

大学の一般情報教育におけるコンピュータの構成と仕組みに関する

学習手法の一提案とその試行

布施 泉¹⁾, 岡部 成玄¹⁾

1) 北海道大学

ifuse@iic.hokudai.ac.jp

概要：本稿では、大学の一般情報教育において、コンピュータの構成としくみの理解を目指して行った学習手法を 2 例紹介し、その試行実践の結果について報告する。一つは、文系学生を対象とした概念の例示化を用いた学習手法案、もう一つは理系学生を対象とした NAND ゲートを実際に用い、論理回路を実際に組み立て確認する学習手法案である。いずれも学習者の反応はよい。本試行実践を踏まえ、学習手法を洗練化することにより、より効果的な学習が見込めると考える。

1 はじめに

情報技術の進展の中、学習者はスマートフォンを始めとした情報通信機器を日常的に利用しているものの、その構成や仕組みを理解しようと試みることは少なく、ブラックボックスのままでの利用であることさえ意識する学習者は一般に少ないと思われる。今後の初等中等教育における情報教育の新学習指導要領の検討に際しては、情報の科学的理解に関する学習に力を入れることが想定されているが、初等中等教育から高等教育あるいは生涯教育に至るまで、万人が学ぶべき一般情報教育の内容について、発達段階を踏まえ系統的に検討することが必要な時期に来ていると考える。

本論文では、コンピュータの基本的な構成やしくみの原理の理解に関し、高等教育における一般情報教育として、どのような学習範囲と深さ、位置づけで学ぶのが適当であるか、そのために適切な学習手法を含めて検討することを目的とする。また、そのために行った試行的な実践について、内容と結果ならびに考察について報告する。

北海道大学では、現在、一般情報教育科目を 2 科目開講しており、1 年前期に必修として開講する情報学 I (実習中心) と、1 年後期に選択として開講する情報学 II (座学中心) から構成されている。前期の情報学 I では、2600 名の入学生を 20 名程度の少人数に分け、統一カリキュラムで教育を行っている。全学生必修の教育として、情報社会における情報の管理の重要性をはじめ、被害者にも加害者にもならないために、情報倫理、情報

セキュリティに関する適切な知識と態度を身につけることを求めている。2015 年度は、情報倫理ビデオを活用した情報倫理教育を最終 15 回以外の 14 回にわたって少しずつ取り上げた。さらに情報学 I では、音・画像のデジタル表現や HTML 文書の作成、公開鍵暗号や IP アドレスの確認といった情報科学に関する基礎知識や仕組みの確認、グループでの議論や教材作成、相互評価といった協同的学習を絡めて授業を構成している。2 単位の授業としては、かなりの内容と量であり、これ以上の学習項目を組み込むことは現時点では難しい。授業体制としては、20 名程度の少人数教育を確保するために、授業者・授業補助者 (TA 等) を多数 (延べ人数 130-140 名) 活用し、評価基準などの統一化を図って授業を運営している。また、毎年の学習者のスキルや情報に関わる知識や意識の状況を確認し、次年度に向けた内容の検討を行っている。その際には、上記授業者・授業補助者が確実に理解・授業展開できるものとして、学習内容と教材および教育に際する手法を提示・確認することが必要となる。そのため、著者らは、TA を履修者とする大学院共通科目「情報学教育特論」を開講し、当該授業の中で、情報学 I の履修者の状況を授業補助者である TA に確認し、課題内容の妥当性を評価する機会を確保している。

一方、後期開講の情報学 II は座学の授業であり、通常は前期に情報学 I を履修・習得している学生を対象とする。共通教科書を用いることは決まっているものの、毎時間の統一カリキュラムが定め

られているわけではなく、担当教員の裁量は情報学 I と比して広い。情報科学および情報社会に関する、より深い知識の理解を求め、より高度な情報活用能力の育成をはかる科目であり、文系、理系等学習者の特性に応じた手法を工夫する余地がある。

2015 年度現在、大学では、高等学校で、旧カリキュラムの「情報 A」「情報 B」「情報 C」のいずれかは履修した学生が入学しているが、2016 年度からは、新カリキュラム「情報の科学」「社会と情報」の履修者が初めて入学してくる。高等学校のカリキュラム変更で、学習者の基礎的知識や意識等に違いが生じるか否かは、大学における一般情報教育の授業構成を検討するにあたり、影響をもたらす。本報告は、コンピュータ構成と仕組みという学習項目において、旧カリキュラムの学習者の知識や意識、興味の状況を確認し、現状での効果的な学習手法について検討を進めることで、次年度以降との変化を見極め、さらに効果的な学習手法を検討することも想定している。

