

<論文>

新教科「情報」における モデル化とシミュレーションの指導についての事例研究

小口祐一 長野県北佐久農業高等学校

A Case Study of Teaching Modeling and Simulation in the New Subject 'Information'

OGUCHI Yuuichi: Kitasaku Upper Secondary School of Agriculture, Nagano Prefecture

The new subject 'Information' will be taught in upper secondary school from 2003. But the practical research on this subject is not enough as compared with existing subjects. The purpose of this study is to gain some insights into information teaching through students' activities in the process of modeling and simulation. The results revealed that the strategy of generating variables played an effective role in bringing out students' ideas for revising the initial model in the stage of verification. The results suggested that the activity for verifying the product of simulation can be a means of overcoming the problem concerned with 'Situatedness'.

【キーワード】 モデリング シミュレーション 状況性 状況的学習

1. 研究の意図・目的

我が国には高度情報化社会がおとずれ、情報化に対応した学校教育の重要性が高まってきている。この社会の要請に応える形で、平成10年の教育課程審議会において「高等学校においては、情報手段の活用を図りながら情報を適切に判断・分析するための知識・技能を習得させ、情報社会に主体的に対応する態度を育てることなどを内容とする教科『情報』を新設し、必修とすることが適当である。」という答申がなされ、体系的な情報教育の必要性が指摘された。それをふまえ、平成11年3月改訂の高等学校学習指導要領において、普通教科「情報」と専門教科「情報」が新設されることになった（文部科学省，1999）。これら新教科「情報」は、平成15年度から高等学校で実施されている。そのために、すでに各種の教科書が発行され、「教材」の準備は整いつつある。しかし、新しく導入される教科のため、文部科学省指定の研究開発学校における取組（文部科学省，2000）や高等学校における情報科学コースの実践（Suzuki，2000）などがあるが、既存の教科と比較して実践研究の累積が十分ではない。そのため、伝統的な教授論の基本的枠組みである教授学的三角形としての「生徒」、「教師」、「教材」のうち、「生徒」に関する情報、すなわち、生徒の学

習活動の実態についての情報が少ないという現状がある。既存の教科「数学」では、最終的な産物（解）を目的とし、そこに至る解決過程を対象とした研究が数多く行われてきた。しかし新教科「情報」では、最終的な産物（シミュレーション結果など）を手段とし、そこからものごとの意味を吟味する過程を対象とした研究が必要になると考えられる（佐伯，1997）。そこで本研究では、シミュレーション結果を手段とし、現実の世界とモデルとの適合性を検証する過程に焦点をあてて事例研究を行うことにする。職業高校においてはすでに科目「情報処理」が実施されているため、事例研究はその授業の中で実施する。

モデル化とシミュレーションの内容は、普通科目「情報 B」と専門科目「モデル化とシミュレーション」で扱うことになっている。これら情報の授業における生徒の活動として、「同じ課題に異なるモデル化を行い、生徒の分担によるシミュレーションを行わせ、その結果を比較させるなどの活動。」や、「モデル化の過程やシミュレーション結果の適切さを判断する場合に、実験や調査によるデータ収集を行い、それを活用して検証する活動。」（文部科学省，1999，p.55）（下線部は筆者）などが考えられる。本研究では、数学的モデル化の過程（三輪，1983）を基盤とし、これらの活動をとらえる枠組みを設定する。図1にある3つの状態間の活動を、新たに「モデル化」、「シミュレーション」、「比較・検証」として表現し直し、モデル化とシミュレーションの過程をこれらの繰り返しとしてとらえ、考察をすすめていくことにする。

