

2023年度東京工業大学「数学科／理科教育法実践演習Ⅰ・Ⅱ」

における教育実践研究の指導と高大連携の試み

Supervision of Student Teachers' Research Activities and Collaboration with High School in FY2023
"Exercise of Practical Research on Mathematics/Science Education I/II"

永原健太郎* 松田稔樹*,**
Kentarō Nagahara* 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

本稿では、東京工業大学の教職科目として2023年度に開講された「数学科／理科教育法実践演習Ⅰ」「同Ⅱ」における教育実践研究指導および東京工業大学附属科学技術高等学校との連携の概要を報告する。今年度の特徴的な取り組みとして、「同Ⅰ」では授業回数を7回としたことにより、「総合的な学習の時間」で取り組む政策に関する調査と年間指導計画の立案が充実した。「同Ⅱ」では、「教授活動ゲーム」を初回に配布して、最初からゲーミング教材を制作するための環境に触れながら教材設計することができた。「同Ⅰ」「同Ⅱ」を通して、課題を設定するときに、2つ以上の案を考えながら進めることができたことは、代替案を常に考えられることにつながる。さらに、履修者が2022年までの取り組みにより、「新・逆向き設計」を学ぶ機会が多かったことも特徴としてあげられるだろう。このように今年度の活動を振り返り、今後の指導の改善や、高大連携の強化を探る。

キーワード：新・逆向き設計、縦糸・横糸モデル、総合的な学習の時間、探究活動、文献研究

1. はじめに

1.1 東京工業大学「数学科／理科教育法実践演習」の概要

東京工業大学では、中学校一種免許状取得希望者を対象に、「数学科／理科教育法実践演習Ⅰ」、および「同Ⅱ」（以降、実践演習Ⅰ・Ⅱや単にⅠ・Ⅱのように記す）を各2単位で開講している。当該科目は、2016年11月の教育職員免許法改正、及び2017年11月の同法施行規則の改正（以降、新法）により、中学校一種免許状の取得に必要な「各教科の指導法（情報通信技術の活用を含む）」の単位数が8単位に増えたことを受けて、2020年度から開講され、今年度で4年目を迎える。2020・2021年度は、実践演習Ⅱにおいて教科の探究活動用ゲーミング教材の開発と実践研究報告を行っていたが、2022年度からは実践演習ⅠとⅡを連携させて、Ⅰでは新逆向き設計（松田2020）に即して各教科の必修科目の年間指導計画作成とⅡで作成するゲーミング教材の課題

の検討を行い、Ⅱで教材を作成して実践結果を発表し、研究論文にまとめるという活動を行っている。

2023年度の履修生は数学・理科合わせてⅠが8名、Ⅱが7名であった。Ⅰが1名多かったのは、他大学から大学院に入学した学生が既に教科教育法を6単位取得しており、2単位のみ履修の必要があったからである。残りの7名のうち、今年度初めて履修した学生が5名、昨年度、数学または理科を履修し、今年度はもう一方の教科を履修した学生が各教科1名ずついた。

東京工業大学の教職課程において、実践演習Ⅰ・Ⅱに関係する科目の体系をまとめたものが図1である。教科教育法Ⅰ・Ⅱは各1単位で、学習指導要領の理解に主眼を置く。教育工学は1単位で、心理学の成果を活かした授業設計の手法を学ぶが、その中で、新逆向き設計の基盤となる問題解決の縦糸・横糸モデル（Matsuda 2015）を学ぶ。教育課程編成の方法（各1単位）と総合的な学習の時間の指導法（特別活動の指導法と合わせて1単位）で新逆向き設計を学び、一度、「総合的な学習の時間の探究活動の設計⇒教科の探究活

動の設計⇒教科の単元指導計画作成」を体験する。教科教育法3では、「指導案作成⇒模擬授業⇒指導案改善」を2回行った後、再度、新逆向き設計に基づく教科の探究活動の指導計画と単元指導計画作成を行う。

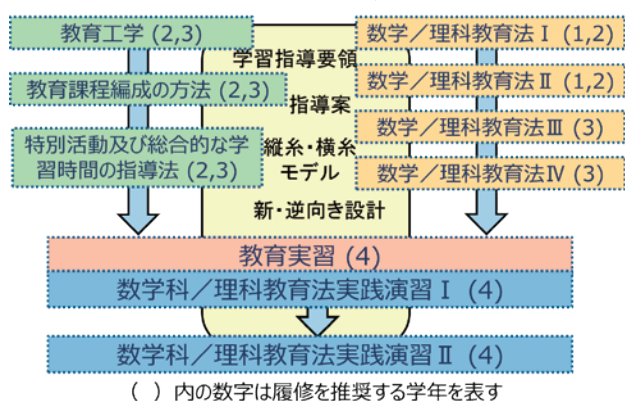


図1 実践演習Ⅰ・Ⅱに関連する本学教職科目の体系

1.2 これまでの実践演習Ⅰ・Ⅱのふり返り

2022年度の実践演習Ⅰ・Ⅱについては、永原・松田(2023)にその詳細が述べられている、ここでは2023年度の授業開始前に検討した改善点・改善方針を整理する。

まず、実践演習Ⅰでは、Ⅱで開発する教材で扱う政策評価を検討するが、数学では炭素税によってCO₂が減ったかどうかの評価について議論した。しかし、Ⅱにおいて、この題材は採用されなかった。なぜなら、学生自身がデータ収集にかなりの時間を要し、生徒が行うテーマとして難易度が高いと判断したためである。

