

高等学校専門教科「モデル化とシミュレーション」のための 教材開発および活用

下倉 雅行¹ 高橋 参吉 中野 勝之² 正司 和彦³

あらまし

2003年度より、高等学校において、新しい教科「情報」が必修科目として設置された。普通教科の情報Bは、情報科学の基礎、すなわち、コンピュータの構造、アルゴリズム、データベース、モデル化とシミュレーションなどの内容を含んでいる。また、専門教科の中で、「モデル化とシミュレーション」は、重要な科目のひとつである。本稿では、専門教科「モデル化とシミュレーション」の内容および「モデル化とシミュレーション」のための学習ツールの必要性を述べる。また、表計算ソフト上で動作する学習ツールを利用した教材を紹介する。

キーワード： 情報教育，モデル化とシミュレーション，高等学校，表計算ソフト

Development and Utilization of the Materials for "Modeling and Simulation" as the Special Subject at Senior High School

Masayuki SHIMOKURA Sankichi TAKAHASHI
Katsuyuki NAKANO Kazuhiko SHOJI³

Abstract

The new subject "Information" was introduced from 2003, as a compulsory subject for all senior high school students. The general subject "Information B" is the basic of information science, which contains the units such as structure of computer, algorithm, database, modeling, simulation.

We think that "Modeling and Simulation" is one of important subjects in the special subject.

In this paper, we explain the contents of "Modeling and Simulation" as the special subject. We describe the necessity of the tool for learning "Modeling and Simulation".

Keyword: Information education, Modeling and Simulation, Senior high school, Spread sheet

¹ 大阪府立工業高等専門学校 Osaka Prefectural College of Technology

² 神戸市立兵庫商業高等学校 Kobe Municipal Hyogo Commercial High School

³ 兵庫教育大学 Hyogo University of Teacher Education

1. はじめに

2003 年度より高等学校において新教科「情報」が導入された。この教科の目標は、「情報活用の実践力」、「情報の科学的理解」、「情報社会に参画する社会」の3本柱である。これに基づき、普通教科として3科目、専門教科として11科目を設置している。専門教科「情報」における一科目として、「モデル化とシミュレーション」があり、これは共通分野に位置づけられている。また、普通科における科目「情報B」内において、一つの単元として存在している。

ここでは、普通科目「情報B」における「モデル化とシミュレーション」の単元内容と専門科目「モデル化とシミュレーション」の内容を説明する。そして、我々が考えた試作教科書の概要を紹介する。さらに、我々が開発した表計算ソフト上で動作する学習ツールを紹介し、学習方法およびそれを利用した教材についても述べる。

2. 学習指導要領における位置づけと内容

2.1 普通教科における「モデル化とシミュレーション」

学習指導要領において、「モデル化とシミュレーション」は「情報B」で取り扱われ、その「情報B」の目標は次に示すとおりである⁽¹⁾。

コンピュータにおける情報の表し方や処理の仕組み、情報社会を支える情報技術の役割や影響を理解させ、問題解決においてコンピュータを効果的に活用するための科学的な考え方や方法を習得させる。

「問題解決においてコンピュータを効果的に活用する」という目標を受け、「モデル化とシミュレーション」は「問題のモデル化とコンピュータを活用した解決」の単元の一つとして設定されている。この単元では「モデル化とシミュレーション」以外にデータベースが含まれている。

さらに「情報B」における単元「モデル化とシミュレーション」では次のような内容とされている⁽²⁾。

身のまわりの現象や社会現象などを通して、モデル化とシミュレーションの考え方や方法を理解させ、実際の問題解決に活用できるようにする。

このように、「モデル化とシミュレーション」の単元では、扱う題材をできる限り身近なものとしている。さらに実習を中心に、体験的な学習を行うように定められている。

また、内容の取り扱いとしては次の5項目が挙げられている。

- 1) ソフトウェアやプログラミング言語を利用して実習中心とする
- 2) ソフトウェアの利用技術やプログラミング言語の習得が目的とならないようにする
- 3) 基本的な考え方は必ず扱う
- 4) 数理的、技術的に深入りしない
- 5) 実習として取り扱う内容は簡単にモデル化できる題材とする

実習内容の簡単にモデル化できる題材としては、次の5種類の中から選ぶようになっている。

- (A) コンピュータにおける情報の処理に関する内容
- (B) 情報の表し方と処理手順の工夫の必要性に関する内容
- (C) 通信と計測・制御の技術に関する内容
- (D) 時間の経過に伴って変化する現象
- (E) 偶然性に伴って変化する現象