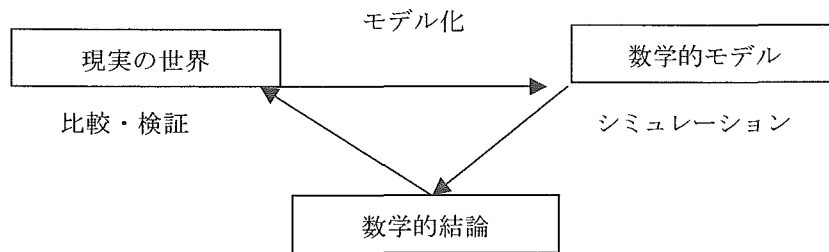


図1 モデル化とシミュレーション

本研究の目的は「生徒の活動から、新教科『情報』における授業実践の示唆を得ること。」である。そのために、以下の課題に答えていく。

課題：シミュレーション結果を検証する段階において、生徒はどのような活動をするか。

この課題に答えるために、問題場面を身の回りの現象や社会現象から設定し、現実の世界と数学的結論との適合性について、「状況性」の視点から考察をすすめていく。「状況性」とは「知識や学習がそれぞれ関係的事であること、意味が交渉でつくられること、さらに学習活動が、そこに関与した人々にとって関心を持たれたものであることなどを主張する基礎となる性質。」である（レイブ，ウエンガー，1991）。

2. 方法

2.1 指導対象

長野県立高等学校3学年，選択科目「情報処理」24名（男子19名・女子5名）

これまでの数学の授業において，生徒らは解を求めることに関心が高く，問題解決後に，そこに至る解決過程を振り返ることや，解の意味を吟味することへの取り組みは，あまり熱心とは言えなかった．

2.2 実施時期

平成14年8月～9月．1年次に，生徒らは「情報処理」の授業において，表計算ソフトウェアの基本的な利用方法の学習が済んでいる．

2.3 手続き

[第1時：調査]

身近な店舗の来客調査から，客の到着時刻についてのデータを収集する．

[第2時：モデル化]

データをワークシートに表現し，客の待ち時間を求める．その求め方について説明し，モデル化する．

[第3時：シミュレーション]

数学的モデルを用いて，表計算ソフトウェアでシミュレーションする．表計算ソフトウェアの関数については適宜指導する．

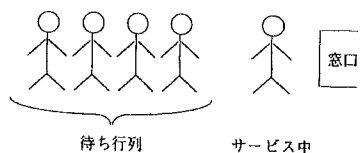
[第4時：検証]

シミュレーション結果を検証し，現実事象に適したモデルに修正する．

2.4 調査問題

[待ち行列の問題]

近くのハンバーガーショップには，よく行列ができています．客の待ち時間は，どれくらいになるでしょうか．



調査． 土曜日の午後0時から午後1時までの来客について，それぞれの客の到着時刻を調べよう．

問1． データをワークシートに記入し，それぞれの客の待ち時間を求めよう．

問2． この結果を利用して，土曜日の午後0時から午後5時までの来客について，それぞれの客の待ち時間をシミュレーションしよう．

問3． シミュレーション結果を振り返り，現実事象との適合性を検証しよう．

本研究では，モデル化とシミュレーションの問題として「待ち行列」を取り上げる（水

越, 村井, 2001)。「待ち行列」は, 離散的に変化する現象を扱い, 時間の経過にもなって状態が変化していく動的な問題である。「病院の待ち時間」や「店舗の待ち時間」など身近な現象が多く生徒が関心をもちやすいことや, 生徒がすでに学習している表計算ソフトウェアの技能によってシミュレーションできるということから, 調査問題として妥当性があると考えたからである。

ここで, 待ち行列の問題をモデル化するためには, 次の6項目を特定しなければならないことに留意する必要がある(尾崎, 1996)。

〈待ち行列モデルの6項目〉

① 母集団

客の集合は無限母集団とする。

② 到着時間間隔分布

実際の1時間のデータを利用する。ただし, 表計算ソフトウェアでシミュレーションする場面では, 区間 $[a, b]$ の一様分布 (a と b は任意の整数) に従う乱数を利用する。

③ サービス時間分布

サービス時間は3分に単純化する。ただし, 表計算ソフトウェアでシミュレーションする場面では, 区間 $[a, b]$ の一様分布 (a と b は任意の整数) に従う乱数を利用する。

④ システムの最大容量

待ち行列の長さは無制限とする。

⑤ サービス窓口の数

窓口が1つの単一待ち行列を利用する。

⑥ 待ち行列の規準

先着順とする。

3. 結果

[第1時: 調査]

