

教育学部におけるコンピュータ教育とその実践

久保 仁

Abstract

Recently, personal computer has GUI such as Windows98 or MacOS. GUI hide many features of a hardware. So it becomes easy to operate a computer, but hard to learn the architecture of a computer. Without knowledge of the architecture, study of programming is too difficult. Then, many faculty(or school) of education give lectures on only computer literacy as “Informatics”.

In the previous step of study of programming, this paper propose to begin the lecture on a computer architecture. As a case of it’s lecture, I try to create a multi-bit adder circuit with relays and instruct its mechanism as same as in faculty of technologies.

1 はじめに

近年のコンピュータの技術革新は目覚ましいものがある。よく知られた Moore の法則 ([1]) の示すとおり、マイクロプロセッサのトランジスタ集積率は年々向上しており、18ヶ月あまりで着実に2倍になっている。また動作周波数も上昇を続けており、西暦2000年には1GHzという驚異的なマイクロプロセッサが開発されるともいわれている。

1971年にIntel社が4004プロセッサを開発して以来、年々向上するマイクロプロセッサの処理能力はソフトウェアにも影響を与え、科学技術計算や大規模な経理などにしか利用されなかったコンピュータは次第にさまざまな場所でさまざまな用途に用いられるようになる。これによりコンピュータ技術者がコンピュータを操作する時代は終りを告げ、特に専門的知識を持たない人がコンピュータを利用することとなる。ユーザの質の変化はソフトウェアの質にも影響を与えた。技術者ではなくとも容易に扱えるソフトウェアが望まれ、情報処理とユーザインターフェースに対するCPU演算量の配分は、必然的により後者への比重が高くなる。1980年代に突入しコンピュータの処理能力が十分向上するとコンピュータのユーザ・インターフェースはついにCUI(character user interface)からGUI(graphical user interface)へと本格的に移行することになった。Windows98やMacOSに代表されるGUIはコンピュータの操作をより簡単に誰でも扱えるようにしたが、反面コンピュータそのものをブラックボックス化した。現在のGUIはユーザにハード

ウェアを意識させないということを目指しており、さらなるブラックボックス化を目指す方向へ進んでいる。

ユーザがユーザであるうちはコンピュータのブラックボックス化は全く差し支えがない。ただしひとたびユーザが教育者や管理者へ転じるとこのブラックボックス化がはなはだ面倒を引き起こす。つまりコンピュータの本質を理解していないがためにトラブルに対応するだけの知識が得られないのである。洗練されすぎた GUI を通してコンピュータを操作するだけではその本質的な理解は難しい。コンピュータを使いやすくする GUI の進化は、一方でコンピュータを理解しづらいものにするという矛盾を内包するものとなった。

2 教育学部とコンピュータ教育

2.1 大学における実情

大学におけるコンピュータ教育は大きく分けるとハードウェア、ソフトウェア(あるいはプログラミング)、そしてリテラシという3つの要素をもつ。現状において多くの教育学部では、東北大学など一部の例外を除いてこれら3つの要素のうちリテラシのみを扱うことが多い(表1, 2, 3を参照)。これには大きく2つの理由がある。まず基本的に文系学部であるという純歴史的な経緯からハードウェア、ソフトウェアの教育が可能な教員が教育学部に少ないということ。それから教育学部という特殊なカリキュラムの都合上、演習的要素の強いコンピュータ教育に多くの単位数を確保することが難しいということである。問題は後者の原因として先に述べた GUI の普及が絡んでいることである。コンピュータが GUI によりブラックボックス化されたことにより、ユーザとハードウェアを結びつけるものがなくなり、かえってソフトウェアの授業をおこないにくくしている。その一方でコンピュータリテラシの授業は GUI のおかげでより簡単となった。限られた時間の中で有効に授業を展開するには必然的にリテラシ重視に傾くわけである。

2.2 教育現場の実情

さて実際の初等・中等教育の現場ではどのような状況であろうか。表6を見ても判るとおりコンピュータの操作ができる教員は小学校、中学校、高等学校とも全体の50%を上回ったが、コンピュータの指導ができる教員は未だ30%を割っている。このことから多くの教員は自分で作業する分に困ることはないが、児童や生徒に教えるほどの知識は持ち合わせていないと理解することができる。教育学部におけるコンピュータ教育が概論とリテラシに傾いたものであることを考えればこれは当然である。ただし中等教育の理系分野(数学および理科)に限定すれば見方は多少異なる。表7をみるとコンピュータの操作ができる数学および理科の

