

# 数学課題学習と理科探究活動の指導計画改善を促す 仮想授業ゲームの開発と効果検証

神里 知弥<sup>1)</sup> 嶋本 拓海<sup>1)</sup> 堀 直輝<sup>1)</sup> 松浦 弘毅<sup>1)</sup> 村田 弘樹<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

### 1.1 課題学習・探究活動の問題点

平成21年改訂の高等学校学習指導要領で、数学Ⅰに「課題学習」が導入され、理科「〇〇基礎」でも「探究活動」が実施されている。例えば数学Ⅰには、数と式など4つの内容があるが、「内容又はそれらを相互に関連付けた内容を生活と関連付けたり発展させたりするなどした課題を設け、生徒の主体的な学習を促し、数学のよさを認識させ、学習意欲を含めた数学的に考える資質・能力を高めるようにする」とある。

普段の学習を生活と関連づけつつ数学や理科の有用性を認識させるためには、現実的な何らかの問題解決場面において、数学や理科を活用できることを明示する必要があるだろう。なぜなら、問題解決場面において活用できないならば、学問的な面白さを感じることができない生徒以外には、学ぶ意味のない無用の長物と化してしまうからである。従って、課題学習においては、何らかの解決すべき身近な課題を設定し、これを解決するために普段の学習がどのように活用されるかを指導することが望ましいと考えられる。

これに対して、例えば数学Ⅰの教科書に記載されている課題例としては「『コピー用紙を長い方の辺で半分にすると、元の長方形と縦横の比が等しくなる』という性質を使い、縦横比を調べる」、「3人のうち1人だけいる正直者を、3人の発言から論理的に考え見つける」などの単なる計算やパズルのようなものがほとんどである。コピー用紙は身近なものであり、一見生活と関連づいた課題にも見えるが、各教科の指導内容ありきで教材が設計されているため、実際は身近なものを使って計算をしているだけであり、生活と関連づけているとは言えない。このような問題が生じる理由としては、課題学習や探究活動の目的が明確に共有され

ていないことや、適切な課題例、具体的な指導項目や指導方法がわからないことが考えられる。

### 1.2 逆向き設計の必要性

教科教育の改善について、松田(2020)は「全教科を総合して育成すべき資質・能力から教科の授業を設計するという『逆向き設計』の発想が必要である」としている。すなわち、総合的な学習(探究)の時間に活用させたい知識や見方・考え方を設定し、それらを各教科で指導するという順序で授業設計や改善が行われるべきと指摘している。前述のように、教科の指導内容から教科教育を設計すると、学問的立場を離れて生活との関連を考えようとしてもなかなか関連が見えてこない。従って、一市民として育成すべき問題解決力を総合的な学習の時間に育成すべき能力としてまず定め、そのために必要な知識技能や見方・考え方を各教科で指導するという設計手法をとれば、総合的な学習の時間 → 各教科の探究活動 → 各教科の内容の体系化が可能になると思われる。

### 1.3 汎用的問題解決の縦糸・横糸モデル

課題学習・探究活動の指導において、単に解決手順または正解を教え込むだけの授業展開や、生徒自身に課題を発想させずに与えた課題で授業展開する例が散見されている。当該授業では育成すべき問題解決力が十分に育成されないと考えられる。そこで、汎用的な問題解決能力を育成するために、松田(2015)は“縦糸・横糸モデル”を提案し、それに基づく授業展開を考えるべきとしている。このモデルは、問題解決を「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⇒[合意形成過程]⇒ふり返り過程」という縦糸の各過程に即して進め、各過程において「情報収集⇒処理⇒まとめ」の横糸の手順を進めるものとしている。ただし、Bruer(1993)は、汎用的方略の指導にはメタ認知を促すインフォームドな指導が不可欠であると指摘している。従って、単に縦糸・横糸モデルを学生に指導するのではなく、メタ認知を促すためにゲーミング教材を使用した指導を行う必要がある。

2021年1月31日受付 2021年2月12日受理

1) 東京工業大学「数学／理科教育法実践演習Ⅱ」履修生

## 2. 目 的

本研究では、東京工業大学の教職課程で「数学科教育法Ⅲ」または「理科教育法Ⅲ」を履修する学生を対象に、総合的な学習の時間、各教科の探究活動、各教科の内容を逆向き設計で体系化して指導する必要性があることを認識させるために、仮想授業ゲームを作成、提供し、その効果を検証する。

仮想授業ゲームでは、逆向き設計の考え方を明示的に指導しつつ、総合的な学習の時間の準備としての、数学科課題学習や理科探究活動の指導計画作成を支援することに焦点を当てる。学生には課題学習または探究活動の学習指導案の作成、仮想授業ゲームの体験、自分が作成した学習指導案の改善の順に取り組ませ、仮想授業ゲームで学生が回答した記録の分析及び指導案の比較をすることで、効果の検証を行う。

## 3. 仮想授業ゲームの作成

### 3.1 仮想授業ゲームの概要

仮想授業ゲームは、“逆向き設計”と“縦系・横系モデル”に基づいた授業設計と実践をできるようにするための教材である。よって、実際に授業設計する「本編」に入る前に「前提知識」パートを設け、各モデルを学習できるようにする。これに加え、各教科の見方・考え方についても再度復習したい学生がいると想定し、これら3項目を事前学習できるように設計した。なお、“逆向き設計”は「数学科／理科教育法Ⅲ」を履修している学生がまだ十分に習得できていないモデルだと考えられるため、“逆向き設計”は必修とし、残りの2項目の学習は学生の判断に一任する形をとった。

