

アンプラグドコンピュータサイエンスと 板書講義を併用した 大学でのアルゴリズムの授業

和田 勉[†]

アンプラグドコンピュータサイエンスの各「学習」等と板書による説明を、おおよそ1コマずつ交互に行う、アルゴリズムの授業を行っている。アンプラグドコンピュータサイエンスは、主に子供を対象にコンピュータサイエンスの各概念をおおまかに理解させるためにデザインされ用いられてきたが、本授業ではこれに黒板での講義を組み合わせ、より正確かつ深い理解に導くようにし、大学での授業として適した形にすることを狙って授業計画をデザインした。本発表では、この授業の全体計画、実際に実施した様子、その試験などについて報告する。

An university's class on algorithms using both Computer Science Unplugged and chalkboard lecture

Ben Tsutom WADA[†]

I am teaching a class for algorithms with the activities in Computer Science Unplugged, combined with traditional lectures with a chalkboard, almost one after the other. Although the original Computer Science Unplugged was designed and is utilized mainly for children to be understood roughly the concepts of computer sciences, but I designed my class to compose it with lectures with a chalkboard, so that students will understand those concepts in computer science more deeply and preciously. Moreover I designed its annual plan so that it will be adequate as a lecture of universities. In my presentation, I report the whole plan, its practical scenes, the examination of this class.

1. はじめに

アンプラグドコンピュータサイエンス[1] (以下アンプラグドと略する) はもともと、小学生程度の子供にコンピュータサイエンスの重要な各原理をおおまかに教える目的を想定してデザインされた。一方日本においては[2], 小学生程度の子供に対しても行われているが[3], それよりも多く、中学生や高校生に対して教える場で用いられ、すぐれた成果が報告されている[4][5][6]。さらには、大学においてもこれを用いた教育が他所でも行われている[7]。

筆者は 2008 年度から、所属大学での授業「アルゴリズムとデータ構造/コンピューティング科学」において、アンプラグドと板書授業をおよそ1回ごとに交互に行う授業を行っている。本報告では、2008 年度および 2009 年度(進行中)の、この授業の計画・実際の授業の様子・試験とその結果を報告する。

2. 授業計画[a]

筆者は、2007 年度までのこの授業の前身「コンピューティング科学」においても、板書授業を中心にしつつも、ハノイの塔、トランプカード(整列に使用)、掛図(同 再帰呼び出し)なども用いた独自の工夫を行っていた。

2008 年度からは、アンプラグドを大幅に取り入れて授業計画をデザインしなおし、それぞれの「学習」を行ったあと、それに対応する板書授業を行ってよりきちんとした理論的側面を解説して、大学でのアルゴリズムの授業としてふさわしい程度までの理解を促す、という方式にした。それにより、単におおまかに概念を体得するだけでなく、各概念をきちんとアルゴリズムの形でとらえられるようにした。また、[1]に述べられている「学習」と並び、それまで自分で工夫してきた、上記の、ハノイの塔・トランプカードなどを用いた「学習」も用いている。

表 1 に、2009 年度のこの授業の授業概要を示す。授業計画は前年度中に立案したが、本稿執筆時点では 4 月の開始から 14 回を終わっている。それまでの部分は実際の進行を、そのあとは現時点での授業計画を示した。週 2 回・各 90 分の予定で計画したが、時間割の都合がついて週 1 回・180 分授業として行っている。なお、受講している学生は、企業情報学部企業情報学科および産業社会学部産業情報学科の学部 2~4 年生、12~14 名程度である。

表 1 から分かるように、例えば探索に関して(第 9,10,11 回)では、まずアンプラグドの「戦艦(数あてゲーム)」を行なったあと探索アルゴリズムを解説する、あるいは

