

モデル化とシミュレーションの 教育設計と評価の実際

中村州男[†] 江見圭司[†] 作花一志[†]

モデル化とシミュレーションのビジュアル教材のためのソフトウェアを開発した。本稿では、インストラクショナルデザインに基づき、そのソフトウェアを効果的に活用した実践結果を報告する。

Practice of instructional design of modeling and simulation

KUNIO NAKAMURA[†] KEIJI EMI[†]
KAZUSHI SAKKA[†]

We have been developing visual learning software for modeling and simulation. In this paper, we reports on the practice result of using the software based on the systematic design of instruction.

1. はじめに *

「モデル化とシミュレーション」について、高等学校学習指導要領の普通教科「情報」(情報B)に次のように記されている。『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。』

モデル化とシミュレーションは実社会との間を埋める大切な教育を担っていると考えられる。しかし、現実には2つの問題を抱えている。ひとつは、普通教科「情報」の情報A・情報Cではモデル化とシミュレーションは学習内容として扱われておらず、唯一扱われている情報Bは1割程度の高校にしか選択されていない点である[1]。もうひとつは、与えられた課題が解けるだけでモデル化とシミュレーションの考え方や方法を理解するに至らないと思われる点である。

より多くの若年者に、その考え方や方法が理解できる教育の機会が与えられるべきだと考えている。これまで、筆者(中村)は、モデル化とシミュレーションのビジュアル教材のためのソフトウェア「SimTakN(シムタクン)」[2]を開発してきた。そして、コンピュータ専門学校で教育の機会を得ることができた。本稿では、開発したソフトウェアを効果的に活

用したモデル化とシミュレーション教育の実践結果を報告する。授業は、ガニエのインストラクショナルデザインを用いて設計した[3][4][5]。

2. モデル化とシミュレーションとは

下記の図1は、「数に強いこと」と「数学ができること」の違いを図解した畑村洋太郎の文献等[6][7]を参考にモデル化とシミュレーションを図解したものである。

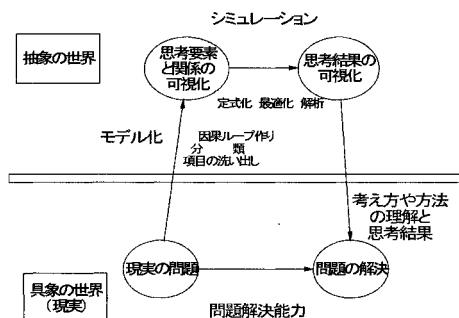


図1 モデル化とシミュレーションのフロー
([6][7]をもとに筆者制作)

モデル化とシミュレーションは、身のまわりの現象や社会現象などから「現実の問題」を認識し、「問題の解決」に結びつける問題解決能力を向上するためにある。

*[†] 京都情報大学院大学
The Kyoto College of Graduate Studies of Informatics

モデル化とは、具象（現実）の世界にある問題を抽象の世界に導くために、思考要素と関係を可視化することである。

シミュレーションとは、そのモデル化された思考要素の関係を定式化し、最適化と解析により思考結果を可視化することである。

「現実の問題」をモデル化する、モデルを使ってシミュレーションする、シミュレーションした思考結果から「問題の解決」への考え方や方法を理解する過程を通じて、問題解決能力を向上する大切な教育である。

3. インストラクショナルデザイン

3.1 学習者の分析

学習者はコンピュータ専門学校での3年生が中心である。数学や文書を書くことを苦手とするが、パソコンを使うことは得意である。したがって、パソコン実習を通じて、中学校までの数学の知識で、かつ、多くの文章を書かずに、モデル化とシミュレーションの考え方や方法が理解できるようにする必要がある。

3.2 学習課題の分析

学習者が学んだ後に、与えられる課題を遂行するときにとどるステップとしての、入力情報→活動→意思決定を記述する情報処理分析[8]は、図1に示すフローの通りである。

このフローから、知的技能・認知的方略・言語情報・態度・運動技能の5つの学習目標の種類に分け体系化する学習課題分析の結果は、図2に示す筆者の主観によるモデル化とシミュレーションの教授カリキュラムマップ（ICM）の通りである[8]。

身のまわりの現象や社会現象などの実際の問題解決に活用しようとする気になる『態度』の育成には、モデル化とシミュレーションの考え方や方法を容易にかつ楽しく理解させる必要がある。そのために、開発したソフトウェアを活用する。しかし、ソフトウェアは、モデル化とシミュレーションをイメージする『認知的方略』に過ぎず、学習終了後に必須ではない。