「本編」パートでは、教科教育法を受講する学生が課題学習・探究活動の単元指導計画からはじまり、初回

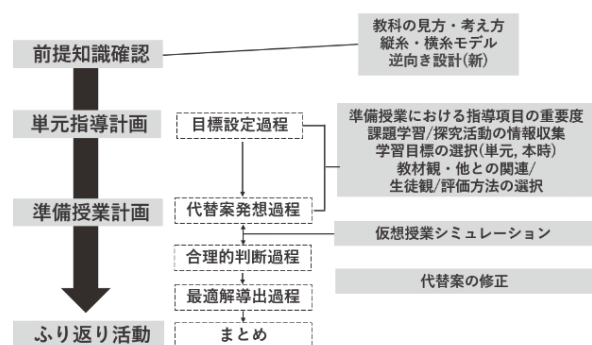


図1 仮想授業ゲームの概要画面

授業に相当する導入授業の授業計画、さらに導入授業シミュレーションを体験してもらった。このシミュレーションでは、学生が先生役として授業展開するとして、前提知識で学習した3つのモデルに関する問に答えながら授業を展開していく。まず逆向き設計を意識した授業展開を行うために、今回は総合的な学習の時間を意識した課題学習・探究活動の導入授業を行う。導入授業で扱うテーマは数学と理科それぞれで扱う内容を変える。また、汎用的な問題解決のための縦系モデルを意識した学習を生徒に行ってもらうため、縦系モデルに沿った授業展開になるよう設計した。この縦系モデルの各過程で着眼点を明示的に示すような授業設計にしている。また縦系モデルの随所で、数学または理科の見方・考え方を意識した展開を扱う。

### 3.2 前提知識

前提知識確認の“逆向き設計”では、冒頭で「総合的な学習の時間並びに各教科の問題解決学習は適切に運用されているとは言えず、その理由は、扱われている課題の不適切さ、または、解決方法の指導が明示的ではないからである。これらを解決し具体的な指導を実現する方法が“逆向き設計”と“縦系・横系モデル”にある。」と、逆向き設計を学ぶ背景の説明から入る。その後、図2のメニュー選択で、5W1Hフレーム形式(今回はWhoを除いている)に基づき[What]逆向き設計の概要、[Why]逆向き設計が必要な理由を知る、[Where]教科・分野別の具体例を見る、[When]SDGsとは?それ以外の課題は?、[How]逆向き設計の手続きを理解する、について学習が出来るようになり、さらに“理解度の確認”へと移っていく。理解度の確認項目では正誤判定問題がランダムに出題され、誤答の場合、正解とその理由がフィードバックされるようになっている。正答を選択した場合は、“縦系・横系モデル”または“見方・考え方”の前提知識を確認

\*\*あなたは、単元の目標を次のように選びました\*\*

————— (学生が選んだ単元目標) —————

[単元指導計画]  
第2次(導入授業)は○時限と設定しました  
※目標の割り振り

- 1 適切な課題や解決例を知る ▼
- 2 適切な課題や解決例を知る ▼  
適切な課題を発想できる
- 3 解決手順を説明できる ▼
- 4 ▼

図2 逆向き設計を解説する5W1H式のメニュー

するか、必要がない場合には全体メニューへ移行できるようになっている。また一度確認した項目は確認済みであることが明示されている。

### 3.3 単元指導計画立案(目標設定過程)

前提知識確認が終了したら、本編の単元指導計画立案する。冒頭では導入授業において、“問題解決の縦糸・横糸モデル”、“当該教科の見方考え方”、“当該以外の教科における見方・考え方”、“当該教科の領域固有知識”、“当該教科が課題解決に役立つこと”、“自ら考えることの重要性”の6項目の重要度を「重要でない／あまり重要ではない／ある程度重要／重要」の4項目から選択するようになっている。これは仮想授業ゲームの「振り返り過程」で再度同様の質問を行い、変化を評価するためである。

次に、課題学習・探究活動に関する情報収集を行う。情報収集では“学習指導要領”“よい課題とは”“関数／統計的な考え方”の3項目を選ぶことができ、“学習指導要領”を選択した場合、平成30年告示の学習指導要領 数学編 理数編を参照させる。また“よい課題”を選んだ場合、よい課題をつくるチェックリストが表示

される。さらに“関数／統計的な考え方”を選択した場合は、関数／統計的な考え方はデータの信頼性を考慮するかどうかは差異であることを明示する。

その後、課題学習に必要な項目を選択し、それに属する課題学習の目標を選択する。普段の授業で指導済みの目標は選択させず、課題学習／探究活動で指導が必要な学習目標のみを選択させる。また、単元設計として以下の4つの項目について時間配分を設定させる。合計の時間数が4時限以下になるようにし、宿題でやる分は時限数に含まないことを前提としている。

第1次〔前提・新規知識の確認・修得〕

第2次〔課題学習／探求活動の進め方(導入授業)〕

第3次〔課題解決(個別の問題解決活動)〕

第4次〔個別課題解決の振り返り〕

時間数を配分した後に、第1次～第4次における目標を、先ほど選択した当該課題探究活動における学習目標から割り振らせる。第2次ではさらに選んだ項目をSDGsに関連させた内容等に言い換えられたものを選択させ直す。

