

マイクロ・コンピュータによるプログラミング教育

横尾恒隆*、佐藤克宏**、川嶋良昭*、佐藤信安*

(1990年12月10日受理)

Tsunetaka YOKOO, Katsuhiko SATO, Yoshiaki KAWASHIMA and Nobuyasu SATO

Instruction of Programing Using a Micro-Computer.

1 はじめに

中学校学習指導要領の改訂にともない、技術・家庭科の領域として「情報基礎」が新設されることになった。この領域の目標として、「コンピュータの操作を通して、その役割や機能について理解させ、情報を適切に活用する基礎的な能力を養う」ことが掲げられている。そして指導内容として、コンピュータの仕組み、コンピュータの基本操作、簡単なプログラムの作成、コンピュータの利用・役割・影響等、が挙げられている。この内容編成は、コンピュータ教育として必要な内容を網羅していると読み取ることが可能である。

しかしながら「情報基礎」の具体的な教育内容については、現在必ずしも合意が得られていないのが実情である。一方で、日本語ワードプロセッサ、データベース、表計算、図形処理などのアプリケーションソフトの活用に重点を置く動きがみられるが、他方そのような内容編成では、「コンピュータに関する真の力がつかないし、たちまちゆきづまらるであろう」という批判がなされているのも事実である^{1) 2)}。そのような批判と関わって、コンピュータのハード面に関する理解や制御に関する理解を重視するべきだとする主張もある³⁾。このような状況を踏まえながら亀山 寛は、「情報基礎」の教育内容として、1) プログラミング、2) アプリケーションソフトの利用法、3) コンピュータ制御、などを挙げている。⁴⁾ またそれぞれの分野に関する研究や実践例も出されつつある。

本研究は、これらの分野のなかでプログラミングの教育を取り上げ、マイコンを用いた

*岩手大学教育学部技術科

**岩手大学教育学部学生

プログラミングに関する教材開発をめざしたものである。このことは、本研究が技術科の「情報基礎」の内容をプログラミング中心に編成すべきであるという立場から進められたものであることを意味しない。例えば、家庭電気製品に使われているワン・チップ・マイクロ・コンピュータが、温度調節など「制御」を目的として用いられていることを考えるならば、「制御」は、「情報基礎」の内容の中で重要な位置を占めると考えられる。

しかしながら、先にも触れたように「情報基礎」の具体的な内容についての合意が得られていない現在、プログラミング、アプリケーションソフトの利用、制御など「情報基礎」の各分野の教育内容、指導法に関する研究が積み重ねられる必要があるように思われる。プログラミングを扱った本研究もそのような基礎的研究の一つとして位置づけられる。

コンピュータに関する教育の中で、プログラミングに関する教育が重要な位置を占めるといってよいであろう。この点について亀山は、以下のように述べている。⁵⁾

「コンピュータは命令の手順を示したソフトウェア(=プログラム)がなければ、作動せず、ただの箱である。コンピュータの操作においては、データとプログラムが重要な概念となる。データ情報を制御する手順、すなわち情報処理の手段(プログラム)の活用能力を習得することこそ、『情報活用能力』の習得の真髄であろう。初歩的なプログラム習得(アルゴリズムを含む)は情報基礎の主要な目標となるのである。」

現在、プログラミングに関する教育が技術教育とどのような関わりをもつかについての疑問を持つ技術科教員が少なくない。しかし、以下のようなことを念頭に置くならば、プログラミング教育は技術教育として成立すると考えられる。⁶⁾ コンピュータは本体のみではまったく仕事をすることができないものであるから、命令の手順を与えること(ソフトウェア)が必要である。ソフトウェアはコンピュータの主メモリ(RAM)に入力されると、デジタル回路と等価な働きをする物的存在となる。またソフトウェアは、ディスクや磁気テープ上に記憶することができるので、過去のソフトウェアの上に積み上げが効き、貯蔵もできる。これらのこともソフトウェアは、単なる利用技術を超えた客観的な技術であることを示している。⁷⁾

以上のことから、ソフトウェアはデジタル回路と等価な働きを行う物的存在であり、かつ機械が読み取れるものであるが故に、ソフトウェアはコンピュータ本体と共に労働手段を構成するといえる。ソフトウェアを作成することは、いわばデジタル回路という制御機械の部品を設計、作成していることと等価であり、従ってソフトウェア教育は技術教育として成立すると考えられる。⁸⁾

こうしてプログラミング教育は、「情報基礎」のなかで重要な位置を占め、しかも技術教育として位置づくが、次に問題となるのは、使用するコンピュータの種類である。学習指導要領では、「情報基礎」で取り扱うコンピュータの種類について言及していないが、時代の趨勢からPC (Personal Computer) を意識していると考えられる。しかしながら後述の通り、教育現場におけるPCの普及は十分とはいえない状況にあり、PCを用いなくとも行い得るソフトウェア教育について考慮する必要があるように思われる。

この状況のもとで注目されるのは、マイクロコンピュータである。マイコンは、PCと比較して安価で購入でき、しかも利用の仕方によってはPC以上に優れた教材になると考えられる。ソフトウェアとハードウェアの関係が理解しやすいことも、マイコンがPCより教材として優れている点の一つである。

コンピュータを動かすためには、命令の手順であるソフトウェアが必要である。しかしこれは、ソフトウェアがハードウェアと無関係に存在することを意味するのではなく、ハードウェアと密接な関係を持っていることも忘れてはならない。