[†] 長野大学企業情報学部

Department of Business and Informatics, Nagano University

a) 本報告においては、各「学習」の内容については詳しく説明していない。それについては詳しくは[1]を参照されたい。

| | |
|---|---|
| 第 1,2 回 | この授業の案内, 「色を数で表す」-ランレングス符号化 U ハノイの塔の紹介 |
| 第 3,4 回 | 「それ, さっきも言った!」-文字列の圧縮 U アルゴリズムとは, アルゴリズムの洗練, 3 要素のうち「連続」 C |
| 第 5,6 回 | アルゴリズムの 3 要素のうち「選択」 C 「カード交換の手品」-2 次元パリティ U |
| 第 7,8 回 | アルゴリズムの 3 要素のうち「繰り返し」 C 最大値を求めるアルゴリズム, 既定回反復と不定回反復 C |
| 第 9,10 回 | 「戦艦」-線形探索と 2 分探索とハッシュ法 U 線形探索法と 2 分探索法のアルゴリズム C |
| 第 11,12 回 | ハッシュ法のアルゴリズム U 「いちばん軽いといちばん重い」 U |
| 第 13,14 回 | 「いちばん軽いといちばん重い」続 U クイックソート, 挿入ソート, マージソート U,C |
| 第 15 回 | 「時間内に仕事を終わる」-並び替えネットワーク U |
| 第 16 回 | モジュール性 C |
| 第 17 回 | 第 1 回試験 C,U |
| 第 18 回 | 試験問題の解説 C |
| 第 19 回 | 再帰による階乗計算と文字列反転のアルゴリズム, ハノイの塔 C |
| 第 20 回 | 再帰によるハノイの塔のアルゴリズム C |
| 第 21 回 | ハノイの塔のアルゴリズムのプログラムによる実行 C |
| 第 22 回 | ハノイの塔の枚数と移動回数との関係, べき乗での増加 C |
| 第 23 回 | マージソート C |
| 第 24 回 | 「マッディ市プロジェクト」-最小全域木 U |
| 第 25 回 | 並列加算 C |
| 第 26 回 | 並列ソート C |
| 第 27 回 | レコード, 配列, キュー, スタック C |
| 第 28 回 | 木構造, 「みかんゲーム」-ネットワークにおけるルーティングとデッド ロック C,U |
| 第 29 回 | 計算の複雑さ-1 C |
| 第 30 回 | 計算の複雑さ-2 C |
| C とある回には 2 冊のうち「計算機科学入門」を, U とある回には「アンプラグド コンピュータサイエンス」を主に使う. 第 14 回まではすでに実施した状況を, 第 15 回 からは予定を記す. | |

表 1 授業の進行・進行計画

「いちばん軽いといちばん重い (天秤ばかりをつかった整列)」を行なったあと整列アルゴリズムを解説する, などを行なっている. その際は「計算機科学入門[8]」を用いることが多いが, 同書に詳しい記述のないもの (第 3,4 回「それ, さっきも言った」(ランレングス符号化), 第 5,6 回 (2 次元パリティ) 他) については, [1]を用いて説明する場合もある.

3. 授業のようす

以下に, この授業のうちいくつかのようすを紹介する. 「学習〇」とあるのは[1]における「学習」の番号である.

3.1 第 1,2 回 学習 2 「色を数で表す」-ランレングス符号化 (FAX ゲーム)

初回は, 授業全体の説明のあと, さっそくランレングス符号化 (FAX ゲーム) を行った. これはすでに国内でも小学生や中学生に対して行われている[2][3]のものであり, 子供向けすぎて大学生にやらせても取り組ませにくい, という報告もある. しかし今回, 小学生や中学生に対して行なわれていたやり方 (筆者も見学や補助として実際に同席していた) とほぼ同じやり方で行ったが, 学生たちは皆, むしろ興味深くとりこんでいた. 「自分の絵を描こう」(自由に絵を描いて符号化したものを相互に交換して復元する) でも, 他の学生と交換したものを正しく復元できた学生もいる一方, できなかった学生もおり, そのようすは[2][3][4][5]で報告されているものと大差なかった. 授業終了後にひとりの学生 (留学生) が「パソコン画面の画素数が多いとなぜ良いのかわかった. おもしろかった.」と感想を述べていた. これは本来のこの「学習」の狙いとは少しずれた感想だが, アンプラグドに興味を持ったこと自体を含め, 良い反応ととらえられる. 当日の板書とそれにつづくアンプラグドのようすを

図 1 に示す.