表 1: 常葉学園大学教育学部におけるコンピュータ教育の現状

開設科目	対象	主な内容
パソコン入門	共通	Windows, Word, Excel, 電子メール, HTML 文書作成
情報教育 情報教育	共通 共通	コンピュータを活用した教科教育 簡単な UNIX 利用法
コンピュータ基礎	数学	Windows, エディタ, ワードプロ, 電子メール, WWW ブラウザ利用法
プログラミング演習 コンピュータ活用法	数学 数学	HTML 文書, Visual Basic, JAVA の実習 WWW, ワードプロ, 電子メール, 表計算, データベース, HTML 文書作成
科学情報処理 I	理科	デジタルカメラ, スキャナ利用法, 天体シミュレーションソフトウェア等の利用法
科学情報処理 II	理科	VRML, Visual Basic, JavaScript, TeX

表 2: 群馬大学教育学部におけるコンピュータ教育の現状

開設科目	対象	主な内容
ステップアップパソコン A	共通	BASIC プログラミング
ステップアップパソコン B	共通	WWW ブラウザ, 電子メール, HTML 文書作成
ステップアップパソコン C	共通	統計学的データ解析
ステップアップパソコン E	共通	UNIX 基礎 (コマンド, エディタ, 正規表現)

表 3: 東北大学教育学部におけるコンピュータ教育の現状

開設科目	対象	主な内容
コンピュータが創る世界	全学	数理, 統計物理, 学習, 医学, 経済への応用 アーキテクチャ, アルゴリズム, ネットワーク
情報処理概論 I	共通	エディタ, 電子メール, WWW ブラウザ, UNIX 初歩, 歴史, 情報理論基礎, 基本回路
情報処理概論 II	共通	コンピュータ理論, HTML 文書, BASIC, ハードウェア理論, ソフトウェア理論

教員は 75%を越えており、コンピュータの指導ができる数学および理科の教員はほぼ 40%となっている。ただし「コンピュータの指導ができる教員」とは教育用ソフトウェアを使用したコンピュータ活用授業のできる教員を指しており、必ずしもコンピュータそのものの指導ができる教員を指していないことに注意しておかなければならない。

表 4 は 1998 年に愛知大学短期大学部の龍昌治氏がおこなったアンケート調査結果から一部を抜き出したものである。対象は愛知県下の公立高等学校で普通科 62 校、その他 89 校の総計 151 学科である。資料 [3] によれば普通科 62 校中 14 校 (23%) は一切情報教育をおこなっていないとある。特に重要なのは数値処理・論理思考 (ソフトウェア)、技術理解 (ハードウェア) に関する教育はほとんどなされていないことである。ハードウェアはともかく少なくとも数学 A~C の教科書はソフト

表 4: 普通科における情報教育のねらい (学科数比)

内 容	比 率	内 容	比 率
PC 取り扱い	59.0%	技術理解	14.8%
入手や伝達	19.7%	社会や家庭	23.0%
加工や表現	45.9%	リテラシー	14.8%
数値処理	32.8%	その他	14.8%
論理思考	31.1%		

ウェアの内容を含んでいる。にも関わらず大学入試でほとんど出題されない、教育のできる教員がいないなどの理由からこれを扱わない学校が多いのが実情である。

2.3 教育学部におけるコンピュータ教育の問題点

先ほど教育学部におけるコンピュータ教育はたいていの場合リテラシに限られると書いたが、数学に関しては多少なりともソフトウェアに関する授業が割り当てられている。これは高等学校数学 A~C がソフトウェアの内容を含んでいるからに他ならない。しかしそこで扱うのはあくまでソフトウェアであるため教育学部の学生にはハードウェアの知識は不要と考えられており、ハードウェアに関する教育はほとんどおこなわれていない。一般にソフトウェアはハードウェアとは独立したもので、ハードウェアの知識なしに学べるものという認識なのである。ところが実際にはハードウェアとソフトウェアは密接に関連しており、双方を分離して学ぶのは実はたいへん非効率的である。