(A)~(C)は情報Bにおいて別単元として学習する内容であり、学習した内容をモデル化し、シミュレーションすることによって理解を深めるといふねらいがあると考えられる。(D)および(E)については、身近にある現象として、

2種類の事柄をあげている。どちらも身近な現象としてよくあるものであり、内容としても理解しやすいものを想定している。

2.2. 専門教科における「モデル化とシミュレーション」

専門教科「情報」には表1のような科目がある⁽³⁾。この中で、応用選択的科目の共通分野として「モデル化とシミュレーション」は位置づけられている。

表1 専門教科「情報」の科目一覧

| 分野 | システム設計・管理分野 | 共通分野 | マルチメディア分野 |
|---------|-------------------------|---------------|-----------------------|
| 基礎的科目 | | 情報産業と社会情報と表現 | |
| 応用選択的科目 | アルゴリズム | モデル化とシミュレーション | コンピュータデザイン |
| | 情報システムの開発 ネットワークシステム | | 図形と画像の処理 マルチメディア表現 |
| 総合的科目 | | 課題研究 情報実習 | |

「モデル化とシミュレーション」の目標は次に示すとおりである⁽⁴⁾。

様々な現象を数理的に捉え、コンピュータで解析し、視覚化するための知識と技術を習得させ、実際に活用する能力と態度を育てる。

この目標を達成するためには、数学的な知識、コンピュータを利用して解析する能力、結果をグラフにするなどの表現力が必要である。学習指導要領の解説では、「モデル化とシミュレーションを活用する能力を育てなければならない」、さらに、「理論をあまり重点的にせず、基本的な内容にとどめる」とされている。そして、実際の現象をモデル化して、シミュレーションを行うような体験的な学習をすすめていくことが求められている。

3. 情報Bにおける「モデル化とシミュレーション」の取り扱い

現在、情報Bの教科書として9社から発行されているが、ここでは5社の教科書の「モデル化とシミュレーション」の単元について、どのように扱われているかを調べてみる。なお、この5社は、採択率が高いもの、理工学系の書籍を販売しているもの、という理由で選択した。調査事項は、学習指導要領の内容に従い、次のような4つの項目である。

- ・ アプリケーションソフトを利用しているか
- ・ プログラミング言語を利用しているか
- ・ モデル化について扱っているか
- ・ シミュレーションについて扱っているか

表2は、5社の教科書を比較した結果である。

すべての項目を満たしているのはA社のみであるが、モデル化についての基本的な内容に触れていない教科書や、プログラミング言語の習得が主となっている教科書も見受けられた。A社以外の各社は表計算ソフトを利用するか、もしくはプログラミング言語を利用するかのいずれかであった。また、モデリングツールについてもA社以外の4社では触れられていない。

表2 教科書の内容比較

| 調査項目 | 教科書会社 | | | | |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | A社 (30) | B社 (20) | C社 (10) | D社 (16) | E社 (18) |
| アプリケーションソフトを利用しているか | | | × | | × |
| プログラミング言語を利用しているか | | × | | × | × |
| モデル化を扱っているか | | | × | | |
| シミュレーションを扱っているか | | | | | |

次に各社が取り扱っている題材の一覧を表3に示す。取り扱っている題材は各社とも身近な内容となっている。C社ではモデル化に関する説明がなかったため、モデル化で扱っている題材がなかった。B社はモデル化についての説明はあったが、基本概念のみであり、題材は取

り上げていなかった。なお、*がついている題材は、偶然性に伴って変化する現象である。

表3 教科書で取り扱っている題材

| | A社 | B社 | C社 | D社 | E社 |
|------------------|---|---|-------------------------------|---|-------------------------------------|
| モデル化で扱っている題材 | ・文化祭の販売予想 ・水槽 ・害虫の増加 ・トイレのタンク ・さいころ* | なし | なし | ・コンピュータ室のレイアウト ・席替え* ・ウサギの数 ・待ち行列(チケット窓口)* | ・炊飯器 ・弁当販売予想 |
| シミュレーションで扱っている題材 | ・文化祭の販売予想 ・預金残高 ・エアコンの室温変化 ・コイン* ・待ち行列(レジ)* | ・博物館の入館料 ・待ち行列(発券窓口)* ・スキー場のリフトの利用料 ・待ち行列(イベント会場)* ・携帯電話加入数推移 | ・通学時間 ・待ち行列(レジ) ・テニスコート | ・席替え* ・モンテカルロ法* ・細胞分裂 ・ライフゲーム | ・生物の個体数 ・待ち行列(レジ) ・携帯電話加入者数推移 |

