

# 総合から各教科への逆引き設計を促す 教師教育用仮想授業ゲームの設計フレームワークの検討と実践

松田 稔樹<sup>1) 2)</sup> 野本 文彦<sup>3)</sup>

## 1. はじめに

### 1.1 課題学習・探究活動の改善の必要性

高校の数学Ⅰや理科「〇〇基礎」では、各単元の学習成果を身近な問題解決に適用し、教科学習の有用性の認識と活用力を高める指導を行う。しかし、学習指導要領解説や教科書に掲載されている課題例は必ずしも適切とは言えず、学生の高校時代の経験を聞くと、適切な指導が行われているか疑問である(松田2012)。

そのためか、本学の教科教育法で課題学習／探究活動の指導案を書かせても、①取り上げる課題が不適切である、②解決手続きや正解を教え込む授業スタイルになっている、③生徒自身に課題を発想・選択させる指導が行われないなどの問題点が見られる(松田・鶴田・水野2018)。この状況は自ずと解決される見込みは無く、意図的に状況を改善する必要がある。

新設から20年近く経つ「総合的な学習の時間」も、うまくいってない。中教審答申や学習指導要領解説は、その理由や対策を示しているが、それらは現象論と「その状況を解消すべき」という指摘だけで、本質的な原因や具体的な解消策は示してない。それこそが、20年経っても問題が解消されない最大の理由だと言える。

### 1.2 問題解決の縦糸・横糸モデル

問題点の1つは、育成すべき資質・能力が不明確な点にある。単に「問題解決力」や「協働して学習する力」という標語を挙げるのではなく、具体的に「問題解決力」はどんな要素で構成され、どんな状況でどう働く必要があるのかの明確化が求められる。また、それは特定の場面でのみ発揮されるものでは意味がなく、汎用性を保証する方法論が明確にされる必要がある。

そこで、松田(2017)は、情報科向けのゲーミング教

材開発のモデルを拡張・転用し、STEM各教科の問題解決手順と総合的な学習の時間の探究の過程を統合した問題解決の縦糸・横糸モデルを提唱した。このモデルでは、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]⇒振り返り過程」という縦糸の各過程に即して進めるものとし、各過程は「総合的な学習の時間」の探究の過程に対応する「情報の収集⇒処理⇒まとめ」という横糸の活動に即して進めるとする。松田(2020c)は、中教審答申等に指摘されている「処理やまとめが適切に行われない」理由が、集めた情報をレポートにまとめれば、生徒は「処理やまとめ」を行った気になるからだと言っている。よって、縦糸の各過程のOutputを明示し、それに向けて横糸の活動内容を明示すべきと言う。

モデルは、手順及びそれに関連づけて活用すべき見方・考え方と領域固有知識も明示する。また、領域固有知識は、覚えるべき内部知識と必要な時に参照すればよい外部知識に分類し、両者を効果的に活用する工夫の観点やチェックポイントとして見方・考え方や思考のメカニズムを、明示的に指導する。

このモデルは、もともと教材開発用だが、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」が不可欠とのBruer(1993)の指摘を受け、これをメタ認知知識として学習者に明示する。さらに、モデルに即した問題解決の進め方をゲーミング教材でコーチングし、モニタリングとコントロールを促す。参考として、STEM教育用の縦糸・横糸モデルを図1に示す。

### 1.3 仮想授業ゲーム

モデルの明確化で、1.2の冒頭に述べた問題点はある程度解消される。また、生徒用に開発したゲーミング教材を教師に提供し、生徒役になって体験させれば、授業のイメージもある程度把握できると期待される。しかし、そのような指導を経て教職課程の学生に数学「課題学習」や理科「探究活動」の指導案を書かせても、1.1の①～③のような結果にとどまる。

以上の指導で不足しているのは、目標とするモデル

2021年1月14日受付 2021年2月8日受理

1) 東京工業大学リベラルアーツ研究教育院

2) 江戸川大学情報教育研究所

3) 東京工業大学附属科学技術高等学校

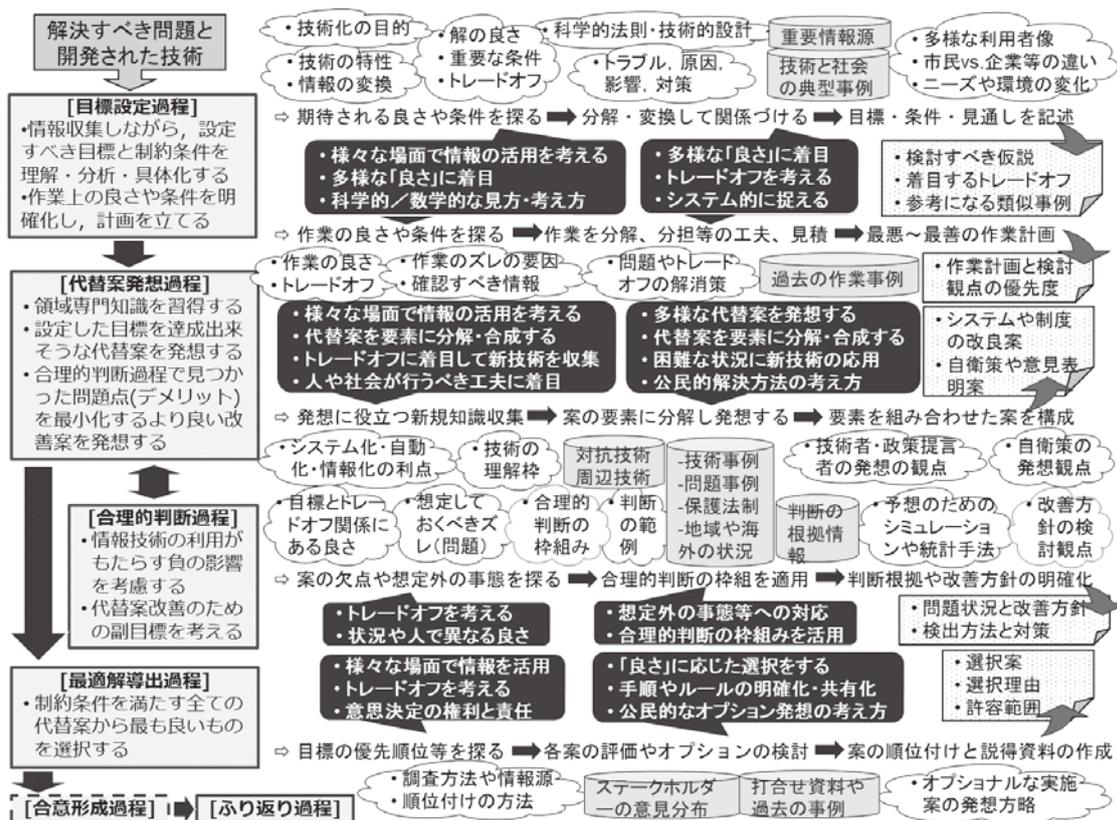


図1 松田 (2020b) のSTEM教育用の縦系・横系モデル

と授業イメージをつなげる授業設計法の指導である。そこで、Matsuda (2018)は、望ましい授業を体験させながら、授業設計や指導上のポイントを明示し、授業設計力を向上させるために、仮想授業ゲームの開発を提案した。また、Mizuno and Matsuda (2020)は数学「課題学習」用のゲームを試作し、実践報告した。