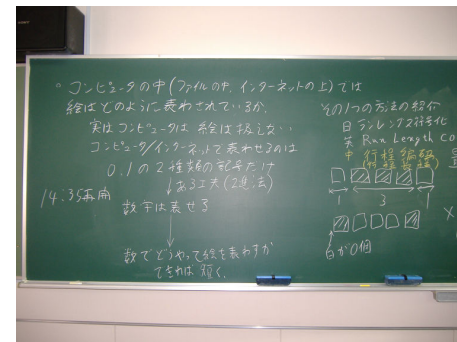


図 1 第 1,2 回授業のようす

3.2 第9,10,11回「戦艦」および探索アルゴリズム

1.5週(3回)を使って、「戦艦」のゲームと、その背景である探索のアルゴリズムについて扱った。互いに顔見知りではない同士で組んだペアもあったが特に大きな問題なくゲームを行うことができ、1A-1B(線形探索を想定したゲーム)、2A-2B(同二分探索)3A-3B(同ハッシュ法)それぞれで、「何回であることができたか」を挙手により集計して、線形探索より二分探索やハッシュ法のほうが効率的であることを理解させることを試みた。(図2)

この回の実施後に検討した、いくつかの課題や発展のためのアイデアを記す[b].

(1) 二分探索と「比例配分探索」

「戦艦」ゲームのうち2A-2Bは、「戦艦」の番号の昇順に並べてあり、著者・実施者側としては二分探索を想定している。学生(受講者)が自分で二分探索を考え出して実行してくれれば思惑どおりなのだが、実際にはそれよりも多くの学生が自分なりに工夫して行っていたのは、「比例配分探索[c)」だった。これは例えば「戦艦」ゲームではキーが数値でその取れる範囲が0~9999なので、例えば与えられた探索キーが2000だと、列の先頭から2割のところをまず見る(例えば列の長さが50なら、先頭から10番目のものを見る)という探索方式を指す。

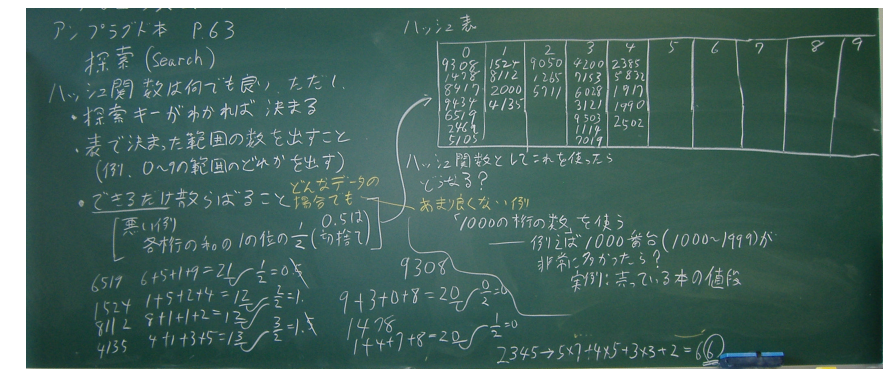
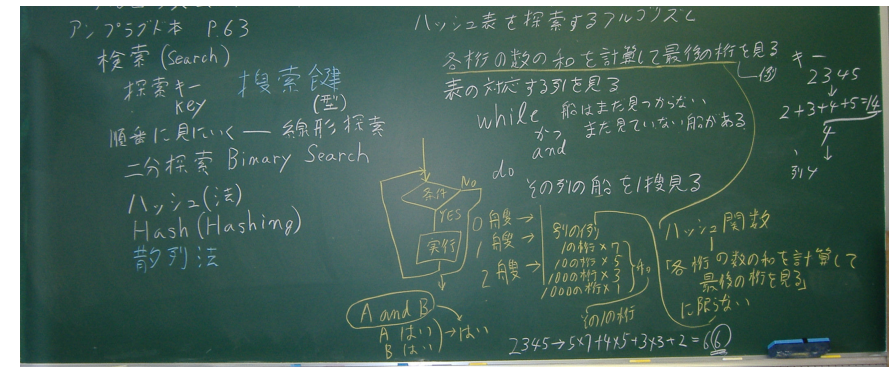
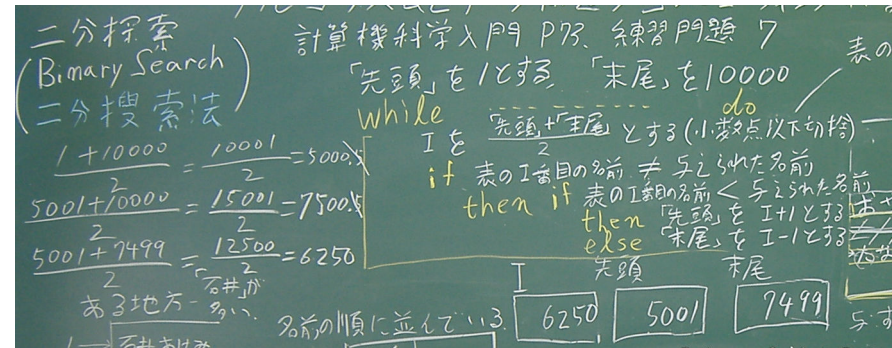
コンピューティングサイエンスを学んだ者は、整列されている表への探索は二分探索が有効、というのが常識だと考える。しかしこれは日常の感覚から必ずしも自然



