

新逆向き設計に基づく情報Ⅰ「総合演習」の設計と年間指導計画

Making Gaming Instructional Material for Exploration Activities
and Year Plan of Information I Based on New Backward Design Method

松田稔樹

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

1998～9年の学習指導要領改訂で、教科学習の成果を統合して問題解決に取り組むための「総合的な学習の時間」が導入され、各学校段階で必須になった。しかし、その機会を十分に活用し、成果をあげることはできていない。筆者は、SDGsの達成に関わる政策評価を「総合的な学習の時間」の課題とし、それに役立つ準備学習を各教科で行うという「新逆向き設計」手法を提案している。これによって教科カリキュラムを再構成することが成功の鍵だと考えているからである。新逆向き設計では、教科との接続の鍵になる教科の探究活動の設計が鍵になる。筆者は、湖沼の水質改善を共通題材にして、既に、数学や理科で探求活動の導入用ゲーミング教材を開発してきた。本稿では、教科間の連携と役割分担を明確にするために、同じ題材で情報科の「総合演習」導入用ゲーミング教材を設計する。合わせて、教科の通常授業の見直しを行う観点から、総合演習との連携を図った年間指導計画も考察する。

キーワード：新逆向き設計手法、縦糸・横糸モデル、カリキュラム設計、探求的活動、ゲーミング教材

1. はじめに

1.1 背景

世界中の学校教育で問題解決力の育成が重視されている。日本では、1998～9年の学習指導要領改訂時から、教科学習の成果を統合して問題解決に取り組むための「総合的な学習の時間」が各学校段階で必須になった。また、中学校、高校の数学や理科、社会などでも、単元末に探究活動を行うことを求めてきた。しかし、これらの取り組みは、その初期の目的を未だに達成していないと指摘されている(中央教育審議会2016)。さらに、最新の学習指導要領では、理科の探究活動の位置づけが曖昧になっていたり、理数探究の導入で、「総合的な学習の時間」が一部教科の連携のみでも許容されるなど、後退が見られる。

松田(2022)は、この問題の原因として、教科カリキュラムが学問の入門編になっており、市民に求められる資質・能力の育成から乖離している点を指摘している。さらに、Matsuda(2022)は、学校段階が上がるほど、上級学校への

進学に必要な専門教育的な内容に重点を置いているとも指摘している。この指摘は、大学審議会(1995)が、「教養教育を行う目的が不明確なまま、単に専門教育の入門的な授業を行うことを教養教育と呼んでいる」と批判していることと通ずる。教養教育(普通教育)と専門教育との区別を明確にすることなく、学習成果の統合を生徒任せにしても、統合に向けたヒントすら無いから、「総合的な課題を与えさえすれば自ずと学習成果が統合される」という結果にはならない。そもそも明示的な指導ができない理由も、教師自身が教科の学習成果を「総合的な学習の時間」の課題や身近な問題解決にどう活用してよいか分からないからであろう。結果的に、教科の探究活動の問題設定も、教科学習の成果を適用するのに都合の良いものや、現実離れして実生活に役立たないものばかりである(松田・益田2011)。

1.2 新逆向き設計手法と縦糸・横糸モデル

松田(2020a)は、この問題の改善を図るために、「新逆向き設計」手法を提案している。「新」が付いている理由は、Wiggins and McTighe(2005)の「逆向き設計」手法と区別するためである。両者の違いは、オリジナルの逆向き設計

が、学習指導要領のようなスタンダードを起点として、単元⇒本時を設計していくものであり、教科に閉じた手法であるのに対して、新逆向き設計は、学習指導要領のようなカリキュラム基準そのものを、教科の学習成果の統合的な活用が進むように設計し直すことを意図している点である。

上述の目的を達成するために、新逆向き設計手法では、学校教育の主目的は市民教育にあると考え、普通教育では、全教科の成果を総合して、国連のSDGsの達成を目指す行政政策や企業サービス、製品の評価能力を育成することを目標とする。「総合的な学習の時間」には、そのような活動を実践し、教科の探究活動では、その準備となるサブ課題に取り組む。各教科の活用視点は、Matsuda and Nagahara (2021)のチェックリストにも示されており、数学なら政策の定量的な評価に焦点を当て、理科では提案に使われているデータの科学的信頼性・妥当性を検討することに焦点を当てる。教科の通常授業は、そのような探究活動の準備となるように、活用可能な内容を精選し、活用を促す指導法を考慮してカリキュラム設計する。

市民に求められるのは政策提案能力ではなく、政策を評価して賛否を議論したり、改善策を要求したり、自己防衛策を考えたりすることだとする。政策やサービスを考える役割は、主に専門家が担うべきだからである。松田 (2015) は、全ての教科の探究活動で共通的に使える問題解決のモデルとして「縦糸・横糸モデル」(図1)も提案している。モデルは、問題解決の手順、そこで活用すべき教科の汎用的方略(見方・考え方)、領域固有知識(覚えるべき内部知識と参照すればよい外部知識)で構成される。新逆向き設計と同様、このモデルも「総合的な学習の時間」用のモデルと各教科のモデルは、一般・特殊関係が成り立つように設計される。