試作された仮想授業ゲーム(図2)は、モデルの指導に必要な前提知識を確認するパートと、授業シミュレーションを中心とした指導計画立案・改善のパート(本編)から成る。教材の実施時間も考慮して、前提知識は「縦系・横系の手順」と「数学的な見方・考え方」のみを確認する。これらは事前に教職課程の講義で指導済みと想定しており、定着度の確認と復習をする。

本編では、「二次関数」の最後に「課題学習」を行う想定で、Ito and Matsuda (2014)の「高卒vs.大卒、どちらが得？」を事例として扱う。その際、授業設計そのものを縦系の過程と対応づけることで、モデルの活用を常に意識させて活動を進める。

授業設計の目標設定過程は、指導案の表紙を記述する作業に相当する。「課題学習」の目標を明確にし、「課題解決の事例紹介、問題解決手順、数学的な見方・考え方、課題の発想方法、各自による課題解決への取り組み、評価」という各指導要素のどれに何時間配分するか、「課題学習」としての単元指導計画を立てさせ

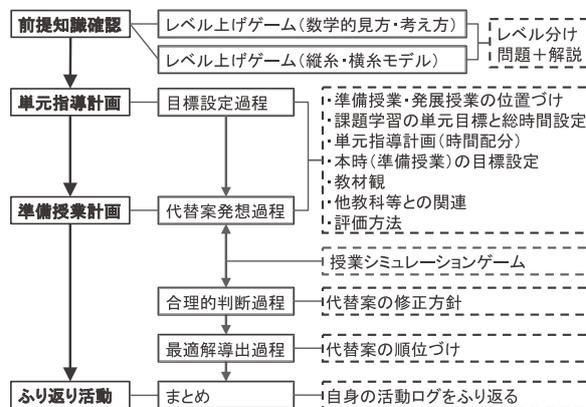


図2 Mizuno and Matsudaの仮想授業ゲームの構成

る。代替案発想過程に対応する授業シミュレーションでは、扱うべき指導事項や、不要だが学生が扱いがちな事項を含んだ分節をモジュールとして用意し、実施するモジュールを学生に選択させ、どのように指導するかを教師役として仮想体験させる。合理的判断過程では、体験をふまえて指導計画を見直し、最適解導出過程で課題学習に取り組むための基本方針をまとめる。

### 1.4「総合の時間」から教科に向けた逆向き設計

仮想授業ゲームを体験させても、その成果が指導計画作成に結びつかない学生もいる。よって、その原因

をさらに深く考察する必要がある。

Mizuno and Matsuda(2020)は、1.1の3つの問題のうち①に焦点を当て、課題の発想法を重視した。しかし、これは生徒への指導以前に教師に指導すべき事項である。問題点①の本質を再検討すると、社会で求められる問題解決に教科の学習成果を活かす方法が理解できているのかという疑問が生じる。

そこで、教職課程履修生に「総合的な学習の時間」の指導計画を立てさせ、活動に必要な各教科の学習成果を列挙させたところ表1の結果になった。数学では「確率・統計」、理科では「身近な生活に関係する理科の用語」、情報では「問題解決過程でのICTの活用」など、当該教科の学習内容の一部にとどまる。これでは、課題学習や探究活動で学習成果を身近な問題解決に活用するテーマを発想できないのは必然だと言える。

そこで松田(2020c)は、総合的な学習の時間にSDGs的な課題に取り組むことを前提に、各教科の問題解決活動でその準備となるサブ課題に取り組み、通常授業ではその問題解決活動に活用可能な学習内容に重点を置いて指導するよう、「新・逆向き設計」と呼ぶ方法を提案した。逆向き設計は、Wiggins & McTighe(2005)が提唱したものがあり、スタンダードから本質的な問いを設定し、それに答えるための重要な観念の指導に

焦点を当ててカリキュラムや授業を設計する。オリジナルの手法は教育評価理論をベースとし、教科に閉じている点で新・逆向き設計とは大きく異なる。

新・逆向き設計は、扱うべきテーマがSDGsなどであるから、課題の設定は難しくないように思える。しかし、「総合的な学習の時間」は発足時からずっと、扱う活動が適切でないと中教審答申等で指摘されている。これはテーマと課題を区別できていないからであり、1.1の問題点①は、テーマ設定の不適切さと、課題設定の不適切さとに分かれる。

課題は活動を方向付ける役割を果たす。よって、松田ほか(2010)は、「総合的な学習の時間」の課題設定を提案型にすることを推奨しており、表1でもそうになっている。これにより活動が単なる調べ学習にとどまらず、縦糸・横糸モデルなら縦糸の全ての過程を経るよう促す。一方、SDGsをそのまま課題にした名詞だけの課題設定や、「○○とは何か」「○○について考えよう」などは、テーマを生徒に丸投げしており、調べ学習に終わる可能性が高い。

教科の問題解決活動では、課題設定をする際に、より具体的な活動をイメージすることが重要になる。この点については、松田(2020d)が、情報科教育法で逆向き設計を指導した際の実践結果をふまえた指摘をし

表1 「総合的な学習の時間の指導法」で作成した学生の指導計画における「活用すべき教科の学習成果」

「総合的な学習の時間」のテーマ	数学科で学んだ成果	理科で学んだ成果	情報科で学んだ成果
社会の需要に応じた新しいビジネスやアイデアの提案	データを適切に読み取る データを適切なグラフで表す		パソコン操作、基本的な情報収集、データの真偽判断
私たちが住む地域が抱える問題点の考察とその解決策の提案	数値データの理解・解釈、比・割合・%の単位変換、社会生活における数理的考察		情報収集・発信で使うICTの知識、信頼性のある情報を集めるための情報リテラシー
ジェンダーと社会問題	社会生活における数理的考察、身近な統計	男女による脳構造の違い	情報活用の工夫とICT、情報の統合的な処理とICT活用
ジェンダー平等を達成するには	データの分析		コンピュータの使い方
COVID-19による影響の分析と対策	統計処理、 確率(条件付き確率)	生活と科学 (微生物とその利用)	情報活用の工夫とICTリテラシー、情報の総合的な処理とICTの活用
地域のみんが安全に・健康に暮らせる街づくりを考えてみよう	データの分析	生物の多様性と生態系 変動する地球	情報の活用と表現
海洋汚染が人の生活に与える影響と対応策	データの分析	化学と人間生活 (環境汚染に寄与する物質)	情報社会の問題解決
地球温暖化対策として、私たちにできることは何だろうか	データの分析	生態系のバランスと保全	コミュニケーションと情報デザイン
エネルギー問題を解決する方法を考えよう	データの活用、 数学と人間の活動	エネルギーとその利用、 材料とその再利用、自然 景観と自然災害	情報を活用するための工夫と情報機器、情報の統合的な処理とコンピュータの活用
健康的な習慣を提案する	データの分析	衣料と食品	インターネットの利用、伝達や発表のための手段、効果的なプレゼンテーション