そこで今回は次節で述べるようなハードウェア教育の実践を試験的におこない、教育学部の学生にも十分に理解可能であることを調べた。

3 ハードウェア教育の実践

教育学部におけるハードウェア教育はあくまでソフトウェアやコンピュータリテラシの補助となるものであるべきである。そこであまり技術的な問題を示すことは避け、理解しやすさを重点において、なるべく簡潔にハードウェアの論理構造とその実装方法を示すことにする。今回は常葉学園大学教育学部に在籍する1年生のうち論理学を学んだ学生の中から数名を選抜して講義と実験をおこなった。

3.1 手順

1960年代に利用されたリレー式計算機の機能の一部を再現し、コンピュータ内部でおこなわれている演算のしくみを視覚的に捉えさせることを目的として、次のような講義と実験をおこなった。

- (1) 今回の趣旨説明をおこなう。学生には解説と作業手順の書かれた A4 で 6 ページのプリントを配布する。
- (2) コンピュータの進化の歴史を解説する。内容は機械式計算機、リレー式コンピュータ、真空管式コンピュータ、半導体式コンピュータ。
- (3) 回路の実装に必要な知識として 2 進数の復習をおこなう。
- (4) OMRON 社製のリレー G2R-1-S を用いてリレーの構造を理解させる。このリレーは外装が透明であるため、内部の電磁石とスイッチが見え、リレーの構造を理解しやすい。
- (5) リレーを用いると論理回路を構成できることを、G2R-1-S を利用して最も簡単な論理回路である NOT 回路をつくって見せ、その動作原理を理解させる。
- (6) 加算回路の実装に利用する AND 回路、OR 回路、XOR 回路を実際にみせ、期待どおりの動作をすることを確認させる。
- (7) 2 進数 1 桁同士の加算結果を示し、これをもとに AND 回路と XOR 回路を用いて半加算器を構成し、期待どおりの動作をすることを確認させる。
- (8) 筆算における繰り上がりの役割を認識させ、全加算器の必要性を理解させる。
- (9) 実際に半加算器 2 つと OR 回路を用いて全加算器を構成し、期待どおりの動作をすることを確認させる。
- (10) 4 つの全加算器をつなぎ、4 ビット同士の加算回路を構成する。
- (11) マイクロプロセッサはこのような単純な回路の組合せで構成されており、文字や絵を表示したり、音楽を奏でたりする能力があるわけではないことを説明して終る。

3.2 回路の構成

今回は初めての試みなので四則演算の中でも最も単純である加算回路を選んだ。回路の実装方法としては 2 つの半加算器から全加算器を構成し、これを 4 つ並べることにより 4 ビット同士の加算回路を構成する。通常半加算器を構成する際はトランジスタでも容易に実装できる NAND 回路を用いるが、今回は 2 接点リレーを用いたリレー計算機であること、理解のしやすさに重点を置くことという 2 つの観点から AND 回路と XOR 回路による実装とした (図 1)。なお全加算器は半加算器 2 つのキャリー出力を OR 回路に入力するという、ごく一般的な手法を用いた (図 2)。左側の回路をもとに実際に作成した全加算器が右側の写真である。下 2 列の回路は左側が AND 回路、右側が XOR 回路で、一列で半加算器 1 つを構成している。また最上部の回路が 2 つの半加算器からのキャリー出力を統合する OR 回路

