

情報Ⅰにおけるモデル化とシミュレーションの授業実践

松山聖陵高等学校

宮崎 幸弘

1 はじめに

近年、情報技術の発展は急速に進展しており、情報技術は私たちの生活において必要不可欠なものとなっている。特に、社会における複雑な現象を理解し、予測し、改善するための手段であるモデル化とシミュレーションは、社会において重要な役割を担っており、その方法について学ぶことは、生徒たちの情報活用能力の向上に繋がる。

学習指導要領には、共通教科情報科「情報Ⅰ」の内容として、(1)情報社会の問題解決、(2)コミュニケーションと情報デザイン、(3)コンピュータとプログラミング、(4)情報通信ネットワークとデータの活用 の4項目が記されており、そのうち、モデル化とシミュレーションは(3)に関連している。(3)の取り扱いについては、情報と情報技術を活用した問題の発見と解決策の提案を行う一連の活動を通して、学習内容と社会との結びつきを強めるようにすることが求められていることから、授業において学習内容と実社会を関連付けることが重要であるといえる。情報の学習において実社会の事象を題材として扱うことによって学習内容と社会が関連付けられ、その事象をモデル化しシミュレーションする等の活動が生徒の情報活用の実践力を高めるとともに、情報の科学的な理解を深める。さらに、この学習は生徒が社会に目を向ける一つの機会であることから、情報社会に主体的に参画する態度の育成に繋がると考えられる。このような観点から、モデル化とシミュレーションに関する学習において、実社会の事象を図や数式などにモデル化して表現し、そのモデルを基にシミュレーションを実行して、その結果を踏まえてモデルを改善するといった一連の活動は、社会における問題を認識し、解決するための情報活用能力を養うための有効な手立てであるといえる。

以上のことから、共通教科情報科「情報Ⅰ」において、実社会の事象を題材としたモデル化とシミュレーションの授業を実施することにした。

2 授業の概要

(1) 目的

実社会の事象をモデル化し、作成したモデルに基づいたシミュレーションによりモデルを評価・改善する活動を通して、その方法を理解させるとともに、問題解決によってよりよい社会を作る意識を高める。

(2) 授業実践

授業は第1学年普通科1学級(26名)を対象として6単位時間実施した。

ア モデル化とシミュレーションに関する基礎知識の習得（2 単位時間）

モデルとモデル化の意味、目的、社会における役割、モデル化の手順とモデルの形式及びその分類方法について説明した後、身のまわりの事象がどのモデルの分類（物理的モデル・図的モデル・数式モデル・動的モデル・静的モデル・確定的モデル・確率的モデル）に当てはまるのか考えさせた。次に、図的モデルの意味や表現方法（ブロック線図・状態遷移図・アクティビティ図）について説明した後、状態遷移図を使って自動販売機の動作を確認させた。その後、作図したものを別の条件に基づいて修正し、さらに掃除機の状態遷移図を作図させた。

続いて、シミュレーションの意味、目的、社会的役割、シミュレーションの手順について説明した後、身のまわりにあるシミュレーションについて考えさせた。そして、確定的モデルの実習として、銀行の預金高の変化について表計算ソフトウェアを用いてシミュレーションさせた。

イ モンテカルロ法を用いた確率的モデルのシミュレーション（1 単位時間）

確率的モデルのモデル化やシミュレーションの手順について説明した後、学級内に同じ誕生日の人がいる確率を、表計算ソフトウェアを用いてシミュレーションさせた。手順は次の通りである。まず、A 列に出席番号を 1～40 まで入力し[出席番号]、B 列には RANDBETWEEN 関数で 1/1～12/31 の乱数を発生させ[誕生日]、C 列には COUNTIF 関数で誕生日の数をカウントし[一致]、ひな形を作成させた。次に、別のセルには 1 組以上一致していれば”○”を表示する関数を挿入した。そして、ファンクションキー（F9）で再計算を 100 回実行し、”○”が表示された回数をカウントし、その数を 100 で割って確率を求めさせた後、結果をクラス内で共有し、回数による結果のばらつきの違いについて考えさせた。

ウ 交通渋滞のモデル化とシミュレーション（2 単位時間）

学習内容と実社会を関連付けるため、交通渋滞を学習の題材として取り上げた。教科書等には、サイコロを振ったときの期待値、感染症の拡大、生物の個体数の変化など、現実世界の事象に基づく確率的モデルの題材が多く紹介されている。いずれも身近な事象であるが、今回は、本時の後に実施するフィールドワークによるデータ収集が比較的容易である点を考慮し、交通渋滞を題材として授業を進めることにした。