図3 総合的な学習の時間と教科を通じた  
縦糸・横糸モデルの体系的な指導

ている。そのためにも、縦糸・横糸モデルに即して活動を具体化し、活用すべき教科の学習成果として内部知識を明確化する必要がある。

また、問題解決活動と通常授業とをモデルに即して関連づけるため、通常授業で扱う身近な事例も、可能な限り単元内で一貫したものをを使うべきである。これは、教科の領域固有知識を問題解決に統合的に活用することの重要性を強調するためであり、指導する知識ごとに異なる事例を扱うと、個々の知識は特定の課題解決にしか活用できないとの印象を与える。このように、問題解決活動と通常授業の連携も考慮し、問題解決の手順、見方・考え方、領域固有知識を図3のように分担して指導するよう、逆向き設計する必要がある。

## 2. 目的

本稿では、「新・逆向き設計」の考え方を反映させて Mizuno and Matsuda(2020)の仮想授業ゲーム(以下、旧ゲーム)の改善を図る。その際、今後、他教科等でもゲーム開発することを想定し、具体的な仮想授業ゲーム開発は学生に任せ、作業を支援しながら、テンプレートとなるゲーム盤を開発することを目的とする。松田(2017)は同様の試みとして、学生のゲーミング教材開発を支援する実践を行っており、それと同様の教材開発手法を用いる。ただし、今回、教材開発に取り組むのは教科教育法の履修者であり、松田(2017)が対象としているe-learningやゲーミング教材開発を主目的とした大学院授業の履修者ではない。一方、教員も教材開発能力を修得するの必要はあり、授業設計や授業におけるICTの活用については教職課程で学んでいる。

## 3. 仮想授業ゲームの枠組みの再設計

今回開発するテンプレートも、図2と同じ枠組みを採用する。よって、以下は、改善点のみを述べる。

### 3.1 前提知識確認への解説編の追加

仮想授業ゲームは1時限程度で実施し、学習時間の多くは本編に充て、前提知識確認は、本編の学習に進んでよいか、前提知識を復習すべきかを判定することに焦点を当てる。ただし、昨年度の実践では他大学から本学の大学院に入学した学生がおり、前提知識を全く学んでいなかった。このように、想定する利用条件外の学生がいた場合は、前提知識を短時間で学ぶための教材が必要になる。テンプレートとしては、その部分もモジュールとして追加しておくことが望まれる。

その際、どこまでの前提知識をカバーするかが問題になる。水野・松田(2019)では、課題学習が設定された背景や趣旨、実践されている事例や学習指導要領解説の課題例が必ずしも適切ではないことなど、1.1に述べた問題点の解説も含めていた。一方で、指導案の書き方や、(問題解決学習以外の)通常の授業の設計方法は、それだけで授業1科目分の学習を要してしまうので、入れることは想定しにくい。テンプレートとしては、ある程度幅広く指導内容を用意するが、必須で学習させるものとオプションで学習者に選択させるものとを設定できるようにする。また、解説の一部は、本編各過程の「情報収集」においても参照可能にする。

これを実現するに当たり、縦糸・横糸モデルの解説は、松田(2020a)が複数教材を通じてモデルを系統的に指導するために開発した汎用モジュールを活用する。ただし、当該モジュールは数時間をかけて指導するものであるため、その中から主要な内容を抽出した簡略版を作成する。また、今回の仮想授業ゲームに固有の内容として、新・逆向き設計の解説を追加する。

基本的に、縦糸・横糸モデルでは、知識を5W1Hのフレーム形式で獲得すると想定しているため、新・逆向き設計の解説は、表2の要素で構成される。なお、これらの解説の前に、導入画面で「総合的な学習の時間も各教科の問題解決活動も、適切に運用されているとは言えないが、その理由は、課題設定が適切でなく、教科の学習成果が活用されるような学習活動が具体的に想定されていないからである」と指摘する。

### 3.2 レベル上げゲームの改善と汎用化

レベル上げゲームは、前提知識の修得状況を確認しつつ本編に必要な知識の修得レベルへと引き上げることを目的としている。十分な修得レベルにあれば短時間で済ませるのが望ましく、上位目標から下位目標の順に達成状況を確認し、現状から上位目標に向けて短時間で学習することを想定している。

旧ゲームでは、縦糸、横糸について、誤答を含んだ

表2 逆向き設計に関する5W1Hの知識

Slot	解説内容
What	新・逆向き設計は、総合的な学習の時間にSDGs的な課題に取り組むことを想定し、その準備として各教科の問題解決活動を設定し、さらにその準備として教科の通常授業を位置づけるという手順で設計する方法である。
Why	目標設定過程で問題分析を行うが、目標や条件設定を絞り込む(特殊化する)ほど、問題は明確になり解決しやすくなる。逆向き設計は、各教科の問題解決方法を活用しなければならぬように条件設定することが鍵になる。
Where	各教科の条件設定の方向性を助言する。例えば、数学は、現象に関わる定量データを活用して数学的モデリングを行い、シミュレーション、最適化、方程式や不等式を解くなどの活用を持ち込めるようにする。理科は、技術的な解決策の信頼性・有効性を科学的に考える。
How	ここで言う逆向きとは、「学校教育のゴール⇒総合的な学習の時間のゴール⇒各教科の問題解決活動⇒各教科の通常授業」と設計するもので、逆向きとは言うものの、工学的な設計では、これが通常の設計順序である。
When	普通教育の目的は、市民教育であり、SDGsを含めて、国の政策を評価するような課題設定を問題解決学習で取り上げることが想定される。
Who	逆向き設計は教師が行う作業であり、生徒は、適切に逆向き設計された課題設定に基づいて取り組めばいい。

選択肢から適切なものを適切な順序で回答できるか、各過程のOutputとして適切なものを選択できるかを評価する。誤答の場合は、指導計画立案を例として同様の回答を求め、理解を深めさせる。また、数学的な見方・考え方について、教職課程の授業で扱った例と、授業シミュレーションに出てくる事例のそれぞれについて、どの見方・考え方が使われているかを問う。前提知識確認と本編との連携を図り、本編でその成果が発揮されると期待している。

以上の工夫は、限られた時間で教育効果を上げる点で優れているが、扱う教科や単元ごとにコンテンツは異なるため汎用化が難しい。また、正解するまで同じ問題を問うており、総当たり式で正解を見つけようとする学生もいて、結果的に短時間でレベルアップすることには必ずしも成功していない。

今回は、解説編に採用した松田(2020a)の中に出てくる問題を転用し、出題内容・方法を変更した。縦糸・横糸モデルについては、5W1HのWhat(モデルの概要、縦糸・横糸の手順名、各過程のOutput)、Why(縦糸・横糸モデルの理論的背景)、How(縦糸・横糸モデルの使い方)の5問を出題し、各問では毎回選択肢の順序をランダムに変更して、3回誤答するまでヒントを与えながら問う。それでも不正解なら正解を提示する。見方・

考え方については、数学的/科学的/情動的な見方・考え方について、具体例の中で活用されている見方・考え方を選択肢から選ぶ問題を6～14問用意し、そこからランダムに3問出題して、1問でも誤答があれば正解を示し、出題項目を変えて3回まで問う形式とした。なお、3回目でも誤答した場合は解説編に飛び、当該教科の見方・考え方の5W1Hの枠組みを提示する。