もともとソフトウェアとハードウェアは、歴史的に同一物から分化したものであった。世界最初の電子計算機であるペンシルバニア大学のENIACにおいてはハード、ソフトの区別はなく、プログラミングは配線盤による結線のつなぎかえによって行われた。今日の内蔵プログラム方式によるコンピュータでは、ハードウェアとソフトウェアが分けられているが、プログラムは主メモリーに電子的状態として記憶されるのであって、ハードの仕組みと切り離して考えることはできない⁹⁾。そのようなことを考えるならば、ソフトウェアに関する教育も常にハードを意識しながら進められることが望ましい。

以上の点から、本研究ではこのマイクロコンピュータを用いてソフトウェアの仕組みや役割、利用の方法などを生徒に理解させる教材の開発、さらにマイクロコンピュータによるプログラミング教育の可能性と限界について検討することを目的とする。

本研究におけるマイクロコンピュータを用いたプログラミングの教材開発は、岩手県の教育現場におけるコンピュータの普及状況やコンピュータ教育に関する教員の意識状況も考慮に入れたものである。中学校にPCが普及するのには時間がかかると考えられるので、それまでの間、PCより遥かに安価で購入できるマイコンによる「情報基礎」の指導も考慮しなければならない。その意味では、マイコンはPCが導入されるまでの過渡的教材として位置づけられる。

次章では、過渡的教材としてのマイコン使用の必要性を、岩手県におけるPCの普及状況とコンピュータに関する教員の意識状況を通して検討する。

2 岩手県におけるコンピュータ教育の現状

(1) 岩手県におけるPCの普及状況

ここでは、「情報基礎」の学習内容について検討する前に、その前提条件となる教育現場でのコンピュータ、とりわけPCの普及状況、及び将来の導入計画について見ることとする。

1987(昭和62)年度に岩手県立教育センターが行った『学校教育における教育工学としてのマイクロコンピュータ利用に関する調査研究』¹⁰⁾によれば、以下の通りである。

○校費によるパソコン導入状況(中学校 100校)

何台か導入されている――11%

	8ビットPC	16ビットPC
1-4台	2%	7%
20-24台	1%	1%
40台以上	1%	

導入されていない――89%

PCが何台か導入されている学校が、高等学校の場合90%に上るのに対し、中学校は11%に過ぎなかった。また導入台数も少なく、さらに16ビットのPCが主流の現在、一部の学校で導入されている8ビットのPCは、機能面や市販ソフトの少なさ、16ビットPCとソフトの互換性がない等の欠点がある。

小・中学校に対するパソコン導入計画は、以下の通りであった。

○小・中学校に対するパソコン導入計画

ある――45%

ない――55%

(理由) 財政面で無理	19%
時期尚早	13%
委員会内で未検討	10%
市町村の計画にない	3%
学校現場の人材不足	2%
特に理由がない	8%

上記の結果にみられるように、導入計画が「ある」という回答が「ない」という結果を下回っていた。しかしながら導入計画についてみると、1984（昭和59）年から1987（昭和62）年までに導入したところが15%あるほか、1988（昭和63）年度から1990（平成2）年度までに実施予定の所は29%となっていた。

しかしながら「無答」のところが54%にものぼっている。このことは、1987（昭和62）年の段階で半数以上の市町村教育委員会が態度を決めかねているという状態であった。このデータは、1987年段階のものであり、現在では状況の変化が見られることは十分に考えられることである。例えば、岩手大学教育学部附属中学校や上田中学校（盛岡市）では、今年度よりPCが導入され、後者では生徒全員を対象にして「情報基礎」の授業も実施されている。

文部省では、全国の中学校へのPC導入のための補助金を出す意向があるといわれている。しかしこの補助金は、PC購入に必要な費用の1/3に過ぎないので、近い将来財政的に豊かではない自治体の中学校にまでPCが導入されるかどうかは疑問である。

（2）情報教育の現状

次に学校でのPCの利用状況、及び教員のPCに対する意識について検討する。

まず、パソコンの操作等に習熟している教員の比率についてであるが、1987（昭和62）年度に岩手県教育委員会が行った「学校における情報教育の実態などに関する調査」¹¹⁾によれば、県下の中学校教員のうち、パソコンを操作できる教員の数は、4020人中198人で4.9%に過ぎない。さらにパソコンに関して指導できる教員数は、4,920人中48人、比率にして1.2%に過ぎない。

次にコンピュータに関する教員の研修状況を見ることにする。岩手県の場合、この種の研修は岩手県立総合教育センターで行われている。同センターは、1988（昭和63）年4月にそれまで盛岡市にあった岩手県教育センターが花巻市に移転して改称したものである。この移転にともない、更新された施設・設備を用いて教員研修の実績は向上している。中学校教員を対象とした研修を見ると、1987（昭和62）年度には、研修会が1回のみであり、参加人員も15名に過ぎなかったが、1988（昭和63）年度には、研修会の回数は9回に増加し、参加人員も161名となっている。

ただしその講座の内容を見ると、「ワープロ」「パソコン・表計算」「パソコン・データベース」という、いわゆるアプリケーションソフトの利用法が中心となっており、本来の意味でのソフト教育に関する研修はまだ不足しているとみることができる。

次に学校におけるコンピュータ利用の形態についてみることにする。学校におけるコンピュータの主たる利用法として、①コンピュータを利用した学習指導（Computer Assisted

Instruction、略してCAI)、②コンピュータに関する教育、③学校経営のための利用(Computer Managed Instruction 略してCMI)などが挙げられるが、今日の段階では多くの学校で、CMIの利用(具体的にみると、成績処理、文章作成、時間割作成など)が多く、学習指導に用いられているところはまだまだ少ないようである。これは、PCを職員室に設置している学校が多いことと関わっているように思われる。