彼らがより早い段階で問題点に気づくためには、Ⅱが始まる以前のⅠの段階で、探究活動の導入授業(45分)中に生徒に何を行わせるべきなのかを十分検討させる必要がある。一方、Ⅱでゲーミング教材を開発する際に学生が考えるべきことは、生徒に問題分析や代替案発想の方法をどう指導したらよいか、特に、問題解決に教科の学習成果を活用する方法をどう指導するかである。教材で扱う題材は、そのまま生徒が探究活動で取り組む題材にはなるのではなく、生徒は自分で題材を選ぶ。この点に着目すると、少なくともデータ集めの困難さが教材の題材の適否の直接的な判断材料にはならない。この点も今後履修する学生を指導する上で強調すべきだと考えられる。

次に、2022年度に作成された数学の教材(熊谷ら 2023)と理科の教材(川口ら 2023)については、松田(2023a)、永原・家本(2023)、松田・近藤(2023)が改善すべき点を指摘しているが、その中で、数学、理科とも目の前の課題解決(具体的には無電柱化政策の評価)に重点が置かれ過ぎている点に着目する。前述の通り、教材は題材を通じて他の問題にも応用可能な課題解決の方法を学ぶことに重点を置くべきである。しかし、結果的に、目の前の課題を解決することに主眼が置かれ、本来の趣旨を伝えられていない。データ集めについても、それを教材内で扱う必要は無く、デー

タが集まった後の活動に焦点を当てるべきなのと同様である。これら、どこに焦点を当て、何を省略して時間を短縮するかを考えることは何度も強調する必要がある。

上記と関連して、2022年度の数学では、実践演習Ⅱの段階で、「投入した税金が回収可能か」を評価する枠組みを学生に提示した。これ無しでは、政策の評価と教科の学習成果との関連づけはできなかった恐れがあった。結局、政策と教科の学習成果との関連づけを学生自ら発想することが、実は難しいことだと言える。これこそ、現状の教科教育が社会に役立つ学習を提供できていない証左であり、教科の探究活動が改善されない理由でもある。教科の学習成果の活用法は、図1に示した前提授業でも触れられているが、何度も繰り返して、まず学生に定着させる必要がある。

教材の設計についても、工夫できる余地がある。例えば、数学では、①生徒に馴染みのない言葉が多用され、画面が切り替わると見えなくなり、配布資料にも記載が無い点、②問題を分析するための数学的な方法が1つだけで、代替案が無い点などが挙げられる。

理科では、①全体でスライドは71枚もあるが、発問が全体で5つしか無かったため、教材をちゃんと読まない「チラ見」という状態で進む生徒が多く見られた。また、②理科では、教科の学習成果を政策の根拠データの批判的検討に活用すべきだが、政策評価に重点が置かれたため、理科の学習成果の活用が乏しくなった点が挙げられる。

2. 目的

本稿では、2023年度の「数学科／理科教育法実践演習Ⅰ」および「同Ⅱ」における学生への指導、附属高校との連携について、特に、新たに工夫した点、改善点に焦点を当てて報告する。実際に学生が作成した各教科の教材については、山岸ら(2024)および杉原ら(2024)を参照されたい。

3. 2023年度の授業実施概要

3.1 Ⅰ・Ⅱを通じた全体スケジュール

実践演習Ⅰ・Ⅱの年間スケジュールと、教育実践の場である附属高校のスケジュールを図2に示す。

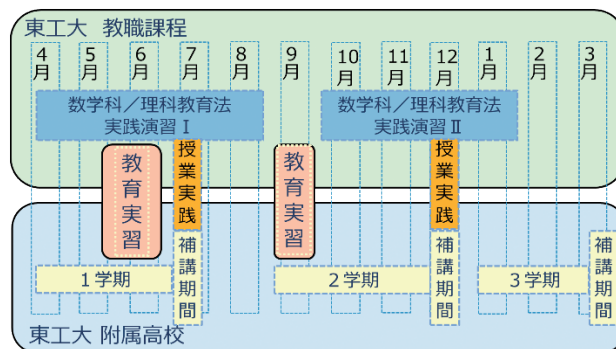


図2 実践演習Ⅰ・Ⅱに関わる年間スケジュール

本授業科目を履修する学生の多くは、同時並行で教育実習も履修する。東京工業大学では、教育実習を原則として附属高校で行うこととしており、実習期間は6月期、9月期とも2週間である。本授業科目を履修する学生は両期に2週間ずつ教育実習を行う可能性が高い。よって、この期間を避けて集中講義形式で授業を開講している。