逆向き設計については、前提知識確認で解説編の学習を必須とし、最後に知識確認を行う。ここでも正誤判定問題を6問用意し、ランダムに3問出題して、全問正解するか誤答を3回繰り返すまで出題を繰り返す。誤答した時は、正解とその理由をフィードバックする。「誤った捉え方」として示す以下の問の中には、一見正しく見えるが、そのような単純化は逆向き設計の本質を見落とす恐れがあると注意を向けさせるものを含む。

- 各教科では、総合的な学習の時間のサブ課題としてSDGsのテーマに関連した教科の課題を設計する。(⇒短絡的にSDGsに関連した教科の課題を設定すればいいのではなく、学習活動のイメージを明確化することが不可欠である。)
- 総合的な学習の時間に役立つ各教科の学習成果は見方・考え方なので、各教科ではSDGsのテーマに見方・考え方を活用させる指導を行う。(⇒領域固有知識の活用法を明示することが重要)
- 数学は定量的データを分析させ、理科はWebで公開されている主張を批判的に考察させ、情報は情報システムの導入の是非を検討させる。(⇒この教科はこういう課題と単純化するのは誤りで、どんな課題にも教科の成果を活かせるような問題分析法も指導する必要がある。)
- 逆向き設計する目的は、SDGs的な課題から、各教科の問題解決活動の課題を生徒自身が発想できるように指導するためである。(⇒逆向き設計は教員が学習活動を設計するためである)

### 3.3 「指導計画作成」の改善と汎用化

本編は、「課題学習」の単元設計とその見直し、本時(導入授業)の設計とふり返りに大きく分かれる。授業シミュレーションは後者の一部である。どちらも、ゲーム側で用意した授業構成要素に関して、「実施する/しない」の選択をユーザに求める。

単元計画の構成要素は、順序も含めて以下の通りである。今回のテンプレート化で一部表現を変えたが、内容の本質は旧ゲームと同じである。単元設計では、宿題として授業時間外に扱う場合は「実施しない」に含め、実施する場合は時間配分も問う。

- 第1次：前提・新規知識の確認・修得

- ・第2次：課題学習の進め方(導入授業)←本時
- ・第3次：課題解決(個別の問題解決活動)
- ・第4次：ふり返り

一方、第2次(本時)の構成要素は、旧ゲームの1階層17項目から、下に示す2階層構成にした。1階層目の「〇〇に即した展開」はいずれか1つを選択する。ただし、現時点では、「縦糸に即した展開」以外を選択すると不適切である理由がフィードバックされ、実質的には選択できない。今回作成した授業シミュレーションで、当該モジュールが作成されなかったためである。

- ・導入～課題解決学習の趣旨説明、課題例紹介、課題発想法、課題のチェック・改善法
- ・知識確認～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～課題・テーマの提示
- ・縦糸に即した展開～目標設定、代替案発想1、合理的判断1、代替案発想2、合理的判断2、最適解導出
- ・探求過程に即した展開～課題の設定・詳細化、情報の収集、整理・分析、まとめ・表現
- ・科学的方法に即した展開～仮説の設定、実験・観察、データ分析、考察、発表・相互評価
- ・数学的活動に即した展開～現象の理解、定式化・モデル化、解の導出、結果の解釈
- ・まとめと次回に向けた指示～活動のふり返り、次回に向けた指示

選択した1階層目の分節について、2階層目の下位分節の一覧が表示され、その中から実施する分節を実施する順序で選択して、授業シミュレーションを行う。なお、下線を付した分節は新規追加したものである。一方、上の「縦糸に即した展開」のいずれかの過程に対応する以下の分節は、旧ゲームでは縦糸の過程名を明示していなかったものを明示した。

- ・様々な要因を発想・整理する方法を指導する(目標設定過程に対応)
- ・仮説を立てさせる(目標設定過程に対応)
- ・仮説を数学的に検証する方法を指導する(代替案発想過程～最適解導出過程に対応)

指導計画(指導案)には、一般に、単元や本時の学習目標、授業・教材観、評価方法を記述する。教材観や評価方法は、予め登録した選択肢から任意個を選択させる。汎用化は、用意する選択肢の汎用化と、用意したのから選択肢にするものをオン/オフ設定できるようにすることで達成する。

学習目標は、「学習内容項目一覧⇒単元の目標⇒本時の目標」の順に階層化して登録し、その中から順次選

択させる。旧ゲームの学習内容項目は、二次関数、三角比などの領域固有知識、見方・考え方、縦糸・横糸の手順など、単元目標は、「〇〇を活用して問題解決できる」「〇〇を活用してグラフが描ける」「〇〇を活用して解を導ける」など、本時目標は、「関数を活用して解が導ける」に対して、「関数の問題を解ける」「関数の式を立てられる」などであった。本時目標は、第2次に対応づけた単元目標に対してのみ選択させる。

学習目標のうち、コンテンツ依存なのは、領域固有知識の内容項目のみである。ただし、領域固有知識も、「学習中の単元の内容項目」「学習中の単元的前提内容項目」「学習中の単元の発展内容項目」「教科の既習知識全般」「教科の未習事項を活用する方法」「他教科の既習知識全般」に分類できる。単元の特典の内容項目(二次関数や酸・塩基反応など)は、本時の目標の「学習中の単元の内容項目」「学習中の単元的前提内容項目」の下位目標として教材開発者が登録することとし、それ以外は、汎用的な項目を提示しておき、開発者が必要に応じて選択して活用できるようにした。

### 3.4 「授業シミュレーション」の改善と汎用化

授業シミュレーションでは、3.3の分節ごとに実行モジュールを記述する。旧ゲームでは、各モジュールに、「何を提示するか」「どう提示するか」のいずれかに関する対話(発問、選択肢、フィードバック)が1組程度用意されていた。対話内容はコンテンツ依存のものも多く、フィードバックも、生徒の反応として提示するもの、コメントの形で提示するものなど一貫性は無い。

これを改善し汎用化するに際し、授業シミュレーションの目的を再考した上で、コンテンツに応じた具体化のメリットを失わずに、教材開発の負荷を減らす汎用化可能な工夫を考える。汎用化に際しては、本研究が採用するMatsuda(2018)の教材開発手法を念頭に置く必要がある。具体的には、提示内容と発問、フィードバックはスライド+テキストで表示し、選択肢はテキストとして書き込む方式である。スライド+テキストでは、一方をコンテンツ依存にし、他方は汎用化することも考えられる。また、フィードバックは、選択肢や誤答回数に応じて提示内容を変えることもできる。

以上をふまえた授業シミュレーションの目的だが、基本的には、「指導計画を仮想的に実施して計画の問題点に気づかせること」ことである。ただし、ここで言う指導計画には、単元指導計画と、本時指導計画の2つがある。旧ゲームでは、適切な課題の設定方法と、見方・考え方を通常授業で指導しておくことの重要性とに気づかせることを主眼とした。前者については、前提知識確認で課題の発想を指導していないため、授

業シミュレーション内で生徒役としてそれを体験させた。後者については、シミュレーション後のふり返りで、通常授業での指導、課題学習の授業内の指導、授業外の活動に何を割り振るかを考えさせた。これは、教育効果を高める上で、授業時間をいかに効率的に活用するかということに注意を向けさせることでもある。

