

# コンピュータとその内部表現の仕組み理解を促すプログラミング教育

後藤 孔

早稲田大学グローバルエデュケーションセンター

goto.toru@aoni.waseda.jp

藤中 透

元広島大学人間社会科学研究所

fjnk@hiroshima-u.ac.jp

本研究は、情報 I の単元「コンピュータとプログラミング」において、生徒がコンピュータやその内部構造の仕組みを理解するためのコンピュータシミュレータ教材を開発し、その授業案を提案するものである。シミュレータを用いることで、生徒が視覚的に内部構造やデータ処理の実際を学び、機械語プログラミングを通じて部品間の相互作用や命令の実行過程を具体的に理解することができる。

## 1. はじめに

高等学校学習指導要領解説では、共通教科情報科の情報 I の単元「コンピュータとプログラミング」において、たとえば教師は「コンピュータや外部装置の仕組みや特徴、コンピュータでの情報の内部表現と計算に関する限界について理解すること」という指導の指針が示されている。しかし、近年の共通教科情報科における情報教育では、コンピュータの要素やプログラミングの役割等が概略的に説明されることが多く、仕組みの指導やそこで用いる教材が不足している。

こうした指導に用いる教材として、高専生向けに開発された教材<sup>1)</sup>は存在するものの、情報 I の授業やその生徒のために開発された教材は十分に見受けられない。本研究の目的は、情報 I を履修する生徒にコンピュータやその内部表現の仕組みを理解させることである。そのために、コンピュータシミュレータ教材を開発し、それを用いてプログラミングを行う授業案を検討する。

## 2. 仕組み教育とプログラミング教育の融合

近年、中等教育における情報教育では、教師が教科書の図やマザーボードの実機を用いて、コンピュータの仕組みを指導する方法が一般的である。これらの方法は生徒がコンピュータの要素を素早く知る点で有用であるが、概略的な指導に留まることが不十分である。

コンピュータの内部表現や計算の仕組みに関する指導としては、教師が生徒に 2 進数の特徴や計算規則を数学演習のように学習させる方法がある。これも 2 進数の扱いを素早く学ぶ点で有用であるが、具体的に 2 進数がどのようにコンピュータ内部で活用されるかを理解させるには不十分である。

そのため、コンピュータやその内部表現の仕組みを理解させる教材や授業が必要であるが、授業時間数の制約や内容の関連性を考慮してプログラミング教育と融合させることが望ましい。現在、情報 I の授業では Scratch などのビジュアルプロ

グラミングや JavaScript や Python といった高級言語が主流である。これらの言語はプログラミングの楽しさやアプリケーション作成の容易さから有用であるが、抽象化されているためコンピュータや内部表現の仕組みを教えるには不向きである。

本研究では、情報 I を履修する生徒にコンピュータやその内部表現の仕組みを理解させるため、コンピュータシミュレータと機械語等の低級言語を用いたプログラミング教育を採用する。シミュレータを用いることで、部品の名称や役割だけでなく、各部品が相互作用やデータの流れを学ばせることができる。シミュレータは内部表現を 2 進数で可視化することで、生徒に 2 進数の考え方がコンピュータでどのように活用されるかを学ばせることができる。さらに、機械語等の低級言語を用いたプログラミングを行うことで、コンピュータプログラムの原理を学びながらプログラミングを学習することが可能である。したがって、本研究では、機械語を用いてプログラミング可能なコンピュータシミュレータ教材とその授業案を開発した。

## 3. コンピュータシミュレータ教材の開発内容

開発したコンピュータシミュレータ教材は、教育用途を目的として設計された仮想的な CPU 命令セットに基づいている。命令セットには、基本的な算術演算や論理演算、メモリアクセス命令を含んでいる。ユーザーインターフェースは HTML で、機能は JavaScript で開発し、CPU のレジスタには高校生の習熟度を考慮して、プログラムカウンター、命令レジスタ、アキュムレータの 3 つを実装している。シミュレータにおける仮想的なメモリのアドレス空間には各アドレスに CPU 命令等の各種データが格納可能である。

プログラミング機能としては、機械語やアセンブリ言語といった低級言語を用いたプログラミング学習機能を実装している。低級言語によって作成されたプログラムをシミュレータで実行する際