### 3.4 授業シミュレーション

単元指導計画が立案できた後、課題学習・探究活動の導入授業シミュレーションへと進んでいく。事前に用意した導入授業例をゲーム受講者が追体験できる。はじめに、図5のように導入授業の概要を分節毎に確認することができる。導入授業例は数学・理科ともに縦糸・横糸モデルに即した展開で構成されており、課題例は水質改善である。目標設定過程では情報収集を行った上で、数学／科学的な見方・考え方を活用した対策案を考えられる目標設定を行う。続いて図6のように、代替案発想過程では先で定めた目標を達成する

\*\*あなたは、単元の目標を次のように選びました\*\*

———— (学生が選んだ単元目標) ————

[単元指導計画]  
第2次(導入授業)は○時限と設定しました  
※目標の割り振り

1	適切な課題や解決例を知る
2	適切な課題を発想できる
3	解決手順を説明できる
4	

図3 単元指導計画 第2次における目標選択

\*\*あなたは、第2次の目標を次のように選びました\*\*

———— (学生が選んだ第2次(導入授業)目標) ————

[本時の目標]

1	この学習にふさわしい課題例を知る
2	SDGsなどのテーマから課題を発想できる
3	過程や活動の名称を暗唱できる
4	

図4 単元指導計画 本時の目標設定画面

課題解決学習の趣旨説明 ▼

課題解決学習の趣旨説明

課題発想法

課題のチェック・改善法

手順の説明

見方・考え方の説明

既習領域固有知識

新規領域固有知識

外部知識の活用法

ICTの活用法

課題・テーマの提示

目標設定

代替案発想1

合理的判断1

代替案発想2

最適解導出

活動の振り返り

次回に向けた指示

授業を終わる

図5 授業シミュレーションのモジュール



**疑似体験授業～代替案発想過程～** 770

ここまでで出た代替案をまとめてみました

分析手法	メリット	デメリット
臭気測定	現在起こっている問題である臭いを数値評価できる	原因物質を特定できない
COD	悪臭等の原因である有機物を広く測定できる	有機物以外の物質も測ってしまう可能性がある
BOD	悪臭等の原因である有機物を広く測定できる	なし？

デメリットがないBODが水質汚染の測定方法としては一番よさそうだね

図6 導入授業例での代替案発想過程

ための案を複数選出させる。合理的判断過程では、図7のように今まで考慮していなかった解の良さや、新たな条件を考え、代替案を批判的に再度検討する。最後に最適解導出過程では得られた複数の代替案の内、最も解に適している案を選出する。

その上で必要だと思う分節を選ばせ、導入授業の概要を決定させる。この時「〇〇に即した展開」は「縦糸／探究過程／科学的方法／数学的活動」のいずれかから1つを選択するように指示されている。但し、「総合的な学習の時間」の学習指導要領解説で記述されている「探究過程」である「課題の設定⇒情報の収集⇒整理・分析⇒まとめ・表現」で後半2つの過程が適切に行われていないと指摘されている。我々は、探究過程が適切に行われるためには整理・分析やまとめの作業において、目的と求められるOutputの形が明確であることが必要であり、既存の探究過程ではそれが示されていないためであると考えた。即ち、探究過程に即しただけでは探究過程を適切に行うことが出来ないため、縦糸に即した展開が探究過程を適切に行う為に必要不可欠だと判断した。従って、今回の「〇〇に即した展開」における選択肢では「縦糸に即した展開」以外の展開を選択すると不適切な理由がフィードバックされるようになっている。

続いて、授業シミュレーションとして授業に必要な項目を「課題解決学習の趣旨説明／課題発想法／見方・考え方の説明／目標設定／代替案発想／最適解導出」などの更に細かい項目から選択する。例えば「見方・考え方の説明」を選択した場合、その後見方・考え方を明示的に示すかどうかを選択することができる。

### 3.5 代替案の見直し(合理的判断過程)

授業シミュレーションを終えた後、代替案(仮想授業ゲームを体験する学生が考案した導入授業案)の修正過程へと移行する。はじめに、先の授業シミュレーショ

**疑似体験授業～合理的判断過程～** 784

グループで話し合った結果、新たに考える良さを次の2つのうちどちらかにすることに決めました。

良さ4：より精度の高い測定が行える  
良さ5：測定時間の短さ

測定の精度が低いと水質を正確に測ったとは言えないから、良さ4がいいと思うよ。

水質測定は、多地点で複数回測定して行うらしいよ。試料がたくさんあると一つにあまり時間をかけられないし、良さ5がいいんじゃないかな。

図7 導入授業例での合理的判断過程

ンで選択した各モジュールの指導時の総合的な時間を計算し50分の授業時間を考慮した上で取捨選択する必要があるかを再度考えさせるためである。時間の制約条件からどの分節を残し、または切り捨てるか選択させた後、準備授業と発展授業の位置づけでの各指導項目の重要度(単元指導計画立案で行った「重要でない／あまり重要ではない／ある程度重要／重要」の4段階評価)を再度選択させ、仮想授業ゲームの前後でどう変わったかを評価する。また学習目標についても「学習内容項目＞単元目標＞本時の目標」に即して選択させ、「教材観・他との関連／生徒観／評価方法」についても仮想授業ゲームを終えて再選択させる。代替案を修正した場合、しなかった場合の理由を仮想授業ゲーム学習者に問い、代替案の修正過程を終了する。

