

数理模型を応用したシミュレーション教育の 実践とその学習効果

佐藤尊範

(健康福祉学部総合福祉学科)

要 約

現代社会が抱える問題に対応するため、課題解決を含む学生の様々な能力を育成する責務が高等教育に課せられている。学習到達度調査をはじめとして、育成した能力を測定するための取り組みが各所で行われている。数理模型は自然現象や社会現象を単純化・抽象化することで数式として表現し、それを演算することでコンピュータシミュレーションが実行される。シミュレーションについて学習することで、学習者は現象を司る理論を理解し、その理論を実践に応用する能力を獲得することができる。平成 28 年度後期に開講した科目の学習内容に、数理模型を応用したシミュレーションを導入した。履修生による学習到達度の自己評価の結果と課題の成果に基づいて、シミュレーション教育の有用性を評価した。学習を通じて、履修生の学習到達度は向上し、独自のモデルを考案する素養が身に着いた。より効率的に学習効果を得るための授業方法を模索し、学生の能力を向上するシミュレーション教育の確立に努めたい。

キーワード：数理模型，コンピュータシミュレーション，学習到達度，省察

(2017.9.6 受稿 査読審査を経て 2017.10.23 受理)

はじめに

平成 24 年、中央教育審議会は質的転換答申の中で、従来の知識の伝達を中心とした授業から、学生が主体的に問題を発見し解を見いだしていく能動的学修への転換が必要であることを提唱した[1]。グループワークを一例として課題解決型の学習方法が授業に導入され、学修ポートフォリオなどを利用することで学習効果が評価されている [2, 3]。さらに、学生の能力を定量的に測定する学習到達度調査が重視されており、OECD は世界 65 カ国で PISA を実施している[4]。学習到達度を基に、学生は自身の理解度を確認し、学習方針の改善に反映することができる。この振り返りとそれに続く省察の能力は、高等教育が育成すべきジェネリックスキルの一つに数えられている[5]。

中央教育審議会は質保証の在り方に関する答申の中で、現代社会が抱える問題に対応するため、主体的に生きる実践的な職業人を養成することの重要性を指摘した[6]。さらに、授業を通じて学生が身に付ける知識・技能等を統合し、課題解決力・創造性に結び付けるための総合的な科目を設定し、「各種の社会的課題を理解し、学習成果を課題解決に生かす」能力の育成を教育機関に課した。

もののインターネットなどの普及によって第 4 次産業革命を迎えた高度情報社会では、ICT が学修の質を向上すると期待されている[7]。初等教育におけるプログラミング学習の必修化が決定し、高等教育の現場では、コンピュータの利活用が不可欠である数学的・科学的応用力を育成する STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) 教育に注目が集まっている[8]。高等学校が検討している情報科目に追加すべき学習内容として、プログラミング、データベースに並んで、モデル化・シミュレーションが挙げられている[9]。

モデルとは自然現象や社会現象の「本質をより普遍的なモデリング言語で表現したもの」であり、代表的な言語が数学である[10]。数理模型もしくは数理モデルは、現象を構成している要素を抽出し、それらを項として組み合わせた数式によって表現する。モデリングまたはモデル化は、現象を観察することで得られたデータを基に、複雑な系もしくはシステムを単純化・抽象化することを意味する。「物理的に異なったシステムで他のシステムの振る舞いを予測したり評価したりする」手段がシミュレーションである[11]。コンピュータシミュレーションは、モデルが定義した数式をコンピュータに演算させること

で、現象を疑似的に再現することを指す。

コンピュータシミュレーションの学習を授業に導入した先行事例があり、現象を司る理論についての理解を深め、理論を実践に応用する能力の向上に役立つことなどが報告されている[12-15]。数理モデルの学習を経て、数学は日常生活に深くかかわるものであり、生涯必要な生存の知恵であることに気づく、という学習効果に言及した例もある[16]。しかし、学習成果を定量的に測定したデータに基づいて、シミュレーション教育の効果を評価した報告は未だ無い。本研究は学生の学習到達度を分析し、シミュレーション教育を通じて得られた学習効果を評価する。