2 コンピュータの構成としくみに関する基礎知識と学習手法の検討

2.1 用語調査

2013 年度後期の情報学 II の授業（10 月 8 日実施）で、文系学生 67 名に対し、情報関連の用語の認識度合いを確認した。全体で 150 程度の用語を取り上げたが、本報告の学習項目に関係した結果の一部を表 1 に示す。各用語に対して、日常生活で知っている、学校で学んだ（大学入学前、大学入学後）、知らない、の 4 択から、複数回答ありとして回答を求めた調査結果である。理系学生 50 名程度についても同様に調査を行ったが、全体の傾向は概ね同様である。

表 1 で、CPU、メモリ、OS という用語は、7 割から 9 割が「知っている」もしくは「学校で学んだ」と答え、比較的認知度が高いものの、CPU に対応する日本語である「中央処理装置」や、OS をあらかず「オペレーティングシステム」については 7 割程度が「知らない」と答えており、CPU や OS といった名前を聞いたことがある、という程度の認識であると思われる。学校教育で扱われることが少ない項目であろうことがうかがわれる。一方、二進法は大学前に、標準化と量子化は大学で、授業時に取り上げられていることがわかる。

表 1 に提示した上記以外の用語は、そもそも「知らない」との回答割合が高いものが多いことがわかる。本状況においては、大学の授業の中で、コンピュータの構成と仕組みを取り上げる際には、高等学校まででは学んでこなかったものとして、用語を含めた基礎的などころからの説明が必要であることがわかる。

表 1 情報に関わる用語の認識度合い（複数回答あり）の結果（2013 年度入学生文系 67 名）

用語	知っている	大学入学前に学校で学んだ	大学入学後、学校で学んだ	知らない
中央処理装置	20%	9%	1%	70%
CPU	55%	9%	7%	29%
主記憶装置	17%	8%	5%	71%
メモリ	77%	9%	4%	10%
オペレーティングシステム	22%	5%	9%	64%
OS	65%	4%	6%	25%
機械語	9%	9%	8%	74%
集積回路	36%	20%	4%	39%
半加算回路	2%	2%	2%	96%
論理回路	8%	3%	2%	88%
論理演算	6%	6%	3%	85%
符号化	11%	2%	33%	55%
標準化	16%	11%	61%	11%
量子化	8%	10%	63%	19%
二進法	31%	50%	10%	10%

2.2 概念の例示化を用いた学習手法案

表 1 では掲載していないが、「検索エンジン」「OR 検索」「AND 検索」との検索関連用語に関しても同時に調査した。総じて学習者の認知度は高く、知らないとの回答割合は、それぞれ 4%、16%、14%にすぎない。現状では、ある学習内容を理解させるために、当該内容を調査させる課題を課した場合、学習者はインターネット上にある情報を検索してピックアップし、まとめることを日常的に行っている。学習者にとってはそれが当たり前のことであり、引用を適切にすることを注意する必要があることを認識している程度に見受けられる。しかし、そのような切り貼りレポートでは、当該学習項目に対し、自らが内容を理解し

知識を構築するといった構成主義的要素が入っていないため、知識として身につかないことが往々にして起こる。さらには、検索でヒットした情報の信頼性を吟味することさえしていない学習者は、漫然と誤った認識のレポートを提出するにとどまることとなる。そこで本節では、単に調べるだけの学習ではなく、その概念の例示化と当該例示化への評価を行うことで知識構築を促す試みを行った。具体的には、コンピュータの構成の項目で、キャッシュメモリの役割の理解を主眼に以下の手順で授業実践を行った。

科目：2013年度後期 情報学 II

日時：2014年1月21日～1月28日

対象：文系1年生20名（表1とは異なるクラス）
実践手順

- 1) 1月21日の授業では、コンピュータの構成としくみを取り上げた。授業スライドで、キャッシュメモリに関する説明を行った上で、教科書該当箇所の確認と、韓国高麗大学で開発された授業教材を提示し、当該教材に関し、工夫されている点や問題点等を含め、当該教材の評価を行うことを翌週までの課題として課した。
- 2) 1)の課題では、学習者が、まずは各自でキャッシュメモリについて、インターネットを含む文献を調べた上で、1)で提示された高麗大学の開発教材が本来の概念をどの程度うまく表現しているか、わかりやすいか、有用かについて、5件法で評価する。その上で、加点の自由課題として、当該教材の改善教材や学習者自身の独自教材について検討した。