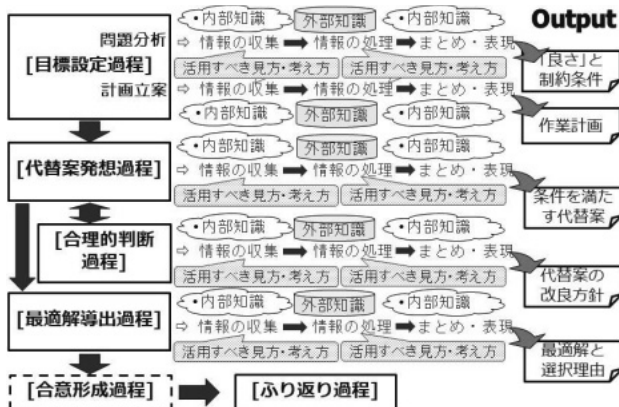


図1 問題解決の縦糸・横糸モデル (概要版)

1.3 開発する教材のトピックス

筆者は、既に数学及び理科で、新逆向き設計に基づく探究活動支援用教材を開発している。当該教材は、小林・櫻井・水野谷・氷飽(2006)の霞ヶ浦の水質改善策に関する論文に基づき学生が開発した教材(神里・嶋本・堀・松浦・村

田2021)を、松田・野本(2021)の考察をふまえて改善したものである。

湖の水質悪化の原因は、窒素やリンを含む栄養塩であり、それがプランクトンの異常発生を促し、それが死滅し分解される時に大量の酸素を消費して、水中の酸素濃度を下げ、魚類等の死滅につながる。その栄養塩の主要な発生源が、家畜ふん尿と家庭や事業所からの汚水や生ゴミである。

前者を減らす方策には、これまで自分の農地に肥料として撒いていた家畜ふん尿の過剰分を域外に外販する必要がある。ただし、それには費用がかかるため、その費用捻出と肥料化を可能にするバイオガス生成と発電を行う方策が考えられるが、その初期投資を税金で補助する必要がある。

後者を減らす方策としては、下水処理施設の高機能化がある。ただし、更新対象の低機能汚水槽は各家庭で購入したものであり、それを高機能のものに更新させるには、補助金が必要である。以上の2つの政策でも、湖には新規の栄養塩が流入する。その溜まった栄養塩を排出するために、税金を使って浚渫を行う必要がある。

1.4 数学用教材と理科用教材の概要

数学では、どのような政策選択がより良いかを定量的に評価する方法を学ぶ。単純に、どれか1つに決定するのがより良い選択とは限らない。小林ら(2006)は単純な費用対効果分析を行っているが、各政策には投入できる予算の上限がある。よって予算規模によっては、複数の政策を組み合わせた混合解を選択することになる。

一方、松田 (2021)の教材では、民間企業の収益事業を支援する家畜ふん尿処理(バイオガス発電)と、それ以外の2つの政策とを全く異なる方法で評価している。前者は、補助金分を税収として回収することを前提に、事業が頓挫しないための補助金額の計算方法をシミュレーションしている。一方、後者は、費用対効果が悪いが、一定量行う必要がある浚渫費用を長期的に削減するため、汚水処理施設の高機能化を促進するための補助制度のシミュレーションを行っている。

松田・浅野(2021)の理科の教材は、3つの政策のうち、汚水処理に焦点を当て、原因物質の栄養塩が発生して処理され、下流に流れたり、除去されたりする状況(フロー)に関する推定方法の信頼性・妥当性を評価する。数学的な評価でどんなに良い評価を得ても、そのデータが間違っている場合は意味が無いからである。

これまでの理科教育では、必要なデータを収集する実験・観察方法を考えることに重点があった。学者や技術者を育成する専門教育ならそれでいいが、市民が費用や手間をかけて自分で測定方法を考えることはありえない。いかに間に合わせのデータを用いて信頼できる推定を行うかが重要になる。もちろん、推定を初めから全部行うことも市民には困難である。しかし、政策にはそのデータが示されているはずであり、それをヒントに批判的に検討することはできるようになる必要がある。教材では、小林ら(2006)の推

定方法を批判的に検討し、より簡単により信頼できる推定方法を検討したり、モデルの中で無視されている要素や、矛盾のある点について改善策を検討させている。

2. 目的

本稿では、数学、理科での教材開発の成果をふまえて、それらと共通の課題で情報科の「総合演習」導入用教材を設計する。これら各教科の教材を体験すれば、「総合的な探究の時間」で学習成果が統合されるように各教科の教材を設計することが目標である。また、情報科の必修単位は、2単位(70時限)のみである。数学科、理科、情報科の分担を明確化し、情報科として焦点を当てて指導すべき範囲を明確にする必要がある。そのために、具体的な指導計画を明確にするため、授業をゲーミング教材として設計する。