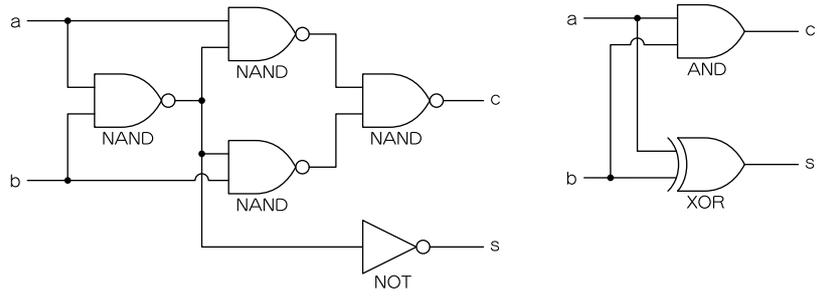


図 1: NAND 構成の半加算器と AND/XOR 構成の半加算器

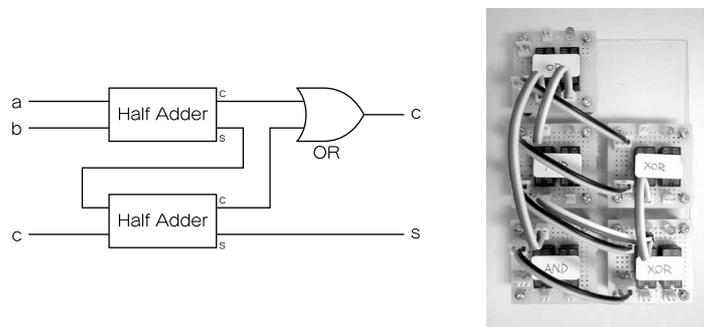


図 2: 全加算器の回路と実際の写真

である。なお AND 回路、OR 回路、XOR 回路には OMRON 社製のリレー G5V-2 を利用し (これは透明なリレーではない)、これらの回路にはこのリレーを 2 つづつ利用した (図 3)。

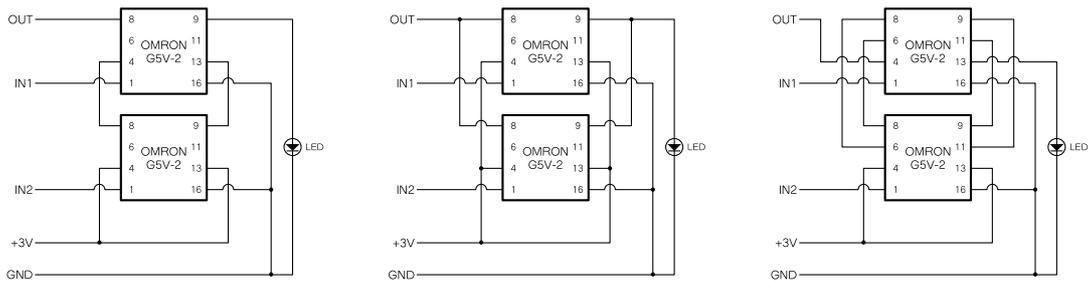


図 3: AND 回路, OR 回路, XOR 回路

4 実践の結果とまとめ

学生の反応はおおむね良好で、ハードウェアの内部構造にそれなりの関心を示した。各ステップにおいて気付いたことを挙げておく。

- (3) 以前に講義をおこなっていたこともあるが、10進数の場合の位取り基数法をもとに話をすすめれば、0以上の整数の2進表記に関しては問題なく理解できる。ただしそれなりに時間をかけて教える必要はある。
- (4) リレーは電磁石でスイッチを動かすという単純な構造の上、利用したリレーG2R-1-Sは透明で内部の電磁石とスイッチが視認できるため容易にリレーの動作を理解することができた。
- (5) NOT回路については完全にその動作を理解できた。
- (6) AND回路、OR回路は演算表と照らし合わせれば理解できる。XOR回路は回路図が複雑なため、多少理解がしづらかったかもしれない。
- (7) 半加算器がAND回路とXOR回路でかけることは問題なく理解できている。
- (8) 全加算器の必要性は簡単な例を示すことで十分理解できる。
- (9) 全加算器の動作結果については納得するが、2つの半加算器のキャリー出力を統合するOR回路の意味が理解できない学生がいた。
- (10) 全加算器の構成は問題ないが、複数の全加算器をつなげる部分で多少の理解不足があった。他の各ステップは理解できるのだが、全体として4桁の2進数同士の加算回路になっていることが納得できないらしい。

多少問題点はあるものの思ったより学生の理解度はある。おそらく実際に動作する回路を見せたという効果はかなりあると思われる。各回路を組み上げた後で学生には自由に触らせたが、あれこれとスイッチを動かしているうちに納得できたようである。少なくともコンピュータの内部ではこのような処理が大変速くおこなわれているという説明はそれなりの説得力をもったようだ。

反省点としては90分と短い時間に多くの内容を詰め込み過ぎた感があること。このため上に述べたように論理回路の理解に多少の問題が残った。少なくとも2回程度には分け、余裕をもっておこなうべきであった。講義時間の関係でできなかったが、NOT回路、AND回路、OR回路、XOR回路などは教官は結線図を示すだけにし、実際の結線は学生におこなわせ、思考錯誤をさせた方が理解の助けになり良いと思われる。また、全体の回路が見た目に複雑になってしまったのも問題である。今後の課題としたい。