高麗大学の開発教材では、コンピュータのキャッシュメモリの概念を、ハンバーガー作りのレシピとして例示して説明を行っている。実際に存在する装置やしくみ等について、その概念を上手に例示して表現することは、思いのほか難しいものである。学習活動の中で、他者に教えることにより学びを深化させる活動は一般的に行われていると思われるが、説明として、例示という独自表現を課すことは、単に事実関係を説明する以上に難しく、また他者に誤解を生じさせる弱点も持ちうる。本教材は、高麗大学の KimJamee 氏や JangYunjae 氏らが、教師の卵である学習者に対し、教材開発としての例示表現を試行錯誤させる

中で、学習者の認識を深めることを想定し、PBL的に取り組んでいるものの中で紹介されたものである[1][2]。本実践では、高麗大学で提案された既存の例示表現の教材を確認し、評価することを通して、キャッシュメモリについて学ぶことを課した。当該教材がどの程度キャッシュメモリの本来の概念をうまく表現しているかを評価するには、キャッシュメモリを単に検索してコピーしたような作業だけでは回答ができない。内容を理解した上で、何が例示として端的に表現されており、何が例示により表現されなくなったか誤解されるか、あるいはかえって理解を難しくするか等を見極める必要がある。このような評価活動も、結果として、元の概念を深く理解することに資すると考える。

2.3 論理回路を実際に組み立てる学習手法案

前節では、文系の学習者に対し、概念の例示化を課す課題、もしくは概念の例示化を行った教材評価を行う学習手法を示した。本節では、論理回路を紙ベースで確認したあとに、ブレッドボードとCMOSのNANDゲートを利用した実体験型の学習手法について報告する。2014年度の理系の学習者を対象とし、以下の手順で行った。

科目：2014年度後期 情報学 II

日時：2014年10月24日～11月7日

対象：理系20名

テーマ：論理演算と論理回路

実践手順

- 1) 10月24日：コンピュータの歴史およびブレッドボードの基本的な利用方法は、前回授業(10/17)で行った。24日は、コンピュータにおける論理演算と論理回路との対応関係、2進数（補数含む）に関する説明を行った。論理演算と論理回路に関しては、用紙に各自が記入しながら理解する方式を取った。当該用紙には、2入力1出力時の16種類の論理表現の中で、8種の論理演算をベン図に示す例、半加算回路の論理回路において、実際の信号の流れを4種類の2入力値（ $00 \rightarrow 0+0=00_{(2)}$, $10 \rightarrow 1+0=01_{(2)}$, $01 \rightarrow 0+1=01_{(2)}$, $11 \rightarrow 1+1=10_{(2)}$ ）それぞれにおいて、各論理ゲートを経由した際の値を逐次書き出し、その変化を追うことにより、本回路が、結果として1ビット同士の足し算の結果をもた

らすことを確認させた。順序回路としては、ORゲートで原始的な記憶が表現可能であることを示した上で、フリップフロップ回路の内容を示し、セット、リセット、保持の状態を表現していることを確認させた。

2)10月31日：NANDゲートを用いた実習を行った。ブレッドボードにNANDゲートを装着した簡易装置を一人一台配布し、NANDだけで、NOT・AND・ORを表現することを確認させることでNANDの万能性を示す(図1参照)。電源として、それぞれ単三電池2個を用意し、出力値は、LEDの点灯の有無により確認することとした。

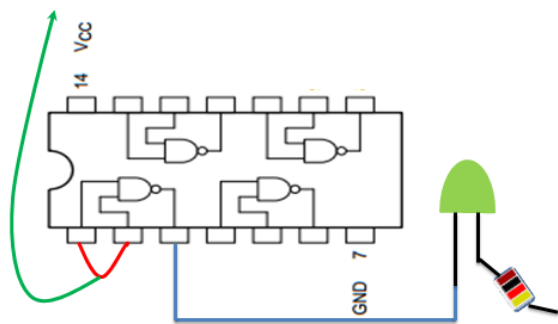
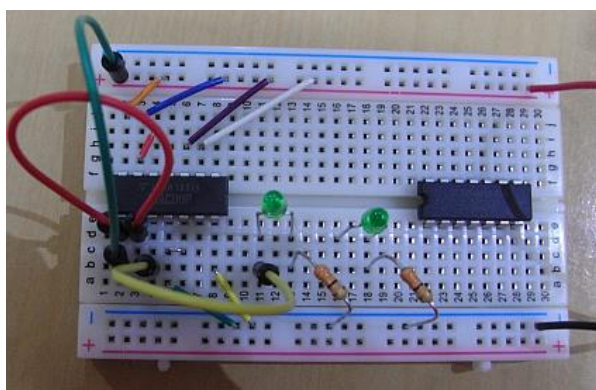