指導対象生徒全員で近くのハンバーガーショップの来客調査を実施し, 土曜日の午後0時から午後1時までの客の到着時刻を記録した。

[第2時: モデル化]

ここでは, 前述した図1の枠組みにおける「モデル化」の活動について調べていく。前時に調査したデータをワークシートに表現したものは, 表1のようになった。

モデル化の段階で, 教師が指導する際に留意したことは, 次の点である。

〈モデル化の留意点〉

値の求め方から, 特にシミュレーションで必要となる次にあげる2つの関係のうち, どちらかについては抽出できるように助言する。

$$ST_i = \max(G_{i-1}, T_i),$$

ST_i : i 番目の客のサービス開始時刻, G_{i-1} : $i-1$ 番目の客のサービス終了時刻

T_i : i 番目の客の到着時刻

$$W_i = \max(W_{i-1} + S_{i-1} - I_i, 0)$$

W_i : i 番目の客の待ち時間, W_{i-1} : $i-1$ 番目の客の待ち時間, S_{i-1} : $i-1$ 番目の客のサービス時間, I_i : $i-1$ 番目の客から i 番目の客までの到着時間間隔

表1 ワークシート

到着時間間隔	～ 分				平均待ち時間
サービス時間	～ 分				
客	到着時刻	サービス時間	サービス開始	サービス終了	待ち時間
1	2				
2	3				
3	5				
4	9				
5	14				
6	19				
7	22				
8	25				

(以下, 土曜日の午後 0 時から午後 1 時までのデータをワークシートに表現する.)

まず, 生徒らはサービス時間を特定することから始めた. 来客調査の際にサービス時間のデータをとらなかつたため, この値の求め方について議論した. K.S 生は「アルバイト中にトイレに行ったらどうするの.」という意見を述べた. しかし, 生徒らはアルバイト経験者の A.Y 生による「レジでは, 一人のお客さんに大体 3 分くらいかかるかな.」という意見を参考にして, サービス時間を 3 分に特定した.

次に, 客の到着時刻についてのデータから, それぞれの客の待ち時間などを計算で求めた. この段階における活動で特徴的なこととして, 彼らは「サービス開始の値を特定するにはどうしたらよいか.」について迷っている様子であった. 客 2 のサービス開始に 3 (0 時 3 分) を記入していた生徒が 3 名いたので, 「売場窓口は 1 つだから, サービスを受けられる客は 1 人ずつだよ.」(《待ち行列モデルの 6 項目》⑤) と助言すると, 彼らは, サービス開始を 3 から 5 (0 時 5 分) に書き直した. それ以降の客のサービス開始には, 直前の客のサービス終了とその客の到着時刻を比較し, より大きい値を記入すればよいことに気づき, 彼らは待ち行列の問題を数量化することができた.

モデル化の段階で, 生徒らはじっと考えていた. そこで教師は, 「みんなは値を記入していたとき, 頭の中でどのように考えていたの.」と問いかけた.

(T: 教師, C: クラス, その他: 生徒のイニシャル)

T: 客2のサービス開始には, どのような値を記入すればいいのだろう.

C: 客2のサービス開始は, 客1のサービスが終わってから.

T: 客3以降のサービス開始には, どのような値を記入すればいいのだろう.

ST: サービス開始には, 前の客のサービス終了を入れる.

HS: 到着時刻がそれより後なら到着時刻を入れる.

T: そうか, その関係はどうやって書いたらいいだろう.

HS: サービス開始は, 到着時刻と前の客のサービス終了との大きい方 (HS 生は, 黒板に「サービス開始=(到着時刻, 前の客のサービス終了)との大きい方」と記述した).

T: 見やすいね. 大きい方という意味をどうやってわかってもらおうか. (ここで意見が出なかったなので, 教師が「サービス開始= $\max(\text{到着時刻}, \text{前の客のサービス終了})$ 」と記述した)

このような議論の末に, シミュレーションをするために必要な関係として, 次の3つを抽出した.