方法

学習者が数理模型を理解し、シミュレーションを実行する能力を獲得することを目的として、シミュレーション教育の手順を考案した。

- 手順1. 自然現象・社会現象の理解
- 手順2. 数理模型の理解
- 手順3. シミュレーション実行環境の構築
- 手順4. シミュレーション実行
- 手順5. 出力結果の考察
- 手順6. シミュレーションの改変

「シミュレーションを行ってみる（体験してみる）ことが重要である。さらに自身でモデルの変更を行い、またさらにモデルを作成することが容易にできることが望ましい」との考え[12]を反映した。中教審答申が求めている知識と技能を統合し、課題解決力に結び付ける科目にも呼応している。

手順1では、モデリング対象となる現象の概念を学習する。感染症の流行を例にすると、病理・病態、伝播の仕組み、疫学指標などの学習に該当する。手順2では、観察を通じて抽出された項と、項同士の関係を表現するパラメータによって構成されたモデルについて学習する。代表的なモデリング対象の一つが感染症の流行である。1927年にKermac and McKendrickが病態によって分類した集団と病態の遷移を数式として表現した[17]（図1）。以降、多くの模型が構築され、流行を効果的に抑制する介入方法の評価や、ワクチンを導入する際の費用対効果分析にも応用されている[18, 19]。

手順3, 4, 5を通じて、学習者は数理模型を疑似的に再現するシミュレーションの実行環境を構築し、出力結果を確認する。コンピュータプログラミングに関する知

識と経験が十分ではない学習者のために、シミュレーションの実行環境を提供する専用ソフトウェアがある[12]。本研究では、プログラミング能力の育成手段としても有効であると考え、一般的な表計算ソフトウェアの一つであるMicrosoft Excelが実装しているVisual Basic for Applications (VBA)を利用して、学習者に実行環境を構築させた。

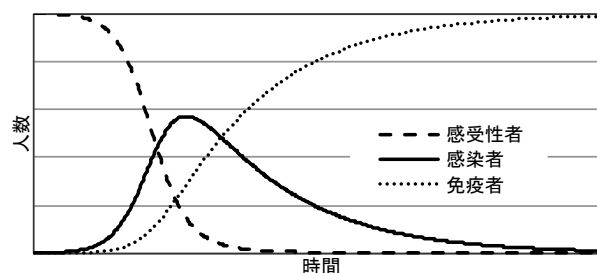


図1 感染症流行モデルの出力結果の例

手順6では、出力結果の分析とモデルの改変を通じて、数理模型の理解度を深める。現象の実測値とシミュレーションの出力値との整合性の評価、単純化によって生じていたモデルの制約とそれを解消しうる方法の考案、出力結果の要約統計量の算出、出力値を目標値に近づけるための介入方法やパラメータの調整方法の発案などを定期課題として与えた。モデルの改変は、課題解決能力の育成と独創性の向上に結び付くと考える。

平成28年度後期に開講した総合福祉学科専門科目「表計算応用演習」にて、上述した手順を導入したシミュレーション教育を実践した。授業の目標として、専門的な表計算ソフトウェアに関する技能の習得と将来従事する職場での業務に応用する能力を醸成することを掲げた。統計関数の利用やVBAを用いたプログラミングを含む表計算ソフトウェアを活用する能力の育成は、数理模型およびシミュレーションの学習との親和性が高い。数理模型の概要とMicrosoft Excelを利用したシミュレーションの実行について解説した教本[20]を教科書として指定した。また、反転授業の方法を導入し、履修生は授業時間外に各自で資料を参考にしながら手順1から5までの作業を行い、授業中は履修生同士が協働して手順6に該当する定期課題の作業を行う。反転授業には主体的学習能力の育成や理解度の深化を促す効果が認められている[21, 22]。

各授業回の終了時に学習記録シートの提出を履修生に課した。記録する内容には、学習経験、学習到達度の自己評価、そして学習した内容が含まれる。講義を聴いた、グループ作業を行ったなど、授業での経験の有無を選択

し、疑問に思ったことや授業への感想を自由記述で回答させた。表計算ソフトウェアの活用能力およびシミュレーション学習の理解度を測定するための学習到達度項目(表1)を設定し、学生は五件法を用いて評価した。

表1 学習到達度項目とその評価(評点)

