

コンピュータにおける演算のしくみ ——コンピュータの概念理解を目指した普通教科「情報」の取り組み——

東京大学教育学部附属中等教育学校教諭 長嶋 秀幸

1. はじめに

東京大学教育学部附属中等教育学校（以下、本校）は、2000年に国立大学附属学校では最初となる中等教育学校に移行した、中等教育学校のモデル校である。

本校では、2006年度に中学校の教科「技術・家庭」の技術分野（以下、技術科）と高等学校の普通教育に関する教科「情報」（以下、情報科）を再編し、情報・技術科が設置された。本校の情報・技術科では、技術科および情報科の内容だけでなく、学校設定科目として新たな科目も設け、技術科あるいは情報科に含まれていない内容も取り上げている。情報・技術科のカリキュラムは、表1の通りである。

情報科の科目として第5学年に「情報A」（2単位）を課している。その他に、情報科には含まれていない内容として、第1学年において「情報技術入門」（技術とあわせて1単位）、第3学年において「技術と情報」（1単位）、第6学年において「情報特論」（2単位）が設定されている。第1学年の「情報技術入門」では、学校でのコンピュータ利用のモラルと方法に関して学習することになっている。第3学年の「技術と情報」は、技

術科の「情報とコンピュータ」の内容を再編成し、情報科の「情報の科学的な理解」へつながる内容を展開するとして設定された。また、第6学年の「情報特論」は選択科目である。

その他、情報科の関連科目として、第1学年の全生徒が「総合的な学習の時間」において「情報とメディア」を約30時間学習している。

筆者は、2007年度から本校に情報・技術科担当教員として勤務している。

2. 授業計画

生徒がコンピュータのしくみを分かることを目的とした授業を構想する際、筆者は「コンピュータ」という言葉の定義に着目した。百科事典では、コンピュータは「電子回路を用いて数値計算、論理演算を行う装置」「現在身近に見られるコンピューターは、ほとんどすべてディジタルコンピューターであるが、このコンピューターの中では、データは電圧の有無、スイッチの開閉など、オンかオフかの二者択一の状態の集まりとして表現される。この表現法を二進法と呼ぶ」（『世界大百科事典 第10巻』平凡社、2006年、執筆者は斉藤忠夫）と述べられている。

すなわち、コンピュータは、「オンかオフか二

表1 情報・技術科のカリキュラム

	前期課程						後期課程					
教科	1 年		2 年		3 年		4 年		5 年		6 年	
情報・ 技術	情報技術入門	1			技術と情報	1			情報 A	2	情報特論*	(2)
	技術		技術	1					生産技術 A *		(1)	生産技術 B *

(1) 前期課程は全科目が必修である。後期課程については、太字で示した科目が必修である。

(2) *を付した科目は学校設定科目である。

表2 「コンピュータの演算のしくみ」学習の指導計画

学習項目（時間）	到達目標	主な教材・教具
(1) 論理回路による演算 （1時間）	<ul style="list-style-type: none"> ・論理回路（AND、OR、NOT回路）の電気の流れを理解できる ・1ビットの加算器（半加算器）が論理回路の組み合わせでできることが分かる 	<ul style="list-style-type: none"> ・DVD ・プリント ・シミュレーションソフトウェア
(2) 演算回路の設計 （1時間）	<ul style="list-style-type: none"> ・論理回路を組み合わせで演算回路を作図できる（半減算器，全加算器） 	<ul style="list-style-type: none"> ・プリント
(3) リレーを用いた論理回路の実験（1時間）	<ul style="list-style-type: none"> ・リレーの組み合わせにより論理回路を作成できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・リレー，テスト
(4) コンピュータの発展と計算回路（2時間）	<ul style="list-style-type: none"> ・コンピュータの発達により演算速度は向上したが，コンピュータの原理は変わっていないことを理解できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・DVD ・プリント

者択一の状態」(二進法)により表現されたデータを論理演算する装置とされる。つまり、「コンピュータ」の概念を理解する上では、

- ①コンピュータがさまざまなデータを二進法により表現する方法が分かること
- ②コンピュータが電気のオンとオフにより演算するしくみが分かること

が重要であり、この2点を授業の目標とした。

①については、まず、コンピュータがデータを二進法により扱うことの利点を生徒が分かるための演習を行った。次に、数や文字、画像、音を二進法により表現する方法について演習を含めた授業を行った。