実践演習Ⅰは、新・逆向き設計で、「総合的な学習の時間における課題の検討⇔教科の探究活動の課題設計と活動⇔教科の単元指導計画」という手順で設計を進める。1.2をふまえ、2023年度は、第5回(前年度教材での授業実践)に参加する時には、Ⅱで開発する教材のイメージがある程度できてきているように、教育実習前に3回、実習後に4回開講することとした。そのために、第5回の実践を1日から半日(交代で担当)に短縮し、実習前に1回増やした。これにより、2022年度よりも落ち着いて作業を進めることができた。

表1 「実践演習Ⅰ」各回の授業内容

回(日付)	各回に実施した活動内容
1(4/15)	課題学習／探究活動テーマの発見・具体化
2(4/26)	政策の理解・問題解決の方法論の考察
3(5/17)	総合的な学習の時間で扱うテーマを決める
4(7/5)	政策評価課題の改善
5(7/12)	附属高校におけるゲーミング教材の実践
6(7/26)	既存の年間指導計画を分析した結果と立案
7(8/26)	作成した年間指導計画の発表および改善

Ⅱについては、9月期教育実習終了後に開講し、12月に実践することが決まっているため、前年度と同様とした。Ⅱの1回、2回の活動はⅠでも行っているが、Ⅰは「新逆向き設計」に基づいて年間指導計画を立てるための仮の課題で、探究活動そのものを学生自身が具体的に体験することに主眼があるのに対して、Ⅱは生徒に探究活動をさせるための教材の設計に主眼を置いた詳細化に主眼がある。

表2 「実践演習Ⅱ」各回の授業内容と教育実践

回(日付)	各回に実施した活動内容
1(9/27)	「総合的な探究の時間」の課題(政策)検討
2(10/11)	「課題学習」「探究活動」の課題検討
3(10/25)	モデルに即したシナリオ検討
4(11/8)	スライド(各画面の提示情報)の確定
5(11/22)	ゲーム盤の作成(対話方法・内容の具体化)
6(12/6)	教材の形成的評価と改善方針検討
* (12/15)	【理科】附属高校における教材の実践
* (12/19)	【数学】附属高校における教材の実践
7(1/12)	成果発表会(江戸川大学情報教育研究会)

3.2 「実践演習Ⅰ」の各回の詳細

第1回授業は新逆向き設計の復習と、過去に作成された教材の問題点の指摘から始まる。学生は、原則として図1

の前提科目を履修しているが、前述の通り、2023年度は他大学から大学院に入学した学生がいたため、基本的なところから解説が行われた。重要なポイントは、教科内容を活用するのに都合の良い課題を選ぶのではなく、SDGsに関するありふれた政策の評価を題材にすることがむしろ望ましいこと、各教科の学習成果の活用の視点は、Matsuda and Nagahara(2021)のチェックリストに示された通りであること、教科の学習成果の活用を生徒任せにするのではなく、政策評価に汎用的に使える方法論を明示的に教える必要があることなどが強調された。なお、理科の学習成果を使って政策の根拠データを批判的に検討する際に、市民の立場と専門家の立場を切り分ける必要があることが強調された。市民レベルでは、細かな正確性は必要ではなく、必修科目で得られた知識を用いて、疑問点を上げられるようになることが重要であり、その疑問を解決し、説明する責任は専門家側にある点が強調された。

また、教科の指導を見直す必要があることを考えるために、自分たちの担当する数学や理科以外の教科として、情報科の例が提示された。具体的には、松田(2023)に示された総合演習課題や松田(2024)に示されたChatGPTに関する学生への問いなどの例である。そこから、情報科の授業は入試の問題を解くことに主眼を置くのか、社会で広く使われる情報システムの導入について、メリット・デメリットを考え、賛否や新たな法整備の必要性を考え議論したり、個人レベルの防衛策を考えたりする力を育成することに主眼を置くのかなどが問われ、数学や理科でも同様の問いを考える必要性があることが指摘された。

その後、2022年度の数学および理科チームの教材、それを永原・家本(2023)が改良した教材を体験してもらった。また、理科チームの教材の問題点(1.2参照)やそれを改善する視点、例(松田2023a)が示された。例えば、電圧が高い方が大きな熱エネルギーが生じ火災が発生しやすいことを、ジュールの法則を引用してまで理解させなくても、乾電池と豆電球の実験から類推可能ではないかといった指摘がされた(化学反応も、その詳細を教えるより、その反応が現実世界では何に相当するのかを教えることの方がより重要であることも指摘した)。また、ハザードマップの活用を提起するだけで、活用法には言及していない。電柱倒壊が電線の切断原因と言っても、調べると、電柱が折れることは無く、地面崩壊で倒壊する。ハザードマップを使うなら土砂崩れに着目すべきだが、土砂崩れで土砂がなだれ落ちる警戒地域ではなく、その上部にある実際に土砂が崩壊する場所の電柱に着目する必要があるといった使い方を示す。さらに、電力供給に関するデータを調べても、未公表のものが多く、理科のデータを採すには、実際の政策提案で公表されているものを参照するのがよいことも指摘した。