3. 情報科で行うべき学習活動

3.1 「総合的な探究の時間」における活動の想定

資源エネルギー庁(2022)によれば、2021年度時点の日本の発電電力量比率は、原子力6.8%、再生可能エネルギー20%、化石燃料73%である。もちろん、この構成比は、福島第一原子力発電所の事故により、多くの原子力発電所が停止しているためである。2010年度は、原子力25%、再生可能エネルギー9.5%、化石燃料65%であった。この時の再生可能エネルギーに占める水力の割合は8割程度だったが、2021年度時点では4割弱であり、残りはバイオマスを含む新エネルギーである。

新エネルギーと言うと、太陽光や風力が強調され、天候の影響を受けるため、安定電源にならないという批判がされる。しかし、バイオマスや地熱などは、安定的に電力を得られる可能性や、揚水発電、蓄電池などと同様、不安定な新エネルギーと相補的に活用することで、安定的な電力供給が可能になるという利点がある。小林ら(2006)で提案されている家畜ふん尿エネルギー化は、このバイオマスを使ってメタンガスを発生させ、発電するものである。メタンガスは、液化天然ガス(LNG)の主成分であるが、化石燃料と再生可能エネルギーでは、地球温暖化への影響が全く異なる。

バイオガス生産システムの原料は、家畜ふん尿に限られない。表1(浅井2020)に示す通り、むしろ、ホテルや食品販売業(以下、事業所)、家庭から出る生ゴミの方が、ふん尿より含まれるエネルギー量は多い。食品ゴミは、SDGsの食料問題にも関係し、また、焼却処理すればCO₂やNO_x等を発生させ、環境負荷も高める。國松・村岡(1989)によれば、家庭や事業所で発生する生ゴミ等の量は、人口や売上高から推定可能であるから、人口密度の高い都会の方がゴミ収集のコストも、送電による電力ロスも低減できる。

一方、現状の生ゴミ処理方法を焼却からバイオガス発電

表1 バイオガス生産システムの原料別の発生量

処理対象物	バイオガス発生量(Nm ³ /t)	電気および熱発生量	
		電気	熱
乳牛排泄物	15 ~ 30	約 145MJ(40 k Wh)	約 193MJ(灯油 5.3L分)
ブタ排泄物	19 ~ 34	約 171MJ(47 k Wh)	約 228MJ(灯油 6.2L分)
生ゴミ	150	約 967MJ(269 k Wh)	約 1,289MJ(灯油 35.1L分)
ホテル厨芥	175	約 1,128MJ(313 k Wh)	約 1,504MJ(灯油 41.0L分)
下水汚泥	12 ~ 14	約 84MJ(23 k Wh)	約 112MJ(灯油 3.0L分)

に転換することについては、設備や運用コスト、電気料金収入、エネルギー自給率や温室効果ガス発生量の改善など、多面的に評価する必要がある。現状のゴミ焼却設備も発電を行っており、設備内の電力を賄っている点にも注意が必要である。前述した通り、他の新エネルギー発電との併用の効果についても評価する必要がある。

ただし、これらの定量的評価は、松田(2021)の数学教材と類似したものであり、情報科ではなく、数学科の学習成果の応用範囲である。また、想定する地域でどれ位のバイオマス原料が調達でき、その品質はどの程度で、そこからどれだけメタンガスや副産物(肥料等)の発生が期待でき、環境負荷の低減が期待できるのかを検証するのは、理科の学習成果の応用の範囲である。小林ら(2006)の家畜ふん尿の事例を生ゴミのデータに置き換えて検証することなどが考えられる。

情報科の内容として、「社会や自然などにおける事象をモデル化する方法、シミュレーションを通してモデルを評価し改善する方法について理解すること」があるが、この文言の解釈には慎重さが求められる。そもそも、モデル化とは、抽象化・記号化であり、社会や自然をモデル化する学習は、社会(地歴・公民)科や理科で行うべきである。ディベートや金融ゲームなどは、社会科のシミュレーションであり、科学実験は理科のシミュレーションである。もちろん計算機物理や電気回路のCADなど、コンピュータを使ったシミュレーションもあるが、それも理科の学習であって、情報科の学習ではない。70時限しかない情報科の授業を他教科の活動に使うのは、時間の無駄遣い以外の何ものでもないことを明確にしておく必要がある。

3.2 他教科とは異なる情報科独自の学習

情報科は、情報技術の活用を学ぶ教科である。ただし、情報科では、個人レベルの問題解決で効果・効率を高めるための情報技術の活用ではなく、社会的問題解決のための情報システムについて考えることが重要になる。社会情報システムは、効果的に活用すれば税金の無駄遣いを無くす

ことにつながり、公平性を高めることにつながる可能性もある。一方、「使う／使わない」の選択が自由にできるとは限らず、情報格差が生じることや、個人情報の取り扱いなどに多くの問題も懸念される。