以下、②に関して筆者が行った授業について述べる。

3. 授業の展開

表2に、コンピュータが電気のON/OFFにより演算するしくみに関する授業の計画を示す。

(1) 論理回路による演算

ここでは、コンピュータにおける1ビットの足し算を行う回路（半加算器）が3つの論理回路（AND回路、OR回路、NOT回路）の組み合わせになっていること、この3つの論理回路での電気の流れが分かることを目標とした。

まず、コンピュータが電気の流れにより演算を行う機械であることを確認するため、「0と1はこんなに便利!？」(NHK教育テレビ番組『デジタル進化論』)のCPUに電気が流れる様子を生徒に見せた。その上で、回路に電気が流れている状態を1、流れていない状態を0とすることによりビットを表現できることを示した。

次に、1ビットの加算を生徒に考えさせた。1ビットの加算は4通りである。これを生徒に表3のようにまとめさせた。この演算を行う回路として図1の回路図を生徒に示した。

さらに、図1の回路における電気の流れを、生徒に視覚的に理解させるため、授業支援教材「論

表3 1ビットの加算の真理値表

A	B	C	S
0	0	0	0
1	0	0	1
0	1	0	1
1	1	1	0

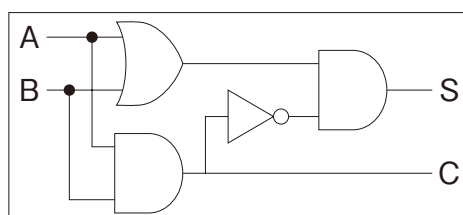


図1 半加算器

理回路のシミュレーション」(山口弘泰 作, 実教出版Webサイトよりダウンロード可能/以下, 回路シミュレータ)を利用した。この教材では, Microsoft ExcelのシートとVBAによって, 論理回路における電気の流れを視覚化できる。また, 生徒が単純なマウス操作により回路図を作成し, 電気の流れをシミュレーションできる。

図2は, この回路シミュレータにあらかじめ用意された半加算器の回路図の入力Aに1, 入力Bに0を入力した様子である。電気が流れる部分のセルの背景が緑色になり, 電気が流れない部分のセルには0が表示される。シミュレーションの結果から, 桁の和Sが1, 繰り上がりCが0となることが一目で分かる。この回路シミュレータでは, 入力を変えるごとに電気の流れ方が変化するため, 生徒には評判がよい。

次に, 図1の半加算器の回路図には3つの回路記号(AND回路, OR回路, NOT回路)しかないことを生徒に注目させ, コンピュータの複雑な演算回路がこの3つの論理回路の組み合わせによりできていることを説明した。その上で, 3つの論理回路における電気の流れを確認した。生徒が論理回路の働きを理解できたかを確認するため, 複数の論理回路を組み合わせた回路図の演算に取り組ませた。ほとんどの生徒が正しい結果を得られた。

最後に回路シミュレータにおいて, 回路図を生徒に作成させ, 回路における電気の流れを確認させた。この回路図の作成には, Excelでのセルの移動やオートフィルの機能を使うため, Excelの

操作に慣れていない生徒には難しい作業である。

(2) 半加算器の回路図の作成

ここでは, 論理回路を組み合わせて演算回路を作図できることを目標とした。

まず, 1つだけ論理回路が隠された回路図と入力, 出力の結果を示し, その隠された部分に当てはまる論理回路を考えさせた。

次に, 1ビットの引き算を行う回路を生徒に考えさせた。まず, 「 $A - B = C$ 」の式について, AおよびBの組み合わせは4通りあり, それぞれCの値を確認した。さらに, Cを上の桁から借りる数Vと, 借りなしの差Uに分け, 表4のようにまとめた。

次に, 生徒を4人程度のグループにし, 表4の2つの真理値表と同じ結果が得られる回路をそれぞれ作図する課題に取り組ませた。論理回路の組み合わせ方は1通りではないことを強調し, 生徒が組み合わせを試行錯誤するようにさせている。また, 生徒の様子を見ながら, 全く分からず課題に手をつけられない生徒には, 出力側から順に考えてみようなどの助言を行った。

ほとんどのグループが正解となる回路図を作成できた。一方, 1ビットの減算を表4にまとめる際に, 桁借りの数Vが分からない生徒もみられた。今後, この点についての生徒への説明のしかたを検討する必要がある。