図2 第9,10,11回の授業のようす

b) この節のこれ以降の部分は、謝辞に述べる方々との間で行なった議論をまとめたものである。記録にはもっとさまざまな議論が残っているが要点のみを記す。本報告は授業での実験的実践の報告のため単著だが、この部分に関しては本来は議論して下さった方々(謝辞に記載)との共著とすべき内容である。

c) 「比例配分探索」とは今回付けた名前である。



に導かれるアルゴリズムではなく、むしろこの「比例配分探索」のほうが日常の感覚に近い。この「比例配分探索」が有効なのは

1. キーの値がとれる範囲があらかじめわかっており
2. その分布が一様に近い（あまり極端にかたよってはいない）
3. 与えられた範囲の中間点を求めることと、比例配分した点をもとめることの手間があまり変わらない

場合である。これらは、日常的には多く経験することである。例えば辞書で英単語を調べる場合、最初の文字が例えば B なら辞書の先頭に近いところを、Y なら末尾に近いところをまず調べる、などは日常誰でも行なっていることである。

上記の条件は日常感覚に合致しているが、コンピューティングの世界では必ずしも保証されているとはいえない。それを考えると、（整列されていること以外には）状況が分からない対象に対しては二分探索がやはり優位にあると言える。それを体験させるために、1 と 2 についてはそれがあてはまらないようなデータ、すなわち分布が極端に偏ったような例を用意し、それでゲームさせることが有効であると考えられる[d]。

3 については次の(2)に述べる。

(2) アルゴリズムを考える前提

「どのくらい手数がかかるか」は、処理をコンピュータが行う場合と人間が行う場合で異なる。上記の「比例配分した点（おおざっぱでよいから）求める」ことは、人間にはたやすい（その代わり誤差は大きい）が、コンピュータが行うと、中間点を求めることに比べて手間にかかる仕事である（その代わり正確である）。これは、物理的なゲームを用いて行うアンプラグドの弱点（体験させていることとコンピューティングの世界でのことが異なる）でもあり、工夫を重ねて克服し、より正しい「コンピューティングでの現実」を理解させるようにすべき点でもある。

(3) 「コンピュータは記憶しない」「ミクロにしか見られない」

これも、日常での感覚とコンピュータでの現実が異なる点である。この「学習」に限らないが、人間がゲームを行う際は、明示的に記録しておいたもの以外にもそれまでの流れ自然に覚えており、判断に際して自然にその知識を活用する。また前述の「おおざっぱに比例配分する」とか、「数個のものの中から最大のものをみつける」といったことは、人間には自然に（そのかわり不正確に）行なえるが、コンピュータが「もともと」できることは、四則演算や 2 値の大小比較であり、それ以外のことはコンピュータではアルゴリズムを用意して計算しなければならず、（大小比較 1 回と比べると）多大な手数を要する。これは人間の日常感覚とかなり異なる。このことを、「学習」を工夫して感覚的に分らせることは、アルゴリズム等のコンピューティング科学上の重要概念を紹介することと並んで、アンプラグドの狙いであると言える。