今回、教師が行う課題作りについては、新・逆向き設計を前提知識確認で明示的に指導する。新・逆向き設計は、教師が行う作業であり、生徒の作業ではない。図3に示した通り、教科の問題解決学習の主眼は、問題解決の手順に即して見方・考え方や領域固有知識の活用方法を修得することで、目標や条件設定の自由度を持った課題を教師が設定する方法もある。教師が与えた課題が適切であれば、類推してテーマを変えた課題を生徒が発想することも可能であり、実際、Ito and Matsuda(2014)の教材を用いた実践でも、教材で体験した課題の類題を生徒は自ら発想できている。

さらに、新・逆向き設計の本質は、目標と条件の特殊化であり、目標設定過程の作業と同様の活動である。特殊化は、数学的な見方・考え方の1つであるが、実際は、数学に限らず汎用的な見方・考え方だと言える。よって、生徒に対する問題解決の手順と見方・考え方の指導を充実させれば、課題の発想は自ずとできるようになると考えることもできる。

以上をふまえると、授業シミュレーションの目的は、本時に重点的に扱うべき活動、即ち、限られた時間をトレードオフも考慮して活用する方針を明確にすることで、それこそが、仮想授業ゲームを問題解決の手順に即して行う理由だと言える。

以上の目的を達成する鍵は、授業シミュレーションをふまえて、教育効果と配分する時間とのトレードオフ関係を明示し、再考させることである。今回のテンプレート開発では各分節の指導に要する時間を設定し、さらに、見方・考え方や領域固有知識の活用に関する指導では、「発問しながら明示する／発問せずに解説する／扱わない」という選択肢を設け、その選択によって要する時間を計算する。同様に、モデルの明示的指導として、手順や活用すべき見方・考え方、領域固有知識の確認に要する時間も計算し、授業シミュレーション後の計画の見直しの冒頭で提示して、授業時間内に収まるように分節や指導方法の選択を再考させる。また、その結果をふまえて教育効果の見通しを示し、トレードオフ関係をさらに考察させる。教育効果の根拠としては、学習成果の汎用性とBauer(1993)のインフォームドな指導の必要性との関係などを指摘する。

以上の設計方針の下、まず、3.3に示した分節一覧のうち、「導入」から「課題・テーマの提示」までは、表3

～表9の指導項目について対話を選択させる。

「外部知識の活用法」と「ICTの活用法」は、表7の「横糸の活動」における「情報収集の方法を指導する」場合と同様の内容に飛ぶ。また、「課題・テーマの提示」は、表5の「課題の発想法」に飛ぶ。

縦糸に即した展開では、各過程共通の対話として表10の内容を用意した。ただし、横糸に即した活動は、授業内容に即して具体的な内容が変わる。また、代替案発想過程と合理的判断過程は、複数回繰り返される可能性がある。なお、活用した見方・考え方や領域固有知識について「発問する」または「扱わない」を選択した場合、活用されたものを選択肢から選択させ、正しく理解しているかを確認する。

最後の「活動のふり返し」については、実際に選択した活動の一覧を示し、その中からどの活動をふり返るかを選択させる。また、「次回に向けた指示」について

表3 「課題解決学習の趣旨説明」の対話内容

発問内容	選択肢
PBLの趣旨(What)	「教科学習と身近な問題との関連性を強調／学習成果を現実の問題に活用する体験／教科学習の成果を問題解決に活用できるように変換する方法を学ぶ」×「生徒に説明しない／簡潔に説明する／例示・発問しながら理解させる」
PBLの目的・目標(Why)	「教科学習への動機づけ／教科の学習成果を生活に活かす態度／問題解決に教科内容を活かすべき場面と方法／専門教育への導入」×「同上」
PBLの学び方(How)	「モデルと対比してメタ認知を働かせる／試行錯誤して後でふり返る／グループで議論し教え合う」×「説明しない／簡潔に説明／理由とともに説明」

表4 「課題例紹介」の対話内容

発問内容	選択肢
BLで取り組むべき課題(Where)	SDGs的課題で教科の学習成果の活かし方を示す／単元内容が活用できるように条件設定した課題／多様な解や解決方法が考えられる課題／実験・観察・調査などのデータ収集を要する課題／既存のデータや報告書等の解釈や検証を求める課題／対立する意見や解釈を比較検討させる課題／現実に行き起きている身近な問題の解決策提案／教科書や学習指導要領解説に掲載されている課題／発想力を養うゲームやパズル
学習成果の活用場面(When)	説明しない／仕事をする時の問題解決力と関連づけ／総合的な探求の時間の活動と関連づけ／政策やサービスへの賛否判断する市民力と関連づけ／大学入試と関連づけ／その他
問題解決力の捉え方	教科書やテストの問題を解く力／身近な事象に関わる応用問題を解く力／現象の定式化や解の意味を解釈する力／定式化された問題に多様な解法を発想する力

表5 「課題の発想法」の対話内容

指導項目	解説内容
「総合」で扱う課題	「総合的な探求の時間」に扱うSDGsなどから発想する, 例えば「安全な水・豊かな海」⇒水質改善
「総合」のサブ課題	目標設定過程で目標と条件を明確にして代替案の範囲を限定⇒他教科の成果を活用して目的や条件を制限すれば残る特定教科の課題になる
目標間のトレードオフに着目	「水質改善」と言っても, 「水清ければ魚棲まず」という諺もある⇒複数の目標達成が両立することを目指す課題設定を考える
要因を限定してより特殊化	「特殊化=場合分け, 条件追加」なので, 5W1Hに着目。ただし, 理科は実験・実習が不可欠と考えるのは間違い⇒対立するデータや解釈の検証など。

表6 「課題のチェック・改善法」の対話内容

分類	選択肢
正解	<ul style="list-style-type: none"> <li>様々なよさを考慮して科学的に考察できる話題か</li> <li>様々な発想から, 一つに絞って主張しているか</li> <li>設定した課題に対し, 様々な視点から切り口を発想できているか</li> <li>情報源や解決に用いる計算が, 高度に専門的な知識を必要としていないか</li> <li>計算結果を記述するのみになっていないか</li> <li>議論する意味の無い当たり前の結論ではないか</li> </ul>
誤答	<ul style="list-style-type: none"> <li>理科の応用問題といえる課題かどうか</li> <li>答えが一つに決まる話題かどうか</li> <li>既習の知識のみで解決できるかどうか</li> </ul>

表7 「手順の説明」の対話内容

指導項目	解説/発問内容
縦糸・横糸の手順	全体像を示す/縦糸の過程を説明する/横糸の活動を説明する
縦糸の過程	各過程のOutputを説明する/しない
横糸の活動	情報収集の方法を指導する/しない

では, 「自分で取り組みたい課題について/本時に省略した科学的考察について/ICTの活用について/教科の見方・考え方について」の中から選択させる。なお, これらに要する指導時間は, 「1項目に必要な時間×指導項目数」で計算する。

### 3.5 「指導計画の見直し」と「ふり返り」の改善

指導計画の見直しは, 原則として, 3.3の「指導計画作成」と同じである。ただし, 旧ゲームでは, 「指導計画作成」で入力した内容を最初に提示して印刷させ, 各作業はゼロから入力させており, 作業効率も悪く, 入力ミスも生じる恐れがある。よって, 3.3での入力値をデフォルトで表示し, 改善したい箇所に焦点化して修正できるようにした。