その後、学生への課題として、数学、理科のそれぞれで、評価する政策を複数案考えさせた。1時間程度教科別に作業させた後、最終的にそれぞれ1つ、(理科班は小さいものを合わせると全部で3つ)の政策を集めて、発表において評

価方針を示した。

理科については、例えばデータに関数を帰納的に当てはめて考えるという提案があったが、それは数学で扱うべきであり、むしろ、因果関係に着目して「こういう要因が見逃されているのではないか」という形で理科の知識を使うべきことを指摘した。具体例として、変換には効率という概念があり、100%変換されないのには理由がある。データではそれが考慮されていないのか、考慮した上で無視できると判断したのか。などが論点になりうると指摘した。

データの探し方についても、現実に即した正確な内容を示すことが重要なのではなく、問題解決を行う方法論を教えることに主眼を置くべきと指摘した。例えば「この政策に関するデータは無いが、関連するこういうデータがあった」として、そこに疑問点があれば、同様の問題が無いかどうか疑問をぶつけることは可能になることを指摘した。

第2回は、まず、第1回の授業中に情報収集が完了しなかったため、各自で分担して情報収集した結果やそれに基づいて自ら探究活動をした結果を発表してもらった。授業担当である著者らとの質疑応答を踏まえ、継続して調べることとなった。なお、高校生になったつもりで探究活動することを確認し、活用する知識は高校の必修科目の内容から大きく逸脱しないようにすることが注意された。

その後、第1回授業時に体験してもらった教材のログについて、松田(2023b)のログ分析ツールを活用して分析した結果(永原・家本2023)を提示し、自分自身と実際の生徒の反応との共通点やギャップを認識させた。また、新逆向き設計に基づく年間指導計画の作成についての概要を述べ、検定教科書やそれに対応する年間指導計画には不必要な内容や追加した方がよいものがあることを伝えた。また、今回の政策に関する各種のデータを集めて理解を深めることを通して、昨年度の教材の課題点でもあった、問題解決の方法論として何が重要なのか、生徒が教科の学習成果を活用するためには何が重要なのかを考えることを述べた。

第3回も、冒頭は各自の探究活動の経過報告から始まったが、この回は、特に各教科との関連づけについて説明を求め、提案された政策評価方法等についてフィードバックをした。この時点では、数学、理科ともにサブテーマが個別に独立して存在しているような状況であったが、新逆向き設計に基づき年間指導計画を作成するには、総合的な学習の時間で扱う政策テーマを決めることが重要となる。一方で、常に複数の選択肢を用意しておくことも重要であることを強調した後、数学、理科合同で話し合いをさせたところ、授業時間内に総合的な学習の時間のテーマを決めることが難しい状況であった。そのため、第4回前に方法論に注目できるテーマを検討し、決めることとした。

最後に、第4回までに教育実習期間を挟むため、補講期間(7/12～7/19)中に実施する実践の日程調整の情報を集計したり、2022年度学生の論文を配布したりした。

第4回は、第3回で未決定だったテーマに関して、数学、理科それぞれで扱う政策テーマを2つにまで絞り込むこと

にした。議論後、理科、数学の順に、生徒に例示する2種類の教材を設計した内容が発表された。その後、理科は数学よりも教材作成の難易度が高いと想定されるため、理科を中心に探究活動の設計の議論が進んだ。質疑の中では、導入教材は方法論に注目することが重要であり、その方法論に対応して、この例ではこのように取り扱うという教材を作成することが重要であることが述べられた。

議論の参考のため、2022年度に理科チームが作成した教材を改善した松田・近藤(2023)が提供され、各自で体験した。また、年間指導計画の作成に向けて教科書を何種類か提示した。提示した教科書は本学の学生の出身高校で使われているような進学校向けのものではなく、数学や理科が苦手な生徒、興味・関心が低い生徒向けに工夫されたものである。これにより、学生の当該教科の教育内容に関する固定概念を払拭することも意図している。最終的に、数学は東京書籍「数学Ⅰ Advanced」(俣野・河野ら2022)、理科は数研出版「化学基礎」(辰巳ら2022)を参考に用いることとし、教科別のグループで年間指導計画を立てることとした。なお、年間指導計画の作成では、ゲーミング教材の作成も意識し、政策を考える上で一般的に役立つ教科の学習成果を考えることが重要であることを強調した。

討議の中で、教員から「教科(科目)の通常授業と、提案された課題学習／探究活動とをどう繋げていくのか?」という問いかけがあった。学生からは「通常授業時から課題学習／探究活動を意識した課題設定を行う。そのためには、新しい単元に入った際に、数学的な定義から始めて学問を教えるというスタンスで進めていくのではなく、その単元を学ぶとどのように課題学習／探究活動に生かされるのかというゴールを提示することが有用になる。」という回答があった。ここから、学生らが自らの理解を深めようとしていることが推測された。