生ゴミによるバイオマス発電でも、情報システムを導入することで政策効果を高めることが期待できる。しかし、使い方によっては、思わぬところで個人情報漏洩したり、情報を扱っている企業が勝手に情報を二次利用して、プライバシー侵害が起こるかもしれない。もちろん、システムに費用がかかる割に、導入効果が低い可能性もある。

情報システムを設計するとは、本来なら、人がモノやお金の流れを把握し、情報を相互伝達したり、装置の制御やお金の入出金を行っていたものを、機械で代替し、自動化するにはどうすればよいかを考えることである。人が目や耳で収集する情報をセンサや人手で情報化し、通信ネットワークで伝達し、必要ならば一時的にデータベースなどに保管する。機械を制御したり、銀行の口座データを更新する必要もあるかもしれない。いずれにせよ、対象とする事象を情報の収集、処理、保存、伝達、制御などの概念で置き換えることと言える。これが情報科におけるモデル化の意味である。

一方、モデル化したシステム設計案がうまく機能するか、あるいは、問題が発生する恐れはないかを検討するシミュレーションは、何らかのプログラムを作成することと解釈しがちである。しかし、70時間しか無い情報科の授業でプログラムを作成することは不可能であるし、稚拙なプログラムで問題点を検討しても、それが稚拙なプログラムであるが故の問題点なのかどうかも分からない。市民に対しては、既存システムからの類推によって効果や問題点を検討することが、求められるシミュレーション思考の能力になるだろう。よって、情報科の探求活動でこの種の問題に取り組むには、通常授業での準備として、類推に役立つ典型的な情報システムの事例を学び、類推的思考を磨くことが重要になる。

4. 教材の具体的設計

4.1 課題提示と目標設定過程

数学や理科の教材でも、政策提案を行うのは専門家であり、生徒に提示する課題には、政策内容やその根拠データを明示する。情報科の教材でも、政策が提案する情報システムは課題内容に明示する必要がある。仮に扱う課題が、過去のものを含め、実際の政策であれば、それを引用することで課題提示することができる。

一方、仮想的な課題であれば、それを提示するのは教員の役目になる。ただし、どんな政策でも、提案されるシステムは未開発のものであり構想段階のものである。教員も情報システムを設計する専門家ではないので、生徒に考えさせるのに十分な情報が含まれていればよい。その意味で

は、上述の通り、生徒には類推的思考を促すことを想定しているのであるから、類推のベースとなるシステムを参考に、仮想的なシステムを課題提示すればよいだろう。なお、教材は試験問題ではなく、解決方法や学習成果の活用方法を指導することに重点がある。よって、教材中では、課題提示で全ての情報を提示するのではなく、以下の問題解決過程に即して、順次、必要な情報を提示していく。

バイオガス発電に情報システムを導入する目的として、以下のものが想定される。第1は、発電制御であり、太陽光や風力の発電量の減少分を補うためにバイオガス発電を活用する場合には必須である。ただし、バイオガスを直接燃料として発電するのか、水蒸気を発生させて発電するのかで、即応性が変わるので、リアルタイム情報のみで発電制御するならば、蓄電池などの活用も必要になる。よって、日照予測や風向・風力予測などの気象予測情報も活用し、より広範囲な発電制御をすることが重要になる。なお、発電制御は、常時一定量の電力を供給するのではなく、需要と供給を一致させることが重要であるから、需要予測の情報も活用する必要がある。

第2は、バイオガス貯蔵量の制御である。ガス貯蔵設備には貯蔵量の上限があるから、現在の貯蔵量と需要予測から、生成までに要する日数を勘案して生成すべきガス量を決め、ガス生成設備に投入すべき原料の量を定める。なお、バイオガス生成の副産物として、肥料成分が生成される。これを廃棄処分すれば、環境に影響を与える恐れがあるので、肥料として販売するまで、貯蔵が必要になり、その在庫管理も必要になる。

第3は、原料となる生ゴミ等の回収効率化システムである。生ゴミを発電に用いる場合と焼却する場合との決定的な違いは、焼却の場合は収集したら即時処分すればいいが、発電の場合は、ガス貯蔵量制御の観点から、即時に生成処理するのではなく、必要になるまで一時貯蔵する必要がある。もちろん、生成したガスを液化すれば容量が600分の1になるので、即時に生成処理することも考えられる。しかし、液化処理にも電力を消費するし、生ゴミに含まれる水分除去がガス生成効率に影響することを考慮すれば、一定期間、生ゴミの状態での貯蔵することは有益である。その場合、後述する仮定とも関係するが、生ゴミの貯蔵場所として最も適しているのは、発生源である家庭等であるから、ゴミ回収を不定期に行い、回収費用の低減化も実現することが考えられる。

現状のゴミ処理では、リサイクルゴミ以外は、主に、燃やすゴミと燃やさないゴミに分類する。バイオガス発電では、燃やすゴミの中の生ゴミのみを原料とする。当然、原料の質が問われ、ゴミを出す家庭や事業所の協力が必要である。特に、家庭ゴミは無料回収であるから、分別や保管・管理等の協力を得るには協力金が必要になるだろう。よって、第4のサブシステムとして、生ゴミ(資源)提供者ごとに、資源提供量やその質の情報と、配分すべき協力金額を評価・管理・分配するシステムが必要になる。