A. 表計算ソフトウェアの役割を説明できる
B. データを整形することができる
C. 統計処理を用いてデータを分析することができる
D. マクロを記憶・実行することができる
E. VBA を利用することができる
F. フォームを利用することができる
G. コンピュータシミュレーションの概要を説明できる
H. 数理モデルを構築することができる
I. コンピュータシミュレーションを実行することができる
全くそう思わない (1), そう思わない (2), どちらでもない (3), そう思う (4), とてもそう思う (5)

学習到達度項目 G, H, I の能力を振り返りと省察に応用することで、履修生は自身の学習をモデル化することができる。最終課題として、学習した内容を就職希望の職業にどう応用するか、応用に十分な学習到達度を獲得するための学習方針、自身の学習をモデル化するための要件、単純化によるモデルの制約とそれを解消しうる変更方法、学習到達度を大幅に向上しうる介入方法、そして目標値に近づけるためのパラメータの調整方法を尋ねた。最終課題の成果を基に、履修生が自身の学習をモデリングする素養を身に着けることができたか、という観点から、シミュレーション教育の有用性を評価した。

学習到達度項目として挙げた全ての能力の育成を目的として、授業を展開した。授業初回では授業概要の説明を行った。授業2回目以降は、捕食者と被食者が共存する生態系、集団におけるインフルエンザの流行、針金の熱伝導、森林火災など計10種類の現象をモデリング対象として取り上げ、シミュレーションの教育手順1から6までをそれぞれ実践した。履修生はそれぞれの数理モデルとシミュレーションについて学習し、授業回毎の学習到達度の自己評価を繰り返した。授業最終回では最終課題の要件を伝え、1週間の作業時間を与えた。履修生はシミュレーション学習と学習到達度の評価を行ってきた自分自身を観察し、学習をモデル化することで、自身が獲得した能力を最終課題の成果に反映させた(図2)。



図2 最終課題におけるモデリング対象の転換

履修生の学習に関するデータを収集・管理するため、世界中で利用されている学習管理システムの一つである Moodle を利用した。履修生は持参したノート PC を用いて、著者が管理している Moodle サーバに接続し、学習到達度の自己評価の記録と参照を行った。

結果

シミュレーション教育を実践した科目「表計算応用演習」の履修生は3名であった。授業2回目に行ったアンケートの結果によると、2名は高校にて、そして1名は大学にて、表計算ソフトウェアの学習を経験していた。授業2回目終了時の表計算ソフトウェアに関する学習到達度の評価結果を図3に示した。授業13回目以降、3名が項目AからFのそれぞれについて、「そう思う(評点4)」と回答した。

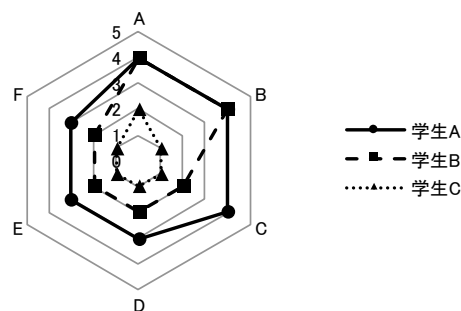


図3 授業2回目における学習到達度の評価結果

シミュレーションに関する学習到達度項目 G, H, I (図4) について、授業2回目では、1名が「そう思う(評点4)」を回答した。授業5回目にシミュレーションの概要に関する講義を行い、それに続いてシミュレーション教育の手順1から6を初めて実践した。授業2回目以降、「そう思う」と回答してきた履修生 A は、数理モデルやシミュレーションに関する知識を改めたことで基準が変化し、「どちらでもない(評点3)」に評価を下げたと推察される。項目 G, H, I への評価として、それぞれ授業11回目、13回目、そして10回目までに3名が「そう思う」と回答し、最終課題の遂行に必要な不可欠である能力が育成された。

最終課題の成果には、履修生自身の学習を俯瞰し、単純化を図りながらモデリングに取り組んだことが示唆されていた（表 2）。考案されたモデルには、趣味や経済状況が組み入れられており、独創性が備わっていた。また、集中力を高めるための学習方法の確立や学習時間の増加などの記述からは、履修生の課題解決能力や主体的学習能力の一端を窺うことができた。

考察

シミュレーション教育を通じて、学習者は様々な現象の数理模型に関する知識を獲得し、統計分析やプログラミングを伴うシミュレーションの実践を経験した。また、学習内容を応用することで、自身の学習をモデル化する素養を身に着けた。シミュレーション教育の成果として、