なお学習指導での利用は、この時点では理科と数学に限られていた。これらの教科での利用法は、教科の性格上CAI的なものと思われる。このことから岩手県の場合、この時点ではコンピュータそのものに関する教育は行われていなかった。しかし、この後上田中学校(盛岡市)などでは、多数のPCが導入され、技術科の「情報基礎」も実施されていることを付け加えておかなければならないであろう。

次に教員のPCに対する意識についてであるが、「積極的に取り組みたい」33%、「機会があれば取り組みたい」59%という回答にみられるように、積極的である。ただし今後の取り組みの面で「ソフトを利用できる程度の知識が必要」と考えている教員が多いという結果が出たが、「情報基礎」においてプログラミングも重視するという観点に立つならば、技術科の教師については、「自分でプログラムが作成できる程度の知識が必要」と考えるべきであろう。

以上のように、学校教育におけるコンピュータの導入について、1)学習活動での利用が少ない、2)PCを操作できる教員が少ない、3)技術科での取り組みはまだ少ない、などのことが指摘される。これらのことは岩手県の場合、「情報基礎」に取り組む条件の整っていないところが多いことを示していると考えられる。文部省は新学習指導要領の実施をめざして、学校へのPC導入を奨励する意向であると伝えられており、また岩手県内でも、上田中学校は本年度より40台のPCを導入して、生徒全員に対し「情報基礎」の授業を実施している。したがって、学校へのコンピュータ導入をめぐる状況はここ数年で大きく変わることも考えられる。とはいえ、岩手県の場合、多くの中学校にPCが普及するにはなお時間がかかるように思われる。

同時に強調しておかなければならないのは、教員の研修機会の増加であろう。先にも触れたように、教員のなかにコンピュータに関する取り組みへの意欲をもつ者も多いが、「パソコンを操作できる」「パソコンに関して指導できる」教員は、きわめて少ないという状態にある。従って、教員研修の機会を増やすための努力が必要であると考えられる。

以上見てきたように岩手県の場合、中学校にPCが普及するには時間がかかると考えられ、たとえPCが普及したとしてもPCに関して指導できる教員の数が少ないという状態は、ある程度続くと考えられる。そのようなことを考慮に入れるならば、PCが導入されるまでの過渡的な教材としてのマイコンの利用価値は高いように思われる。本研究にお

いて、マイコンに注目したのも、一つは今までにみてきた岩手県におけるコンピュータ教育をめぐる状況を考慮したからである。

第1章で述べたように本研究では、マイコンを用いたプログラミングに関する教材開発をめざしている。コンピュータが生産活動など社会に果たしている役割を考えれば、「情報基礎」においてコンピュータによる「制御」も重要な位置を占めると考えられる。しかし先に触れたように、コンピュータを動かすためにはソフトウェア(=プログラム)が必要である。このことを考えると、ソフトウェアを作成する作業であるプログラミングも、コンピュータ教育において重視される必要があろう。ソフトウェアがハードウェアと密接な関係を持っていることを考えると、常にハードウェアを意識しながらプログラミングの指導ができるという特色をもつマイコンは興味深い教材であるように思われる。

以下の所では、具体的なプログラム例に触れる前に、まず第3章でプログラミングの定義や基本的な原理について述べることにする。

3 コンピュータにおけるソフトウェアの役割

(1) プログラミングの定義

プログラミングが何かという問題は、ソフトウェアとは何かということもつながっている。ソフトウェアを広義でとらえると、企業活動におけるサービスや情報の要素までが含まれる。また機械一般をハードと捉え、それを操作する人間をソフトと捉えることもある。しかしここでは、コンピュータにおけるソフトウェアの役割という点から考えることとする。

コンピュータにおけるハードウェアそれ自体は、それほど複雑な仕事ができるわけではない。端的に言えば単に電気信号を操作しているだけに過ぎない。その単純な作業を意味あるものに組織だって利用するのがソフトウェアである。ソフトウェアを欠いたコンピュータが「ただの箱」であるといわれる由縁である。

しかし同時に注意しなければならないのは、ソフトがハードと関連しあっていることである。このことは一見当然のことのように思われるが、PCだけを用いていたのでは、こうした発想は生まれにくい。これは、現在のPCができるだけハードを意識させないようにならされていることによる。そのうえ、プログラムが高級言語で作られているため、PCを使用していると、あたかもソフトだけが仕事をしている錯覚に陥ってしまう。

しかしながらマイコンの場合、プログラムを作成するとき必ず、ハードを意識しなければならない。言い換えれば、ハードの仕組みを意識せずにプログラムを作ることが不可能であるということである。

(2) プログラミングの基本

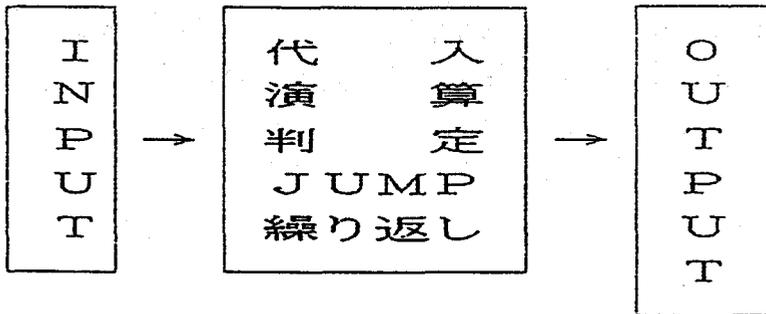


図1 プログラミングの基本

プログラミングの基本構造を最も簡単な図で示すと、上記のように表すことができる。INPUTは、数値、文字、図形などの情報が入力されることである。入力された情報は、代入、演算、判定、JUMP、繰り返しのいずれか一つあるいは複数の処理の過程を経て、その結果が数値、文字、図形等の情報として出力、つまりOUTPUTされることを示しているのが上記の図である。