図1 NANDを用いたNOT表現。LED点灯有無で1/0を表現する。図では入力1でLEDは消灯しており(出力0)、NOTを表している。

3)11月7日：前の週に、実際の回路で行ったことを、再び紙上で確認する。論理表現上の式変換が、前週のNAND回路の実験で行った内容と本質的に同等であることを理解させることが目的である。特に、NANDやNORの万能性と、XORの表現を例にとり、論理表現が一意的でないことを確認させた。

3 実践結果と考察

前章における2種の実践結果を示す。

3.1 概念の例示化を用いた実践結果と考察

先に例示した教材が、キャッシュメモリの本来の概念をどの程度うまく表現しているか、わかりやすいか、有用かの評価結果を表2に示す。

表2 キャッシュメモリの教材評価結果(20名。わかりやすさと有用性については1名未記入)

評価	概念の表現程度	わかりやすさ	有用性
5(高)	0	2	4
4	15	8	6
3	4	5	7
2	1	3	1
1(低)	0	1	1

表2より、当該概念をどの程度うまく表現できているかの評価は、一見、概ねよいようにみえる。学習者には、課題として、評価値だけでなく、その評価をつけた説明を記載させているが、特に悪い評価である2および3をつけた2名の説明を以下に抜粋する。「例えは悪くないと思うが、如何せん食べ物为例にとっているのが、複数回同じ材料を使うという点がひっかかって、理解の妨げになると思う。(略)」「中央処理装置がキャッシュメモリとも主記憶とも直接やり取りできるということを表せている。これは考えてみると意外に難しかった。ただし、キャッシュメモリと違って食材は使えなくなる(略)」。いずれも、当該例示で食材を使うことによる、わかりにくさと妥当性の問題を指摘していることがわかる。この両名は、後日行った小テストにおける加算回路関係の設問をすべて正しく答えられていた学習者である。表2の評価は、単に例示教材の評価値を提示したものであるが、実際は、評価値とその説明を合わせて把握することにより、学習者がどの程度の認識を持って評価値を出したか、つまり、学習者が当該学習項目をどの程度理解しているかを識別できる可能性があることがわかる。また、他者の教材を評価することで、当該学習項目を深く理解するとともに、その例示の不完全さを解消するために独自教材を考察することで、さらに認識を深めることが可能であろう。特に前者の学習者は、独自の

例示として、手紙の内容を、必ず単語カードを見て書く例を挙げ、よく使う単語カードを手元に置き、キャッシュメモリとする例を示した。単語カードは食べ物とは異なり、何度でも用いることができる。

また、別の学習者は、「難しい物事を簡単に説明するにはそのことについての深い知識だけでなく独創性や考える力が不可欠なので、キャッシュメモリの概念を、ハンバーガーという身近な例に置き換えて考えようとしているのは評価できる。」とコメントしており、情報科学に関する題材を例示により説明するような本実践の意義そのものについても評価していた。

授業終了後に、例示による概念理解の学習に関し、アンケートを行ったところ、75%の学習者が回答し、このような例示を用いた学習を行うことにより、当該概念の理解に役立つと答えた学習者は約7割、当該概念に興味を持つと答えた学習者は9割に近く、極めて高いことが確認された。

これらの結果から、概念の例示化を考えることによる学習手法は、正しく手続きを踏むことで高い効果が期待されると考える。但し、繰り返しになるが、その例示がどのような誤解を生む可能性があるかを学習者間で相互評価をさせる等の手順を踏むことは不可欠であろう。例示に対する他者の認識を確認し、誤った理解にならないように気を付ける必要がある。また、偏った理解にならないためにも、例示化の学習手法だけではなく、例示化によって学習者の興味を引きだした後に、実際の実習などで、元の概念そのものを確認するような授業構成が必要であると考えられる。

3.2 論理回路を実際に組み立てる学習手法の実践結果

2.2 による実践において、紙ベースの論理演算の授業を終えた後に、当該用紙を提出させて確認したところ、「論理演算というものを初めて知り、とてもおもしろいと思った。」といった感想を複数確認した。また、実際に NAND ゲートでの実験後には、白紙の用紙に自由に意見感想を記入させたところ、以下のように、概ね良好なコメントが多かった。但し、難しい、つなぎ方がわからないといったコメントも含まれており、この部分は改善が必要である。実際の NAND ゲートの実践により、NAND が万能であることは学習者全体に、概ね理