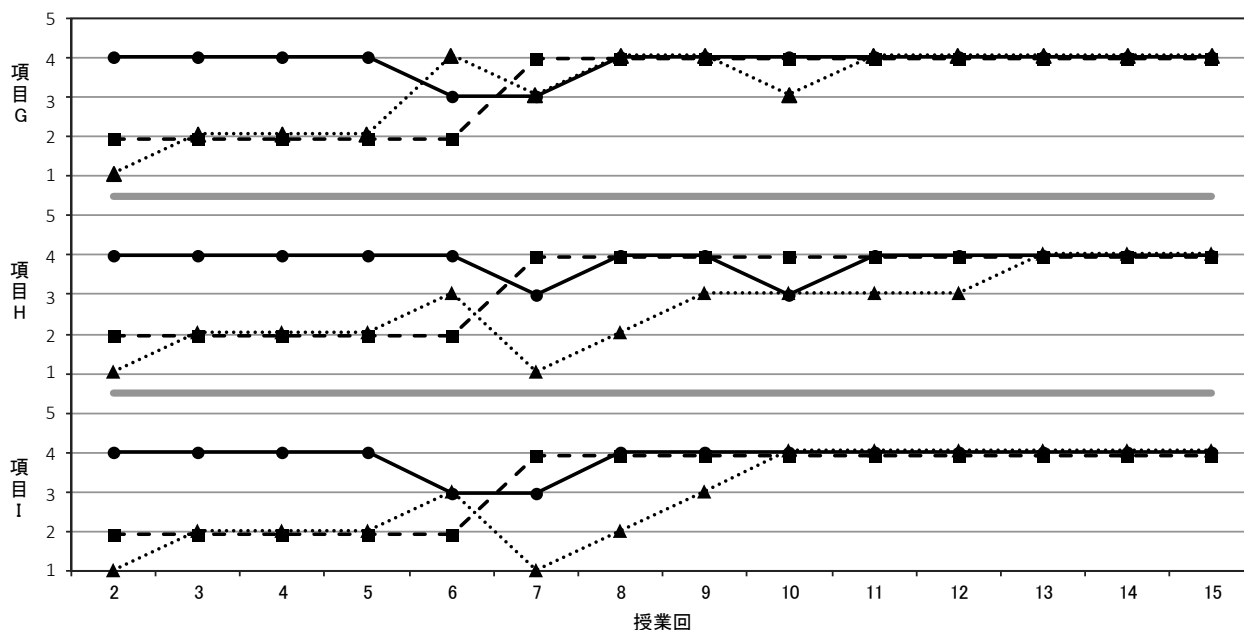


図 4 授業回毎の学習到達度（上段項目 G、中段項目 H、下段項目 I）の評価結果

表 2 最終課題の成果の一部：臨床工学技士を目指す履修生 A からの回答

設問	回答の要約（回答文字数）
将来の業務に学習内容をどう応用するか	統計関数やグラフ機能を利用した医療機器点検表の作成と機器トラブル対応業務のシミュレーション（483）。
応用を実現するための学習方針	PC トラブルの解消方法の経験，医療機器に関する情報収集と実習への備え，ヘルプ機能やインターネットからの情報収集による Excel ショートカットの学習（442）。
自身の学習モデルの要件	自身の知識と学習時間をそれぞれ項とパラメータに用い。臨床工学技士国家試験合格の確率を出力。乱数を利用することで，ゲームによって学習時間が削られる場合を再現。国試合格・不合格，大学卒業前・後，大学院進学の際に要件が変化することを考慮（915）。
単純化による制約	授業料や生活費など，経済状況による学習時間への影響を考慮。さらに，集中力や学習環境が影響し，一定の学習時間であっても得られる知識が一定ではないことを指摘（411）。
制約を解消しうる改善方法	仕送りや奨学金による経済状況が変化。学習効率を上げるため，集中力が高まる学校の教室や図書館での学習。友達との学習によっても効率が上がる可能性を指摘（415）。
到達度を大幅に向上する介入案	宝くじや自作したスピーカーの販売による臨時収入。病院や企業で働く人とのつながり。記憶力を高めるなど，自分に相応しい学習方法の確立（430）。
目標値に近づけるための調整方法	授業時間内外に渡る学習時間の増加。学習を開始する時期を早める。入学前から希望職業を決定し，一日 12 時間学習することが望ましいが，現実から遠ざかることを考慮（441）。