この基本構造は、機械語であれ高級言語であれ、なんら変わることなく当てはまる法則である。またどのように複雑なプログラムでも、この基本構造の組合せに過ぎない。

確かにプログラムは、コンピュータの種類や使用言語による制約を受ける。そのうえ、プログラミングの理論はまだ科学的には確立されていないと考えられる。今日でもプログラミングは熟練に頼る部分も多い。しかしプログラミングの基本は不変であり、それを理解させることは、コンピュータ教育において不可欠であると考えられる。

4 教育用プログラムの開発

(1) 目的

現在、我々の日常生活の中には、マイコンが多く利用されている。これらのマイコンは家庭電気製品や自動車、玩具などに用いられているが、これらの製品に用いられているのはワン・チップ・マイクロ・コンピュータと呼ばれるもので、一つのIC上にCPU、記憶、入出力制御の各部を形成したものである。

これらのマイコンは、電気炊飯器の火加減調節、エアコンの温度調節等に見られるようにほとんど制御を目的として用いられている。このことを考えると、「制御」は、「情報

基礎」の内容として重要な位置を占めると考えられる。

しかし本研究では、プログラミングの基本を習得させることを目的とした教材の開発を行うので、「制御」のプログラムより「数値計算」のそれが適しているように思われる。制御のプログラムも数値計算のプログラムも、プログラミングの基本という観点からは違いはない。しかし中学生を対象とすることを考慮するならば、より簡潔で内容の理解が容易で、プログラミングの基本を段階的に扱えるという点で勝る数値計算プログラムを取り上げることにした。簡単な数値計算の場合は、電卓やPCを利用した方が、手間が少なく短時間で回答を得ることができる。しかし電卓やPCでは、そのような過程を経て演算の結果を得られるのか知ることができず、プログラミングの基本を理解させる手段としては適当ではない。

以上のような理由から本研究では、マイコンを用いて、プログラミングの基礎とその働きを正しく理解し、その利用について考えることのできる教材を開発することを目的とする。

(2) 使用機種について

本研究で使用したマイコンは、NEC日本電気株式会社で開発されたTK-80という機種である。以下、そのシステムを図2に示す。

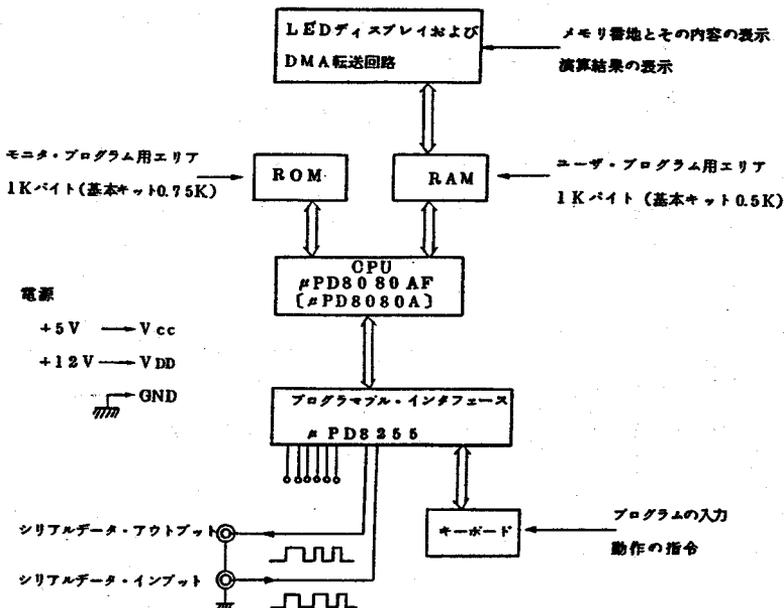


図2 TK-80E/80のシステム概要

5 教材開発

まず最初に必要なのは、マイコンに慣れさせることである。マイコンは機種によって取り扱いや周辺機器に違いがあるので、ハードの仕組みを理解することが必要である。マイコンのプログラミングは、ハードと密接に関わる面があるので、これを理解しなければ、プログラミングは不可能である。最良の方法は、既製のプログラムを打ち込んで実行させてみることである。

次に必要なのは命令語の理解である。命令語は、命令形という形でまとめて記載されているが、それは一見ただけでわかるものではなく、また機種によっても異なるので、実行させたプログラムとその結果をみながら、命令形を確認していくことが必要である。このような手順を踏むのは、1)でも触れたように、現在マイコンの主たる使用目的が制御であるため、制御用のプログラム例は数多く出回っているが、数値演算用のプログラム例はほとんど見られないためである。

プログラム開発にあたって考慮すべき点は、①プログラミングの基本が明確に、簡潔に表されていること、②プログラミングの基本が段階的に理解できる内容であること、③中学生レベルで理解できる内容であること、の3点である。

このうち、①については、必要最小限のデータだけでプログラムを構成することが大切である。生徒の興味を引き付けるという観点からすると、簡潔すぎるプログラムは不適切であるという考え方もあり得るが、複雑なものはむしろプログラミングの基本という本質が見えなくなってしまう恐れもあることに注意が必要であろう。