以上の実践から教育学部の学生でも十分にハードウェアの基本的な構造について理解する能力があり、ハードウェアに対してもある程度の興味があることが判った。工学部のように半導体を利用した専門的な内容でなくとも、コンピュータの理解の助けには十分なると思われる。

参考文献

- [1] Gordon E. Moore, *Cramming more components onto integrated circuits*, Electronics Magazine **38-8**, 114-117, 1965.
- [2] 相田洋, 「電子立国日本の自叙伝」, Vol. 1-4, 日本放送出版協会, 1991.
- [3] 龍昌治, 「入学時における情報リテラシーとカリキュラム」, 愛知大学情報処理センター紀要 COM **10-1**, 1999.
<http://project.aichi-u.ac.jp/sryo2/gyoseki/COMjoho.html>
- [4] 龍昌治・白井佐代子, 「高等学校における情報教育」, 日本産業技術教育学会全国大会 (兵庫大会), 1998.
<http://project.aichi-u.ac.jp/sryo2/gyoseki/98sangi.htm>
- [5] 文部省, 「学校における情報教育の実態等に関する調査結果 (平成9年度)」, 1998.
<http://www.monbu.go.jp/special/media/00000017/index.html>
- [6] 文部省, 「学校における情報教育の実態等に関する調査結果 (平成10年度)」, 1999.
<http://www.monbu.go.jp/special/media/00000019/index.html>

表 5: コンピュータの歩み

- 1642 Blaise Pascal が世界初の機械式計算機 Pascaline を開発
- 1673 Gottfried Leibniz がシリンダ型機械式計算機を開発
- 1822 Charles Babbage が解析機関を発案
- 1936 Alan Turing が論文 “On Computable Numbers” を発表
- 1937 Iowa 大学の John V. Atanasoff と Clifford Berry が世界初の電子計算機 ABC を開発 (未完成)
- 1944 John von Neumann がプログラム内蔵型計算機を提唱
Harverd 大学と IBM がリレー式計算機 Mark I を共同開発
- 1946 Pennsylvania 大学の I. P. Eckert と J. Mauchly が真空管式計算機 ENIAC を開発
- 1948 Claude E. Shannon が情報理論を展開 Novert Wiener が論文 “Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine” を発表
- 1949 Cambridge 大学の M. V. Wilkes が世界初のプログラム内蔵型コンピュータ EDSAC を開発
- 1950 Remington Rand が世界初の商用電子コンピュータ UNIVAC-1 を発売
- 1951 Massachusetts 工科大学が世界初の CRT ディスプレイ付真空管式電子コンピュータ Whirlwind を開発
- 1952 IBM が世界初のプログラム内蔵式商用電子コンピュータ IBM 701 を発売
- 1955 AT&T の Bell 研究所が世界初のトランジスタ式電子コンピュータ TRADIC を開発
- 1964 IBM が大型汎用コンピュータ System/360 を発売
- 1965 DEC が大型汎用コンピュータ PDP-8 を発売
- 1969 Kenneth Thompson と Dennis Ritchie が PDP-8 用に UNIX を開発
- 1971 Intel が世界初のマイクロプロセッサ 4004 を開発世界初のパーソナルコンピュータ Kenbak-1 を発売
- 1974 Xerox の Alan Kay が世界初の GUI を備えたパーソナルコンピュータ Alto を開発
Intel が 8080 を発売
Zilog が Z-80 を発売
- 1976 Apple が AppleII を発売
- 1983 Apple が GUI OS をもつ世界初のパーソナルコンピュータ Lisa を発売
- 1981 IBM が PC を発売
- 1982 日本電気が PC-9801 を発売
- 1984 Apple が Macintosh を発売
- 1990 Microsoft が Windows 3.0 を発売
- 1995 Microsoft が Windows95 を発売