教科書の中には、シミュレーションの題材がコンピュータで行えないようなものもあった。また、シミュレーションの計算が主となり、現象を把握しにくい教科書もあった。

このように各社とも「モデル化とシミュレーション」という単元に対するとらえ方が、教科書により異なっていることが明らかになった。

4. 学習指導要領を考慮した試作教科書

高等学校や大学入学生レベルで利用できる「モデル化とシミュレーション」に関する教科書はほとんどない。

そこで、われわれは学習指導要領を考慮した試作教科書を作成した⁽⁵⁾。モデル化をするために必要な基礎数理、モデル化の説明と方法、シミュレーションの3つにわけ、学習指導要領に沿った形で教科内容を対応づけたものが表4である。

なお、試作教科書の内容についての詳細は、ここでは省略する。

表4 試作教科書の概要

| 学習指導要領の内容 | 試作教科書の概要 |
|---------------------|--|
| (1)モデル化とその解法 | ア.モデル化の基礎 イ.モデルの種類と特性 ウ.シミュレーションの基礎 モデル化のための基礎数理(数値計算、確率・統計など) モデルの種類 モデル化の方法(図的モデル、動的モデルの作成方法など) シミュレーションの手順など |
| (2)現象のモデル化とシミュレーション | ア.連続的に変化する現象 イ.離散的に変化する現象 ウ.その他の現象 動的モデルのシミュレーション 確率モデルのシミュレーション 待ち行列のシミュレーション |

5. 「モデル化とシミュレーション」のための学習ツール

5.1. 学習ツールのもつ機能

普通教科「情報B」において表計算ソフトを利用しているのが見受けられる⁽⁶⁾⁽⁷⁾。最初に「モデル化とシミュレーション」が難しいという印象があるため⁽⁸⁾、さらにプログラミングや新しいソフトウェアの習得となると学習者に難しいと思わせてしまう恐れが出てくる。このことを踏まえ、モデル化とシミュレーションが身近な現象を扱い、かつ、モデル化やシミュレーションが複雑なものではない、と学習者に思わせる必要がある。そのために、使い慣れた表計算ソフトを利用した学習ツールは有効であると考えられる。

開発した学習ツール⁽⁹⁾は広く利用されている表計算ソフトMicrosoft® Excel 2000 および2002(以下Excel)で動作する。学習ツールの基本操作はセルの選択、文字や数値、数式の入力、ボタンのクリックだけである。

学習ツールは、モデル図を作成し、数式を入力することでシミュレーションを行うことができる。一度だけではなく、何度も初期値や刻み値を変更できるため、様々な条件のシミュレーションを何度も実行することができる。また、Excelを利用しているため、結果だけを他のシートにコピーして利用することも容易である。

学習ツールの構成は、「作図シート」、「計算表示シート」および「結果表示シート」と呼ぶExcelシートを3枚利用している。「作図シート」はモデル図を描くため、「計算表示シート」

はモデルの数式の格納と計算を行うため、「結果表示シート」は結果の数値とグラフを表示するためのものである。

学習者は図1のようなモデル図を作成する。このモデル図を学習ツール上の作図シートで作成したものが図2である。このように作図シートではモデル化で得られた図的モデルの各要素をシート上に配置していく。各要素はオートシェイプで配置され、手軽に場所の変更や大きさの変更ができる。この要素配置時にダイアログが表示され、その中に初期値や定数値といったパラメータや、図3に示すような数式モデルで作成した数式を入力する。ただし、入力する場合には時間の関数であることを意識しなくてもよい。微小時間である t も不要となる。

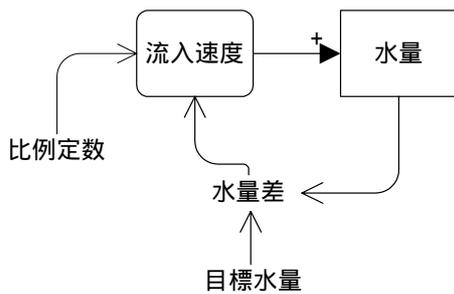


図1 図的モデル



図2 作図シート

$$\begin{aligned} \text{水量}(t + t) &= \text{水量}(t) + \text{流入速度}(t) \times t \\ \text{流入速度}(t) &= \text{比例定数} \times \text{水量差}(t) \\ \text{水量差}(t) &= \text{目標水量} - \text{水量}(t) \end{aligned}$$