数理模型の中核を成す数学は、学習者の「日常生活に深くかかわるものであり、生涯必要な生存の知恵であることに気づく」ことがある[16]。数学に限定せず、学術的な見地から社会現象を観察し、数理を探求する能力を育成することは、全国民参加による課題解決社会の実現を目標に掲げる本邦の教育[6]に有効であると考えられる。

研究対象とした科目の授業時間数と学習内容の難易度を考慮し、シミュレーション教育の評価指標を、履修生独自の学習モデルを考案する能力に留めた。また、履修生の人数が十分ではなく、統計分析を行わなかった。考案したモデルのシミュレーション実行環境を作成し、出力結果を分析することができなければ、シミュレーションを実践・応用する能力として十分とは言えない。大学におけるシミュレーション学習の経験者と未経験者のグループ別に、学業や職場での業務が抱える課題を解決するために数理モデルを構築し、シミュレーションを実行することができるかを調査し、適切なデータ分析を行うなど、研究方法を見直すことで、シミュレーション教育の有用性を統計的に結論することが今後の課題である。

教育工学の分野では、大学生の社会化過程を評価した I-E-O モデルが著名である[23]。学生の特性を意味する Inputs と教育機関の特性である Environment が、学習成果である Outputs に与える変化に着目したモデルである。学生の特性には入学前の成績、大学での学習意欲、希望進路など多種多様な要素が学習成果に影響を及ぼす[24]。また、学生個々のニーズと目標に特化したオーダーメイド教育によって効果的な学習を実現するパーソナルラーニングに関心が集まっている[25]。本研究で報告した最終課題の成果にも、学習に影響を与える要素に多様性が確認された。学習者の別に異なる学習を単純化することは容易ではない。また、構築した学習の数理モデルのシミュレーション結果から導き出された最適な授業方法を画一的に実践することが、全履修生の理解度を深めることは考え難い。しかし、大学生の学習に関連するデータの収集を継続し、データマイニングの導入などによつて的確な分析方法を確立し、高等教育における学習のモデルを構築することで、一人でも多くの学習成果を高めることができる効果的な授業方法を模索したい。

乱数を導入することで、確率論的数理模型を構築することができる。本研究対象とした科目の授業初回に、1名の学生は学習内容の難易度を予想した上で履修登録に悩み、「履修しないで後悔するより、履修して後悔しよう」と呟いた。授業 14 回目に、著者は確率論的モデルを用

いられる、条件分岐を実現する IF 関数を実演した。生成された乱数が閾値を上回る場合、文字列「履修して後悔する」を、下回る場合は「履修しないで後悔する」を出力させた。次は当該学生による授業最終回の学習記録シートへの自由記述の一部である。

“後悔するかもと、思っていました、なかなか楽しい授業でした。最初は難しく、どうすればいいのかと思っていました、先生も優しく教えてくださったので、なんとかなりました。”

本研究の対象科目では、履修生一人ひとりの理解度を確認し、学習内容の難易度を調整しながら授業を進めることができた。しかし、難易度を調整せず、履修生に学習の躓きを経験させることによって、課題解決能力が育成される確率は高いかもしれない。さらに、「優しく教えてくださらなかった」という自由記述が得られる授業によって、主体的学習能力が育成される確率は高いかもしれない。学生の能力を効果的に向上する教育という目標値に近づくため、授業方法というパラメータの調整を行いながら試行錯誤を繰り返していくことを、教育者である自身の学習方針として策定した。