第5回は、教育実践の見学を行った。数学は附属高校1年生を対象に永原・家本(2023)の教材を実践した。理科は松田・近藤(2023)の教材を実践する予定だったが、手違いから、2022年の7月と同じ浅野・松田(2023)を附属高校情報システム分野2年生対象に実践した。

第6回は第4回の宿題である年間指導計画について発表し、討議した。特に、政策評価の際に各教科のどんな学習成果を活用するのか、言い換えると、通常授業で扱うべき教科内容(何を内部知識として教えれば、探究活動で活用できるのか)に焦点を当てた議論を交わした。その際、理科が作成した年間指導計画は、附属高校の2年生対象の「化学」の内容だったため、1年次に履修する「化学基礎」の年間指導計画を立てるよう指示した。また、教科の課題学習／探究活動は、年間2回程度計画すれば良いことを伝えた。

第7回は、教科別に学生が作成した年間指導計画および探究活動について発表があった。数学は特に関数による近似を表計算ソフト(Excel)で行うことが強調された。理科では、「物質の構成と化学結合」の章で、学んだ内容と物質の輸送についての取扱いに焦点があてられた。また、「物質の

変化」の章で、「家庭で導入すべきは太陽光発電か燃料電池か」というⅡで開発される教材につながる探究活動が提案された。議論をふまえて改良された計画・課題は、最終的に9月3日にレポートとして提出された。

3.3 「実践演習Ⅱ」の各回の詳細

第1回は、まず、授業スケジュールの説明がなされた。特に、作成したゲーミング教材の実践を12月中旬に行うため、日程に間に合わせ、かつ取得したログを分析することも含めた作業計画を考えることが重要であることを強調した。よって、第7回に発表する江戸川大学情報教育研究会へ向けての論文については、授業当初から書けることは早めを書いておくのがよいとの助言もした。また、書式の参考として、昨年度執筆された論文も共有された。

次に、「教育課程の編成・実施状況調査」に基づく、総合的な探究の時間の実施状況が共有された。具体的には、多くの高等学校が毎学年1単位ずつ実施しているという実態が共有された。その後、新逆向き設計をする上で重要な問いとなるが、「総合的な学習の時間の初めに、どこまでの外部知識を生徒に示すのか?」という問いを学生に投げかけた。これは、総合的な学習の時間が調べ学習になってしまう理由と関係する。高校で学ぶ教科の学習成果を活用するように探究活動を行うには、生徒が調べる(結果的に誰がやっても同じことになる)と想定されることは、教員が予め提示してしまい、その後の活動に早く進ませるよう指導の工夫を考えるべきとの助言がされた。

この回で、総合的な学習の時間のメインテーマは、「水素」となった。そこで、もしテーマを「水素」としたときに、初回の授業1時間は何を行えばよいのかについての検討がなされた。「水素を活用するものの中には、一体どんなものがあるのか」、「それらが持つメリット・デメリットは何か」、などが考えられる枠組みの典型例として示された。例えばテキストマイニングでよく用いられる「共起ネットワーク」のような図で、水素に関連する概念やキーワードの全体像を地図的に表現して生徒に提示することが考えられるのではないかと議論がなされた。このとき、例えばエネファームはすぐに出てくると想定されるものの一例として挙げられた。

この地図を生徒に提示すれば生徒が調べ学習ばかりに時間を使ってしまふことを避けられると期待される。また、教師側にとっても、この地図があれば、テーマに関して、各教科の学習成果を活用する方法の詳細を設計・検討するときに役に立つだろう。

そもそも、「総合的な学習の時間」で3年間同じテーマに取り組むという授業設計は、かなり不自然である。というのも、学年が進行し、教科の学習も進んでいく中で、総合的な学習の時間だけ同じテーマに取り組み続けるというのは考えにくいからである。仮に、各学年で1単位履修すると考えれば、「総合的な学習の時間」17時間分で約半年である(文部科学省2015)。その17時間の授業デザインを考

えて、それに対して各教科の学習成果を使えるような授業設計にするのが、よりその趣旨を達成するのに適した設計であると考えられる。

この回には、教材開発環境となる「教授活動ゲーム」が配布され、受講者各自が自分のPCにインストールした。また、基本的な教材作成手法も解説された。ただし、学生のPCに関するスキルには差があるため、教材作成における作業分担は各グループ内で決めればよいこととした。

第2回以降は、授業冒頭に前回の宿題について発表し、教員も含めた討議を行う形とした。第1回の宿題は、総合的な学習の時間の導入授業で提示する知識マップの作成であった。学生たちが作成した地図は「共起ネットワーク」型であったが、中心に「水素」があり、そこから次につながる単語との結びつきにはばらつきがあった。