初めに、他科目の教科書に掲載されている例題を用いて交差点で発生する渋滞のモデル化とシミュレーションの例を紹介した。例題は次の通りである。

ある交差点では毎朝渋滞が発生する。信号は 1 分ごとに赤と青を繰り返す。車はランダムに到着し、青のときに 15 台の車が交差点を通過する。このとき、渋滞の原因となる交差点で停車している数を表す図式モデルと数式モデルを作成しよう。¹

モデル化の手順を次の①～③に示す。

① 要素の決定

交差点に到着する数[到着数]、赤信号時に交差点を通過する数[通過数]、青信号時に交差点の手前で停車する数[滞留数]の3つの要素が必要であることを確認した。

② 図式モデルの作成

①の要素を基に作成された図式モデルを示して確認した（図1）。



図1 例題の図式モデル²

③ 数式モデルの作成

図式モデルを基に、数式モデルを示した。[到着数]はランダムであること、滞留数は[到着数]と[通過数]によること、[通過数]は[滞留数]と[到着数]に起因するが最大15台であることを踏まえて、数式モデルを確認した。

$$\begin{aligned} \text{合計数} &= \text{滞留数} + \text{到着数} \\ \text{変化後の滞留数} &= \text{滞留数} + \text{到着数} - \text{通過数} \end{aligned}$$

次に、上記のモデルを基に、表計算ソフトウェアを用いてシミュレーションを実行した。シミュレーションの結果は図2の通りである。

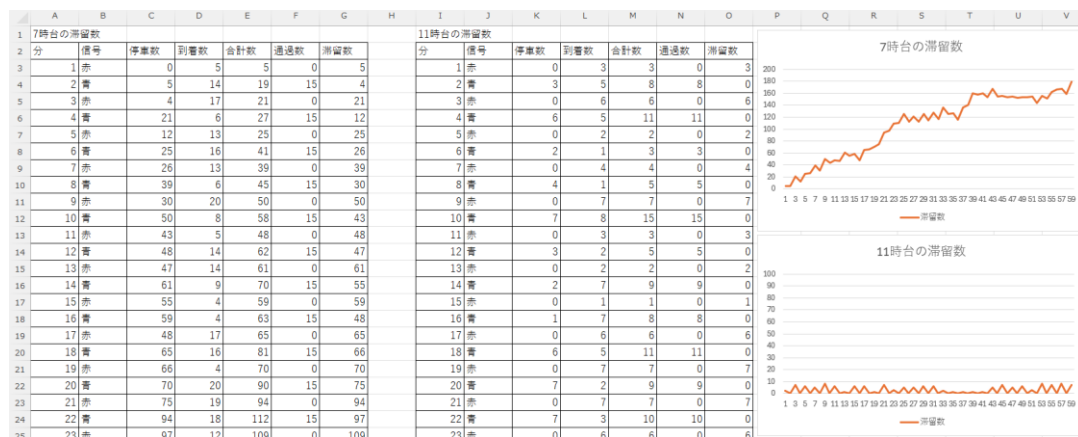


図2 交通渋滞のシミュレーション

[合計数]と[滞留数]は数式モデルの通りである。D列[到着数]にはRANDBETWEEN関数で乱数を発生させ（7時台は1～20、11時台は1～8）、F列[通過数]にはIF関数で条件の通り処理した（信号が赤の場合：0、信号が青の場合：[停車数]+[到着数]>=15の場

合は 15、そうでなければ[停車数]+[到着数]の値)。そして、表を基にそれぞれのグラフを作成して比較させた後、7 時台のデータを変更して交通渋滞を発生させない方法を考えさせた。

さらに、下記の題を応用問題として提示してモデル化とシミュレーションを行った。

A さんの学校の近くにある国道と県道が交差する交差点では、朝の通勤時間帯(8:00~8:30)に県道でひどい渋滞が発生する。A さんは学校の課題研究で、この交通渋滞を緩和できないか現状を調査し、シミュレーションしてみることにした。