には、生成した機械語をメモリに手動でロードする機能があり、生徒はメモリに機械語が転送される様子を学ぶことができる。また、CPUで機械語のプログラムを実行する際のプロセスを学習できるように、CPUのフェッチ機能やステップ実行機能、さらには一括実行機能を実装している。

このコンピュータシミュレータ教材を用いることで、生徒は基本的なCPU命令を学び、命令の実行過程を実感することができる。これにより、CPUがどのように命令を解釈し実行するかを具体的に理解することが可能となる。

#### 4. 授業案

本研究のコンピュータシミュレータ教材を活用した情報Ⅰの授業案は以下の通りである。情報Ⅰの指導内容は4単元あり、その内の「コンピュータとプログラミング」には、情報Ⅰ全体の標準授業時数が50分・週2回で35週分あるとすると、約17回分の授業を割り当てることができる。本単元には大きく分けて、コンピュータ、アルゴリズムと情報通信ネットワーク、モデル化とシミュレーションの3事項がある。約17回分の授業数を3事項で均等に割ると、本単元には約5回分の授業を割り当て可能である。そこで、本研究では5回分の授業案を作成し、全体的な学習目標に加えて、より具体的な学習目標を学習指導要領解説に沿って「コンピュータの基本的な構成や演算の仕組み」「データがCPU、メモリ、周辺装置の間でやり取りされていること」「コンピュータがデータを処理する作業場所としてのメモリの役割、CPUが機械語のプログラムをデータとして読みながら実行すること」と定めた。

第1回ではコンピュータの要素を知り、シミュレータの基本操作を習得する。シミュレータのユーザーインタフェースや基本的な命令セットの説明を行い、簡単なプログラムの例を通じて理解を深める。予想される生徒のつまずきとしては、シミュレータの操作に戸惑うことが考えられるため、詳細なマニュアルやビデオチュートリアルを提供し、操作方法を丁寧に説明することが有効である。

第2回では機械語のプログラミングを通じてコンピュータの仕組みを学ぶ。具体的には基本的な算術演算や論理演算の命令を使ったプログラムを作成し、実行結果を確認する。予想される生徒のつまずきはCPU命令の理解が難しい点であり、視覚的な説明や具体例を多用し、ステップバイステップの指導で理解を深めることが重要である。

第3回ではアセンブリ言語プログラミングに移行する。擬似命令やラベルを使ったプログラムを

作成し、機械語との対応を学ぶ。予想される生徒のつまずきはアセンブリ言語の構文理解に時間がかかる点であり、日本語の表記や日本語の語順による表記を行うなどして、各命令の意味を分かりやすく説明することが有効である。

第4回および第5回では、生徒に低級言語から高級言語へ移行することの利点を意識させつつ、通常のプログラミング教育で実施している構造化プログラミングの学習を行う。予想される生徒のつまずきは低級言語によるプログラミングの有用性を見失うことであるが、仕組みの学習に役立つという側面だけではなく、ソフトウェアの速度改善や脆弱性調査の面でも役立つことがあることを説明することが有効である。

#### 5. 考察

本研究の提案により、従来の抽象的なプログラミング教育に比べ、以下のような利点を実現できると考えられる。まず、シミュレータを用いることで、生徒はコンピュータ内部の各部品の名称や役割、データの流れなどを視覚的に学ぶことができる点が有用である。シミュレータ上での操作を通じて、生徒は部品間の相互作用や命令の実行過程を具体的に理解することが可能となる。

次に、機械語のプログラミングを通じて、コンピュータ内部でのデータ処理の実際を学ぶことができる。これにより、プログラムがどのように実行されるかを具体的に体験することで、プログラムの仕組みに対する理解が深まると考えられる。

#### 6. おわりに

本研究では、情報Ⅰの授業で高校生に基本のCPU命令を教え、その組み合わせでプログラミングの学習が可能なコンピュータシミュレータを開発した。また、その指導方法を提案した。本コンピュータシミュレータを用いることで、生徒たちはコンピュータの仕組みやその内部表現の仕組みを具体的に理解することが可能である。

今後の課題としては、ハードウェアとの連携や、シミュレータの抽象化レベルを変えることなどが考えられる。

謝辞 本研究はJSPS 科研費 JP22K02914 の助成を受けたものである。

#### 参考文献

- (1) 重村哲至, 古川達也, 相知政司, 林敏浩: コンソールパネルを持つ機械語教育用マイコンの開発と授業への応用, 情報処理学会論文誌, 48巻, 9号, pp.3318-3327(2007).