表8 「見方・考え方の説明」の対話内容

指導項目	選択肢
文科省の数学的な見方・考え方	学習指導要領解説に書かれている文章(+具体例を用いた説明をする/しない)
文科省の理科的な見方・考え方	学習指導要領解説に書かれている文章(+物化生地別の具体例を用いた説明をする/しない)
片桐・松田の数学的な見方・考え方	数学的活動と対応づけた情報の変換の図式(+具体例を用いたより詳細な説明をする/しない)⇒(+さらに別の例で発問する/しない)
松田の科学的な見方・考え方	仮説検証のための実験計画や結果の解釈(+具体例を用いたより詳細な説明をする/しない)

表9 「既習/新規領域固有知識を指導」の対話内容

分類	指導項目の候補(指導する場合は項目を自由記述)
既習	この単元で学んだ既習知識/この単元以外で課題解決に必要な教科の既習知識/課題解決に必要な他教科の既習知識
新規	今後学ぶ可能性のあるこの教科の領域固有知識/課題解決に必要な他教科の新規領域固有知識/課題解決に必要なだが学校では学ばない外部知識

表10 各過程に共通の対話内容

指導項目	指導項目の候補
モデルの確認	(縦糸・横糸モデルを提示・確認する)/縦糸における本過程の位置づけを確認する/活用すべき見方・考え方や教科知識を確認する
横糸に即した活動	情報の収集を行う/情報を分析・処理・変換する/Outputをまとめる
活用した見方・考え方を確認	どの見方・考え方を活用しているか発問する/活用した見方・考え方を明示する/見方・考え方については扱わない
活用した領域固有知識を確認	どの領域固有知識が必要か, 発問する/発問せずに解説する/領域固有知識については扱わない

また, 3.4で考察した授業シミュレーションの目的に即して, 前述した通り, 「指導計画の見直し」の冒頭で, 授業時間の見通しを示し, 扱う活動を絞り込む作業をさせる。現状では, 絞り込みのみで追加はできないが, 教育効果を考慮して活動を取捨選択させるなら, 追加も許容する必要がある。

「ふり返り」では, 以下について「そう思わない」～「そう思う」の5段階で自己評価させる。本ゲームの目的に即した理解が不十分な場合は, 目的を再強調する。

- 縦糸・横糸の明示的な指導法がわかった
- 見方・考え方の明示的な指導法がわかった
- 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
- よい課題の発想法の明示的な指導法が分かった

- 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が大事だと思う
- [情報収集の工夫] は本時に指導するのがよい
- [同上] は課題学習以外で指導するのがよい
- [縦糸・横糸モデル] は本時に指導するのがよい
- [同上] は通常授業で指導するのがよい
- [同上] は総合の時間に指導するのがよい
- [見方・考え方] は本時に指導するのがよい
- [同上] は通常授業で指導するのがよい

#### 4. 実践をふまえたさらなる改善の方向性

ここで言う実践は、今回のテンプレートをういた「学生による仮想授業ゲーム開発」であり、そのゲームを用いた教科教育法の実践ではない。今回は、テンプレート開発と学生の作業が同時並行だったため、本来の目的とは異なり、テンプレートを学生が書き換えるのではなく、学生の作成したスライドに合わせて筆者が書き換えを行った。よって、学生自身に書き換えが可能かどうかについては、十分な評価ができなかった。

ただし、おおよそテンプレート化が終わった箇所から、書き換え作業の一部をゲーム盤の書き方に慣れているTAに担当してもらった。その範囲では、複雑な動作をする箇所の書き換え以外では、おおよそスムーズに書き換え作業が行われた。当該箇所は、単純な分岐処理ではなく、ログを用いた分岐処理を行う箇所であり、汎用化のための変数を用いている。ただし、困難さの原因は、書き方の難易度によるものというよりも、スライドが想定している授業の流れが不明確で読み取りにくいことが本質的な原因だと推測された。

今回、数学用のゲーム開発が先行し、そこで作成されたテンプレートに基づいて理科用を開発した。数学用のゲーム盤は、テンプレートの初版を作成してから公開版が完成するまで46日かかったが、理科版はスライドを受け取って10日程度で公開版が完成した。なお、数学では課題設定が正解を求める形になる傾向が見られ、理科では科学的な見方・考え方とは何かが曖昧になっている傾向が見られた。よって、テンプレート以前に新・逆向き設計法の明確化も必要である。

テンプレートについて、さらなる改善を要する点としては、以下が考えられる。まず、見方・考え方や領域固有知識の明示的指導について、今回は活用した場面後に何を活用したかを問う形式にしたが、本来ならば、活用する前に生徒に問うのが望ましい。ゲーム内で問う場面はそのままにするとしても、「どの見方・考え方／領域固有知識を活用して活動を前に進めたらよいかを問う」といった選択肢を追加し、さらに発問の

仕方を選択させる方法を導入するよう改善する。

本時に重点的に指導すべき事項を認識させるには、教育効果に関するフィードバックが必要である。効果としては、本時(導入授業)の目的に即して、以下の指導を行っているかに着目する。

- 問題解決の手順の明示的な指導～導入で「手順の説明」、各過程で明示的指導、活動のふり返りで強調
- 見方・考え方の活用法の明示的な指導～導入で「見方・考え方の説明」、各過程の活用場面で明示的指導(事前に問う>事後に問う>明示する>指導しない)、活動のふり返りで強調
- 領域固有知識の活用法の指導～導入の「課題学習の趣旨説明」「課題例紹介」で強調、各過程で明示的指導、活動のふり返りで強調

さらに、指導の選択と目的意識が結びついているかどうかにも教育効果に影響すると考え、問題解決学習の目的の理解については、単元指導計画で設定した本時の目標や、教材観、評価方法との整合性も評価する。これらに加えて、教育効果を高める工夫の活用も評価対象にする。ICTの活用や個別対応の工夫、誤り・つまづきへの対応、動機づけの工夫、転移を促す工夫、メタ認知を促す工夫などである。

#### 5. 生徒用教材開発も見据えた指導例の改善

今回は、助言を与えながらではあるが、開発する指導例の内容は全て教科教育法実践演習を履修する学生に任せた。ただし、学生自身も初めて逆向き設計に取り組み、SDGsをベースにした教科の問題解決学習を設計した経験も無い。それ故、開発した指導事例がそのまま高校生に適用可能かを再検討する必要がある。また、実際に高校生に指導することを考えた場合、高校生によりわかりやすく、この「本時の指導」後に各自が課題を発想して適切な問題解決活動を行える(学習成果が転移可能である)ように指導できているかについても、再検討する必要がある。以下では、実際に高校生に数学・課題学習の指導を行っている教員の立場で、数学の指導事例を改善する観点について検討する。

##### 5.1 高校生に指導する上で改善すべき観点と具体例

今回の指導事例では、SDGsの「6.安全な水とトイレを世界中に」と「14.海の豊かさを守ろう」に関連づけて、「湖の水質改善」を総合的な学習の時間のテーマに設定した。数学では、そこから霞ヶ浦の水質改善策として3つが行政から提案されたとして、費用対効果に着目してその組み合わせ案から最適解を選ぶという課