まず、現状の交通量や信号の時間などを調査したところ、次のようなことが分かった。なお、渋滞するのは矢印の進行方向のみであり、反対の進行方向は考えないものとする。

- ・青信号の時、10 秒間に片側 2 車線の国道は 20 台の車が交差点を通過でき、片側 1 車線の県道は 10 台の車が交差点を通過できるが、それを超える台数は通過できない(信号待ち)。
- ・国道は 60 秒間の青信号と 30 秒間の赤信号が交互に変わり、県道の信号はその逆となる。
- ・10 秒間の交差点(信号待ちしている車がある場合は、その最後尾)に到着する車は、国道は 8~12 台、県道は 3~4 台である。

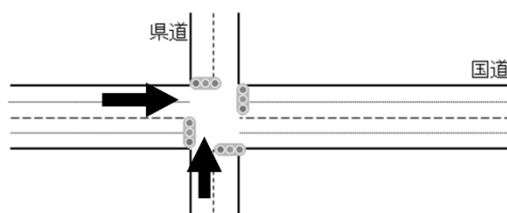


図 国道と県道の交差点

ここで、10 秒間に到着する車の台数は乱数で決まることとし、8:00 時点の信号待ちの車は 0 台と仮定する。²

上記の例題のモデルを基に、モデル化の手順に従ってモデル化させた。

まず、図式モデルを作成させた。図 3 は生徒が作成した図式モデルである。

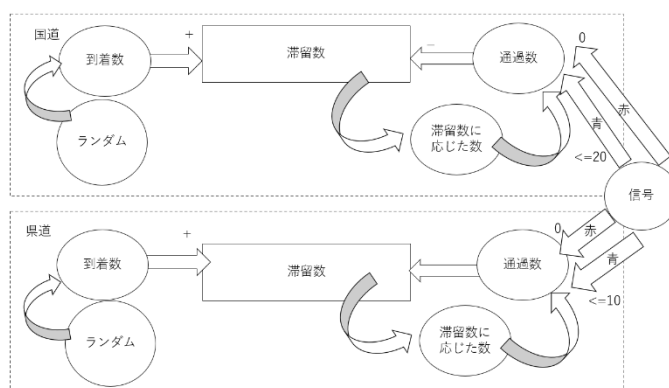


図 3 交通渋滞の図式モデル

次の手順は数式モデルを作成するが、数式モデルは例題の通りであるため、例題の数式モデルを確認させた。

そして、表計算ソフトウェアを用いてシミュレーションさせた（図 4）。[到着数]には RANDBETWEEN 関数で乱数を発生させ（国道：8～12、県道：3～4）、[通過数]には IF 関数で条件の通り処理する。表を基にそれぞれのグラフを作成したところ、この条件では県道において交通渋滞が起こることがわかる。この渋滞を解消するにはどうすればよいかと問いかけ、表を修正して、解消するための条件を模索させた。結果、国道の青信号を 50 秒とし、赤信号を 40 秒にすると解消されることを確認した（図 5）。



図 4 交差点の交通渋滞シミュレーション



図 5 交差点の交通渋滞シミュレーション（信号点灯時間を変更した場合）

エ フィールドワークによるモデルの妥当性検証（1 単位時間）

作成したモデルの妥当性を検証するため、実際に収集したデータを用いてシミュレーションを実行した。

調査は、学校の近くにある交差点（東西路線：片側 2 車線、南北路線：片側 1 車線）で実施した。この交差点は平日の朝（通学時間帯）に、南から北へ向かう路線で渋滞が発生している。データは、[信号が切り替わる時間]と、2 路線における 10 秒間の[通過数]、[到着数]を、平日の 7:40 から 8:10 までの間に収集した。詳細は図 6 の通りである。収集したデータを整理したものを表 1 に示す。

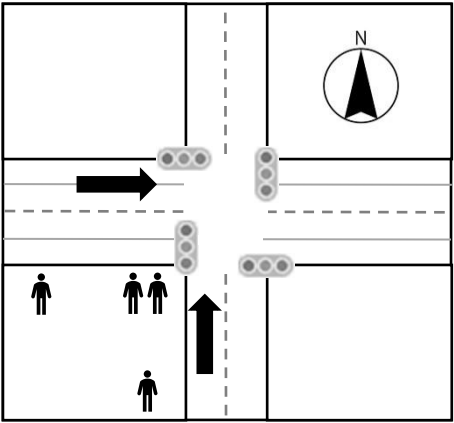


図 6 配置図

表 1 収集データ

路線	西から東	南から北
信号点灯時間	青:70 秒間 赤:50 秒間	青:50 秒間 赤:70 秒間
通過数/10s	8 台	4 台
到着数/10s	0～9 台	0～4 台