②については、最初からプログラムの基本のすべてが含まれたものを使うのではなく、順々にプログラムを消化していく過程において段階的にプログラムを消化していく過程において段階的にプログラムの基本が理解できるような構成にするという意味である。

③については、プログラムに用いる命令語の種類をよく吟味し、絞り込むことが必要である。この教材の目的は、命令語を覚えることではなく、あくまでもプログラミングの基本を知ることにあると考えられる。従っていたずらに命令語の種類を増やすことは望ましいことではない。

こうした観点で、1)数値演算プログラムと、2)ハード研究のプログラム、を考えた。以下順に示すこととする。

1) 数値演算プログラム

《プログラム例 1》

【定数と定数の和を表示するプログラム】

◀PRO. 1▶

【5+3の演算結果を表示するプログラム】

アドレス	データ	
00	3E	
01	90	イニシャライズ (初期化)
02	D3	ポートA 入力
03	07	ポートB 出力
04	3E	Aレジスタに
05	05	5を代入する 代入
06	C6	Aレジスタに
07	03	3を加える 演算
08	D3	データをポートBへ出力する
09	05	ポートBの指定

※TK-80では、アドレスは8000から始まるが、ここでは、下2桁だけ表示する。以下のプログラムについても同様である。

図3

アドレス00-03の部分は、イニシャライズ (初期化) と呼ばれ、これによって、A、B、Cと3つある入、出力ポートのうちどれを入力にし、どれを出力にするかという条件を定めている。この場合、入力スイッチの「1」か「0」の条件がAポートから取り込まれて、実行された後、結果がBポートに出て、リレーをON・OFFさせてから表示するという通り道ができたことになる。プログラム例1では、Aポートからの入力を行わないが、後のプログラムでは必ず用いられる部分なので、ここでその仕組みをしっかりと把握させる必要がある。

アドレス04-05の部分では、Aレジスタに5という数字を「代入」することを示している。3EはAレジスタへデータを書き込む命令で、その後に代入するデータとして数値05がくるという関係をここで確認させることが大切である。

アドレス06-07の部分では、Aレジスタに3を加える「演算」を示している。ここで大切なのは、CPUにおけるAレジスタの役割である。Aレジスタでは、信号の出し入れが重要なポイントであり、マイコンの命令は常にAレジスタ中心に動いていることを理解させることが必要である。

アドレス08-09の部分では、データをBポートに出力することを示している。D3はデータの出力命令であり、05は出力先のBポートを示している。

このプログラムにおいては、プログラミングの基本の「代入」と「演算」とが用いられている。「代入」と「演算」がそれぞれどの部分で行われているかについては、予め生徒に答えを与えることなく生徒自身に考えさせることが、プログラムの内容理解とプログラミングの基本の理解につながると思われる。

またプログラムの理解度の確認のためには、演算の数値を変える方法や、引算のプログラムに変更させる方法などについて生徒に検討させることが有効な手段となろう。

《プログラム例 2》

【変数と定数の和を表示するプログラム】

〈PRO. 2〉

【X+3の演算結果を表示するプログラム】

アドレス	データ	
00	3E	
01	90	イニシャライズ (初期化)
02	D3	ポートA 入力
03	07	ポートB 出力
04	DB	AレジスタにAポートから
05	04	取り込んだ値を代入する 代入
06	C6	Aレジスタに
07	03	3を加える 演算
08	D3	データをポートBへ出力する
09	05	ポートBの指定

図4

アドレス00-03の部分がイニシャライズ (初期化) なのは、プログラム例 1と同様である。ただしプログラム例 1の場合、Aポートを入力と指定したものの、実際には入力したスイッチによるデータの読み込みは、行わなかった。このプログラムは足し算する数値の一方を変数にしたものであるので入力スイッチを使用する。

アドレス04-05の部分で、Aポートから読み込んだ数値をAレジスタに「代入」する操作が行われる。DBは、入力スイッチのON・OFFのデータをAポートを通してデータバスを経由しAレジスタに入れるという命令である。04は、Aポートを指定するアドレスである。

アドレス06以降は、プログラム例 1と同様である。

次に、演算が終わる毎にリセットしてプログラムの最初にもどることの煩わしさを避けるために、JUMP命令を用い、何度でも演算を行えるような工夫を行うことにする。それは、アドレス09以降に次のプログラムを加えることで可能である。

図4のC3は、指定した番地に行けという「JUMP」命令である。その後の04、80というデータは、指定先の8004番地を表している。最初生徒に行き先を考えさせるのも面白い試みであろう。多くの場合生徒は、プログラムの最初に戻ると考えるだろう。しかし実際には、イニシャライズは1度行えば後は必要ない。無駄のない、効率的なプログラムを作ることができるようになるためにも、このような練習は必要であろう。

ここでは、プログラミングの基本の1つである「JUMP」が新しく出てきたので、その意味をしっかりと把握させることが大切である。ここでは、プログラムに戻るものだけ取

り上げたが、先に進むことも可能であることをつけ加えておくことも忘れてはならないだろう。

《プログラム例 3》

【変数と変数の和を表示するプログラム】

〈PRO. 3〉

【X+Yの演算結果を表示するプログラム】

アドレス	データ		
00	3E		
01	90	イニシャライズ (初期化)	
02	D3	ポートA 入力	
03	07	ポートB 出力	
04	DB	AレジスタにAポートから	
05	04	取り込んだ値を代入する	代入
06	47	Aレジスタの値をBレジスタへ転送する	
07	DB	AレジスタにAポートから	
08	04	取り込んだ値を代入する	代入
09	80	AレジスタにBレジスタ	
		の値を加える	演算
0A	D3	データをポートBへ出力する	
0B	05		