ゴミ処理は、通常、地方自治体が行っているが、発電事業は民間事業者が行っている。よって、バイオガス発電も民間事業者が行い、生ゴミの回収も民間事業者が行うこととする。ただし、ゴミ回収事業者と発電事業者は同一とは限らない。家庭用太陽光発電と同様、生ゴミの買い取り事業者は各家庭が選択できることとする。この場合、ゴミ回収事業者は、どの家庭からどれだけの量の生ゴミを回収したかを把握し、発電事業者に販売した収益から、回収したゴミ量に応じて協力金を支払う。なお、大規模集合住宅や大型商業施設では、ディスプレイで生ゴミを収集し、回収することが可能である(日本建築センター1999)。この場合、取引は建物管理者と発電事業者間で行い、入居者は賃貸料や管理費の割引を受けることとする。事業者間の取引なので個人情報扱必要も無く、今回の問題の対象外とする。

個別住宅や小規模な集合住宅・商業施設などの場合、何らかのゴミ収集技術が必要になる。ただし、悪臭対策や水分除去などは情報技術の問題ではない。ここでは、バイオガス原料としての一定の質を担保できる生ゴミ回収ボックスを開発すると想定する。かつて、家庭からの生ゴミ排出量削減のために、自治体がコンポストの購入を補助したことがある。生ゴミ回収ボックスも、自治体が購入して個人に貸し出す方式を想定する。ただし、貸し出し時には保証金を徴収し、引っ越し等で不要になった場合は、ボックスの状況を確認して、問題が無ければ保証金を返却する。その他、ボックスの使用期限が来たら、無償で交換する。このような制度を運用するために、第5のサブシステムとして、ボックス管理システムの導入が想定される。

以上、5つのサブシステムを挙げたが、このうち、第1と第2のシステムは、事業用プラント制御システムであり、個人に影響を及ぼす社会情報システムではない。市民レベルで賛否を表明するような問題にはならないし、解決に用いるのは数理モデリングであって、数学の専門知識の応用が中心になる。よって、今回の教材の対象とはしない。

一方、第3～第5のシステムは、ゴミを提供する家庭に影響を与えるから、少なくとも、個人レベルで賛否や事業者の選択を考える必要がある。構築するシステムには、信頼性はもちろんのこと、個人情報や回収記録などの機密保持が必要である。例えば、生ゴミの回収情報は、分析次第では在宅状況の指標にもなりうるといったことにも配慮が必要である。

4.2 代替案発想過程

当該システムを既存システムとの類推で考えると、第3の回収サービスは、宅配便の引き取りサービスがベースになるかもしれない。宅配便に店頭引き取りがあるように、生ゴミも、引き取りステーションを設置する方法も考えられる。この方式では、ボックスが満杯になった時点で回収するのが効率的だが、宅配便とは異なり、ボックスは回収せず、ボックスの中身のみを回収する。よって、ステー

ションで回収する時には、各家庭からは満杯状態で持参してもらう必要は無く、ステーション全体で規定量以上が集積できたら回収すればいい。

異なる類推のベースとしては、通常のゴミ回収方法がある。定期的に回収する日を決めて、各家庭を廻る方法である。この方法では、頻繁に回収するほど費用対効果が下がる可能性がある。しかし、頻度が少なくなると、回収ボックスが満杯になった家庭は、生ゴミを可燃ゴミとして廃棄するだろう。それを避けるには、やはり、ステーションなどを設置する必要がある。

第4の生ゴミ回収情報と協力金配分の管理システムは、実質的に第3のシステムと連動する必要があるが、扱うのは回収後の情報管理である。これには、電力メーターによる自動計測・料金請求システムが参考になるかもしれない。電力メーターは、使用した電力量を自動で計測するが、かつては人手で行っていた検診を通信機能で自動化している。後は、契約内容に則して料金を計算して、銀行口座から引き落とす。近年は、郵送による通知が有料化されており、客側はWebにアクセスして使用量と請求内容を確認する。生ゴミ回収の場合は、客側が買い手ではなく、売り手になる点が大きな相違点である。最近では、電気料金は毎月のように変更されているが、バイオガスやその売電価格も随時変動するなら、それに応じて協力金も変更する必要がある。また、生ゴミの質を回収時に評価可能であれば、それを協力金に反映させることも考えられる。それらは、電力メーターに相当する回収ボックスにどのようなセンサをつけるかに依存するだろう。

異なる類似システムとしては、購入金額に応じてポイントをつけるポイントサービスがある。購入金額が回収量に対応し、ポイントが協力金に相当する。ポイントカードはカードに記録されたID番号で識別し、個人情報は扱わない。その役割を担うのが、回収ボックスである。これによって、回収事業者は個人情報を扱わずに済む。