(3) リレーを用いた論理回路の実験

ここでは, 演算回路を, リレーを用いた回路として回路図を書けることを目標とした。論理回路の実験にリレーを用いたのは, トランジスタやICと比較して, スイッチのON/OFFの様子を観察

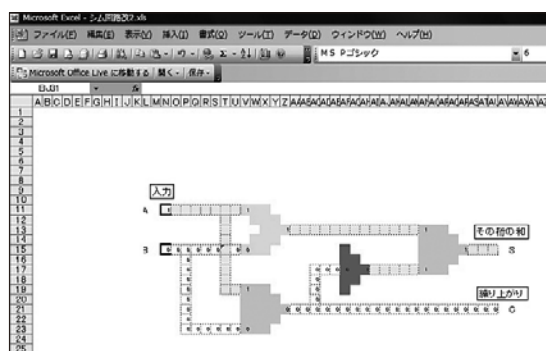


図2 半加算器のシミュレーションの様子

表4 1ビットの減算の真理値表

A	B	U	A	B	V
0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	0
0	1	1	0	1	1
1	1	0	1	1	0

しやすく、電気の流れにより演算を行うコンピュータのしくみを生徒がより理解しやすくなると考えたからである。

実験には、オムロン社（OMRON）のリレーG2R-1を利用した（図3）。このリレーのコイル定格電圧はDC5Vである。図3から分かるように、ケースが透明になっており、スイッチの動きを外から見られること、スイッチ（c接点）が1つであるため観察しやすいこと、低いコイル電圧で動作することからこのリレーを選んだ。

図4は、リレーの端子配置および内部接続図である。通常の状態では、端子2と4の間が閉じていて、端子3と4の間は開いている。リレーのコイルに電圧をかけると、リレーの中央にある梃子によりスイッチの真ん中の部分が外側に押されるため、端子2と4の間が開いて、端子3と4の間が閉じる。

まず、リレーの働きを調べるため、生徒を4人程度のグループに分け実験をさせた。実験に使うものは、リレーと電池ボックス（単三電池3つ）、テスト、両口ワニグチのリード線である。

まず、通常の状態において、テストを用いてリレーのスイッチ部分の端子2から4の間の導通をチェックさせ、導通状態にある端子の組み合わせを調べさせた。次に電池ボックスをリレーの端子1と5につなぎコイル部分に電圧をかける。この

状態において、テストを用いてリレーの端子2から4の間の導通を調べさせた。

実験の結果から、コイルに電圧をかけた場合とかけない場合で、リレーのスイッチ部分の端子間において導通状態となる端子の組み合わせが変わることが分かる。なぜこのようなことが起こるのかを調べさせるため、リレー内部の変化を生徒に観察させた。リレーのスイッチが動作するたびにカチッという音が聞こえるため、この音がどの部分から聞こえているのかに注目させた。

次に、リレーを用いたNOT回路の回路図（図5）を完成させる演習に取り組ませた。図5のスイッチAが開いているときは、リレーのスイッチが閉じるので、電球Cが光る。一方、スイッチAが閉じているときは、リレーのスイッチが開くので、電球Cは光らない。以上のように、この回路が動作するには、実験の結果から、リレーの端子2と4に電球と電池を直列につなげればよいことが分かる。

また、AND回路とOR回路はリレーを2つ使うと実現できることを示し、生徒にAND回路とOR回路の回路図を考えさせた。

最後に半加算器や半減算器で利用される論理回路（真理値は表4左）を、2つのリレーを使って作成する場合の回路図を生徒に考えさせた。生徒個々の理解度に差があるが、グループにおいて話し合わせることで、ほとんどの生徒が回路図を完成できた。

この授業において使用したリレーは基板用であり、端子が細く折れやすい。授業の最初に実験の道具を慎重に扱うように生徒に注意しておく必要がある。また、コイルの電源として、電池ボックスを利用したが、2つの電池ボックスを短絡させる生徒がおり、電池ボックスのリード部分に熱が発生し、電池ボックスの一部が溶けてしまうこと