モデル化とシミュレーションの考え方や方法を理解する教育は、「モデル化の理解」と「シミュレーションの理解」

に大別される。

「モデル化の理解」は、下位技能である「項目の洗い出し」「分類」「ストーリー作り」「因果ループ作り」の『知的技能』から構成される[9]。その際、ソフトウェアの操作に関連して、「思考要素の箱を描く」「思考要素の箱を選択する」「思考要素の箱を移動する」「思考要素間の関係を描く」の『運動技能』と「思考要素名を記述する」の『言語情報』で学習者に接する。文字情報が思考要素名だけであることが学習を容易に、かつ図形と線の描画・移動によるお絵描きの要素が楽しく理解する『態度』を醸成すると考えられる。この過程を通じて、計算を必要としない「シミュレーションの理解」も可能になる。なお、計算を必要とするシミュレーションへの連続的学習には「因果ループ作り」後に、「箱の種類を変える」の『運動技能』により計算可能なモデルに変える作業が必要になる。

計算を必要とする「シミュレーションの理解」は、計算可能なモデルを利用して、下位技能である「思考要素間の関係を数式で記述する」「定式化」「最適化」「グラフの結果から解析する」「解析」の『知的技能』から構成される。その際、ソフトウェアの操作に関連して、「計算させる」「思考要素の箱を選択する」の『運動技能』で学習者に接する。

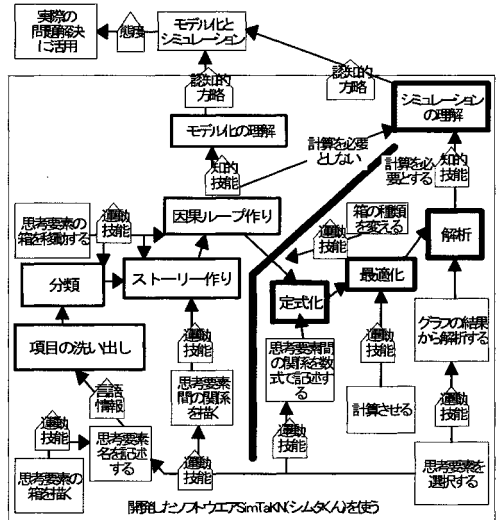


図2 筆者の主観によるモデル化とシミュレーションの教授カリキュラムマップ（ICM）

3.3 教授方略

教授方略とは、特定の学習対象者に、特定の学習課題を、特定の学習環境で、最も効果的かつ効率的に教えるための全体設計である。さらに、認知的学習理論が想定する情報処理の仕組みを学習プロセスの保持に関連させたのが、図3のガニエの9つの教授事象である。このリストは教授方略のガイドラインであり、毎回の授業に全て盛り込む必要はない。[8]

1. 学習者の注意を獲得する
2. 授業の目標を知らせる
3. 前提条件を思い出させる
4. 新しい事項を提示する
5. 学習の指針を与える
6. 練習の機会をつくる
7. フィードバックを与える
8. 学習の成果を評価する
9. 保持と転移を高める

図3 ガニエの9つの教授事象[8]

3.3.1 学習者に予め評価方法を伝える

学習者に最も関心のある本授業の評価方法を予め伝える。出席42点（14回×3点）、毎回の課題提出28点（14回×2点）、学期末試験または発表30点の計100点満点である。なお、出席点については、授業開始前後計10分間のカードによる出席のみを有効とした。また、毎回の課題提出は速やかに採点し返却することとした。さらに、宿題は絶対に出さないこと、毎回の課題も授業時間内で完成する範囲に留めることを伝えた。これにより、図3の「1. 学習者の注意を獲得する」ことができる。

3.3.2 毎回の課題提出による学習者とのコミュニケーション

毎回の課題提出により評価するだけでなく、実習進捗の確認や授業内容・進め方や開発したソフトウェアの感想・要望、質問などを聞き、授業等に反映していく。また、提出された課題は必ず確認して、返却時には採点結果と感想等に対するコメントを付けて返す。提出内容に誤り等があれば直して添付する。これにより、図3の「8. 学習の成果を評価する」と次回の「1. 学習者の注意を獲得する」ことができる。

3.3.3 学習者への発展問題の提示

毎回の課題はできる限り早い時間に取り組めるようにして、課題提出後に評価とは無関係の発展問題の提示を行う。これを解くことで、モデル化とシミュレーションの考え方や方法をより深く理解する学習となり、図3の「9. 保持と転移を高める」ことができる。

3.3.4 ガニエの9つの教授事象を意識した授業内容の PowerPointFile(PPT)作成

図3の「1. 学習者の注意を獲得する」「2. 授業の目標を知らせる」「3. 前提条件を思い出させる」「4. 新しい事項を提示する」の内容及び「8. 学習の成果を評価する」「9. 保持と転移を高める」の課題提示を常に盛り込むように授業内容のPPT作成を行う。