ア サービス開始= $\max(\text{到着時刻}, \text{前の客のサービス終了})$

イ サービス終了=サービス開始+サービス時間

ウ 待ち時間=サービス開始-到着時刻

[第3時: シミュレーション]

ここでは, 前述した図1の枠組みにおける「シミュレーション」の活動について調べていく. シミュレーションの段階で, 教師が指導する際に留意したことは, 次の4点である.

(シミュレーションの留意点)

- ① 客21以降の到着時間間隔は, 区間 [1, 5] の一様分布に従う乱数とする.
- ② 平均サービス時間は, 3分とする.
- ③ サービス窓口は1ヶ所であり, 先着順にサービスが行われるものとする.
- ④ サービス時間, 待ち時間と到着時間間隔の分布をグラフ表現し, グラフ間の関係を調べる.

生徒らは, 表計算ソフトウェアのシートに関数を記述し, 土曜日の午後0時から午後5時までの客の待ち時間について, シミュレーションを行った. この実習では, 次の関数を利用した.

客1については,

サービス開始=B6, サービス終了=D6+C6, 待ち時間=D6-B6

客2以降については,

サービス開始=IF(E6>B7,E6,B7), サービス終了=D7+C7, 待ち時間=D7-B7

客21以降については,

到着時刻=B26+RANDBETWEEN(\$B\$2,\$D\$2)

また平均については,

平均待ち時間=AVERAGE(F6:F105)

ここで、RANDBETWEEN 関数は生徒らが未習であったため、教師が意味を説明して記述させた。この関数は「整数値をとる乱数を作り出す関数」である。

シミュレーション結果をグラフ表現すると、図2のようになった。

[第4時：検証]

ここでは、前述した図1の枠組みにおける「比較・検証」の活動について調べていく。検証の段階において、生徒らは「到着時刻」、「サービス時間」、「待ち時間」という3つの変数に着目し、修正意見を述べていた。

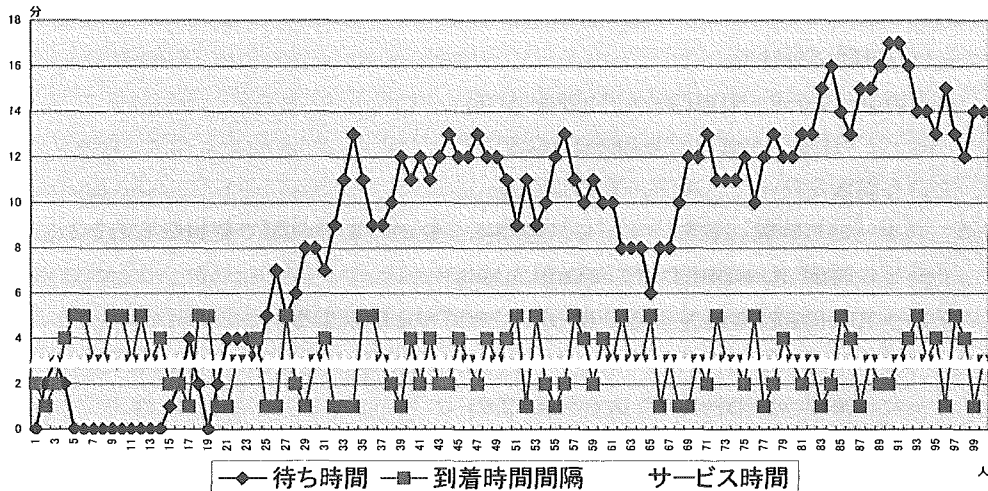


図2 シミュレーション結果

(T：教師，C：クラス，その他：生徒のイニシャル)

T：この結果をみて、何か気づいたことはあるかな。

KT：サービス時間が全部3分になっている。(サービス時間に着目)

KS：ハンバーガーが焼けていないときは、もっと(時間が)かかるよ。

T：鋭いね、そのとおり。サービス時間は単純化して3分にしてあったね。サービス時間を長くすると、どうなるのかな。

KT：時間が遅くなると、待ち時間が長くなる。

T：本当にそうなるの。

C：なる、なる。

HS：でも、学校が終わって3時半頃買いに行くと、すいているよ。(到着時刻に着目)