d) [2]に報告されている教職課程の授業において、教職学生が同様のことに気づき独自の工夫をしている。

(4) 「ハッシュ法ゲーム」

ハッシュ法に関して、以下のような「宝島」風のゲームが考えられる。

- ハッシュ関数役を一人、探索役を一人選び、他の子供はデータ役とする。
- 0 番-9 番の場所を扇形に作って、真ん中にハッシュ関数役を置く。
- 最初に表を作成：データ役の人がひとりずつ、ハッシュ関数役のところに行く。例えばデータ役が「2345 です」と言うと、ハッシュ関数役は計算をして例えば「4 番！」と答え、データ役は 4 番の場所に入る。これを繰り返してハッシュ表を作る。
- 次に表を探索する：データ役は自分の数は隠しておく。探索役の人がハッシュ関数役のところに行く。例えば探索役が「2345 です」というと、ハッシュ関数役は計算をして「4 番！」と答えると、探索役は 4 番へ行き、そこにいるデータ役にひとりずつ数を聞いてゆく。
- ハッシュ関数を変えてみる：良い（散らばる）ハッシュ関数と散らばらないハッシュ関数でそれぞれ作成・探索をやってみる。

これはさらにアレンジができる。例えば、「場所 1 つには一人しか入れない」として、「ハッシュ関数に指示された場所にすでに人がいたらどうする」などであり、実際のハッシュ表と対応付けして今後工夫してみると面白いと思われる。[b]。

3.3 「いちばん軽いいちばん重い」および整列アルゴリズム

見た目は同じで重さの違ういくつものおもりを、天秤ばかりだけを使って整列するものである。天秤ばかりは 08 年度は玩具として市販されている天秤を使ったが、2 つの



図 3 ハンガー・洗濯ばさみ・紙コップ・ビー玉を用いた天秤

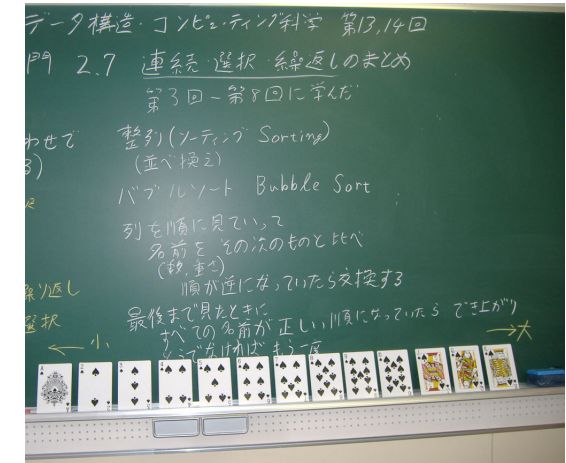


図 4 バブルソートの板書解説



図 6 バブルソートの板書解説 (続)

おもりの重量差が少ないとどちらが重いかがはっきりわからない場合があり、今回新たに工夫したのが図 3 である[e]。紙コップは使用時にティッシュを丸めたものでふたをする。真ん中に垂れ下がっている糸は、どちらに傾いているか判別しやすくするための基準線である。

この「学習」のあと、[8]を使用して板書授業を行なった(図 4 図 6)。[8]ではバブルソートが特に例として解説してあることから、それを例に、アンプラグドで概念を学んだことをアルゴリズムとしてきちんと記述することに導くようにした。

3.4 ハノイの塔

これは、09 年度はまだこの授業では未実施である。ハノイの塔はアンプラグド導入以前から用いているが、08 年度夏の学外イベントを契機に、通常の形のものに加え、大人数へのデモ用に図 5 のものを用意した。

もちろんこれは「再帰(再帰呼び出し)」を理解させるための方法であり、このあとに板書講義を行なっている(図 7, 図 8)。図 8 に示すように、再帰呼び出しを「自分自身のコピーを呼び出す」として



図 5
箱を用いたハノイの塔

e) 洗濯ばさみ, 紙コップ, ビー玉の部分は嘉田勝先生(大阪府立大学)のアイデアである。

解説している。

3.5 試験

この授業の成績評価のための試験として、アンプラグドを含めたペーパーテストを実施している。08 年度に実施した 2 回分を図 9 に示す。実際の試験では、同じ授業内で行なったアンプラグドと関係しないものを含めたが、ここにはアンプラグドに関係する問題だけを抜粋して示す。

試験は、本・ノートなどの持込み参照を認めて行なった。コンピュータ、インターネットの利用は禁止し、ファイル内容などはあらかじめプリントすればその紙は持込可とした。受講者はいずれも、欠席の多い者以外はかなり高い点を得た。