図5

プログラム例 2では、一方が変数であったが、今度は両方を変数にしたものである。このプログラムを実行するためには、STEP動作による実行を行わなければならない。普通行われるAUTO動作はプログラムを一気に実行してしまうので、最初にXの値を入力スイッチを読み込ませ実行させると、プログラムを1行ずつ実行してくれるので、Xの値を読み込んだ後、プログラムの実行を止めてYの値を入力スイッチにいれ、プログラムの実行を再開すればX、Yの値を時間差をもってAポートから取り込むことができるのである。

アドレス00-03の部分はイニシャライズ(初期化)であり、説明は不要であろう。アドレス04-05の部分も前のプログラムと同様である。

アドレス06のデータ47は、Aレジスタに取り込んだ値をBレジスタに転送する命令である。これは、Aレジスタには次にAポートからYの値が取り込まれるので、Aレジスタを空にしておく必要があるからである。

アドレス07-08で無事レジスタに取り込まれたYは、Bレジスタに転送されていたXと、アドレス09の80という命令で足し算される。80という命令は、AレジスタとBレジスタの値を加えよと、というものである。プログラム例 2までで行われていた足し算の命令とは違っていることに、注意が必要である。引き算にする場合も同様で、この場合は90という命令が必要になる。

プログラムを作成する上からは煩わしいと思われるだろうが、1つのレジスタには1つのデータしか取り込めないことや、Aポートから取り入れたデータは必ずAレジスタに一度取り込まれるといったハード面の仕組みも知ることができるというメリットがある。PCを用いて高級言語でプログラムを作成しても、ハードの仕組みまでプログラムから読み取ることができない。マイコンがPC以上に優れた教材になるという一つの根拠がここにある。

なおSTEP動作を行うといつデータが取り入れられたかわかりづらく、次のデータをいつ取り入れてよいのか困ってしまう可能性がある。そこで考えたのが、このプログラムである。

《プログラム例 3'》

【JUMP命令の利用】

《PRO. 3'》

アドレス	データ	
00	3E	
01	90	イニシャライズ (初期化)
02	D3	ポートA 入力
03	07	ポートB 出力
04	DB	AレジスタにAポートから
05	04	取り込んだ値を代入する 代入
06	D3	データをBポートへ出力する
07	05	
08	47	Aレジスタの値をBレジスタへ転送する
09	DB	AレジスタにAポートから
0A	04	取り込んだ値を代入する 代入
0B	D3	データをBポートへ出力する
0C	05	
0D	80	AレジスタにBレジスタ の値を加える 演算
0E	D3	データをポートBへ出力する
0F	05	
10	C3	
11	04	8004番地へ行け
12	80	JUMP

図6

これは、データの読み込みが終了したら一度出力してBポートのLEDを点灯させるものである。LEDが点灯したなら次のデータを読み込むことができるという合図にもなる。これでいつ次のデータを入力すればよいか悩む必要がなくなると思われる。

またプログラム例 2で触れたJUMP命令をここでも用いてみた。これは、いちいちリセットを行わなくても繰り返し計算を行うことができるようになるので便利である。以下のプログラムにはあえてつけることをしないが、必要に応じて用いるべきである。

《プログラム例 4》

【定数と定数の積を表示するプログラム】

《PRO. 4》

【6×5の演算結果を表示するプログラム】

アドレス	データ		
00	3E		
01	90	イニシャライズ (初期化)	
02	D3	ポートA 入力	
03	07	ポートB 出力	
04	3E	Aレジスタに	
05	00	0を代入する	代入
06	06	Aレジスタに	
07	05	5を代入する	代入
08	C6	Aレジスタに	
09	06	6を加えるに	演算
0A	05	Bレジスタから1を引く	
0B	C2	Bレジスタが	判定
0C	08	0になるまで	JUMP
0D	80	8008番地へ行け	繰り返し返し
0E	D3	データをBポートに出力する	
0F	05		

図7

今回使用したマイコンの命令語の中には、かけ算そのものの命令はない。したがってかけ算を行う際には、存在する命令を上手に組み合わせてプログラムを作らなければならない。

これはかけ算を、同じ数の足し算を繰り返し行うものとみたプログラムである。つまり6×5というのは、6を5回加えるということと同じとみるわけである。アドレス00-03はイニシャライズであり、説明は不要であろう。アドレス04-05は、Aレジスタに0を代入するという命令である。その理由は後で述べる。アドレス06-07は、足し算を行う回数を示し、ここでは5をBレジスタに代入する。アドレス08-09は、Aレジスタに6を加える命令である。この際Aレジスタが空のままでは、数を加えるなどということは不可能である。そのため、アドレス04-05でAレジスタに0を代入しておいたのである。

アドレス0Aは、Bレジスタから1を引くという命令である。Aレジスタに6を加えたら足し算の実行回数5から1を引くことを繰り返して、実行回数が0となった時に計算が終了することになる。

アドレス0B-0Dは「判定」「JUMP」「繰り返し返し」を行っている。C2は、条件付きのJUMPの命令で、ここでは、Bレジスタが0か否かを判定し、0になるまでJUMPを繰り返すのである。行き先が8008番地であるから、JUMPする度にAレジスタに6が加えられていくことになる。そしてBレジスタが0になった時、繰り返しをやめて結果を表示する。