T：そうか。それじゃあ、そのことも考えなければいけないね。

YS：お昼の時間は混むけど、夕方だから空いているのだよ。

SR：午後0時から午後3時までと、午後3時から午後5時まででは、来客の数が違うと思うよ。

TA：俺はあんまり長く待たされると帰っちゃうよ。（待ち時間に着目）

T：そうか、どのくらいなら待ってられるかな。

TA：10分位かな。

T：それじゃ、帰っちゃう人のことも考えて、待ち時間を決めなきゃいけないね。

このような議論の末に、モデルを修正するために必要な関係として、次の3つを抽出した。これらの関係を抽出した活動は、現実の世界とモデルとの適合性を高めるための再モデル化といえる。

ア（到着時刻に着目）午後1時から午後3時までの客の到着時間間隔は1分から5分の間で変わるものとし、午後3時以降の客の到着時間間隔は3分から7分の間という2つの区間に分けて、

$$\begin{aligned} \text{到着時刻} &= B26 + \text{RANDBETWEEN}(\$B\$1, \$D\$1) \\ &= B66 + \text{RANDBETWEEN}(\$B\$2, \$D\$2) \end{aligned}$$

という関数を使って、モデルを修正する。

イ（サービス時間に着目）サービス時間は2分から4分の間で変わるものとし、

$$\text{サービス時間} = \text{RANDBETWEEN}(\$B\$4, \$D\$4)$$

という RANDBETWEEN 関数を使って、モデルを修正する。

ウ（待ち時間に着目）待ち時間が10分以上の客は帰るものとし、客2以降において

$$\text{サービス終了} = \text{IF}(D7 - B7 < 10, D7 + C7, D7)$$

という IF 関数を使って、モデルを修正する。

上述したモデルの修正点について、生徒の関心に基づいて3つのグループで分担し、シミュレーションを行った（文部科学省，1999）。

4. 考察

[第2時：モデル化]

ここでは、モデル化の段階における生徒の活動について考察する。モデル化を促進する技能としては、「変数の生成」、「変数の選択」、「関係の生成」、「関係の選択」などがある（池田，1999）。本研究では、これらの技能の中から「変数の生成」に焦点をあてて指導した。この段階において、生徒らは「到着時刻」という独立変数と「サービス開始」、「サービス終了」、「待ち時間」という従属変数を生成した。また、「サービス時間」は単純化して3分に特定した。生徒らが現実の世界とモデルとの適合性を検証する際に、これらの変数が、どのように影響していたかについて後述する。

また、生徒らは「到着時刻」、直前の客の「サービス終了」と「サービス開始」との関係を生成した。待ち行列の問題をモデル化するために、生徒らは

$$\text{サービス開始} = \max(\text{到着時刻}, \text{前の客のサービス終了})$$

という言葉の等式を作った。この等式は2つの値を比較して大きい値を記入する必要があるが、一般的な等式とは性質が異なるものであった。しかし、「サービス開始」の値を求める

ために生徒らは実際に計算を実行しており、高校「数学Ⅰ」においてもすでに不等式の学習が済んでいたことから、このような等式として表現することが可能であったと考えられる。このように、生徒らに「変数の生成」や「関係の生成」などのモデル化を促進する技能を習得させるためには、他教科（数学など）の学習状況をふまえて指導する必要があるといえる。

[第4時：検証]

まず、生徒らが現実の世界とモデルとの適合性を検証する際に、第2時に生成した変数が、どのように影響していたかについて考察する。まず、生徒らは「サービス時間」という変数に着目した。サービス時間を3分に特定したことは、現実の世界と適合しないことがわかり、2分から4分の範囲における変数として生成し直した。次に、彼らは「到着時刻」に着目した。客の到着時間間隔を常に1分から5分の範囲における変数として生成したことは単純化しすぎであり、このことは現実の世界と適合しないことがわかり、午後1時から午後3時までと、午後3時から午後5時までという2つの区間ごとに異なる範囲を設定した。さらに、彼らは客の立場から「待ち時間の限界」という条件を新たに設定し、モデルを修正する意見を述べていた。このことから、モデル化の段階において「変数の生成」に焦点をあてて活動したことは、検証の段階において生徒からモデルの修正意見を引き出すために有効であったと考えられる。