この回は、総合的な学習の時間に「水素」に関連した政策を評価することを想定しながら、理科と数学でどういう導入教材を作成するのか、縦糸・横糸モデルに沿ったストーリーを具体的に考えることを目標とした。今年度は、特に、昨年度の理科の教材設計上の課題点である対話方法の問題点を改良するよう注意が促された。そして、今年度作成するゲーミング教材の発問においては「何回か間違えたら次に進む」、あるいは「ここは正解するまで次に進めない」、などの課題を作るべきであるという指導がなされた。その上で、この時点では、ゲーミングにする題材について1つに絞るのではなく2つの案を提示して、次の発表時に検討することで進めていく方針が示された。

第3回は、前回の授業で検討した教材案を各教科で2つずつ発表し、質疑の中で作成する教材のストーリーの方針を決め、作業を進めた。理科の発表の質疑では、重要な観点について、いくつか議論が交わされた。学生は当初「水素製造」と「家庭用燃料電池」の2つについての政策を検討したが、質疑の中で、「家庭用燃料電池」について焦点化がなされた。その上で、「家庭用燃料電池」は水素を発電に使うが、普通の人は、水素を使った発電に対して、小学校での実験の経験から、化石燃料と同様、反応熱を使って水蒸気発電機を回すものだと思っているのではないかと指摘がされた。実際には、燃料電池は、ボルタ電池などと同様、酸化還元反応により電子を発生させるものである。また、企業は、燃料電池は二酸化炭素を発生させず、環境にやさしい技術であると宣伝しているが、家庭に供給されているガスが燃料電池の水素の元になっていることを考えれば、水素と結びついていた炭素はどこに行ったのか、との指摘もされた。実際には、水素を生成する段階で二酸化炭素が発生しており、正に、このようなことを批判できるようになることが必要であることが指摘された。これらのことは、高校で学ぶ化学基礎の知識を使った重要な理解であるが、一方でそれ以上の細かい反応の理解は必ずしも必要ではない。これらは、質疑やその後の学生たちの調べにより精緻化されていくことになる。

なお、家庭用燃料電池の燃料電池形式は複数種類存在す

るが、今回は特にPEFC(固体高分子形)とSOFC(固体酸化物形)という2種類に注目している。理科の学生は、PEFCとSOFCのデータを比較して提示していたが、このデータを素朴な観点に立ち返って考えてみた方が良いことが指導された。例えば、SOFCは作動温度が1000℃近くと記されているが、この温度は家庭に設置するにはあまりにも高温に思えるし危険ではないのか、といった観点である。実際の製品では、この発生する熱を利用して、水をお湯として保存しておくボイラーとしての役割も同時に担っている。こう考えると、各家庭の生活スタイルによって求める「良さ」が変わり得るし、その良さを設定しておいて、その家庭における「良さ」を検討するという方向が生まれ得る。

数学についても、「燃料電池自動車」と「太陽光電池vs.エネファーム」という2案が出たが、総合的な学習の時間に向けて共通化した方がよい部分があることを考え、「太陽光電池vs.エネファーム」の方に議論が集約された。また、昨年度と比較して、「実践演習Ⅰ」から継続している「関数による近似」を主眼に入れていたため、複数の関数を当てはめるような課題が検討されており、内容についてもこのまま進めることとなった。

なお、第3回授業後に、附属高校での教育実践に向けた日程調整が行われた。

第4回は、各教科からスライド制作の進捗状況が発表された。この時点で、第3回に指摘された方向性が適切に反映されており、授業内では引き続き教材のスライドと対話を本格的に作っていく段階に入った。今後の作業について、第6回に行われる授業の前には、教材を起動させ、動作確認を終えた状態で授業に臨む必要があるため、第5回の授業前には、スライドと対話部分を完成させて提出し、それに対する附属高校の先生のコメントに基づき、授業時に修正するという方針を決めた。

第5回は、数学グループは附属高校の先生からもらったコメントに基づいて、作業を進めることとした。具体的なコメント内容は、「①機器の寿命が20年くらいまでと考えれば、2次関数での近似も使えるのでは?」「②2次関数で近似したとき、判別式 $D < 0$ からわかるのは、売電価格が負にならないということなのでは?」「③指数関数は未履修である」というものであった。①と②については、1次関数ではいつかは売電価格が負になってしまい、それ以降の時間については現実の問題として考察する意味がなくなってしまう。しかし2次関数ではそれを避けることができ、かつ機器の寿命を考えれば、閉区間上の最小値が0以上となる条件を考える問題となる。また、③の指数関数が未履修であるという指摘は、新逆向き設計においてはそれこそが通常授業で学んでおいた方がよい内容であると考えられることもできよう。ただし、ここで言う「学んでおいた方がよい」は、現状の数学カリキュラムで学ぶ指数関数の指導ではなく、いろいろな関数として指数関数というものが存在し、そのグラフはどういう特徴なのかという程度の扱いである点には注意を要する。

理科については、附属高校の先生より、市民教育としてこの教材を受けようと思っているものの、かなり難しい印象を受けたとの意見があり、難易度を下げるべきとのコメントをした。議論を繰り返す中で、大きく、以下の3つの方針となった。1つ目は専門用語に対する解説がないため、難しくなっており、教材内容を考える上では、必要などころに焦点化して、端的に問題に入るべき点である。2つ目は、時間が限られる中で個人差もあることから、教材の前半は全員必須で基本的な内容とし、後半は難易度が高く選択的な扱いでもよい内容で構成してはどうかという指摘である。3つ目は、今回太陽光パネルが全く関係無いため、外しても良いのではないかという点であった。