このプログラムで、新たにプログラミングの「基本」である「繰り返し」が加えられた。「繰り返し」は、判定付きのJUMPを意味する。判定についてはこの他にもいろいろなパターンがあるが、それらはすべて0か1かの判断に限られている。これもハードとの関わりで押さえていく必要がある。

これですべてのプログラミングの基本を生徒は習得したことになる。

《プログラム例 5》

【変数と変数の積を表示するプログラム】

〈PRO. 5〉

【X×Yの演算結果を表示するプログラム】

アドレス	データ	
00	3E	
01	90	イニシャライズ (初期化)
02	D3	ポートA 入力
03	07	ポートB 出力
04	DB	AレジスタにAポートから
05	04	取り込んだ値を代入する
06	D3	データをBポートへ出力する
07	05	
08	47	Aレジスタの値をBレジスタへ転送する
09	DB	AレジスタにAポートから
0A	04	取り込んだ値を代入する
0B	D3	データをBポートに出力する
0C	05	
0D	4F	Aレジスタの値をCレジスタへ転送する
0E	05	Bレジスタから1を引く
0F	DB	AレジスタにAポートから
10	04	取り込んだ値を代入する
11	81	AレジスタにCレジスタの値を加える
12	D3	データをBポートに出力する
13	05	
14	4F	Aレジスタの値をCレジスタに転送する
15	05	Bポートから1を引く
16	C2	Bレジスタが
17	0F	0になるまで
18	80	800F番地へいけ
19	D3	データをBポートへ出力する
1A	05	

図 8

X×Yの演算は、XをY回加えるという考え方で行うことにする。これもSTEP動作を使い、データを1つつ入力する方法を取る。プログラムについては基本的には今までの応用であるが、ポイントとなる部分を示すと以下の通りになる。

このプログラムでは、変数がXとYとの二つなので、まずXの値をレジスタに入れる。これがアドレス04-08の部分である。次にYの値を取り込んでCレジスタに入れる。これがアドレス09-0Dの部分である。Yの値を取り込んだということは、Yを1回加えたことになるので、Bレジスタから1を引く。これは、プログラム例 4と同じ仕組み

である。

再びAポートからYを取り込んでCレジスタの値と加える。これでYが2回足し算されたことになる。これがOF-13の部分である。足し算が終わったら、結果を再びCレジスタに戻してBレジスタから1を引く。以下「判定」し、「JUMP」し、「繰り返し」をする部分は、プログラム例 4と同じである。

1回目にYを取り込むときと、2回目以降にYを取り込む時では微妙に操作が異なる点がポイントである。また、新しい要素として「CLレジスタの使用」が増えたが、この2点に気づけば、あとは今までのプログラムの応用に過ぎない。作成課題として生徒に与えた場合には、全体の理解度を確かめる手段となり得るように思われる。

2) ハード研究のプログラム

先にも触れたように、コンピュータは、ソフトウェアなしでは作動せず、「ただの箱」である。しかしこのことは、ソフトウェアがハードウェアから完全に独立していることを意味しない。むしろソフトウェアは、ハードウェアと密接な関係をもっており、プログラミング教育においてもハードウェアを意識させる教材が望ましい。以下に示すのは、生徒にプログラミングとハードウェアとの関係を意識させるため、2進数のかけ算を行いその結果を表示するプログラムの例である。

《プログラム例 1》

《PRO. 1》

【X×2を2進数で演算し結果を表示するプログラム】

アドレス	データ	
00	3E	
01	90	イニシャライズ (初期化)
02	D3	ポートA 入力
03	07	ポートB 出力
04	DB	AレジスタにAポートから
05	04	取り込んだ値を代入する。
06	07	1ビット左へシフトする
07	D3	データをポートBへ出力する
08	05	

2進数の掛け算例 (X×2)

0011	0101	0111
<u>×0010</u>	<u>×0010</u>	<u>×0010</u>
0110	1010	1110

図9

上のかけ算の例を見ればわかるように、2進数のかけ算で2を掛けることは、掛けられ

る数を左に1ビットずらすことである。先述の通り機械語にはかけ算そのものの命令はない。左右へのシフト命令が存在するのでそれを利用してかけ算を行うものである。

このプログラムで目新しいのは、アドレス06の07という命令である。これは、取り入れたデータを左へ1ビットずらすという命令である。これが2進数のかけ算では、ちょうど2を掛けることと同じ役割を果たす。

シフト命令は、左右に1ビットづつしか動かすことができないので、2ビット以上動かしたいときには、07という命令をシフトしたい数だけ並べることになる。この方法を用いると、2つ並べて $X \times 4$ 、3つ並べて $X \times 8 \dots$ という計算をすることになる。

この教材は中学生にとってやや難しいかも知れない。特に2進数の概念をしっかりと把握していないことには、理解しにくい内容であろう。しかしこのプログラムで用いられている方法は、これまで触れてきた演算用プログラム例に用いられているものより、ハードの仕組みを分かりやすくすると考えられる。掛ける数を変えると、シフトのパターンもまたプログラム自体も変わるので、このプログラムは、プログラムの応用練習としても役立つように思われる。中学生でも一度覚えれば演算用のプログラムより興味を持って取り組むことができると考えられる。

《プログラム例 2》

《PRO. 2》

【 $X \times 3$ を2進数で演算し結果を表示するプログラム】

アドレス	データ	
00	3E	
01	90	イニシャライズ (初期化)
02	D3	ポートA 入力
03	07	ポートB 出力
04	DB	AレジスタにAポートから
05	04	取り込んだ値を代入する
06	07	1ビット左へシフトする
07	47	Aレジスタの値をBレジスタへ転送する
08	DB	AレジスタにAポートから
09	04	取り込んだ値を代入する
0A	80	AレジスタにBレジスタの値を加える
0B	D3	データをBポートに出力する
0C	05	