次に、「課題：シミュレーション結果を検証する段階において、生徒はどのような活動をするか。」について、「状況性」の視点から考察していく。これまでも「状況性」に関して、次のような問題点が指摘されてきた。算数の学習において「りんごが4個、みかんが7個あります。かけるといくつでしょう。」といった意味のない問題に、手続き的知識である掛け算を適用して解決する活動に疑問を持たず、解の意味を吟味しない生徒が多数おり、学校には、子どもたちにこのような活動をさせる「見えざる力」が働いているという（有元，1995；佐伯，1997）。このような「状況性」に関する問題点について、検証の段階における生徒の活動を通して考察する。この段階において、生徒らは第2時に構成したモデルに対して多様な修正意見を述べていた。たとえば、シミュレーション結果において、待ち時間が10分以上の客が多くみられたため、生徒らは「到着時間間隔分布」（〈待ち行列モデルの6項目〉②）や「サービス時間分布」（〈待ち行列モデルの6項目〉③）の現実事象との適合性に関する指摘をしたり、客の立場から「待ち時間の限界」（〈待ち行列モデルの6項目〉④）に関する指摘をしたりした。これらの条件を変更することにより、モデルと結果が異なってくるのである。第2時に構成したモデルは、手続き的には正しいモデルであるが、シミュレーション結果を振り返ってみると、現実事象には適合しないものであった。生徒らは、この手続き的な正しさに満足することなく、現実事象との適合性が高いモデルに修正するように考えていた。このことから、シミュレーション結果を検証する活動は、算数の学習で指摘された「状況性」に関する問題点を克服するために、有効な手段となり得るという示唆を得た。

5. 研究の結論

本研究の目的は「生徒の活動から、新教科『情報』における授業実践の示唆を得ること。」であった。そのために、以下の課題について研究をすすめた。

課題：シミュレーション結果を検証する段階において、生徒はどのような活動をするか。

結果として、「変数の生成」という方略は、シミュレーション結果を検証する段階において、生徒からモデルの修正意見を引き出すために有効であったと考えられる。

また結果から、シミュレーション結果を検証する活動は、「状況性」に関する問題点を克服するために有効な手段となり得るという示唆を得た。このことから、教科「情報」における活動は「状況的学習」というパラダイム（岡本，西野，香山，2002）をふまえて考えていく必要があるといえる。

文献

- 有元典文，1995，状況的認知における授業構成，吉田甫，多鹿秀継編「認知心理学からみた数の理解」，181-199，北大路書房，京都
- 池田敏和，1999，数学的モデリングを促進する考え方に関する研究，日本数学教育学会誌 数学教育学論究，81(71・72)，3-18
- レイブ，J.&ウエンガー，E.，1993，状況に埋め込まれた学習．産業図書，東京
- 三輪辰郎，1983，数学教育におけるモデル化についての一考察，筑波数学教育研究，(2)，117-125
- 水越敏行，村井純，2001，高等学校情報B．日本文教出版，大阪
- 文部科学省，1999，高等学校学習指導要領解説情報編．開隆堂出版，東京
- 文部科学省，2000，特色ある教育活動の展開のための実践事例集．大日本図書，東京
- 岡本敏雄，西野和典，香山瑞恵，2002，情報科教育法．丸善，東京
- 尾崎俊治，1996，確率モデル入門．朝倉書店，東京
- 佐伯胖，1997，新・コンピュータと教育．岩波書店，東京
- Suzuki, K., 2000, 高等学校普通科における教科情報の授業実践について
<http://www.ne.jp/asahi/k/suzuki/Syusi/syusi.html>

(2003年4月30日 受付)
(2003年6月27日 受理)