3.3.5 ネットワーク上の学習環境の活用

本学で整備されているネットワーク上の学習環境 WebCT を有効に活用する。本学では授業内容はPPTで事前公開することが原則となっている。これに加えて、3.3.2 毎回の課題提出による学習者とのコミュニケーションもWebCTで行う。さらに、ディスカッション機能を利用して、他の学習者が作成してファイルを閲覧し合う課題も必要に応じて提示する。これにより、ガニエの9つの教授事象の効率的実施を補完できる。また、自宅での学習が可能になり、欠席者の補講や効果的な予習復習ができ、図3の「1. 学習者の注意を獲得する」「9. 保持と転移を高める」ことができる。なお、WebCTに替えて Moodle やインターネット掲示板でも可能である。

3.3.6 開発したソフトウェア「SimTaKN(シムタクン)」の活用

授業を行う教室に開発したソフトウェア「SimTaKN(シムタクン)」を提供した。また、宿題は出さないが、自宅で学習したい人にも提供している。容易にかつ楽しく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ることができ、図3の「1. 学習者の注意を獲得する」「6. 練習の機会をつくる」「7. フィードバックを与える」「8. 学習の成果を評価する」「9. 保持と転移を高める」を補完することもできる。

3.4 予定している授業内容の設計

図2に示す通り、開発したソフトウェアで学習の多くの部分を包含した結果、モデル化とシミュレーションは、「モデル化の理解」・「シミュレーションの理解」の2つに大きく系列化される。後期に2種類の授業（90分×15回）を担当することになったので、それぞれの系列に特化した授業を行うことにした。「モデル化の理解」に関する授業には13人、「シミュレーションの理解」に関する授業には25人（うち8人は「モデル化の理解」に関する授業も受講）が受講している。ただし、「モデル化の理解」に関する授業では、定式化以降のシミュレーションへの連続性があることから延べ3回程度は「シミュレーションの理解」に充てることにした。

3.4.1 モデル化の理解

図4の通りである。特に、第1回～第3回では開発したソフトウェアを習得する必要がある。これを兼ねて、Yes・Noチャート作りを行う。これは、「項目の洗い出し」と「ストーリー作り」の入門的位置付けであり、想定していた学習者との差を理解し、以降の授業内容を定める重要なステップである。

また、Yes・Noチャート作りを通じて、ソフトウェア習得が容易であること、授業が理解できる内容であること、そして、何よりインタラクティブな成果物を作ることによる達成感を早期に味わい、授業に積極的に取り組むようになる『態度』の醸成を行う。

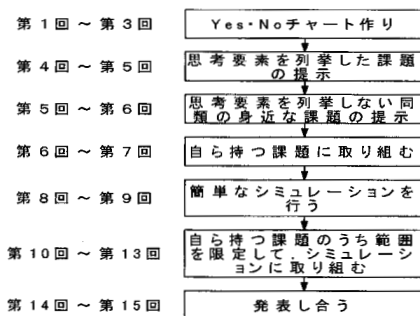


図4 モデル化の理解のシラバス

3.4.2 シミュレーションの理解

図5の通り、一般的な数理計画問題

（最適化問題）を解くことを目的としている授業を実習形式に変更した。このため、難型となる解法が存在しており、そのモデル化された問題の「定式化」「最適化」「解析」を行い、さらに発展問題を解くことで理解を深めることにした。したがって、最適化問題として取り上げるテーマを線形計画法・最適仕入問題・PERT・孫子の兵法（AHP:Analytic Hierarchy Process）に絞って授業を行うこととした。

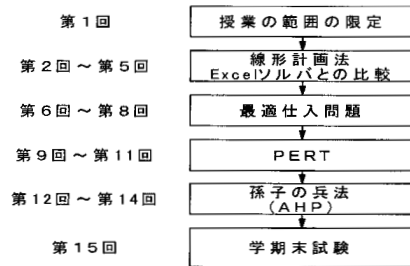


図5 シミュレーションの理解のシラバス

特に、第2回～第5回の線形計画法については、同一の問題をExcelソルバー機能と開発したソフトウェアで解いて、どちらが身近な問題の解決能力の向上に繋がるのかを比較する。開発したソフトウェアの方が優れていることに納得してもらい、授業に積極的に取り組むようになる『態度』の醸成を行う。その後、各テーマごとにモデル化された問題の「定式化」「最適化」「解析」を行い、シミュレーションを理解できるようにした。また、モデル化から解く機会も与えるようにした。