### 3.6 振り返り過程

続く振り返り過程では、仮想授業ゲームを通して学習者が学べたことを選択させる。さらに良い課題をつくるチェックリストを参照しながら、仮想授業ゲームの冒頭で学生が提示した課題を再度考え直し、課題の修正または新規課題を記入させる。最後に総合的な意見・感想を求め仮想授業ゲームを終了とする。

## 4. 仮想授業ゲームの実践の概要

受講している学生18人(数学科10人、理科8人)を対象に、本章では、事前指導案から学生の初期状態の把握を行い、その後仮想授業ゲームの実施結果を報告する。なお、課題学習／探究活動の問題点として、適切な課題例、指導項目と指導法への理解不足を1章や2章で指摘していた。そこで、特に指導案においては、適切な課題例を提示できているか、何をどのように指導しようとしているか、に注目し、仮想授業ゲームの結果においては授業シミュレーション前後で「課題設定」

(=適切な課題例の理解)、「導入授業における指導項目の重要度」「学習目標として意識する内容項目」(=指導項目の理解)、「教材観、生徒観。評価方法」(=適切な課題例、指導項目の理解)、「自己評価」(=上記項目に対する自己認知)がどう回答されどう変化したかに焦点を当てる。

#### 4.1 導入授業の指導案の評価

学生たちに事前に作成させた指導案は、課題学習／探究活動の導入授業に当たる授業のものであり、この時間は、課題学習／探究活動を生徒が行う前にその進め方を指導する時間として想定されている。そのため、何らかの課題例を提示して課題解決を体験させる、あるいは説明するような構成になることが望ましい。その際は、単に提示した課題例の解決方法を指導するだけでは不十分で、生徒が他の課題にも自力で取り組めるように、汎用性のある問題解決手順を明示的に指導する必要がある。また、松田ら(2012)は課題学習／探究活動で扱う課題について、複数の案を比較検討し何らかの提案をする「提案型」を推奨している。一般に現実の問題には正解が存在せず、様々なトレードオフを考慮してより良い解を模索する必要があることや、正解が1つに定まる場合には調べれば済む場合があり、自分で教科の知識を使って解く必要性が生徒にとってあまり感じられないであろうことによる。さらに、何らかの提案を行うためには、例えば「水質汚染について」のような漠然としたものも課題としては不適切である。一方、学生が提示している課題例としては、「店の売

り上げが最大になる価格設定」や「CO<sub>2</sub>排出量・吸収量をデータから予測する」といった、与えられた関数やデータを用いて数学的な処理を行うだけのものや、「日本のごみ問題」「貧困をなくそう」などの抽象度の高すぎる課題がほとんどであり、適切な課題設定とは言えない。また、「コロナウイルスの検査は国民全員が受けた方が良いか」のような一見提案型の課題例も見られたが、実際は病床数という制約条件から答えが1つに定まっており複数の案を比較検討する過程がないなど、問題解決過程の指導が不十分であるものがほとんどである。実際、具体的な問題解決の手順を提示している指導案は1件のみであった。さらに、新規事項を紹介し活用方法を学ぶ、といった導入授業の趣旨に沿っていないものが数学、理科共に2件ずつあった。なお、学生が発想した課題例は、改善後の課題例と共に6章の表7にまとめてあるため参照されたい。

以上のように、事前指導案の結果を見ても、やはり課題設定や指導内容、指導法に問題が見られることが確認できる。

#### 4.2 課題設定

仮想授業ゲームでは、最初と最後に自分が良い課題と考えるものを記述させており、それらを表1にまとめた。上5行が数学科、下4行が理科の教材を実施した学生である。なお、改善方針を記述したものや課題の性質を記述したものなど、具体的な課題が記述されていないものは除外している。ゲーム前に挙げた課題例は、事前指導案の評価でも見られたように、「CO<sub>2</sub>排出

表1 仮想授業ゲーム実施前後の「課題学習／探究活動にふさわしい課題」

仮想授業ゲーム前に発想した課題	仮想授業ゲーム後に発想した課題
食品ロスを減らすにはどうすればいいか考えてみよう  コロナウイルスの検査数を確率と一次方程式で評価する カーボンニュートラルを2050年に実現するために、どのようにCO <sub>2</sub> 排出量を減らし、CO <sub>2</sub> 吸収量を増やしていけばよいか 地球温暖化にとういて(原文ママ)、2020年のCO <sub>2</sub> 排出量と吸収量を予測する 不等式を用いてゴミ問題を考える	食品ロスを減らす方法を考え、その方法によりどれくらい削減できるか計算してみよう コロナ禍での自粛の基準を提案しよう カーボンニュートラルを2050年に実現するために、どのようにCO <sub>2</sub> 排出量を減らし、CO <sub>2</sub> 吸収量を増やしていけばよいか 2050年に日本において温室効果ガスを実質0にするためには、どの部門における取り組みを加速させる必要があるか 最終処分場の残余容量を考えた上でゴミはどのように処分すれば良いだろうか
より少ないエネルギーでより多くの仕事をする仕組みの提案  正しい洗剤の使い方として衣類の材質や洗剤・漂白剤等の成分などから選択表示や洗剤などの注意書きの意味・理由を検討する 日常品と川の汚染との関連を考え、環境に配慮した日常品を自分で考える  機械化は本当に必要か？	この教室の空調設備が壊れて取り換えなければいけなくなった場合どういった機器を取り入れるべきかを、省エネルギーの観点を含めて考えて具体的に提案しよう 水質改善について、問題となっている成分を調べ、効率的に改善する方法を理論的側面と実験の両面から考え提案する。 ある日常品と川の汚染との関連を考え、環境に配慮したその日常品の性質を自分でいくつか考える。その考案した性質の長所や短所を、体や環境、経済の面など様々な視点から考え、自分の中での一番よい性質を導出する。 作業の無人化による数値的なメリットデメリットを考えよう