第5の生ゴミ回収ボックスの管理システムは、カーリースなどのサービスが類題になるだろう。他人が使った生ゴミの容器を使い回すのは不衛生であるから、レンタカーやカーシェアリングは類題にならない。他の類題としては、モバイルフォンの長期契約で、本体価格を毎月の使用料に含めて払う方式なども類題になるかもしれない。前述の通り、生ゴミの質を左右する最大の要因は、水分である。これを取り除いて回収できれば、回収効率も貯蔵効率も発生効率も高まる。そのための処理機能や品質検査機能をボックスに持たせるなら、それ相応のコストがかかり、品質情報の信頼性確保の観点からも、ボックスの管理は重要になる。ただし、その場合のボックスとは、文字通りの容器だけでなく、容器を格納する装置全体になる可能性もある。

以上、3種類のサブシステムを検討したが、実際の教材では、3種類全てを考えさせるのか、1つを選ばせて考えさせた後、他を転移課題として扱うのかなど、多様な設計が考えられる。また、それぞれについて2種類の類題を提示

したが、状況設定として、1種類のシステムが提案されている場合、2種類のシステムが提案されている場合のいずれの設定も可能である。

4.3 合理的判断過程

最初の代替案発想過程までは、提案されたシステムを理解することが中心になる。多くの場合、提案者は問題点を自ら説明することは無い。よって、問題点の有無は市民が批判的に検討する必要がある。それがこの過程の目的である。前過程で2種類ずつの類題を示したが、実際の説明は、そのような類題に基づくものになるとは限らない。その場合、学習者自身が適切な類題を想起し、問題点を検討するための参考にすることが必要である。もちろん、そのような類題を思い浮かべない場合は、情報収集活動を行い、適切なものを外部知識として活用する必要がある。その手間を省く上で、多様な問題に活用可能な汎用的類題を内部知識として指導しておくことが情報科の通常授業に求められる。

社会情報システムで第1に検討すべきは、個人情報の扱いであろう。1つの業者が多様な個人情報を保持していれば、それが同時に流出する危険性は高くなる。また、複数の業者間で情報のやりとりが発生すれば、その際に情報が漏洩するリスクも発生する。交換する情報が個人を特定するのに十分な情報でなければ、間違った書き換えや不正アクセスのリスクも高まるからである。

例えば、自宅での回収を前提にしなければ、回収事業者はボックスの個別IDのみを管理すれば十分であり、個人情報は必要無い。不正使用を疑うなら、ボックスの個別IDとユーザの個別IDの情報がボックスに登録されていればいいだろう。ボックスには、その他、第5のシステムで必要になる利用履歴の情報や、回収した生ゴミの量や質の履歴情報なども保存し、ユーザが確認できるようにする必要がある。クレジットカードの使用履歴とレシートとを見比べて、情報に間違いがないか確認できるようにするのと同様の目的からである。回収業者から発電業者に間違い無く納品されたかどうか、ユーザがトレースできるような方法が必要であろう。

なお、ステーション方式は、家庭ゴミと事業ゴミの区別が曖昧になる。ゴミ処理の場合、家庭ゴミは税金で処理費を負担し、事業ゴミは事業者負担が原則であるが、発電用に回収する場合は税金による処理負担が発生しないので、区別は不要という考え方もある。しかし、生ゴミなら無料で廃棄できるとなると、生ゴミにそれ以外のゴミも混ぜ、品質低下を招く恐れがあるため、品質管理が重要になる。その意味でも、家庭用と事業用のボックスを区別する必要があるかもしれない。それは、売電収入に対する課税面の区別のためにも、重要である。

個別回収方式でも基本は同様だが、住所や名前の情報を独自に収集することは可能であり、ボックスのID情報は必然的に読み取り可能であるから、それらに対応づけることも可能である。法律は、何かをすることを制限するもので

あるが、それは、法律で規定されていない限り、何をしても法律違反にはならないという意味になる。よって、このような情報の対応づけを許可すべきでないと考えるなら、そのような法律を制定する必要がある。一方で、個別回収ステーションに持参するかを選択できるなら、自己防衛策が提供されているから、法律で制限する必要は無いという考え方もありうる。ただし、自己防衛策をとれない人もいるため、格差問題が生じる可能性もある。

なお、近年、特殊な機器を使ってエンジンを作動させ、自動車を盗む事件が発生している。ボックスから個人ID情報を読み取る機器が流出すると、それを使ってユーザ向けのページから、銀行口座やクレジットカード情報などが盗まれるリスクもある。そのようなリスクを考慮するなら、読み取り機器側の管理システムも必要になるだろう。

4.4 2サイクル目の代替案発想過程以降

さまざまなリスクを考慮して、対策が練られているかどうかを検証し、不十分であれば、システムの改良案や法律の制定、自己防衛策などを代替案として検討する必要がある。第2サイクル以降では、そのような活動を行った上で、検討した対策は本当に効果があるか、新たな問題が生じないかなどを合理的判断過程で検討する。十分な検討を行ったなら、最終的にどのような条件で情報システムの導入を許可すべきか(あるいは、認めないか)、いくつかの案から優先順位を決める。ここで優先順位を決める理由は、最終的な案の選択は、数学的な費用対効果なども考慮する必要があるからである。しかし、その最終決定までを情報科の探究活動で行う必要は無い。