図3 数式モデル

図4が計算表示シートであり、モデル図作成

時に入力されたパラメータや数式を格納している。パラメータや数式はこのシートで確認することができる。シミュレーションを行う場合、パラメータの変更をしてシミュレーションを実行する必要が出てくる。その場合、このシート上でパラメータを変更し、作図シートを使わず、ここから直接シミュレーションの実行が可能となっている。また、数式モデルの式の変更などもこのシートで可能である。

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----|-----|-------------|------|-------|------------|-------------|-------------|
| 1 | 初期値 | 比例定数 | 目標水量 | 変化の速さ | 式 | 入力元 | 出力先 |
| 2 | 水量 | 0 | 200 | 0.1 | 流入速度 | 水量差+比例定数 | 水量 |
| 3 | | | 水量差 | | | | |
| 4 | | | 目標水量 | | | | |
| 5 | | | 200 | | | | |
| 6 | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | |
| 101 | 初期値 | 比例定数 | 目標水量 | 式 | 変化の速さ | 式 | 入力元 |
| 102 | 水量 | 199.9946677 | 100 | 0.1 | 流入速度 | 0.000531229 | 0.000590253 |
| 103 | | | 水量差 | | 0.00531229 | | |
| 104 | | | 目標水量 | | | | 0 |
| 105 | | | 200 | | | | |

図4 計算表示シート

図5は結果表示シートである。計算結果を表示し、自動的にグラフの作成までを行う。しかし、ここで作成されるグラフは自動生成されるものであり、見易さなどは考慮されていない。

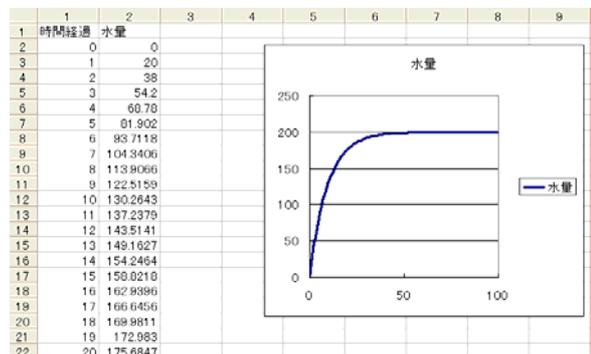


図5 結果表示シート

ここで学習者はこのグラフを必要に応じて表示方法を変更することで、シミュレーション結果を自分で見やすい形にすることができる。グラフの表示方法の変更については、Excelを利用しているため、高校生でも簡単に可能であると思われる。

シミュレーション実行時は終了時間と刻み値を入力する。実行した結果がうまく表示され

ない場合には繰り返し実行すればよい。

また、計算方式を、オイラー法、二次ルンゲクッタ法、四次ルンゲクッタ法の3種類から選ぶことができるようにしている。これらの計算方式はそれぞれのモデルや実際にシミュレーションをした結果によって使い分ける。

5.2 学習ツールと市販モデリングツールの比較

ここで、市販されているモデリングツールのステラ⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾と学習ツールを比較する。その比較結果を表5に示す。

表5 モデリングツールと学習ツールの比較

| ツール 評価項目 | ステラ | 学習ツール |
|-------------|-------------------|------------------------|
| 見やすさ | 見やすい | 少々見づらい |
| 使いやすさ | 使いやすいが慣れるまで時間がかかる | 表計算ソフトの使い方そのものなので使いやすい |
| 数式の編集 | モデル図から編集 | 別シートで編集 |
| グラフの編集 | ソフトウェアで自動作成 | 学習者が変更する必要あり |
| 利用範囲 | 広い | 狭い |

ステラの場合には、機能が豊富なので、使いこなすまでに少し時間がかかる。そのため、ステラでは指導方法に注意しなければ、ソフトウェアの利用方法の習得が主になってしまう恐れがある。

シミュレーションを実行する際、数式モデルから見直す必要が出てくるが、その場合、モデル図を操作することで数式を変更することができる。シミュレーション結果については、ステラのシステム側で見やすいように自動設定して表示する機能がある。