4. おわりに

アンプラグドと板書講義を組み合わせ、大学でのアルゴリズムの授業として行っている例を示した。通常、小中高で実施する場合は学習指導要領などからこのように多くの時間を割いて取り入れるわけにもいれないと思われ、またイベント等での実施では、集中的に人材を集めて良いものにするにはできるものの、時間の限られたものとなる。たまたまこれが実施できる授業をもっており、また内容をデザインする裁量も認められているため、このようなものがともかくも実施できており、一面、アンプラグドの新しい応用の実験の場ともなっている。

今回は実践の報告だが、今年度の進行中であり、終了時にはアンケートをとるなど評価材料を整えて再度報告したい。

謝辞 各会合で常日頃ご議論いただいている方々、特に moodle(dolittle-edu)でこの授業を紹介した際に御意見をいただいている、嘉田勝(大阪府立大学)、兼宗進(大阪電気通信大学)、野部緑(大阪府立桃谷高校)、保福やよい(神奈川県立松陽高校)、辰己丈夫(東京農工大学)、久野靖(筑波大学)の各氏に感謝する。特に 3.2 における記述は、この方々との議論の上で得られたものを書いているものである。

参考文献

- 1) Tim Bell, Ian H. Witten, Mike Fellows: Computer Science Unplugged, <http://csunplugged.com/>, 日本語訳 兼宗進(翻訳): コンピュータを使わない情報教育アンプラグドコンピュータサイエンス, イーテキスト研究所(2007)
- 2) 兼宗進, 久野靖: コンピュータサイエンスアンプラグドの状況と今後の展開, 情報処理学会研究報告, 2009-CE-98(23), pp.155-162 (2009)
- 3) 井戸坂幸男, 青木浩幸, 兼宗進, 久野靖: コンピュータサイエンスアンプラグドの小学生向け実践の取り組み, 情報教育シンポジウム SSS2008(A1-2)

- 4) 井戸坂幸男, 西田知博, 兼宗進, 久野靖: 中学校における CS アンブラグドの授業提案案, 情報処理学会研究報告, 2009-CE-98(24), pp.163-170 (2009)
- 5) 井戸坂幸男, 兼宗進, 久野靖: 中学校におけるコンピュータを使わない情報教育 (アンブラグド) の評価, 情報処理学会研究報告, 2009-CE-93(7), pp.49-56 (2008)
- 6) 保福やよい, 井戸坂幸男, 兼宗進, 久野靖: 高校情報 B における CS アンブラグドの活用, 情報教育シンポジウム SSS2008(A3-2)
- 7) 嘉田勝: 大学生もアンブラグドー洋書購読と模擬授業による授業実践, SSS2008(D-2)
- 8) L.Goldschlager, A.Lister, 武市正人他訳: 計算機科学入門 [第2版], サイエンス社 (2000年)

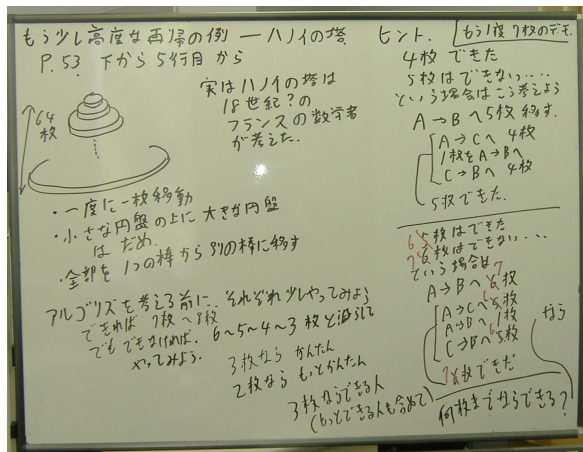
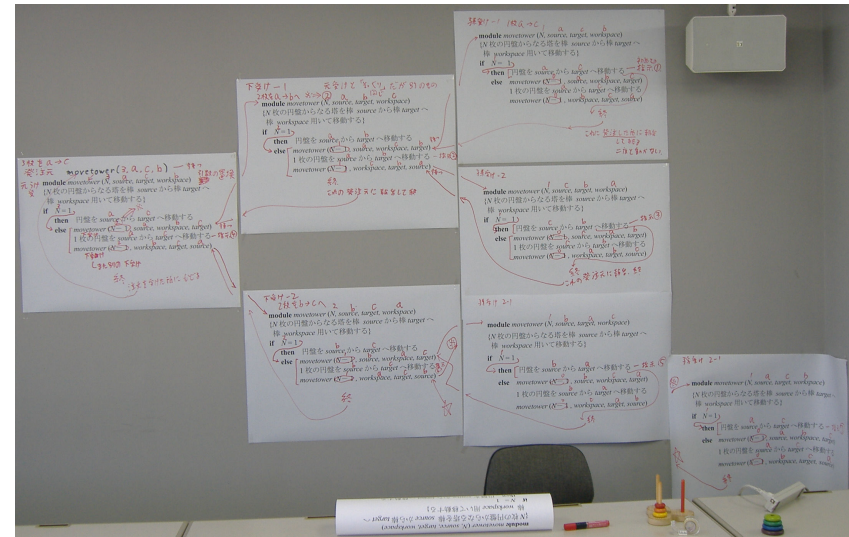