量と吸収量を予測する」「洗剤の注意書きの意味・理由を検討」などの計算や化学的知識の適用を目的とするものか、「食品ロスを減らすにはどうすればいいか考えてみよう」「より少ないエネルギーでより多くの仕事をする仕組みの提案」といった漠然としたもののみであった。一方ゲーム後に発想した課題は、すべての課題例が何らかの提案や判断をすることを目的とした提案型になっている。一方で、課題をどれだけ特殊化するかという観点から見ると、理科の「教室の空調設備」のように生徒の身近な話題に落とし込んでいる学生がいる一方、「食品ロスを減らす方法を考える」「どのようにCO<sub>2</sub>排出量を減らし、CO<sub>2</sub>吸収量を増やしていけばいいか」のような漠然とした課題も依然として残っている。

### 4.3 導入授業における指導項目の重要度

3.3冒頭で述べたように、仮想授業ゲームでは導入授業における指導項目の重要度を「重要」「ある程度重要」「あまり重要でない」「重要でない」の4段階で、授業シミュレーション前後に選択させており、結果は表2のようになった。ただし、「重要」～「重要でない」を重要度として4～1で表記した。全体としては実施前後で大きな変化はほとんど見られない。また「問題解決の縦糸・横糸」「当該教科の見方・考え方」「当該教科が課題解決に役立つこと」「自ら考えることの重要性」の4項目に関しては、実施前からほぼ全員が、「当該教科の領域固有知識」に関しても数学で7人、理科で6人以上の学生が「重要」または「ある程度重要」と回答している。一方で、「当該教科以外の見方・考え方」は数学、理科共に「重要」「ある程度重要」の合計と「あまり重要でない」「重要でない」の合計が前後で

ほぼ変わらずおよそ半分ずつとなった。ただし、「重要／ある程度重要」から「あまり重要でない／重要でない」に変わった学生が数学では2人、理科では1人おり、逆に「重要でない」が「ある程度重要」に変わった学生が数学に1人いることから、全く変化がなかったわけではないことは注意しておく。

### 4.4 学習目標として意識する内容項目

問題解決学習の学習目標として意識する内容項目を9つの選択肢から複数回答で選択させた結果、各項目の選択数は表3のようになった。

こちらでも授業シミュレーション前後でほとんど変わっておらず、全体の傾向としては数学、理科共に「課題の発想方法」と「本教科の見方・考え方」が多く、次いで「縦糸・横糸の手順」「本単元の内容項目」が多くなっている。一方で、他教科の既習事項全般や見方・考え方に関しては、いずれの教科でも意識する学生は半数を切っており、本教科かどうかで差が見られる。

### 4.5 教材観、生徒観、評価方法

教材観・他との関連、評価方法については、提示した中から必要と考えるものを選択させ、生徒観に関しては「問題解決手順の修得状況」「上述の状況の確認方法」「教科の見方・考え方の修得」「他教科の見方・考え方の修得」「汎用的内部知識の修得」「単元固有知識の修得」「個人差の状況」の7項目について、既習か未習か、既習ならどの時間か、個人差はあるか、など想定する生徒状況を選択する形式となっている。教材観・他との関連及び評価方法の選択結果は表4のようになった。なお、選択肢は表5を参照されたい。

表2 導入授業における指導項目の重要度 (単位：人)

教 科		数 学				理 科			
重要度		4	3	2	1	4	3	2	1
問題解決の縦糸・横糸モデル	前	7	2	1	0	3	4	0	1
	後	7	3	0	0	4	3	1	0
数学的／科学的な見方・考え方	前	8	2	0	0	4	3	1	0
	後	7	3	0	0	4	3	1	0
数学／理科以外の見方・考え方	前	2	4	1	3	2	3	1	2
	後	2	3	3	2	1	3	3	1
数学／理科の領域固有知識	前	4	3	2	1	2	4	0	2
	後	4	3	3	0	2	5	0	1
数学／理科が課題解決に役立つこと	前	7	2	0	1	5	3	0	0
	後	8	1	1	0	6	2	0	0
自ら考えることの重要性	前	4	4	1	1	6	2	0	0
	後	6	4	0	0	6	2	0	0

表3 問題解決学習で学習目標として意識する項目  
(単位：人)

教 科	数 学 (／10)		理 科 (／8)	
選択時期	前	後	前	後
本単元の内容項目	7	6	5	5
本単元の発展項目	3	2	4	4
教科の既習知識全般	5	3	5	5
教科の未習事項全般の活用方法	1	2	2	1
他教科の既習事項全般の知識	2	2	3	3
課題の発想方法	8	7	7	7
縦糸・横糸の手順	6	7	5	5
本教科の見方・考え方	10	9	7	7
他教科の見方・考え方	2	2	2	2



教材観・他との関連の特徴としては、特に課題例に関する項目10.11の比較により、パズル的な課題よりも身近でリアリティがあるものの方が多く選択されていること、問題解決手順の指導に関する項目9の選択率が数学で7割、理科で6割以上となっている。