学習ツールの場合、機能は限定されているが、習熟時間は Excel を使っている学習者であればそれほど時間がかからない。マクロボタンの機能など、使い方の説明を読むだけで十分に使いこなせる。数式を変更したい場合には、計算表示シート上にある数式を編集するだけでなく、作図シートを操作しなくてもよい。グラフ

は自動作成されるものは見づらいものもあるが、学習者が考えるという面では有効であると考えられる。

以上のことから、ステラのような市販のモデリングツールは、広い範囲の現象について、モデル化やシミュレーションを行い、現象を把握するには適していると考えられる。これに対し、モデル化とシミュレーションにおける現象の理解や数学的な理解など、学習という観点から考えると、本論文で述べたような学習ツールでも十分である。

6. 開発した学習教材

開発した学習教材を利用する場合には、次の3通りの方法が考えられる。

- ・ ステラのような市販のモデリングツールを利用する
- ・ マクロプログラムなどのプログラミング言語を利用する
- ・ 開発した学習ツールを利用する

学習者の状況や実施環境によって、それぞれ使い分ける必要がある。ここでは、開発した学習ツールを利用した場合について述べる。

この教材は以下の手順で学習することを想定している。

- (1) さまざまな要因が現象にどのような影響を与えるのかを調べてモデル化する
- (2) 数式モデルおよびモデル図を作成する
- (3) 学習ツール上でモデル図と数式を入力
- (4) シミュレーションを行う
- (5) シミュレーション結果から何が得られたかを考える
- (6) 必要に応じてパラメータを変更して繰り返し行う

開発した学習教材の一覧を表6に示す。

表6 開発した学習教材

| 種類 | 教材モデル | 教材の概要 |
|----------|---------|------------------------|
| 身近な現象 | 駐車場 | 駐車台数の変化 |
| | グッピー繁殖 | グッピーが単純に繁殖する場合の変化 |
| | 銀行預金 | 銀行の利息の変化 |
| | 水温低下 | 水槽内の温度変化 |
| | 携帯電話利用者 | 携帯電話利用者数の変化 |
| | 水温上昇 | ヒーターで温めた場合の温度変化 |
| | 物理現象 | 無重力運動 |
| 自由落下 | | 重力下におけるボールの高さの変化 |
| バンジージャンプ | | バンジージャンプでの人の高さの変化 |
| 垂直打ち上げ | | 垂直にボールを投げたときの高さの変化 |
| 水平投射 | | 水平にボールを投げたときの飛距離と高さの変化 |
| 社会現象 | グッピー繁殖2 | グッピーの繁殖が環境の影響を受けた場合の変化 |
| | 被捕食関係 | 被食者・捕食者が互いに影響を及ぼす場合の変化 |
| | 風邪の感染 | 風邪の感染者人数の変化 |
| | ダムの貯水量 | 雨が降ったときの貯水量の変化 |

7. 学習ツールによる教材使用例

情報Bの教科書で利用されていた題材から、「害虫の増加モデル」を取り上げる。

害虫が増加する様子を調べてみたい。害虫は最初 1000 匹おり、1 週間で 5% ずつ増えるものとする。このように単純に増加した場合、100 週間後にはどうなるか。

ここからまず数式モデルと図的モデルを考

える。ここで考えられたモデル図を学習ツール上で作成したものが図6である。

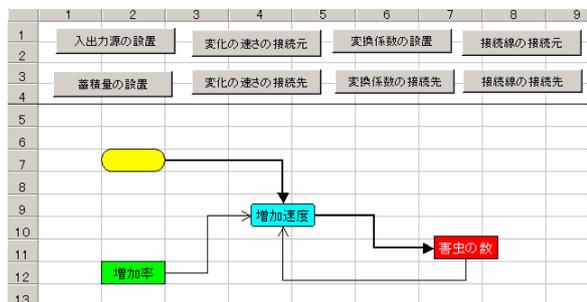


図6 害虫の増加モデル図

このモデル図では、害虫が死ぬ、という要素を抜き、単純に増加した場合だけを想定している。作成されたモデル図を利用して終了時刻を100、刻み値を1としてシミュレーションした結果のグラフが図7(a)である。

自動作成されるグラフはかなり見づらく、シミュレーション範囲以外のところまでグラフを表示している。これを時間の範囲およびシミュレーション結果から自分が必要とする区間だけを表示する。その修正をしたものが図7(b)である。