図7 ハノイの塔の板書解説

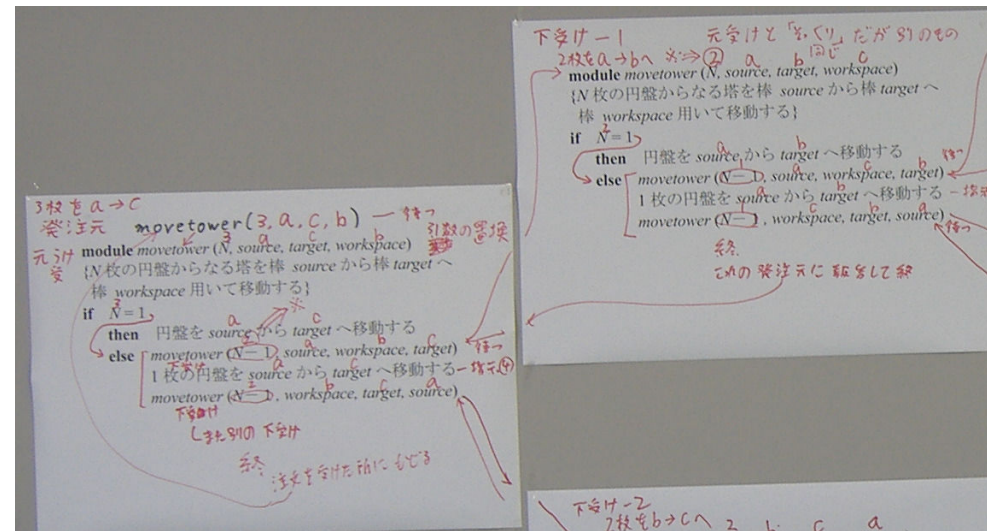
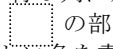
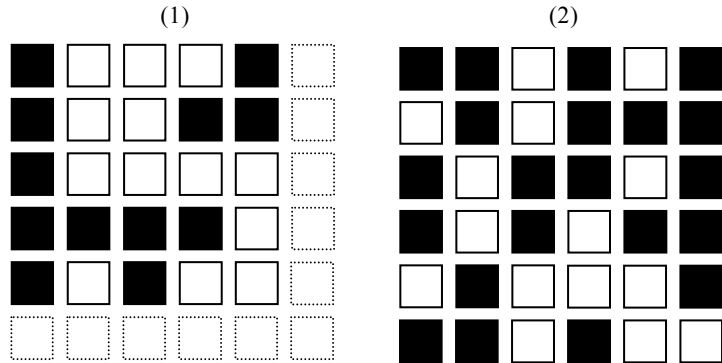