表 1 のデータをウで作成したモデルに代入し、シミュレーションを実行した結果、実際に渋滞が発生している路線において交通渋滞が発生した（図 7）。また、再計算を繰り返すと結果にばらつきが見られた。

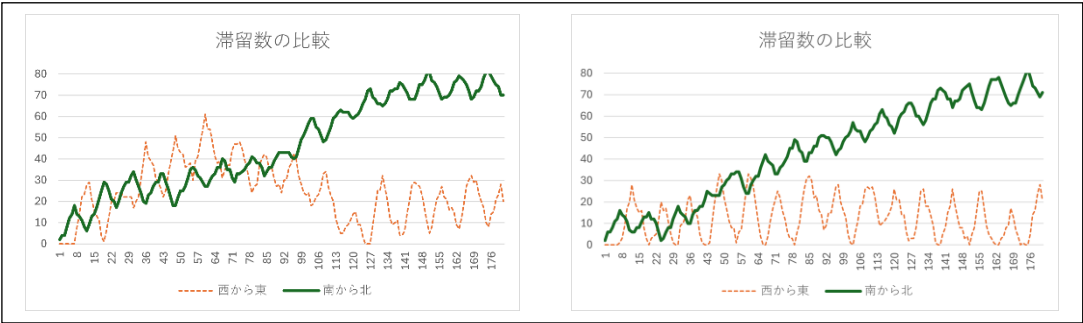


図 7 学校近くの交差点の交通渋滞シミュレーション結果

次に、渋滞を解消するにはどうすればよいかと問いかけ、解消するための条件を模索させた。信号点灯時間を変更した場合、渋滞が解消されたが一方の路線に渋滞が発生したり、両方の路線に渋滞が発生したりすることから、信号点灯時間を変更することでは渋滞の解消が見られなかったが、通過数を最大 4 台から 8 台（片側

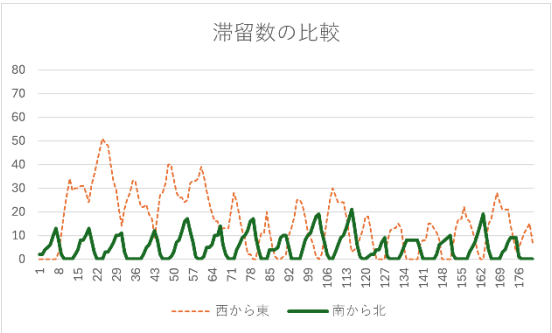


図 8 条件変更後のシミュレーション結果

2車線の条件と同じ)に変更してシミュレーションを実行したところ、渋滞の解消が見られた(図8)。

シミュレーションの結果を踏まえてモデルの妥当性について考察させ、モデルに関する意見を聞いたところ、「右折車が多い時は1台も交差点を通過できていなかったのも、その要素を取り入れないといけないのではないかなと思う」、「横断歩道に歩行者がいる度に車が止まっていたので、その条件も加えないといけないと思う」、「車の速度や車間距離も関係があるかもしれない」といった意見のほか、「集めたデータは右折車や歩行者などの影響も含まれているので、集めたデータのままシミュレーションしたのでよいのではないかなと思う」といった意見や「反対車線も渋滞していて(南から北に向かう路線の)渋滞と関係あるはずなので、2方向ではなく4方向のモデルを作ればよい」といった意見が挙がった。これらの意見を踏まえ、シミュレーションの精度を高めてより信頼性のある結果を得るためには、モデルをさらに改善する必要があると結論付けた。

3 学習効果に関する調査及び分析結果

フィールドワーク及び実データを用いたシミュレーションの学習効果を測定するため、モデルの妥当性検証に関する授業前後に同一の質問項目を使用したアンケートを実施し、その結果を基に変化を調査した。分析対象は26名のうち、授業前後のアンケートに回答した、回答に不備がない20名とした(有効回答率:76.9%)。調査項目として、「Q1 情報の収集・分析に関する意識」、「Q2 社会問題の解決へのアプローチ」、「Q3 社会的責任」、「Q4 社会問題に対する行動意欲」、「Q5 情報活用の自信」について5項目を設定し、それぞれ5件法(5…とてもそう思う, 4…少しそう思う, 3…どちらともいえない, 2…あまりそう思わない, 1…まったくそう思わない)により調査した。項目を表2に示す。