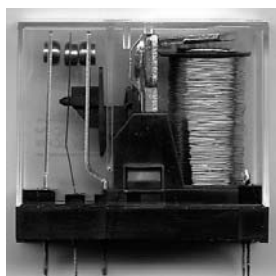


図3 リレー外観

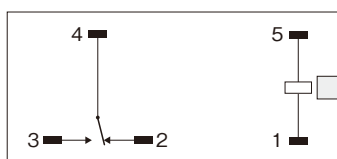


図4 端子配置／内部接続図

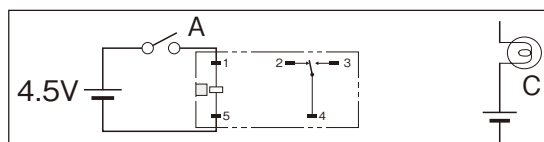


図5 リレーを用いたNOT回路

があった。このような行為は危険であるため、生徒に十分注意してから使わせるようにしなければならないことが分かった。

(4) コンピュータの発展と演算回路

この単元のまとめとして、「国産コンピュータゼロからの大逆転～日本技術界 伝説のドラマ～」(NHK総合テレビ番組『プロジェクトX』)を見せた。この教材では、コンピュータの回路を論理回路のテンプレートを用いて作図している様子や、コンピュータ以前の計算機においてリレーのスイッチのON/OFFを切り替えて演算を行っている様子が見られる。これまでに学習した内容が実際のコンピュータ開発に関わっていることを知り、生徒がコンピュータやそれに関わる仕事をより身近にとらえられると期待される。

また、コンピュータ開発の歴史を振り返ることにより、コンピュータの演算回路を実現する素子が、真空管からトランジスタ、IC、LSIと変化し、それに伴って演算速度が向上したことが分かる。しかし、コンピュータの基本原理である電気のON/OFFにより演算するしくみは変わっていないことを生徒に理解させるため、真空管とトランジスタの働きを説明した。ICやLSIは、トランジスタや抵抗、コンデンサを含む回路を1つのシリコンチップに搭載することにより、素子の集積度が向上し、小型化、軽量化、演算の高速化が可能となったこと、熱の発生が問題となっていることを話した。

今後は、生徒に真空管やトランジスタの働きをより理解させるため、これらの素子に電圧をかけて、端子間の導通状態の変化を調べる実験などを行いたい。

4. まとめにかえて

生徒が学習内容を理解できたかを確認するため、ペーパー・テストを行った。その結果、論理回路の組み合わせ回路の演算、リレーを用いた回路図の動作を答える問題では約7割の生徒が正解、回路図の穴埋め問題では約6割の生徒が正解

した。一方、AND回路の作図の問題を正解したのは約半数の生徒であった。このことから、回路図が与えられればその回路の動作を説明できる生徒が7割程度いるが、目的の回路図を生徒自身が考えるのはやや苦手なようだった。

以下に、テストの最後に生徒が書いた一言コメントをあげておく。

- ・ 論理回路の部分は、最初まったく解けなかったけど、解けるようになって楽しいことがわかりました。
- ・ 情報難しいです。特に回路とビット数。
- ・ 論理回路好きです。面白い。
- ・ 内容がむずかしかったです。でも論理回路はパズルみたいで楽しく授業を受け、覚えることができました。
- ・ テスト前まで回路図がよくわからなかったけど最後の授業で先生に質問して理解することができた。わかると結構おもしろいと思った。
- ・ 論理回路の部分、だんだん混乱してきて、かなり難しくてもうやりたくないなーって思いました。
- ・ AND, OR, NOT回路の授業は個人的に楽しくて好きです。圧縮とかは苦手です。
- ・ リレーは特にわかりません。小学校から電流とか苦手でした。
- ・ AND, OR, NOT回路ムズカシイ!! プリントをもう少しわかりやすくしていただけたとうれしいです。
- ・ リレーに入って、むずかしくなった。けど、回路は楽しいです。情報は、今まで知らなかった発見(私にとって…笑)が沢山あって未知のおもしろい。
- ・ 論理回路のところから難しくなって少しわかりにくかった。

授業において、生徒が実際に回路に触れ、目で見て分かる教材を使用した。このようなコンピュータにおける演算のしくみについての授業を、生徒が好意的に受け入れてくれた。しかし、電子回路が難しいと感じている生徒もいた。今後は、リレーや電球を用いて半加算器の回路を作る実験を取り入れ、多くの生徒が電子回路について分かる授業を行いたい。