5. 年間指導計画の作成

松田(2020b)は、新逆向き設計手法を「情報I」に適用して、年間指導計画を検討している。情報科では、提案された社会情報システムを市民の目で解釈・批判し、運用制度も含めた改善案を議論する力を身につけるとし、学習指導要領の内容(1)を科目全体の導入と最終的な探究活動として配置し、その解決に必要な要素を(2)⇒(3)⇒(4)の順に指導するという基本方針をとっている。なお、この時の総合演習の課題は、情報科教育法履修生が考えた「ポリ袋の流通を監視して回収を促すためのディポジット制とバーコードやICタグを用いた情報システム」であった。

新逆向き設計では、総合演習の課題解決に必要な通常授業の内容に焦点化して年間指導計画を立てるが、それは、特定の課題にのみ活用可能な内容を選択するという意味では無い。むしろ、汎用的に活用可能な内容に絞り込むために、具体的な課題を想定して、有用でない内容はそぎ落とすことに焦点がある。よって、提案された年間指導計画に基づき、今回のバイオガス発電に関わる第3～第5の支援システムを題材に、計画を改善することにする。

表1に示す通り、「情報社会の問題解決(前半)」は、問題

表2 新逆向き設計に基づく「情報I」の年間指導計画例

単元	指導内容	具体的な指導計画内容
情報社会の問題解決(前半)	情報& ICTを活用した問題解決の方法、情報に関する法・制度、情報セキュリティ、個人の責任、情報モラル、ICTが社会で果たす役割・影響	<ul style="list-style-type: none"> ・個人的問題解決の事例(例えば、合宿先の予約課題)に即して、縦糸・横糸モデルの手順、各過程のOutput、横糸の活動で活用すべき見方・考え方を指導。 ・これ以降、本科目では、「社会的問題解決に供する情報システムの導入・活用を検討・評価し、賛否や代替案、自己防衛策を考える」という目標を提示。 ・左の各内容と、目標設定過程で設定する「良さ」との関係、それに基づき、当該知識を代替案発想／合理的判断過程で活用する(学び方の)見通しを与える。
コミュニケーションと情報デザイン	メディアの特性、コミュニケーション手段の特徴、それらの変遷、情報デザインの役割・方法の理解と表現技能の修得	<ul style="list-style-type: none"> ・次単元を先取りし、メディアを介した場合も含め、人が行うコミュニケーションの仕組みや工夫をモデル化し、それを通信機器同士からIoTに拡張して、安全で効率的な通信を実現する技術や制度等を考察する。 ・「効果的な情報提示の工夫」は縦糸・横糸モデルが包含しているため、セキュリティホールになりがちな人間の認知特性の弱点を考察し、情報システムを使う際の対策を検討することに焦点を当てる。
コンピュータとプログラミング	ICTの仕組み・特徴、情報の内部表現・計算の限界、アルゴリズムの表現手段、プログラミングによるICT活用、モデル化とシミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> ・IoTと家電製品単体の計測・制御との区別を明確にするために、具体例として、目に見えるIoTシステム(新型コロナウイルス接触確認アプリや緊急地震速報などのスマートフォン関連の監視・通報システム)について、仕組みや特徴、課題などを(総合演習の類推のベースとして役立つ程度に)扱う。 ・プログラミングについては、IoTなどの情報システムでは、イベント駆動型で処理手続きをモデル化する必要があるため、分岐と繰り返しで表現できるプロダクションシステム的なルールベースの処理を扱う。要点は、処理を順次型の手続きとして記述するのではなく、状態変化とルール発火によって、順不同の連鎖的・並列的・伝搬的処理を実現することである。その際、順次処理的アルゴリズムと異なり、連鎖や伝搬を予測し制御することの困難さも理解させる。
情報通信ネットワークとデータの活用	ネットワークの仕組みと構成要素、プロトコルの役割、セキュリティ、データの収集・分析・蓄積・管理・提供方法、情報システムのサービス	<ul style="list-style-type: none"> ・過去に起きている事件・事例を題材に、問題の原因は何で、どのような対策が講じられていないシステムを疑うべきなのか、また、想定外の事態に備えた自己防衛策を講じるべきかなどを検討する。 ・具体例として、セキュリティの脆弱性や内部犯による個人情報漏洩・不正出金等の事例、データの不整合発生事例、障害や大量アクセス等によるシステムダウンの事例、不正ソフトウェアの埋め込みによる遠隔操作の事例など。
情報社会の問題解決(後半)	「ICTが社会で果たす役割・影響」を考慮し、「情報& ICTを活用した問題解決」を考える	<ul style="list-style-type: none"> ・全体の最後の数回で、「総合的な探究の時間」のサブ課題に取り組む。 ・松田(2020b)では、「ポリ袋の流通を監視し、回収を促す方法として、ディジット制とバーコードやICタグを用いた情報システム」を対象とした。 ・今回は、「バイオマス発電を支援する社会情報システム」を対象とする。