題が設定された。しかし、3つの方策は、表11の通り、単位予算当たりで除去できる窒素量(一次関数の傾き)が異なるだけの関係にあり、各案の適用範囲(家畜の頭数や浄化する汚染水の上限)までの範囲で、傾きの大きい策を選んでいけばいいことは明白である。しかし、この後の展開としては、この問題を解くためのより複雑な解法が代替案として展開する。

表11 3つの方策の比較データ

対 策	削減量 (t/年)	費用 (億/年)	上限
家畜糞尿エネルギー化	150	30	150t
高度合併処理浄化槽	240	60	240t
浚渫工事	30	100	

さらに、新たな案として、浄水場を建設するという方策が提案される。この案では、建設費を基金として貯め、それから数年間かけて建設を行う。基金積立期間は他の方策に投資できないが、基金が貯まれば建設期間中も他の案を実施できる。この案で浄水場を建設した時に、何年経ったら浄水場を建設しない案よりも削減量を高められるかを検討する。また、上の3つの方策の削減効率を一次関数と仮定するのではなく、汚染物質量の減少に応じて効率が下がるという仮定に変更した場合についても検討する。

以上の設計方針は、特定の単元の応用問題を解かせることではなく、過去に学習した成果はもちろん、今後学ぶ知識の活用も許容して解決させるという意味では、課題学習の趣旨に即している。また、SDGsをテーマに選び、行政の施策を評価対象にするという市民教育としての数学教育という観点も満たしている。しかし、より簡便な解決方法があるにも関わらず、あえてより難易度の高い解決方法を扱う点は、新たな数学的内容を扱うことに重点があり、学習成果の活用重点を置くという課題学習の目的からずれている。

ここで、当該授業は、課題学習の導入授業であり、数学を活用して問題解決に取り組む方法を指導して、その転移を促すべきだという原点に立ち戻る必要がある。そして、さまざまな行政政策について、税金をより効果的に活用する方策を数学的に考える汎用的枠組みを指導することを考える。その1つの適用先がSDGsを達成する施策であり、教育、福祉、環境、産業振興など、あらゆる問題に転用可能な枠組みを考える。

なお、それは公民科で教えるべき内容だという反論も考えられる。しかし、それを言ってしまうと、二次関数は物理の物体の運動で、三角関数は波動で教えられるといいということになり、究極的には数学科は必要無いという議論になる。政策にはどのようなものがあり、

どう発想し、どのような観点で評価するのは公民で扱うにしても、それを数学的に扱う枠組みは数学科で扱うべきだと積極的に主張することこそ必要だろう。

例えば、税金の正しい使い方とは、税金を使わないことだという考え方がある。もちろん、使わないなら徴収する必要も無いから、「税金を使わない」の意味は、 $\pm 0$ にするという意味である。もちろん、これを「歳入分だけ歳出して借金しない」と解釈するのは間違いである。正しくは、「税金を投資して事業を行い、その波及効果で経済を廻し、結果的に投資しただけの税収を得る」が $\pm 0$ の意味である。つまり、行政施策を評価する時には、常に、その波及効果を税収の見込みという観点から評価する必要がある。前述した3つの方策の評価が単純になり過ぎるのは、この視点が欠けているからであり、この視点の必要性を知っていれば、それを評価するために情報収集し、それを分析して数学的に定式化し、何をもってより良い代替案とするかの目標設定も明確になる。つまり、目標設定過程で行うべき作業が自ずと明確化され、定型化される。

ここで教えるのは新たな数学の知識ではない。横糸の活動を数学的に進める方法を数学的な見方・考え方と数学の既習知識とを関連づける形で明示的に指導することが鍵である。例えば、数学は代替案の評価に有用であるから、数量化用のデータを収集する。定式化には、関数的、数列(差分)的、確率的な方法などがあり、どの方法が向くかはデータとの相性がある。また、現実のデータには、誤差やブレがあるから、近似や統計処理をするか否かの判断が必要になる。事象によっては、解に求める良さ(信頼性や頑強性、理解性など)に応じて、データの変動幅を想定したり、場合分けしたりする必要もある。なお、以上と異なるアプローチとして類推がある。類似現象に関する知見を情報収集し、その中の可変要因を推定するために数量データを解析して、モデル化するという方法である。

上述の議論をふまえ、学生の作成した授業シミュレーション内容(以下、現教材)の改善方策を検討する。

まず、現教材では、情報収集活動はブラックボックスであり、「調べたらこうだった」として情報が提示される。しかし、総合的な学習の時間であれば、それを生徒自身が情報収集する必要がある。よって、その準備として、ここで情報収集の方法を指導しておくべきとも考えられる。一方、前述の議論によれば、情報収集の指導は公民科に任せ、数学の課題学習では、その中からどのデータをどう処理して、代替案の構成や評価に使うか、あくまでも活動を数学的な手法の活用焦点化できるように、データを用意しておくべきとの考え方もある。これは、「データの分析」で、総務省が

提供しているデータを与え、生徒に仮説を自由に設定させて分析させる演習をするのと似ている。

授業シミュレーションとしては、データを探す過程を生徒に指導、あるいは体験させる流れを用意し、その実施の選択を委ねるのが良いだろう。なお、課題の発想と同様、データを用意するのは教師の作業だが、リアルなデータである必要は無く、仮想的なデータを用意すればよい。同様に、生徒が自分の課題に取り組む際も、仮想的なデータを作る方法をとってもよい。

収集すべき情報については、政策評価に必要な枠組みを用意し、定型化する。何らかの事業には、費用がかかり、単位費用当たりの直接効果がある。表11がその例である。ただし、一般に、規模が大きくなれば費用の単価は下がる。つまり、一次関数ではなく、割引率のようなものが想定される。もちろん、規模によって対策方法が変わり、コストが上がる場合もありうる。また、予算には上限があり、(処理すべき汚染物など)支出対象にも量的上限が想定されるだろう。これらは、直接的な目標と条件として明確にする必要がある。

公共事業は、国が直轄で行うものもあるが、補助事業として地方や民間に予算を配分する場合もある。この場合、補助率を設定するので、事業規模は予算の数倍になり、経済効果もそれに応じた規模になる。逆に、地方の事業は、全額、独自予算とは限らず補助金を活用する方法もある。補助の条件にもよるが、国の事業目的(例えば産業振興)に地方の目的(汚染物処理)をうまく抱き合わせることができれば、予算を効率的に使い、経済効果を高めることも可能になる。

経済効果としては、少なくとも、使った予算の10%程度は消費税として回収されるだろう。さらに、事業には労働力が必要だから、人件費を払えば所得税が発生するし、人件費を払った上で企業に利益が発生すれば、法人税収入も発生する。新規の雇用を生めば、生活支援等の福祉予算の軽減につながる場合もある。また、最近話題になった通り、ある事業体(飲食店)の業績は、その周辺の事業体(食材納入業者等)に影響を及ぼす。つまり、二次、三次と経済効果は広がり、そこにも税収は発生する。これらの効果を事業内容や業種別に厳密にデータを追跡して確認するのは無理がある。よって、何らかのモデルを立て、一次、二次、 $\dots$   $n$ 次の経済効果の合計を予測するのが適切であり、そこに数学的な手法の活用が可能だろう。その際、予測の信頼性も考慮するのが当然望ましいだろう。