表4 教材観・他との関連／評価方法（単位：人）

選択時期	教材観・他との関連				評価方法			
	数学		理科		数学		理科	
	前	後	前	後	前	後	前	後
1	4	4	4	5	9	8	5	6
2	5	4	2	3	4	5	4	5
3	0	1	3	2	3	4	5	6
4	9	7	5	6	5	7	4	6
5	7	4	4	6	6	4	3	4
6	4	4	3	3	8	9	4	5
7	2	2	2	2	7	5	4	6
8	8	7	5	6	5	7	5	6
9	6	7	4	5				
10	2	2	1	0				
11	7	6	7	7				
12	10	7	5	6				

生徒観に関しては、特に本研究の目的に強く関連する項目として「問題解決手順の修得状況」及び「教科の見方・考え方の修得」に注目すると、前者を「総合的な学習の時間に既習」とした学生は7人(38.9%)から12人(66.7%)に、後者を「本単目に既習」または「本単目以前に既習」とした学生が11人(61.1%)から17人(94.4%)にいずれも増加している。

#### 4.6 自己評価

3.4で述べたように、学生には仮想授業ゲームに取り組んだ後、12の項目について「そう思う／どちらかというと思う／どちらとも言えない／どちらかというと思う／そう思わない／そう思わない」の5段階で自己評価をさせた。項目と結果は表6の通りである。いずれも「課題が解決されたかどうかよりも、課題解決の仕方が身についたかどうかの方が大事だと思う」の項目において「そう思う」「どちらかというと思う」の合計が100%となった。また、問題解決のモデルや見方考え方を指導するタイミングについては、「縦糸・横糸モデルの指導」は総合の時間に、「教科の見方・考え方」は通常の授業で指導するべきという考えが多くなっている。

また指導方法の理解に関する質問(表6の上4つ)につ

表5 教材観・他との関連、評価方法の選択肢

教材観・他との関連	1. 本次の学習成果を生徒各自について個別に確認するために、e-learning教材を使うか、理解度を確認するワークシートを作成し、回収する。
	2. 数式を扱うのが苦手な生徒を支援するため、数量化して扱う方法や、その手段としてコンピュータを活用する方法を明示する。
	3. 各自が自力で取り組むことが重要なので、個別学習を重視する。
	4. 一人では課題を設定・改善できない生徒もいるため、適宜、グループ活動を取り入れる。
	5. 高度な数学的知識が必要な疑問や話題が出てきた場合は、設定を単純化させたり、データを用いて数量化させるなどして、解決を支援する。
	6. 既習ではないが、関数的な見方・考え方を活用させるために、今後学ぶ関数の知識も「外部知識」として参照させ、活用させる。
	7. 本次は、課題学習／探求活動の進め方を理解させることに主眼があるので、教師主導で授業展開する。
	8. 本次は教科書を用いず、プリントを用いて、班での話し合い活動を中心とした授業構成とする。
	9. 課題例に限定されない一般的な課題学習／探求活動の進め方を修得できるように、問題解決の枠組みと対応づけさせる発問をしながら授業を進める。
	10. 課題例として、身近にあるパズル的な題材を取り上げ、条件を場合分けして考察した後、一般化して結論を導く方法を提示する。
	11. 課題例として、生徒に身近でリアリティがあるものを挙げ、詳しく説明しなくても問題の状況を想像できるようにする。
	12. 日常生活の疑問・問題の解決に数学を活用する方法を教えることで、数学の有用性を知ってもらい、教科学習への動機づけを高める。
評価方法	1. 「課題学習／探求活動のテーマを考えてくる」という宿題に対して、切な課題例を含む複数の課題を考えられたか
	2. 授業のまとめで提示する課題例について適切なものと不適切なものを識別できるか
	3. 授業のまとめで確認する「課題学習／探求活動に取り組む上でのポイント」に関する発問に適切に回答できるか
	4. 授業のまとめで確認する「問題解決の手順」に関する発問に正答できるか
	5. 授業中の「本単元で学んだ領域固有知識の適用」に関する発問に正答できるか
	6. 授業中の「見方・考え方」に関する発問に正答できるか
	7. グループ活動に積極的に参加していたか
	8. 発問に対して積極的に手を挙げたり、発言したか

表6 仮想授業ゲーム後の自己評価(単位:人)

	数学					理科				
評価(5:そう思う～1:そう思わない)	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
縦糸・横糸を明示的に指導する方法がわかった	0	8	0	1	1	1	5	0	0	1
数学的な見方・考え方を明示的に指導する方法がわかった	1	6	1	2	0	0	3	3	1	0
よい課題かどうかのチェック法を明示的に指導する方法が分かった	3	4	2	1	0	3	2	2	0	0
よい課題の発想法を明示的に指導する方法が分かった	1	5	2	0	2	2	4	1	0	0
課題が解決されたかどうかよりも、課題解決の仕方が身についたかどうかの方が大事だと思う	8	2	0	0	0	4	3	0	0	0
[情報収集の工夫]は課題学習以外の時間で行うのがよい	1	4	2	3	0	1	3	2	1	0
[情報収集の工夫]は本時に行うのがよい	0	4	1	5	0	0	1	4	2	0
[縦糸・横糸モデルの指導]は通常の授業で行うのがよい	1	0	2	4	3	0	0	3	3	1
[縦糸・横糸モデルの指導]は本時に行うのがよい	1	2	2	5	0	2	2	1	2	0
[縦糸・横糸モデルの指導]は総合の時間に行うのがよい	1	5	3	1	0	3	2	1	1	0
[数学的な見方・考え方]は通常の授業で指導するのがよい	3	6	1	0	0	1	5	1	0	0
[数学的な見方・考え方]は本時に指導するのがよい	0	3	1	6	0	0	2	4	1	0