2進数の掛け算例 ($X \times 3$)

0011	0101	0111
<u>×0011</u>	<u>×0011</u>	<u>×0011</u>
0011	0101	0111
<u>0011</u>	<u>0101</u>	<u>0111</u>
01001	01111	10001

図10

上のかけ算の例を見ればわかるように、2進数のかけ算で3を掛けるためには、掛けら

れる数を1ビットずらし、もとの数を加えることが必要である。

アドレス06で1ビットずらした数字を、アドレス07の47という命令でとりあえずBレジスタに転送していく。空になったAレジスタに、再びAポートからもとの数を取り込むことを示したのがアドレスAでAレジスタとBレジスタの値の足し算を行い、その結果を表示するというのがこのプログラムの内容である。

左へ1ビットずらした後にもとの数を加えるというのが、3を掛けるときのポイントである。かけ算のパターンとしては、2と3を掛けるときのかけ算をマスターしてしまえば、その応用で偶数と奇数を掛けるかけ算をすることができるようになる。掛ける数を4、5、6・・・と数を増やし、プログラムを考案させるというのも、おもしろい課題となりそうである。

6 むすび—マイコンによるプログラミング教育の可能性と限界

マイコンをソフト教育に用いることの最大の利点は、常にハードを意識しながらソフトの教育ができることである。

確かにコンピュータに仕事をさせるためには、ソフトによる命令が必要なことから、コンピュータ教育においてソフトウェア的側面の学習が重要となるが、ハードとソフトの関連を考えると、両者を切り離してそれぞれ独立させて学ばせるよりも、両者を常に関連付けて学ばせることが必要であろう。こうした観点からするとマイコンはPCと比較して適切な教材であると考えられる。

また2章で触れたように、プログラミングの基本は、機械語であれ、高級言語であれ、全く変わりが無いことを考えれば、この点においてもマイコンがPCに劣っているということはない。

このようなことを考えるならば、マイコンがPCと比較して、記憶機能や表示能力の点で劣っているにしても、ソフトとハードの関連性について優れた面を持っているように思われる。

3-4)でも触れたように、マイコンを用いて既製のプログラムを実行されるだけで、ハードの仕組みと役割、プログラミングの基本、命令語の理解が可能となるということが出来る。プログラムを実行しながら、疑問に思った点をその都度検証して行けば、2、3のプログラムを実行することによって、ハード、ソフト両面でかなりの知識が身につくであろう。

本論文で示したプログラム例は、プログラミングの基本を段階的に理解するために用いてもよいし、一歩進めてプログラム作成課題としても利用できると思われる。数値演算

のプログラムならば、最初に簡単な例を2、3示せば、その後は中学生でも充分組むことが可能であろう。またハード研究のプログラムは、まだ改良の余地があるとはいえ、ハード自体が非常に単純な動作しか行うことができないことを踏まえた上で、ソフトによっていかに上手にハードを活用するかということを学ぶことができる。

これらのことから、ソフト教育の教材としてのマイコンの可能性は大きいといえてよいであろう。

次に、マイコンによるソフト教育の限界について検討する。これは、マイコンがPCに対して劣っている面が中心となるが、そのほとんどは、ソフトの面ではなく、ハードの面と関わっている。

すなわち機種により命令語が異なることであろう。これは、プログラミングの基本以外には共通的な法則を見いだせないということでもある。すなわち特定の機種で学んだ知識が、その機種のみで通用する特殊なもので、きわめて応用範囲が狭いということも意味する。このような応用範囲の狭い教材に、生徒がついてくるかという問題の生じる恐れがあるが、この点については、生徒が興味をもてるようなプログラムを考案していくという対応を取る必要がある。また、プログラムが長くなること、機械語の識別が難しいこと、ディスプレイが不完全であることも、問題点として挙げられる。

このような問題点はあるにせよ、マイコンを用いたプログラミングの指導は、ハードとソフトの関連を押さえながら指導できるという点で有効な教材となるといえる。ただ、マイコンによるプログラミングの指導は、あくまでもPCが普及するまでの過渡的なものであることも事実である。機械語の指導自体はPCでも可能であって、今後は、PCで機械語を用いて、ハードとソフトの関係を意識させながら指導していく方法を検討することが課題になるように思われる。

(参考文献)

- 1) 亀山 寛 「情報基礎の学習指導」 佐々木 享、近藤義美、田中喜美編著『技術科教育法』(学文社)所収 1990年 pp.159-162。
- 2) 教育課程検討委員会編 『今こそ小中高一貫の技術教育を』(日本教職員組合)1989年 p.46。
- 3) 教育課程検討委員会編 前掲書 pp.47-48。
- 4) 亀山 「情報基礎の学習指導」前掲 pp.162-174。
- 4) 同上論文 p.160。

- 5) 同上論文 p.165。
- 6) 同上論文 p.165。
- 7) 同上論文 p.165。
- 8) 石沢篤郎 『コンピュータ科学と社会科学』(大月書店) 1987年 pp.49-51。 中村静
治 『情報と技術の経済学』(有斐閣) pp.54-55。
- 9) 岩手県教育委員会 『情報手段の教育活用に関する実践研究委託の実績報告書』
- 10) 同上報告書。
- 11) 岩手県教育委員会 『学校における情報教育の実態に関する調査』