引用文献

1. 文部科学省中央教育審議会, (2012) 新たな未来を築くための大学教育の質的転換に向けて～生涯学び続け、主体的に考える力を育成する大学へ～ (答申) .
2. バーバラ・ウォルワード著 (山崎めぐみ・安野舞子・関田一彦訳), (2013) 大学教育アセスメント入門—学習成果を評価するための実践ガイド, ナカニシヤ出版.
3. 串本剛, (2016) 学士課程教育における形成的評価と学修成果の関係: 国立研究総合大学を事例とした分析, 大学教育学会誌 第 38 巻 第 1 号, 137-143.
4. 文部科学省国立教育政策研究所, (2016) OECD 生徒の学習到達度調査～ 2015 年調査国際結果の要約～.
5. 和栗百恵, (2010) 「ふりかえり」と学習—大学教育におけるふりかえり支援のために—, 国立教育政策研究所紀要 第 139 集, 85-100.
6. 文部科学省中央教育審議会, (2016) 個人の能力と可能性を開花させ、全員参加による課題解決社会を実現するための教育の多様化と質保証の在り方について (答申) .
7. 文部科学省中央教育審議会, (2017) 我が国の高等教育に関する将来構想について (諮問) .
8. 細川敏幸, (2017) 現代のリベラルアーツとしての理数工系科目 (STEM) の開発と教育実践のために, 大学教育

数理模型を応用したシミュレーション教育の実践とその学習効果

- 学会誌 第 39 卷 第 1 号, 74-75.
9. 稲葉敦, (2017) 教育の情報化の動向 (文部科学省) 一次期学習指導要領下の情報教育と教科指導における ICT 活用一, 総務省若年層に対するプログラミング教育の普及推進事業等に係る成果発表会資料.
 10. 室田一雄, 池上敦子, 土屋隆 (編), (2015) モデリング: 広い視野を求めて (シリーズ:最適化モデリング), 近代科学社.
 11. 日本シミュレーション学会, (2012) シミュレーション辞典, コロナ社.
 12. 梅田貴士, 隅谷孝洋, 中村純, (2008) NetLogo を利用したシミュレーション教育, 日本計算工学会問題解決研究会第 11 回問題解決環境ワークショップ論文集, 27-32.
 13. Emine Özdemir, Devrim Üzel, (2012) Student Opinions On Teaching Based On Mathematical Modelling, Procedia - Social and Behavioral Sciences Volume 55, 1207-1214.
 14. Raul Ramirez-Velarde, Nia Alexandrov, Raul Perez-Cazares, Carlos Barba-Jimenez, (2015) Mathematical Modelling Based Learning Strategy, Procedia Computer Science Volume 51, 1694-1704.
 15. Samira Mehraein, Abolfazl Rafiepour Gatabi, (2014) Gender and Mathematical Modelling Competency: Primary Students' Performance and their Attitude, Procedia - Social and Behavioral Sciences Volume 128, 198-203.
 16. 椿広計, (2016) モデリングとその教育について, 科学教育研究 Vol. 40 No. 2, 119-126.
 17. Fred Brauer, (2017) Mathematical epidemiology: Past, present, and future, Infectious Disease Modelling Volume 2 Issue 2, 113-127.
 18. A. Huppert, G. Katriel, (2013) Mathematical modelling and prediction in infectious disease epidemiology, Clinical Microbiology and Infection Volume 19 Issue 11, 999-1005.
 19. Takanori Sato, Toyoko Nakagomi, Osamu Nakagomi, (2011) Cost-effectiveness analysis of a universal rotavirus immunization program in Japan, Japanese Journal of Infectious Disease 64(4), 277-83.
 20. 三井和男, (2010) 新 Excel コンピュータシミュレーション -数学モデルを作って楽しく学ぼう-, 森北出版.
 21. 小川勤, (2015) 反転授業の有効性と課題に関する研究: 大学における反転授業の可能性と課題, 山口大学大学教育機構大学教育 12, 1-9.
 22. 坂口隆康, (2016) 反転授業モデルによるアクティブ・ラーニングの可能性: 情報機器活用に関する教職課程の授業を通じて, 関西国際大学教育総合研究叢書第 9 号, 131-144.
 23. 東京大学大学総合教育研究センター, (2013) 大学ベンチマーキングによる大学評価の実証的研究, 大総センターものぐらふ 10.
 24. 野田文香, (2009) アウトカム評価としてのインスティテューショナル・リサーチ機能, 立命館高等教育研究 (9), 125-140.
 25. Nazeema Alli, Rahim Rajan, Greg Ratliff, (2016) 海外ニュース パーソナルラーニングはどのように学生の学業達成を導くのか, 私立大学情報教育協会大学教育と情報 2016 年度(4), 35-40.

Evaluation on the learning outcomes of mathematical modelling and simulation in a computer science course

Takanori Sato

Department of Health and Welfare

Mathematical model, Computer simulation, Learning achievement, Reflection