いては、「科学的な見方・考え方の指導方法」をのぞき、6～8割程度の学生が「そう思う」「どちらかというと思う」と回答している。

## 5. 実践の評価

4章の結果から、課題学習／探究活動における適切な課題設定、指導すべき項目とその指導方法について、改善が見られたかどうか評価を行う。

まず課題の適切さについては、4.2で指摘したように、課題は提案型にすべきという考え方は指導できた一方で、多くの学生が課題の特殊化に問題があり、依然として漠然とした課題を発想するにとどまっている。この点は、今回作成した仮想授業ゲームが、逆向き設計の考え方と、それに基づく課題学習／探究活動における教科の活用のさせ方や指導法の習得を主な目的としていたため、授業シミュレーションの進行上、課題を提案型にすべきことは理解できたが、どこまで特殊化すべきかについては十分な学習がなされなかった可能性が考えられる。

また、4.2の表1は課題例そのものを記述していないものは除外しているため、この表にない学生が適切な課題を発想できるかどうかは判断できない。これらの学生も含めた評価は、6章で指導案を評価する際に改めて記述する。

課題学習／探究活動の指導項目や方法に関しては、4.3、4.4の結果から、数学、理科いずれにおいても、問題解決の手順(本研究では縦糸・横糸モデルを採用)は

約7割、当該教科の見方・考え方は約9割の学生が、授業シミュレーションを実施する前から指導する必要性を認識しており、この点は大きく変化しなかった。

一方でその指導時期については、4.5生徒状況や4.6自己評価で示したように、課題学習／探究活動の時間外に事前指導すべき、と変化している。上記の項目について、授業シミュレーション後の学生によるフィードバックの中で、「時間的な制約を考慮して事前に指導すべきと考えた」旨の記述が複数あり、このことから、逆向き設計の発想で指導項目の取捨選択をする、という考え方の指導に効果があったと考えられる。

なお、上記のことから学生には、課題解決に至るまでの過程や既習事項の活用方法を意識しようという認識があるように見られるが、授業シミュレーション前からこのような認識だったにもかかわらず、4.1で述べたようにそれが指導案に反映されていないことには注意すべきである。このことは、指導計画がうまくいかない要因が、認識の問題というよりは具体的な問題解決の手順を知らない、あるいは具体的に指導するレベルまで理解できていないことにあることを示唆している。この点については、授業シミュレーションで問題解決の手順として縦糸・横糸モデルを提示し、具体的な指導法を例示しているため、6章で指導案の改善版を評価する際に、改善が見られるかどうか評価する。

## 6. 改善版指導案の評価

5章において、①(少なくとも半数の学生が)課題は



提案型にすべきことを認識したが、漠然とした設定が多く特殊化に問題があること、②多くの学生が、問題解決の手順や教科の見方・考え方などを、場合によっては既習事項であることを前提に、活用する方法を指導する必要がある、という認識をもつことを述べた。これらを受けて、本章では学生が仮想授業ゲーム後に改善した課題学習または探究活動の指導案を「課題例」と「授業展開」に分けて評価する。

## 6.1 課題例

改善前後の指導案の内容のうち、特に授業で生徒に提示する課題例について、表7にまとめた。なお、事前事後いずれにおいても、課題例を提示せず、趣旨に反する指導案が1枚あったため、表からは除外している。課題名のみでは判断しづらいものもあるが、授業の展開と合わせると、提案型のものが7件から11件に

増加した一方で、抽象度の高いものも3件から6件に増加している。単なる計算が目的ではないという認識の学生が増えてはいるが、課題の抽象度が改善されたのは1件にとどまり、5章で指摘していた通りの結果であった。なお、4.2で課題例が改善されていた学生については、指導案も提案型に改善されていた。

漠然とした課題を依然として発想してしまう理由として、5章では仮想授業ゲームの設計の問題である可能性を述べた。しかし指導案を分析した結果、ここで使用されている「課題」の意味を学生が誤解している可能性があることがわかった。

本稿における「課題」は、「誰がどのような条件で解決する問題か」を明確にしたものを指す。現実的な問題解決場面において取り組む主体が決まっていないことなどあり得ないし、主体がわからないと生徒はそこから考えなければならず、解決策を考える過程に至ら