表 6: 教員の実態

		教員数 (A)	操作できる 教員数 (B)	比率 (B/A)	指導できる 教員数 (C)	比率 (C/A)
小学校		406,058	170,401	42.0%	87,917	21.7%
		397,941	209,780	52.7%	114,370	28.7%
中学校		249,161	129,114	51.8%	57,734	23.2%
		239,982	142,352	59.3%	62,713	26.1%
高等学校		208,875	129,986	62.2%	51,048	24.4%
		204,044	138,025	67.6%	52,981	26.0%
特殊 教育 諸 学 校	盲学校	3,355	2,115	63.0%	862	25.7%
		3,259	2,240	68.7%	871	26.7%
	聾学校	4,726	2,227	47.1%	958	20.3%
		4,655	2,511	53.9%	1,053	22.6%
	養護学校	43,307	14,847	34.3%	5,225	12.1%
		43,961	18,224	41.5%	6,650	15.1%
	小 計	51,388	19,189	37.3%	7,045	13.7%
		51,875	22,975	44.3%	8,574	16.5%
合 計	915,482	448,690	49.0%	203,744	22.3%	
	893,842	513,132	57.4%	238,638	26.7%	

※この表は文部省が全国の公立学校を対象に平成 11 年 3 月におこなった「学校における情報教育の実態等に関する調査」の結果を基にまとめたものです。

※各欄とも上段が平成 10 年 3 月、下段が平成 11 年 3 月の数値を示しています。

※「操作できる教員」とは、ワープロ、表計算、データベース、インターネット等に関するソフトウェアを使用してコンピュータを活用できる教員であり、以下の操作例のうちおおよそ 2 つ以上に該当する場合である。

(操作例)

- ・ディスク等からファイルを開く (修正する、動かす)、・ディスク等に閉じる (書き込む、保存) の一連の作業が出来る。
- ・ワープロソフトウェアで文書処理ができる。
- ・表計算ソフトウェアを使って集計処理が出来る。
- ・データベースソフトウェアを使ってデータ処理が出来る。
- ・インターネットにアクセスして必要な情報を取り出すことができる。

※「指導できる教員」とは、学習指導等において教育用ソフトウェア等を使用したコンピュータ活用授業のできる教員をいう。

表 7: 教員の実態 (主要 5 教科の内訳)

		中学校	高等学校	特殊教育諸学校				合 計
				盲学校	聾学校	養護学校	小計	
国 語	A	31,517	25,572	217	368	2,450	3,529	60,124
	B	15,187	13,398	150	175	989	1,314	30,899
	B/A	48.2%	56.3%	69.1%	47.6%	40.4%	43.3%	51.4%
	C	4,253	2,305	59	54	313	426	6,984
	C/A	13.5%	9.0%	27.2%	14.7%	12.8%	14.0%	11.6%
社 会	A	28,419	23,906	233	304	2,992	3,529	55,854
	B	16,796	14,121	168	155	1,305	1,628	32,545
	B/A	59.1%	59.1%	72.1%	51.0%	43.6%	46.1%	58.3%
	C	6,372	2,669	75	63	482	620	9,661
	C/A	22.4%	11.2%	32.2%	20.7%	16.1%	17.6%	17.3%
数 学	A	30,108	23,606	168	270	1,396	1,834	55,548
	B	22,521	18,991	136	192	840	1,168	42,680
	B/A	74.8%	80.4%	81.0%	71.1%	60.2%	63.7%	76.7%
	C	13,377	8,532	77	113	466	656	22,565
	C/A	44.4%	36.1%	45.8%	41.9%	33.4%	35.8%	40.6%
理 科	A	27,155	20,700	194	247	1,419	1,860	49,715
	B	20,905	16,390	164	175	905	1,244	38,539
	B/A	77.0%	79.2%	84.5%	70.9%	63.8%	66.9%	77.5%
	C	12,650	6,754	95	103	488	686	20,090
	C/A	46.6%	32.6%	49.0%	41.7%	34.4%	36.9%	40.4%
外 国 語	A	29,215	28,709	172	189	939	1,300	59,224
	B	15,786	18,662	128	107	429	664	35,112
	B/A	54.0%	65.0%	74.4%	56.6%	45.7%	51.1%	59.3%
	C	4,750	3,668	48	36	163	247	8,665
	C/A	16.3%	12.8%	27.9%	19.0%	17.4%	19.0%	14.6%

※この表は文部省が全国の公立学校を対象に平成 11 年 3 月におこなった「学校における情報教育の実態等に関する調査」の結果を基にまとめたものです。※ A: 教員数, B: 操作できる教員数, C: 指導できる教員数

※ 操作できる教員、指導できる教員の定義は表 6 に同じ。