表2 調査項目

Q1	身近な社会問題について、さまざまな情報源を使って情報を収集することが重要だと思う。
Q2	身近な社会問題を解決するためには、まず問題をよく理解し、情報を基に分析することが重要だと思う。
Q3	自分が住んでいる地域や社会の問題に対して、何らかの方法で解決に貢献したいという気持ちがある。
Q4	自分が解決したい社会問題に関する情報を得れば、積極的にその情報を使って行動しようと思う。
Q5	必要な情報を効率的に集めて活用する能力が身についていると感じる。

得られたデータに対してウィルコクソンの符号付順位検定を実施した結果、Q5において有意差が認められ($p<.05$)、その他の項目において有意差が認められなかった。また、Q1においては有意傾向が見られた($p<.10$)。分析結果を表3に示す。

表 3 Wilcoxon Signed-Rank Test

Questions	Pre		Post		z	df	p	Shapiro-Wilk		
	Mean	SD	Mean	SD				w	df	p
Q1	3.65	.671	3.95	.759	1.68	19	.066	.78	19	.00
Q2	3.85	.813	3.85	.813	.00	19	1.000	.86	19	.01
Q3	3.25	.910	3.45	.887	.98	19	.340	.83	19	.00
Q4	3.55	.826	3.60	.681	.30	19	.790	.81	19	.00
Q5	3.00	1.026	3.45	.826	2.37	19	.018*	.67	19	.00
$p<.05^*$										$N=20$

また、授業後の感想を自由記述で調査し、そのデータを計量テキスト分析ソフト KH Coder を用いてテキストマイニングを行った。共起ネットワーク (Modularity) を出力すると、11 のサブグラフが出現した (図 9)。

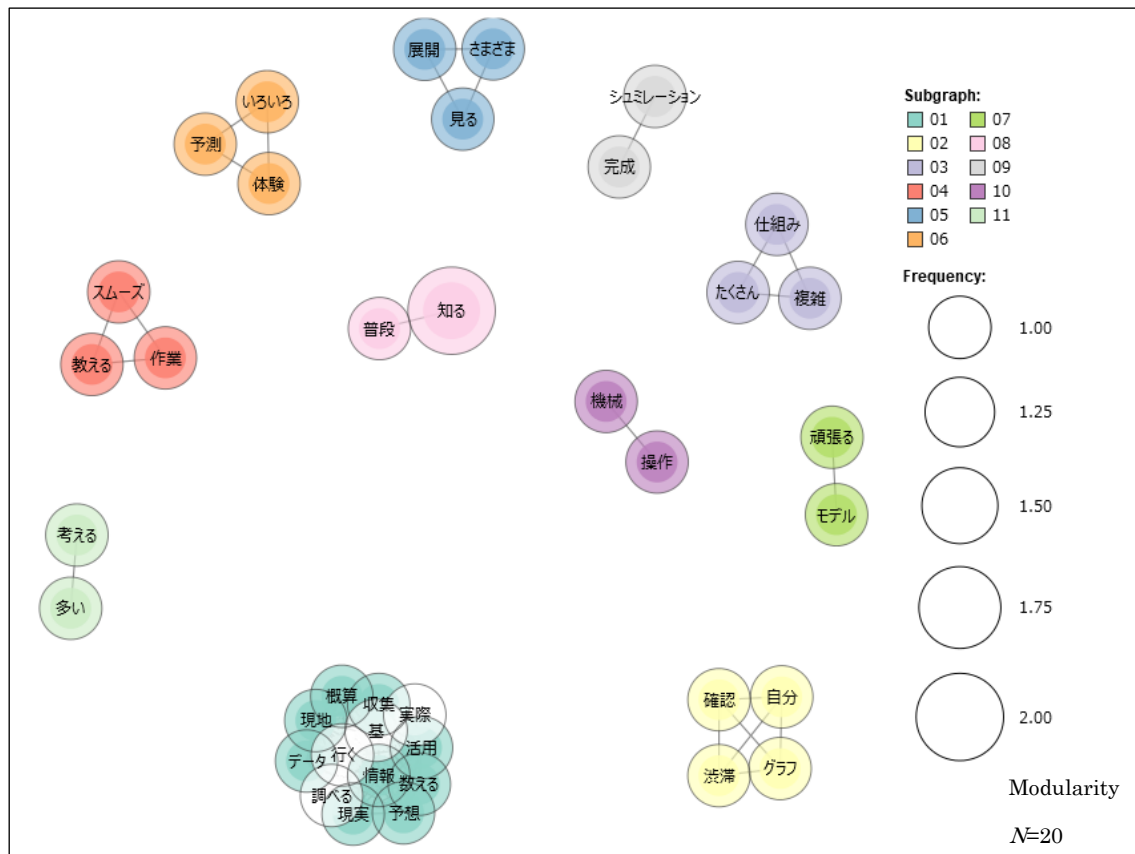


図 9 授業後の感想

内容を KWIC コンコーダンス機能で確認したところ、「実際に現地に行って、数を数えて現実のデータを調べて、情報を収集する経験ができた。」「自分たちで渋滞しているかを実際に確認し、グラフを作ることができた。」といった、フィールドワークの経験を有意義に捉える内容や、「シミュレーターを作っている人達は、このような活動を繰り返しながら制作