表7 学生が発想した課題

事 前	事 後
日本のごみ問題	日本には介護を必要とする人がたくさんいるが、福祉が行き届いていない人がいます。どうすれば良いだろうか
地球温暖化の原因の1つとされているCO <sub>2</sub> の2050年における吸収量と排出量をデータから予測する	温室効果ガス実質0を達成するためには ①温室効果ガス吸収量を増やす ②温室効果ガス排出量を減らす どちらがより現実的な方法だろうか
2050年までに、カーボンニュートラルの実現を目指すために、どのようにアプローチすればよいか	2050年までに、カーボンニュートラルの実現を目指すために、どのようにアプローチすればよいか
文化祭の模擬店で出る、食品ロスを減らすにはどうするか	小売店の食品ロス対策
MECEの概念を活用し、問題を要素に分解して課題解決を行えること	具体的な問題を解決しやすくするために、MECEの概念を活用し、要素に分解できること
貧困層の住宅を確保する	・ゴミを減らす方法を考えよう ・貧困をなくす方法を考えよう
需要と供給に関する知識から望ましい商売の仕方を設定する	需要と供給に関する知識から望ましい商売の仕方を設定する
「GOTOキャンペーンが感染拡大を引き起こした」と言う人がいる。これを否定する方法を考えよ	「GOTOキャンペーンが感染拡大を引き起こした」と言う人がいる。これを否定する方法を考えよ
コロナウイルスの検査は国民全員が受けた方が良いか？	飲食店に補助金を出すとき、毎月いくら補助金を出すのが良いか
SDGsの安全な水とトイレを世界中に	SDG s の安全な水とトイレを世界中に
なし	水質改善への具体的な技術的案の提案と評価
なし	プラスチックゴミ・エタノール・水酸化ナトリウムのいずれかが不純物として混ざった場合、純水に近づける方法を考える
何をどのように輸送すれば、メリットが多くデメリットが少ないものになるか	何をどのように輸送すれば、メリットが多くデメリットが少ないものになるか
エネルギー問題を考えよう	エネルギー問題を考えよう
どのようなシャンプーをもちいれば環境と体に優しいものになるか	どのようなシャンプーをもちいれば環境と体に優しいものになるか
身近な水	身近な水
身近な動きをモデル化し比較・評価	身近な動きをモデル化し比較・評価

ない恐れもあるからである。

一方で課題例の抽象度が高い学生の指導案を見ると、問題そのものを課題として捉えており、縦糸・横糸モデルの目標設定過程においてようやく本稿で用いられる「課題」レベルに特殊化されている。つまり、学生は特殊化した課題を発想できないのではなく、そもそもそれを課題として設定すべきという考えがないことが推察される。従って、一般的な漠然とした問題と、課題学習／探究活動で提示すべき「課題」、さらには目標設定過程における目標の違いをより明確に指導することで改善される可能性が考えられる。

## 6.2 授業展開

4.1でも述べたように、課題学習／探究活動の導入授業の授業展開は、生徒が自分たちで問題解決に取り組めるよう、具体的な課題例を提示し、問題解決を体験させたり説明したりすることが望ましい。このとき、生徒が自分で活動できるようにするためには、具体的な問題解決の手順も明示的に指導する、あるいは事前にしておく必要がある。また、逆向き設計の考え方から、教科の知識や見方・考え方がどのように活かされるのかも指導する必要があるだろう。

このような視点は事前の指導案にはあまり見られておらず、問題解決の手順を明示的に示していたのは1件のみ、見方・考え方に触れていた指導案は1件もなかった。

一方で、改善後の指導案においては、問題解決の手順を明示しているものが12件に増加し、教科の見方・考え方も10件と、いずれも大幅な増加が見られた。これは5章で行った評価とも整合する。またその指導方法は、「問題解決手順(1人を除き全員が縦糸・横糸モデル)の提示→縦糸の活動に沿って問題解決を進め、途中で活用すべき見方・考え方を発問」という授業シミュレーションと同じ流れがほとんどであった。このことは5章の最後に指摘したように「学生が具体的な問題解決の手順を知らなかった、あるいは具体的に指導するレベルまで理解できていなかった」可能性を指示しており、指導内容や指導方法の理解を高めるという目的において一定の効果が認められる。

ただ、教科の成果をどのように問題解決に活用するかを強調して指導するために、例えば目標設定の指導は総合的な学習の時間に行い、導入授業では目標をどう解決するか焦点を当てる、という授業設計もあり得るが、そのような指導案はほとんどなかった。授業シミュレーションにおいて、学生が選択した展開に応じて想定される時間を提示し、展開の取捨選択に意識を向けさせるよう設計していたが、改善の余地があるだろう。

## 7. まとめ

仮想授業ゲームの学生の回答記録およびゲーム前後に学生が書いた指導案から、ゲーム体験前後の比較を行ってきた。適切な課題例として提案型が望ましいという認識や、課題学習／探究活動で指導すべき内容・方法の理解については、前者は6.1で、後者は6.2で述べたように、縦糸・横糸モデルや教科の見方・考え方の明示的な指導を視野に入れた指導案を6割程度の学生が書けるようになったという点から、一定の効果があった。その一方で、同様に6章で指摘したように、どこまで特殊化した課題を設定すべきかが誤解されている恐れがあるという問題や、問題解決過程の中でどの過程に焦点を当てて指導すべきかといった授業展開の取捨選択に関しては、課題が残る。今後の課題としては、縦糸・横糸モデルにおける目標設定との違いも踏まえた適切な課題設定の支援や、課題学習／探究活動全体を見通した導入授業設計の指導が挙げられる。

また、ゲームの仕様や、筆者らが作成した課題学習／探究活動の授業例の適切さに関しても、学習者のフィードバックを得つつ、改善していく必要がある。

## 謝 辞

本研究を進めるに当たり、松田稔樹教授には多大なご指導、助言を賜りました。厚く感謝申し上げます。

## 参考文献

- Bruer, J. T. (1993) Schools for Thought: A Science of Learning in the Classroom. The MIT Press.
- 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, JSET20-4, 103-11
- 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, 岡本敬, 早坂健, 下江秀人, 小佐野隆治, 砂岡康宏(2012) 数学「課題学習」と理科「探究活動」の授業設計の観点, 日本科学教育学会年会論文集 Vol.36, 279-280
- 文部科学省 平成30年告示高等学校学習指導要領解説 数学編 理数編; [https://www.mext.go.jp/content/1407073\\_05\\_1\\_2.pdf](https://www.mext.go.jp/content/1407073_05_1_2.pdf)