図8 ハノイの塔での再帰呼び出しの解説 全体図と拡大図

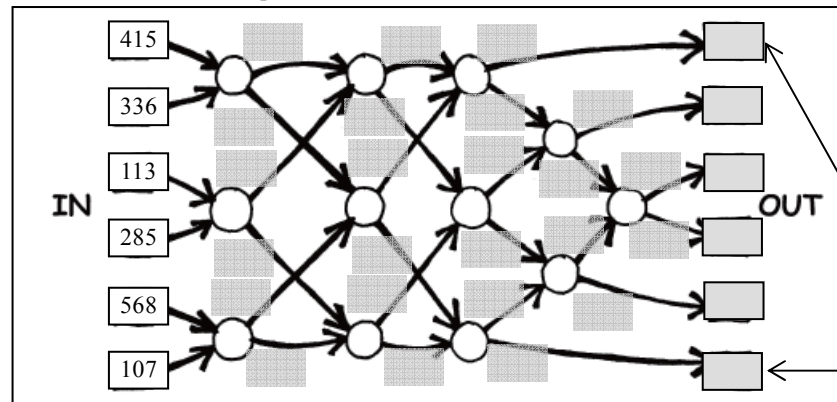
1-2. 「アンプラグドコンピュータサイエンス」の学習 4(p.31-36) を参考に、次の問いに答えなさい。(1)と(2)はそれぞれ別のカードの並びです。

(1) 図(1)は 5 行 5 列にカードが並べられたところです。学習 4 のやりかたに従って、解答用紙の  の部分それぞれに「白」または「黒」のどちらのカードを置けばいいか、正しい色を書きなさい。

(2) 図(2)は、A さんが 5 行 5 列のカードを置き、B さんがそれぞれの行や列の右と下に 1 枚ずつ加えて 6 行 6 列にしたあと、B さんが目をつぶっている間に A さんが 1 枚だけ裏返したところです。A さんはどのカードを裏返したのか、解答用紙上でそのカードを○で囲んで示しなさい。



1-4. 「アンプラグドコンピュータサイエンス」の学習 8(p.71-75)のソーティングネットワークを使って下図の「IN」の右に並んでいる 6 つの数を、上から大きい順に並べ替えます。解答用紙の図の灰色の部分すべてに適切な数字を書いて、「アンプラグドコンピュータサイエンス」 p.72 最下部の図と同様の図を完成させなさい。



ここに最も大きい数が来る

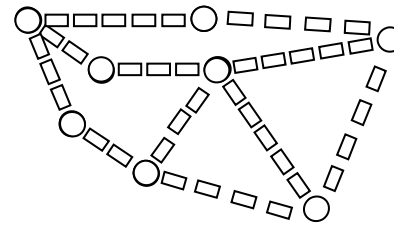
ここに最も小さい数が来る

2-1. 次の各文字列を、「アンプラグド」の学習 3 p.27 の方法を使って、できるだけ短く表現しなさい。

(例) B a n a n a → B a n (2,3)

(1)へんなくせなくせない (2)うらにわにわにわにわとりがいる

2-2. 以下の図の最小全域木(「アンプラグド」 p.78 での「最も費用の安くなる舗装経路」)を「舗装」する「敷石」を塗りつぶすことで示しなさい。答えは解答用紙の図に記入しなさい。なお最小全域木でない場合(塗りつぶす敷石がもっと少ない方法が他にある場合)は、不正解とします。



2-3. 以下の文中の(1)~(3)にあてはまるものを選択肢から選んで答えなさい。また(4)にあてはまる整数を答えなさい。

32000 個の名前が並んだ表の中に指定された名前があるかどうかを調べるアルゴリズムについて考える。線形探索法(「アンプラグド」での p.47 「線形探索ゲーム」)では、探す名前(船)を見つけるには、最大で(1)回の探索(攻撃)が必要になる。一方、二分探索法(同「二分探索ゲーム」)では、探索(攻撃)は最大で(2)回の探索(攻撃)が必要になる。

ハノイの塔で円盤を棒から別の棒へ全部移すのに必要な移動回数は、円盤の枚数によって大きく変わる。3 秒に 1 回移動するとすると、円盤 6 枚の場合は約 3 分で済むが、円盤 11 枚の場合は約(3)時間かかる。円盤 24 枚の場合は不眠不休で続けたとしても約一年半かかる計算になり、(4)枚の場合は約 24 年かかることになる。

(1)~(3)の選択肢

| | | | | | | |
|-----|-----|-----|------|------|-------|-------|
| 1.5 | 3 | 4.5 | 6 | 8 | 12 | 16 |
| 32 | 160 | 320 | 1600 | 3200 | 16000 | 32000 |

(4)には選択肢は無い。当てはまる整数を答えること。

図 9 アンプラグドの試験問題