しているということを知った。」「シミュレーションで色々なことが体験できたり予測できたりするのはすごいと思った。」といった、シミュレーションに対する関心を示す内容を確認した。

4 考察

ウィルコクソンの符号付順位検定による分析で「情報活用の自信」に有意差が認められたことから、フィールドワークや実データを用いたシミュレーションといった一連の活動を通じた学習が、生徒自身が情報活用能力の高まりを実感し、情報活用の自信を高めたことが示唆された。また、「情報の収集・分析に関する意識」においては、有意傾向が見られたものの、有意差が確認できなかったことは、意識の向上はあったが大きな変化には至らなかったことを示している。この結果を踏まえ、情報の収集・分析に関する意識を大きく高めるために、授業内容や方法をさらに見直し、改善する必要がある。

一方で、「社会問題の解決へのアプローチ」、「社会的責任」、「社会問題に対する行動意欲」に有意差が認められなかったことから、授業が生徒の意識に大きな影響を与えるには不十分であった可能性が示唆される。しかし、事前のアンケート結果において各項目の平均値が高かったことから、すでに社会問題解決における使命感や行動に対して比較的高い意識を持っている生徒が多かったため、授業後の結果に大きな変化が見られなかったとも考えられる。社会問題解決のアプローチについては、より多くの具体的な事例を通じて問題解決方法を学ぶことで、理解が深まり、社会問題解決に対する意識の向上が期待できる。加えて、社会問題解決に対して、すでに高い意識を持っている生徒に対しては、その意識をさらに高めるために、授業の内容や方法を個別の興味・関心に基づいたものにする必要がある。また、この意識を引き出すためには、授業者の問いかけによって深い考察を促すことも重要であろう。これらを踏まえ、学習を通して生徒が社会問題を主体的に解決しようとする意識を高めるために、さらなる授業改善が必要である。

また、授業後の感想からは、モデル化やシミュレーションに対する関心や、フィールドワークの感想が見られたものの、よりよい社会の実現に向けた問題解決の必要性や、社会問題解決に対する使命感や責任及び行動意欲に関する内容は確認できなかった。このことから、学習内容と社会問題の関連性を強調する授業改善が必要であると考えられる。

なお、今回は意識調査に留まり、実際に学習した内容の理解度については調査できていないため、今後は考査等を通じて理解度を測定する予定である。

5 おわりに

今回、実社会の事象をモデル化し、フィールドワークで収集したデータを用いたシミュレーションによってモデルの妥当性を検証する一連の活動を通して、その方法を理解させるとともに、問題解決によってよりよい社会を作る意識を高めることを目指した。調査結果からは、授業を通して生徒自身が情報活用能力の高まりを実感し、情報活用に対する自信を高

めたことが示唆された。しかし、社会問題解決に対する意識の高まりが見られなかったことを踏まえ、授業内容や方法の改善が必要であることがわかった。

今後は、授業をさらに精査するとともに、プログラミングによるシミュレーションに繋げる等の方法によってこれまでの学習内容と関連付け、理解を深めることを検討していきたい。

-
- ¹ 伏見正則・鎌田宗憲・小崎誠二・小崎廣明・夏目裕一・平井利明・前原正則・山下博道・実教出版株式会社（2024）情報産業と社会，実教出版株式会社，pp. 162
- ² 独立行政法人大学入試センター（2020）「情報」試作問題（検討用イメージ），
<https://www.ipsj.or.jp/education/9faeag0000012a50-att/sanko2.pdf>，p. 7

参考文献

- [1] 文部科学省（2018）平成 30 年告示高等学校学習指導要領解説 情報編，
開隆堂出版株式会社
- [2] 萩谷昌己・渡辺美智子・高橋参吉・井手広康・西端律子・実教出版株式会社
（2024）図説情報 I，実教出版株式会社