3.5 各回の授業展開の特徴と実例

「モデル化の理解」・「シミュレーションの理解」を目的とした2種類の授業において、各回で図3のガニエの9つの教授事象を原則として全て網羅する授業展開である。

図3の教授事象のうち、各回ごとに異なる実習内容となる「5. 学習の指針を与える」=教師自ら例題を説明しながら解いて見せる、「6. 練習の機会をつくる」=実際に学習者に課題に挑戦してもらい、「7. フィードバックを与える」=多くの学習者が行き詰まる場所に至ったらヒントを与えて再び挑戦してもらい、について、第5回目の授業内容での実例を示す。

3.5.1 モデル化の理解

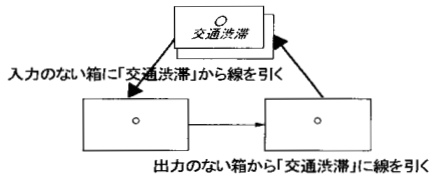


図6 図3の「4. 新しい事項を提示する」

図6の内容をPPTで提示して説明する。そのうえで、教師自らが図7のように例題[10][11]を説明しながら解いて見せる。そして、実際に課題に挑戦してもらおう。ただし、できる限り線が交わらないように配置するように指示する。なお、学習者は前回の授業で「分類」「ストーリー作り」の一部を各自の主観で作成しており、図7とは異なる内容である。

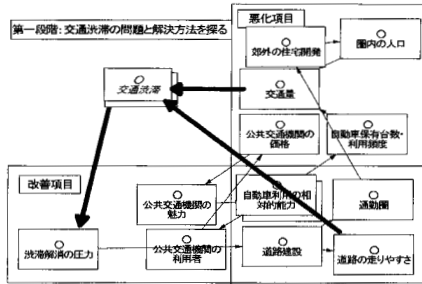


図7 図3の「5. 学習の指針を与える」
(文献[10][11]を参考に筆者制作)

線が交わらないように配置するのは難しい。ヒントとして、交通渋滞の箱を真中に置くことを伝える。再び、実際に課題に挑戦してもらおう。その後、解説をして、課題を提出させううえで、近所の交差点の交通渋滞という身近な発展問題を解いてもらおう。

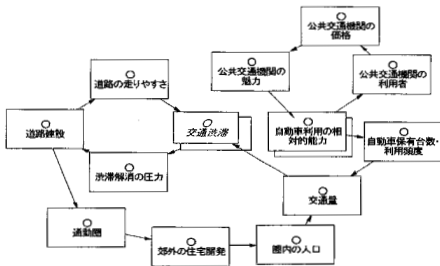


図8 文献[10][11]を参考に筆者制作の完成例

3.5.2 シミュレーションの理解

図3の「4. 新しい事項を提示する」については、前回のモデル化済みの問題からモデル化部分を削除して提示する。そのうえで、教師自ら、図2の「項目の洗い出し」「ストーリー作り」を説明しながら、ごく一部を解いて見せる。そして、実際に課題に挑戦し、モデル化が完了すれば、「定式化」「最適化」「解析」も行って、最大利益を求めてもらう。

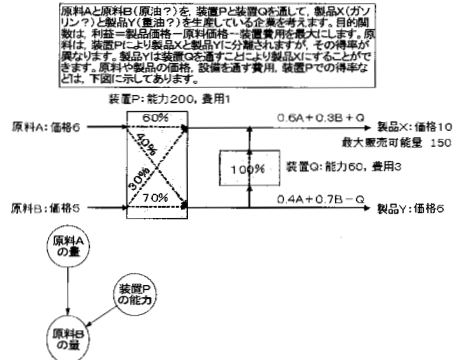


図9 図3の「5. 学習の指針を与える」
(本問題は、文献[12]から作成)

多くの学習者が最大利益を出した段階で、模範解答を示し、答えが違う場合には、解析から遡って、必要ならば「項目の洗い出し」から再検討させ、課題を提出させううえで、発展問題(今回は、原材料Cが増えたら最大利益はどう変わるか)を解いてもらおう。

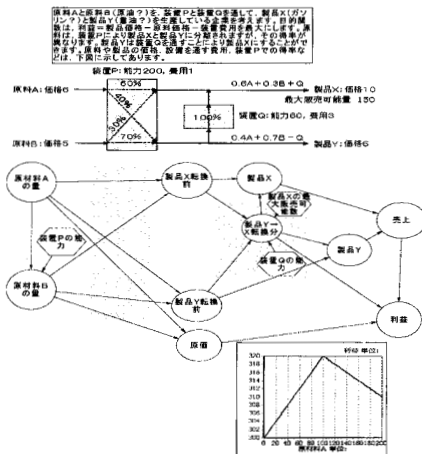


図10 完成した例 (本問題は文献[12]から)