例えば、汚染物処理事業の効果を高めるには、汚染物処理を行う事業者を誘致し、汚染物排出事業者に処理費用を負担させる方法もある。この事業を軌道に乗せるために、初期事業費を税金から支出するのである。

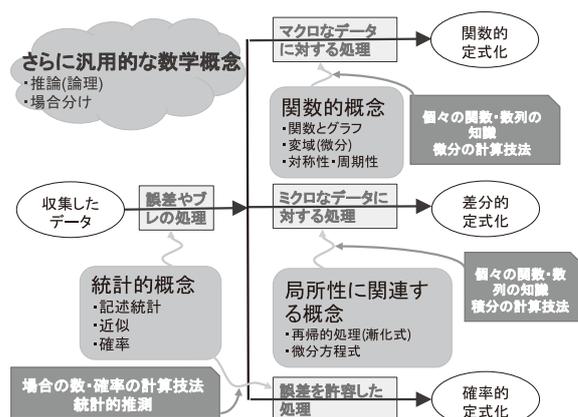


図4 定式化に向けての数学概念と知識の参照

この方法なら、最初の数年は支出が発生するが、その後、支出はゼロになって民間事業者やその周辺事業者(労働者を含む)からの税収が見込める。水道事業などはもともと公共事業であるから、浄化施設の新設・運用には水道・下水道収入を充てるとともに、排出事業者から追加料金を徴収する手もある。表11の糞尿エネルギー化も、文字通り再生可能エネルギーを生み出すもので、適切に活用すれば事業収入につながる。これらは1つの事業として統合する案が考えられる。

上述のように、収集したデータを処理して定式化するまでのプロセスを指導するには、定型化されたフローを明示的に指導することが求められるだろう。具体的には、数学科の領域固有知識を汎用的な数学概念と(単元に依存した)その他の知識に分け、汎用的な数学概念をデータに応じて使い分けて、必要に応じてその他の知識を参照する。一案として図4のフローが考えられる。

ここで、領域固有知識のうち未習事項をどのように問題解決に活かすべきか、という論点がある。筆者の所属する東京工業大学附属科学技術高等学校の数学Iでは、1年生の夏休みに生徒自らが取り組む課題を設定しているが、早坂・岡本(2012)による実践報告では、生徒は既習事項で解決できるように課題を設定する傾向が強いとのことである。学校を卒業してからの社会での問題解決では、そもそも課題を自ら決定できるとは限らない。そして広範な課題の中で、数学の既習事項だけで解決できるものは一部であり、学んだことのない知識を必要に応じて自分で補う必要がある。従って、社会の問題解決に数学を活用できるようにするためには、必要な数学的な知識を問題解決の場面でどのように補えばよいかを指導することも必要である。

ただし、汎用的な数学概念を生徒自身が補えるようにするための指導は、時間の制約から考えても通常授業で扱うべきだろう。課題学習では、未習事項の活用

が必要な場面も扱いつつ、それを自学自習する方法と、ICTと数量化を用いた代替案があることを指導する。

例えば、現教材の汚染物処理の提案で考えてみる。この場合、汚染物処理の効率が問題になるが、効率が汚染物質量により変化していく場合、その変化量(ミクロなデータ)を見て判断することになる。変化が小さければ、年ごとに一定であると見なし(近似し)て、傾きが一定の一次関数や等差数列で考えることができる。変化量が無視できないほど大きい場合、変化量が(汚染物質量に比例するなどの)一定の規則に従うと仮定し、再帰的に次の年の効率が見積もれる場合もある。後者の場合は等比数列の知識を自分で補って定式化する方法がとれる。しかし、再帰的に見積もる方法としては、Excelの式を複製する方法もある。もちろん、この場合は具体的な数値で計算する方法に限られる。いずれにせよ、課題学習の中で等比数列の知識を教える時間は無い。「政策評価には等比数列の知識が役立つ場面が少なくない」ことと、「その知識は現時点では自分で学ばねばならない」が、「ICTを活用することで数量化した世界の問題は解決できる」ことに触れておく時間はあるだろう。

## 6. 今後の課題

本稿では、松田(2020c)の「新・逆向き設計」の考え方を反映させて仮想授業ゲームの改善を図った。合わせて、汎用化とそれを実現するテンプレートの設計について検討した。しかし、今回開発したテンプレートは、①さらなる改善が必要な点があること、②実際にこのテンプレートに基づいて学生自身にゲームが開発可能か、また、③その中で設計される授業シミュレーションがより適切なものになるか、の検証が必要である。また、④本稿で検討した生徒向け教材についても、実際に開発して効果を検証する必要がある。

## 謝 辞

本研究に関し、JSPS科研費JP19K02969の支援を受けた。記して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.  
早坂健, 岡本敬(2012) 平成24年度数学「課題学習」実践報告, 東京工業大学附属科学技術高等学校研究報告, 8, 1-10

Ito, Y. and Matsuda, T. (2014) Improving the Design Framework of Problem-based Instruction in Mathematics Based on the Student Model, Proceedings of HICE 2014, 2517-2529

松田稔樹(2012) ゲーミングの立場から見た高校の「数学I・課題学習」および「理科基礎科目・探究活動」の設計原理, 日本シミュレーション&ゲーミング学会2020年度春季全国大会報告集, 71-76

松田稔樹(2017) 「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

Matsuda, T. (2018) Virtual Lesson Game for Prompting Teachers to Change Their Instructional Style for Promoting the Integration and Utilization of Knowledge in Problem-solving, Proceedings of the ISAGA 2018, 285-292

松田稔樹(2020a) 縦糸・横糸モデルに基づく教育実践研究指導用e-learning教材. 日本教育工学会研究会報告集, JSET20-1, 147-154

松田稔樹(2020b) STEM教育用ゲーミング教材の設計フレームワーク, 日本教育工学会研究会報告集, JSET20-2, 81-88

松田稔樹(2020c) 「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(2020d) 総合的な探求の時間から情報科の授業を構想する逆向き設計の方法. 日本情報科教育学会第13回全国大会講演論文集, 24-25

松田稔樹, 佐藤亮太, 石井奈津子(2010) 中等教員養成における「総合的な学習の時間」の指導力育成方法の検討と実践. 日本教育工学会研究会報告集, JET10-2, 173-180

松田稔樹・鶴田拓真・水野佑美(2018) 課題学習・探求活動の指導力向上を支援する仮想授業ゲームのための指導案分析, 日本シミュレーション&ゲーミング学会2020年度秋期全国大会講演論文集, 149-150

水野佑美, 松田稔樹(2019) 数学「課題学習」の指導力を高める教師教育ゲームの開発. 日本教育工学会研究会報告集, JSET19-1, 95-10

Mizuno, Y. & Matsuda, T. (2020) A Virtual Lesson Game for Encouraging Mathematics Teachers to Perform PBL, Proceedings of the 18th Hawaii International Conference on Education, 1476-1485

Wiggins, G., & McTighe, J. (2005) Understanding by Design (Expanded 2nd edition). Pearson Education