解決の方法(=問題解決の縦糸・横糸モデル)を学ぶ。情報科では、社会的な問題解決に向けた情報システムの活用を考えるが、モデルの導入的学習には、既知の個人的問題解決課題を題材に、それを改善する方法としてモデルが有用であることを実感させながら指導する。本科目で個人的問題解決を扱うのは、これが最初で最後になる。その後、表の「指導内容」を扱うが、知識の詳細な理解よりも、モデル(松田2016)における内部知識としての位置づけや、外部知識を参照するための活用法を指導する。

「コミュニケーションと情報デザイン」は個人的問題解決に陥りやすい。情報システムと関連づかない内容は除外し、

内容を精選する必要がある。結果的に、「コンピュータとプログラミング」に含まれる「モデル化」を「コミュニケーションを情報の交換や処理という視点からモデル化する」という形で扱う。題材としても、この時点でIoTを扱う。「コンピュータとプログラミング」では、中学校までの学習成果をふまれば、周知のアルゴリズムやプログラムをなぞることには意味が無く、IoTシステムを題材に、自動化の実現と課題に焦点を当てて考察する。

「情報通信ネットワークとデータの活用」以前に、情報システムの構成、特性、リスクなどを理解するための基礎の大半は出揃った。情報通信ネットワークについても、「コ

コミュニケーションと情報デザイン」で導入済みであり、ここではデータベースについて、(市民教育の観点から、新たな構築ではなく)過去に起きている事件・事例を題材に、データベースの活用で起こりうる問題点やその回避策を検討する活動に焦点化する。

6. まとめと今後の課題

本稿では、新逆向き設計手法に基づき、既提案の数学、理科と同じ題材で、情報科用の総合演習導入用ゲーミング教材を設計し、教科間の連携と役割分担を明確にした。合わせて、教科の通常授業の見直しを行う観点から、「総合演習」との連携を図った年間指導計画も考察した。今後、教材を具体化し、数学、理科用とともに実践し、さらに「総合的な探究の時間」への効果も含めて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

- 浅井真康(2020) 家畜排せつ物のメタン発酵によるバイオガスエネルギー利用, 令和2年度畜産環境シンポジウム, https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kanky/taisaku/pdf/2020_sympo_asai.pdf(参照日2023年1月24日)
- 中央教育審議会(2016) 幼稚園, 小学校, 中学校, 高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について(答申), 文部科学省
- 大学審議会(1995) 高等教育の一層の改善について, https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11293659/www.mext.go.jp/b_menu/shingi/old_chukyo/old_daigaku_index/toushin/1315873.htm(参照日2023年1月24日)
- 神里知弥, 嶋本拓海, 堀直輝, 松浦弘毅, 村田弘樹(2021) 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, *Informatio*, 18, 31-40
- 小林慎太郎, 櫻井一宏, 水野谷剛, 永飽揚四郎(2006) 環境負荷削減対策の効率性評価～霞ヶ浦流域における栄養塩フローを基準として～, *地域学研究*, 36(1), 241-254
- 國松孝夫, 村岡浩爾編(1989) 河川汚濁のモデル解析, 技報堂出版
- 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(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(2020a) 「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, 103-110
- 松田稔樹(2020b) 総合的な探究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(2021) 政策評価方法を指導する数学「課題学習」教材, 日本教育工学会研究報告集, JSET21-4, 237-244
- 松田稔樹(2022) 新・逆向き設計に基づくSTEM教育カリキュラムの改革, 日本科学教育学会第46回年会論文集, 552-555
- Matsuda, T. (2022) Improving STEM Subjects' Curriculum by the New Backward Design Method, *Dattarc* 2022, <https://dattarc.org/index.php/conference/DATTArc2022GC/paper/view/735>(参照日2023年1月24日)
- 松田稔樹, 浅野智亮(2021) 水質改善課題を例とした理科探究活動用ゲーミング教材開発のための学習活動の定式化, 日本シミュレーション&ゲーミング学会全国大会報告集, 2021年秋号, 24-29
- 松田稔樹, 益田研一(2011) 数学科教育法履修生が書いた指導案と新課程用教科書の分析結果に基づく高校数学Iの指導上の課題, 日本教育工学会研究会報告集, JSET11-4, 161-168
- Matsuda, T. and 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
- 松田稔樹, 野本文彦(2021) 総合から各教科への逆向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, *Informatio*, 18, 1-12
- 日本建築センター(1999) ディスポーザによる生ゴミリサイクルシステムの開発, 日本建築センター
- 資源エネルギー庁(2022) 令和3年度(2021年度)エネルギー需給実績を取りまとめました(速報), https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/pdf/gaiyou2021fysoku.pdf(参照日2023年1月24日)
- Wiggins, G. and McTighe, J. (2005) *Understanding by Design (Expanded 2nd edition)*, Association for Supervision and Curriculum Development