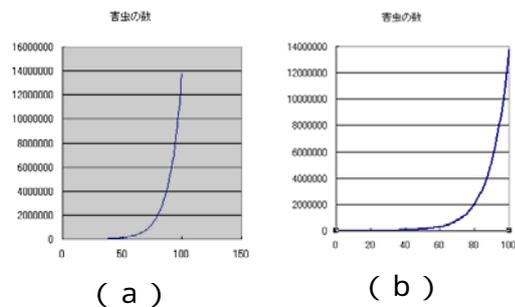
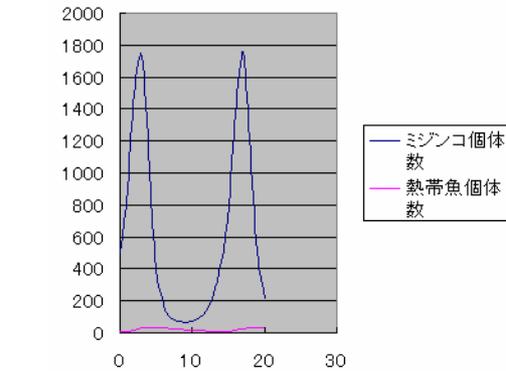


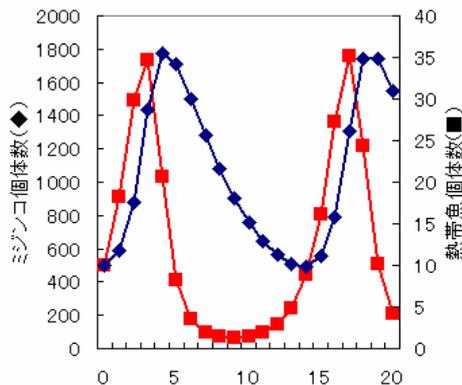
図7 害虫モデルシミュレーション結果

もう一つの例として、被捕食関係を考えてみる。捕食者である熱帯魚と被食者であるミジンコの数の変化が互いに影響を及ぼすモデルである。このモデルでは、環境から受ける影響をすべて抜いたものとなっている。あくまで熱帯魚とミジンコの関係だけに影響を受けると考えて単純化している。このシミュレーション結果は図8(a)に示すようになる。

このように2つの値が大きく違う場合には、変化をとらえにくいので、グラフの数値軸(Y軸)を2種類用意したグラフに変更する方がよい。その変更を加えたものが図8(b)である。



(a) 修正前



(b) 修正後

図8 被補食関係シミュレーション結果

このように、シミュレーション結果や現象に応じてグラフでの表現方法を学ぶことも学習の一つと考えられる。

8. おわりに

「モデル化とシミュレーション」は、身近な問題などをモデル化し、シミュレーションするという誰にでも実際のものと比較することができる分野である。

本論文では、「モデル化とシミュレーション」の内容、開発した学習ツール、および教材例などについて述べた。現在、学習ツールを利用した「モデル化とシミュレーション」の授業を行っているので、その評価については今後検討し

ていく予定である。

なお、情報Bおよび専門教科において、「モデル化とシミュレーション」を取り扱う機会が増えると考えたい。

参考文献

- (1) 文部省：高等学校学習指導要領解説「情報編」pp.45,開隆堂,2000
- (2) 同上 pp.53
- (3) 同上 pp.92
- (4) 同上 pp.134
- (5) 下倉雅行,高橋参吉,中野勝之,正司和彦：高等学校「情報」における「モデル化とシミュレーション」のための教材開発,教育システム情報学会第27回全国大会 pp.85-86,2002,
- (6) 岐阜県総合教育センター：岐阜県の教科「情報」,<http://www.gifu-net.ed.jp/kyouka/joho/top.html>
- (7) 高橋優子：高等学校情報における情報の科学的な理解を深める教材の開発に関する研究,平成14年度岩手県立総合教育センター研究集録,
http://www.iwate-ed.jp/db/db1/ken_data/center/h14_tyou/14_17.html
- (8) 小島順子：モデル化とシミュレーション,<http://www.junko-k.com/jyoho/simulation/>
- (9) 下倉雅行,高橋参吉,中野勝之,正司和彦：高等学校における「モデル化とシミュレーション」のための学習ツール開発,教育システム情報学会第28回全国大会 pp.75-76,2003
- (10) STELLA 使用説明書,システム思考入門：High PerformanceSystems(開発),VarsityWave(発売)
- (11) 岡野道治,福田敦,福永吉徳,吉江修：理工系システムのモデリング学習(STELLAによるシステム思考),牧野書店,1997