4. 教育効果の測定

後期開講してから5回の授業が行われた。学習者は、想定していた回数をはるかに上回るペースでモデル化とシミュレーションの考え方や方法を理解していると思われる。現段階で、学習者の分析・学習課題の分析・教授方略・授業内容や展開に大きな問題はないと考えられる。

「モデル化の理解」に関する授業では、第5回目には日頃考えたことがないと思われる身近な発展問題に対して約10分の時間を与えた結果、学習者自らの力で平均7個(最大13, 最小1)の思考要素が列挙された。この列挙レベル到達は第9回目を想定していた。さらに、因果ループまで完成した学習者も数人いた。

「シミュレーションの理解」に関する授業では、前回「定式化」からの学習時に出題した問題を、第5回目で「項目の洗い出し」から全てを解く実習を行った。22人中12人は学習者自らの力で完成、10人はフォローして完成した。このレベル到達は第8回目を想定していた。

まだ、回も浅いので、学習者からの評価や特性、理解度、教育効果については、本稿発表時に第9回目の授業でアンケートを取った結果を口頭で発表したいと考える。

5. まとめ

コンピュータ専門学校で実際に教育する機会を得たことで、これまで研究してきた実社会との間を埋める大切な教育を担っているモデル化とシミュレーションのソフトウェア及び教材の開発と教育方法を実証できるようになった。その結果、モデル化とシミュレーションを学習者自らの力でやり、実際の問題解決への活用にもつながる考え方や方法を理解するのに、各5回の授業でも可能であることがわかった。

ただし、教科「情報」のモデル化とシミュレーションでは、学習者及び教師・授業時間などの学習環境を考慮して再設計する必要がある。

今後も、より効果的かつ効率的なモデル化とシミュレーションのインストラクショナルデザイン及び教育の評価の研究をし、自ら開発しているソフトウェアや教材も改訂して、皆様のお役に立てる情報を提供したいと考えている。皆様からのご指導ご鞭撻をお願いしたい。

謝辞 本ソフトウェアの開発の機会を与えていただき、また、未完成の状態から教育にすぐにお使い頂き、多大なご協力を頂いている東洋大学 大学院国際地域学研究所 国際地域学部 池田誠教授に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 生田茂, "教科「情報」の現状", 筑波大学学校教育論集第28巻 (2006) pp.1-6
- [2] 中村州男, "SimTaKN(シムタクン)オンラインヘルプ", <http://hp.vector.co.jp/authors/VA017379/Help/SimTaKN.html>
- [3] 松澤芳昭・中鉢欣秀・岡田健・大岩元, "オブジェクト指向技術者養成のためのカリキュラム", 情報処理学会コンピュータと教育研究会第64回研究会 (2002) pp.1-8
- [4] 江見圭司・石井充・矢島彰, "モデリングを中心としたオブジェクト指向技術者養成カリキュラム", 情報処理学会シンポジウム SSS2002 (2002)
- [5] 内田実・清水康敬, "実践インストラクショナルデザイン—事例で学ぶ教育設計", 東京電機大学出版局 (2005) pp.1-142
- [6] 江見圭司・南野公彦発表, "グラフ電卓を用いた情報・数学・科学の統合的教育への提案", 情報処理学会コンピュータと教育研究会第89回研究会 (2007) pp.1-4
- [7] 畑村洋太郎, "数に強くなる", 岩波書店 (2007) pp.24-25
- [8] R・M・ガニェ W・W・ウェイジャー K・C・ゴラス J・M・ケラー 訳者:鈴木克明・岩崎信, "インストラクショナルデザインの原理", 北大路書房 (2007) pp.1-462
- [9] 中村州男・江見圭司, "モデル化とシミュレーションのための情報教育用教材の開発", 電子情報通信学会技術研究報告 Vol.107 No.205 (2007) pp.69-74
- [10] 小田理一郎・枝廣淳子, "ビジネスリーダーのための新環境学 システム思考①", 日経エコロジー3月号, (2006) pp.88-89
- [11] 有限会社チェンジ・エージェント, "日経エコロジー3月号システム思考掲載記事補足資料", URL:<http://change-agent.jp/news/000012.html>
- [12] 本暮仁, "Web教材一覧<オペレーションズ・リサーチ>線形計画法(LP)の線形計画法の効果", <http://www.kogures.com/hitoshi/webtext/lp-kouka/index.html>