他の案よりも達成度が低い副目標については、ステークホルダーからの要望を予測し、対策を検討して合意形成の準備をしておく必要がある。その活動をするかどうかを選択させ、それを行うか否かによって、合意形成の成否が変わるような設計が必要である。

4.4.4 ふり返り過程とそれを支援する解説

以上により、この教材では、その都度正誤判定を受けて知識習得を深めるのではなく、最後に活動の成否が知らされ、活動過程のどこに問題があり、どう改善すべかをふり返り、学ぶことが目的となる。その意味で、ふり返り過程と、それを補う解説とが重要になる。

5. まとめと今後の課題

本研究では、高校理科におけるキャリア教育用ゲーミング教材を開発した。理科の知識を活用した問題解決力や、社内及びステークホルダーとの議論や合意形成でコミュニケーション能力の発揮や企業倫理に即した行動を求める教材とした。形成的評価の結果も考慮した改善策の検討と、類題作成のポイントも検討した。今後、改善案の実現を図り、高校生を対象とした実践と評価を行う必要がある。

注

- (1) 手引きの表には、「B 書くこと」に「課題を解決したり・・・」の記述があるが、これは、「A 話すこと・聞くこと」の(1)ウであり、誤記と解釈した。
- (2) 誌面スペースの都合で抜粋等の加工をしている。

謝辞

教材の形成的評価に協力頂いた東京工業大学教職課程履修生の方々に感謝する次第である。

参考文献

- Bruer, J.T.(1993)*Schools for Thought: A Science of Learning in the Classroom*. The MIT Press.
- 中央教育審議会(2011)今後の学校におけるキャリア教育・職業教育の在り方について(答申), 文部科学省

- 遠藤信一(2016)工業専門教育の入口・出口としての技術者モラル教育, 日本教育工学会第32回全国大会論文集, 99-102
- 富士フィルム和光純薬株式会社(2023.12.31)製品検索, <https://labchem-wako.fujifilm.com/jp/index.html>(参照日2023年12月31日)
- Ito, Y., and Matsuda, T.(2013). Design framework of problem-based instruction in mathematics and development of a lesson plan and e-learning material for the lesson, *Proceedings of the 11th Annual Hawaii International Conference on Education*, 2106-2117.
- 株式会社トクヤマ(2022)凍結防止・融氷雪用 塩化カルシウム, https://www.tokuyama.co.jp/products/antifreeze_calciumchlorideformeltingsnow.pdf(参照日2024年1月12日)
- 川口万太郎・蓮見真由香・服部竜大・浜瀬里紗子・山川萌恵・油布稜平・近藤千香(2023)電柱地中化政策を題材とした理科「探究活動」導入教材の開発と実践, *Informatio*, 20, 31-36
- 吉川肇子(2023)教育とゲーミング, *Informatio*, 20, 3-4
- 厚生労働省(2019)就職氷河期支援施策の取組について, https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_06487.html(参照日2023年12月31日)
- 松田稔樹(1993)教授活動モデルに基づく授業改善, 坂元昂監修・牟田博光編「教育システムの設計と改善」, 第一法規出版, 89-110
- 松田稔樹(2016)問題解決の本質とICTを活用する目的の意識化, *Informatio*, 13, 117-126
- 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
- 文部科学省(2009)高等学校学習指導要領, 文部科学省
- 文部科学省(2011)高等学校キャリア教育の手引き(2011年11月), 文部科学省
- 文部科学省(2023)中学校・高等学校キャリア教育の手引き(2023年3月), 文部科学省
- 国立教育政策研究所・生徒指導・進路指導研究センター(2013)キャリア教育・進路指導に関する総合的実態調査第一次報告書(概要版), 国立教育政策研究所
- Numazaki, K. and Matsuda, T.(2016)Development of a Gaming Material and a Design Framework for Integrating Career Education into PBL in Mathematics, *Proceedings of the 14th Annual Hawaii International Conference on Education*, 2261-2270
- 沼崎公平・松田稔樹(2016)数学教育にキャリア教育を融合させた「事業計画立案」ゲーミング教材の開発と評価, 日本教育工学会研究会報告集, JSET16-1, 283-290
- 大原雅和・福山良樹(1997)各種凍結防止剤溶液中浸漬による金属腐食試験-化学的因子に基づく考察, 寒地技術論文・報告集, 13, 325-33