なお、難易度の高さが指摘された熱効率について、よりわかりやすくするには、温度を上げるエネルギーについて、何がカウントされていて、何はカウントしていないのかが重要であることが指摘された。教材の対象となる生徒は素人であるから、全体像を理解するために必要な知識は、教材内でフォローしなくてはならない。そこで、教材内に、提案者(企業)側に立っていない中立的な立場の人を登場させ、仕組みを説明するような作りにはどうかという提案がされた。これは、実際の探究活動でも、分からないことは(例えば、先生などに)相談するという外部知識の活用方法を指導することにもつながることが確認された。

最後に、次回の授業前に、教材を実際に起動して、動作チェックするよう指示をした。期限を決め、対話内容を記したスライドとゲーム盤を提出し、教材を起動して各自で動作確認することとした。

第6回は、事前に動作確認が済んでいたため、発表は無く、必要に応じて教材の改善方針を検討しながら修正作業を行った。また、教材以外にも、当日配布する資料が必要かどうかを検討するように伝えた。改善した教材については、第6回授業終了後、改善が修了したものが提出され次第、再起動を行った。実践まで余裕のあった数学では、実践前に附属高校の先生方に再度使ってもらい、コメントに基づく改善をした上で本番に臨むこととした。

第6回と第7回授業の間の12月15日に「理科」の授業実践が行われ、12月19日に「数学」の授業実践が行われた。詳細については、数学については山岸ら(2024)が、理科については磯岡ら(2024)が報告している。

第7回は、江戸川大学情報教育研究会での発表という形で行われた。理科についての質疑の中では、以下のようなやり取りがあった。「教材の中で触れているPEFC、SOFCの2種類の燃料電池について、どちらがよいという判断基準はあるのだろうか。つまり、何を重視するとよくて、誰が選んでもよいものなのか。」という質問に対して、学生からは「どちらも一定の安全性が確保されており、そこを同じだと考えたとしても、温度だけでは判断ができない問題である。様々な要因から、最終的には各家庭の生活習慣がどのようになっているかで、判断が分かれる。」との回答がされた。また、政策の選び方についての質問があり、「合理

的判断や代替案発想が複数出てきて、かつ高校生でもわかるレベルのものとなると、工業的な政策で、具体的なものが対象に含まれているものが良いと思われる。」という回答がされた。更に、授業担当教員からは、「自分たちが教材を作っていて、理科の授業は現状のままでよいのか、それとも変えた方がよいのか。」という質問をした。これに対しては、全員から、現状の理科教育には課題があるという回答があった。その理由としては、習った知識がそこでしか使えない知識だと思っていたため、もっと現実的な使い方を学ぶべきであるということであった。また、自分の専門からあえて離れた分野の方が固定観念も少ないので、これまでとは異なる授業に取り組むことがやりやすい可能性もあるとの指摘もあった。

数学についての質疑では、「生徒は、減少している売電価格を1次関数で近似すると、いつか売電価格の値が負になってしまうということはわかっていたものの、このことが一般的に、価格を評価する際は0以上の値をとるべきだという点を意識できていたか」という質問があり、「それを確認するには別の発問を行わないといけない」との回答があった。また、「今回の教材は昨年の教材に比べてかなり改善され、他の事例にも適用できる手法が提示できていた」というコメントがあった。

4. 2023年度の授業から見えてきた課題と考察

2023年度に「実践演習Ⅰ」「同Ⅱ」を受講した学生が最終的に作成したゲーミング教材は、昨年度までの学生の教材に比べるとかなり改善された教材であった。そのうえで、以下のような授業運営上の課題点が考えられた。

「実践演習Ⅰ」において年間指導計画を作成する際、「数学」であれば「数学Ⅰ」、理科であれば「物理基礎」、化学基礎、生物基礎、地学基礎の4つの基礎科目に絞るように提示したほうが、誤解がなくてよいと思われる。

この誤解は、「実践演習Ⅱ」において附属高校2年生を対象とするゲーミング教材を作成することが予定としてわかっていたため、それに向けた形で設計した方がよいという見方と、年間指導計画をより一般的な方針で設計する見方のずれに、学生が気づいたためである。しかし、ゲーミング教材の対象が2年生であった場合は、そもそも教材を「化学基礎」中心に設計したとしても、1年次に履修しているため、既習事項に関する心配はしなくてもよい。また、これらの探究活動への導入教材は、いわゆる教科の「復習」の時間に該当するわけではないため、現在まさに学習している化学の内容に合わせたゲーミング教材を設計しなくとも良い。このずれについては、年間指導計画を立て始める段階でより強調した方がスムーズに進められると考えられ、次年度以降に改善できる点であろう。