解されたようである。「NAND をたくさん使うことで、すべてを表現できることを理解した。難しかったけど、パズルのようでおもしろかった。

(略)」「回路の中を自分で理解しながら NAND、XOR などを使ったり、半加算回路を作ったりするのはとても難しいが面白いと思った。(略)」

「NAND はすべての表現ができるものであるということがわかった。でもなんで使った回路がそのことを表しているかがいまいちわからなかったので家で復習します。(略)」「どれが0か1か、よく分からなかった。(略)」など、面白かったと答えた学習者を含め、いずれも難しかったようではある。実際の回路に触ることが初めての学習者が殆どであり、接続等に関し、よりわかりやすい説明資料を補足する必要があった。補足資料を用意することにより、「どのように接続すると0や1に対応するか」といった疑問は、容易に解消させることができると考えられる。また、やりがいはかなり高かったものの、「うまくいった時はもちろんうれしかったのですが、失敗した際どこが間違えているのか考察することが大変でした。」といった感想もあるため、一人一台ではなく、二人で一台にするか、二名で確認しあうことを手順として求めることが必要と考えられる。また、グループ活動として、各自が NOT/AND/OR のどれかを確認し、それらを合わせることで、半加算回路を表現させるような構成も可能である。このようなグループ活動の方が、学習者にとってわかりやすかったかもしれない。本試行では、90分の時間では XOR まで到達できた学習者は結果として少なかった。

NAND ゲートを用いた実験から4週間後に小テストを行い、NOR の万能性について出題した。授業時では NAND の話のみで実践を行っており、比較的、高次の理解を求める内容であると考えられる。内容は(1)NOR ゲートから NOT を作るためには、どのように接続するとよいか、(2)その理由、(3)OR を NOR ゲートで表現するにはどうすればよいか、という3問である。関連する3回の授業にいずれも出席し、かつ小テストに出席した学生は17名であるが、うち7名はこれらの NOR に関する設問については、すべて間違えて回答した。この間違えた学習者についての NAND ゲートの実践授業後の感想を確認したところ、上記の0/1がわからない、あいまいな部分がある、等、きちんと理解をしていない感想を書いている場合が殆どであっ

た。一方、NORでも基本的な問いに正解した学習者は、「なんとなく仕組みはわかりました。でもちょっと複雑で自分では思いつかないなと思いました。さらに、回路に実際につないでやるのはとても難しかったです。」「高校では原理しかやらなかった回路を実際に触ることができて難しかったが面白かった。以前より興味が増した。」など、授業時に仕組みについては理解していた学習者であることがわかった。従って、上述したように、より詳細な補足資料を提示し、またグループ活動として、論理ゲートを組み合わせる回路を実現するといった活動を行うことにより、学習効果の向上が見込めると考える。上記の点を改善し、2015年度も再実験を行う予定である。

また、本試行では、紙媒体、論理ゲートを用いた実験、紙媒体といった手順で授業をデザインしたが、実際に試行した結果、NANDの万能性や、表現が一意的でないことを机上で予め示し、学習者に確認させた上で、実験を行った方が効果的である可能性があると考え。例えば、NANDゲートを用いた実験では、AND2個、NOT1個、OR1個により、XORを表現させることを行い、それにより、半加算回路を理解させることを行ったが、事前に、XORの表現が、4個のNANDでも表現できることを確認させておけば、上記のグループワークとして、異なる表現であっても、同じ結果となることを実際の機器からの出力で確認できていたと思われる。論理表現において、このような別の可能性を考察することは、より深い認識をさせることに役立つと考える。

4 まとめ

本論文では、大学における一般情報教育として、コンピュータの構成と仕組みの学習内容を、どの

ような学習手法で行うことが効果的かを確認するために、2つの学習手法案を示した。現状において、学習者は、コンピュータの構成や仕組みについて、きちんとした理解をしないままに大学に入学してくるため、より基礎的な知識から学習内容を構成することが必要である。

コンピュータを単なるブラックボックスではなく、仕組みの概要をきちんと理解させることは、単なる知識教育にとどまらず、情報社会に参画する際に基本技術を踏まえた基礎的な発想力を生む原動力としても役立つものであると考える。本論文では、文系学生を対象とした概念の例示化を用いる手法、理系学生を対象としたNANDゲートを用いた論理回路の理解に関する学習手法を示した。ともに学習者の反応はよい。より学習手法を洗練化することにより、学習者の興味関心を引いた形で学習活動を行うことができるものとする。手法の洗練化を検討し、授業補助者による効果的な授業実践も可能になるように、今後、学習プランと詳細な実施手順についても検討を進めたいと考えている。

参考文献

- [1] 金子美, JangYunjae, 李元揆, 私信.
- [2] 布施泉, 岡部成玄, 金子美, "教材開発による学習者の理解向上を目指したコンピュータ科学の学習手法", 2014PC Conference, pp.146-pp.147(2014).