「実践演習Ⅰ」「同Ⅱ」を通して、学生は教科で学習する内容の検討と、その内容を学習した成果を活用する方法の検討とを、行ったり来たりしながら課題に臨んだ。既に述

べたように、市民として、教科の学習成果を政策とどのように結びつけて活用するかは、従来の教科学習より難しい問題となる。特に「実践演習Ⅱ」の授業中、問題解決の縦糸・横糸モデルを用いて探究活動の導入を行うゲーミング教材のストーリーを制作したが、教材のテーマが決まったとしても、その代替案を作成するのに学生は苦労していた様子であった。これは、テーマ設定に探究活動のすべてが入っているわけではないことを意味するだけでなく、探究活動を単一の代替案で終わらせずによりよいものにするためには、探究活動の全体像をよく把握し、検討する必要があることを意味しているだろう。

教科の学習成果を、その延長である学問に応用したり、いわゆる受験問題に応用したりすることはできても、現実的な問題に応用しようとなると、その複雑さに直面する。ここで、その複雑さととらわれ過ぎることなく、あくまでも探究活動の教材を作るという視点に立脚するためには、自らの専門とする内容から少し離れた領域の方が良いのかもしれない。

来年度以降の新たな試みとして、今年度「実践演習Ⅰ」「同Ⅱ」を履修した学生が、来年度TAとして参加できることとした。このような循環が生まれることで、学生目線で躰く点の分析やアドバイスなどが生まれることになるだろう。

5. まとめ

本稿では、2023年度に開講された「実践演習Ⅰ」および「同Ⅱ」の授業における指導内容と、附属高校との連携についてのまとめと考察を行った。2024年度は、本年度とほぼ同じ授業日程形式での開講が予定されている。既に挙げたような次年度に向けての改善点を分析し、「総合的な学習の時間」がその趣旨を達成しうる授業設計、あるいはカリキュラム設計ができる教員を養成できるように、継続していくことが重要である。

参考文献

- 浅野智亮・松田稔樹(2023) 理科「探究活動」の改善を図る新逆向き設計に基づくゲーミング教材開発, 電子情報通信学会技術研究報告, 122(431), 93-100
- 杉原沢理・岩屋ケ野夏梨・磯岡美里・森万梨香・近藤千香(2024) 家庭用燃料電池の種類を題材とした「理科」探究活動導入用ゲーミング教材の開発と実践, Informatio, 21, 61-72
- 川口万太郎・蓮見真由香・服部竜大・浜瀬理紗子・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
- 熊谷健太・杉原沢理・岡本敬・濱名高宏(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*, 20, 19-30
- 侯野博・河野俊文ほか57名(2022) 数学I Advanced, 東京書籍
- Matsuda, T.(2015)Design Framework of Gaming Materials to Cultivate Problem-solving Abilities: Differences and Commonalities among STEM Educations, The 13th Hawaii International Conference on Education, 2147-2159
- 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会報告集, 2020(4), 113-120
- 松田稔樹(2022a) 新・逆向き設計に基づく探究活動の指導 計画作成指導, 日本教育工学会研究報告集, 2022(3), 201-208
- 松田稔樹(2022b) 「新・逆向き設計に基づく教科の単元指導計画作成訓練システムの構想」, 日本シミュレーション&ゲーミング学会全国大会報告集, 2022年秋号, 80-85
- 松田稔樹(2023a) 理科「探究活動」設計上の要点を理解させるゲーミング教材例の検討, 日本シミュレーション&ゲーミング学会全国大会報告集, 2023年春号, 24-29
- 松田稔樹(2023b) 問題解決型ゲーミング教材のログ分析支援ツールの開発, 日本教育工学会研究会報告集, 2023(1), 246-253
- 松田稔樹・近藤千香(2023) 新逆向き設計に基づく理科探究活動用サンプルゲーミング教材の開発, 日本シミュレーション&ゲーミング学会全国大会報告集, 2023年秋号, 56-59
- Matsuda, T. & Nagahara, K(2021)A Backward Design Checklist for PBL Lessons to Help Development and Utilization of Gaming Instructional Materials, *Proceedings of the Innovate Learning Summit 2021*, 396-403
- 文部科学省(2015) 公立高等学校における教育課程の編成・実施状況調査の結果について, https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/_icsFiles/afieldfile/2019/02/12/1413569_002_1.pdf(参照日2024年1月31日)
- 永原健太郎・家本繁(2023) 数学「課題学習」の導入を支援する新・逆向き設計に基づくゲーミング教材の開発と実践, 日本シミュレーション&ゲーミング学会 全国大会報告集, 2023年春号, 30 - 35
- 永原健太郎・松田稔樹(2023) 2022年度東京工業大学「数学科／理科教育法実践演習Ⅰ・Ⅱ」における教育実践研究の指導と高大連携の試み, *Informatio*, 20, 13-18
- 辰巳敬ほか13名(2022) 化学基礎, 数研出版
- 山岸玄弥・濱瀬理紗子・柳田聖登・岡本敬・實川裕斗(2024) 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, *Informatio*, 21, 73-86