

コンピュータサイエンスアンプラグドと板書講義を併用した大学でのアルゴリズムの授業—その後の改良と学生からの評価

和田 勉^{†1}

表記の授業に関し、その内容を紹介する。この授業については2009年7月に一度報告しているが、その後の改良を含めて、CS アンプラグドやそれ以外の工夫について紹介する。またこの授業の試験内容、受講学生の成績分布、および、授業で扱っている項目別に学生からの評価を求めたアンケートの結果を紹介する。

An university's class on algorithms using both Computer Science Unplugged and chalkboard lecture - its emprovement thereafter and evaluation from students

Ben Tsutom WADA¹

I introduce the contents of the class above. As I introduced about this class in July, 2009, now I introduce the effort about CS Unplugged and others for this class, incuding those improvements after the last report. And I introduce the contents of the examination, the distribution of its scores of students, and the result of the questionire concering to each teaching item of this class.

1. はじめに

コンピュータサイエンスアンプラグド [1] (以下 CS アンプラグドと略する) はもともとは、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」において、CS 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おり、2009年7月には本研究会でこれについて発表した[8]。

筆者はこの後も、小規模な改良を重ねながらこの授業を続けてきた。所属大学ですべての授業に関し実施する授業評価アンケートによりこの授業の全般的な評価は把握している。2013年度はこれに加え、この授業内で実施した個々のCS アンプラグド等の各項目別に評価を問うアンケートを実施した。

本発表では、[8]以降の本授業の変更点、変更した個別の内容のうちいくつか、およびこれまでの学生からの評価を紹介する。

2. 授業の位置づけ・受講者・構成

2.1 位置づけと受講者

図1は、2013年度の「アルゴリズムとデータ構造」の各回の内容である。授業は4月～7月に行われ、1回は90分(1コマ)で、30回の授業を行なう4単位授業であり、第1回と第2回、第3回と第4回...をそれぞれ2コマの連続した時間帯に実施し15週間で授業を行なった。

企業情報学部企業情報学科の2年生以上が履修できる選択科目であり、受講者数は20～50人程度と年によって異なる。企業情報学部企業情報学科は「経営」「情報」「デザイン」を含む学科であるため、受講学生も一般事務系会社員を目指す者、デザインに主たる興味がある者、ソフトウェア技術を学びたい者(かなりの留学生および少数の日本人学生)と様々であり、受講者に共通のモチベーションを期待することはできない。

制度上は専門科目に位置付けられているが、上記のような事情のため内容的には「両にらみ」で構成してある。すなわち「情報科学・技術の専門家になる者は当然身につけておくべき内容で、同時に特に情報関係分野の職業に就かない者にもみな知ってほしい内容」を基準として内容を選んでおり、このことは受講している学生にも伝えている。

教科書は2冊を併用している。図1でUとある回ではCS アンプラグドの本[1]を、Cとある回には「計算機科学入門」[9]を使用している。両方を使用する回、どちらも使用せず進める回もある。

^{†1} 長野大学
Nagano University

第1回	この授業の案内・注意点 CS アンブラグドとは CS アンブラグドの中国語版、韓国語版等の本	第16回	前年度試験問題を用いた解説
第2回	画像の符号化「色を数で表す」 —画像のランレングス符号化 (FAX ゲーム) U 「点を数える」(2進法カード) U	第17回	第1回試験と解説
第3回	数の符号化、文字の符号化、音の符号化	第18回	第1回試験と解説(続) C,U タートルグラフィックス—モジュール性 C
第4回	「それ、さっきも言った!」-文字列の圧縮 文字列を重ねない例「Pitter Patter」、文字列が重なる例「banana」「おいしいしいたけ」等 U	第19回	モジュール性 C 再帰による階乗計算のアルゴリズム C
第5回	アルゴリズム-プログラムとは、アルゴリズムの洗練、3要素のうち「連続」 C アルゴリズムのゲーム—アルゴロジック	第20回	「そっくりハウス」上映 再帰による文字列反転のアルゴリズム C
第6回	アルゴリズムの3要素のうち「選択」 C	第21回	ハノイの塔、再帰によるハノイの塔のアルゴリズム、ハノイの塔のアルゴリズムのトレース
第7回	アルゴリズムの3要素のうち「繰り返し」 C	第22回	ハノイの塔の枚数と移動回数の関係・べき乗での増加 C 対数グラフ
第8回	アルゴロジックでの繰り返しゲーム さまざまなループ C	第23回	対数の概念
第9回	「戦艦」—線形探索法、2分探索法 U	第24回	「マッディ市プロジェクト」-最小全域木 U 「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 U
第10回	線形探索法と2分探索法のアルゴリズム C	第25回	並列処理—並列加算 C
第11回	「戦艦」—ハッシュ法 U	第26回	(情報入試模擬試験)
第12回	ハッシュ法ゲーム、ハッシュ法のアルゴリズム	第27回	並列処理—並列ソート C レコード、配列、キュー C
第13回	「いちばん軽いといちばん重い」(天秤) —選択ソート、バブルソート U,C	第28回	スタック、木構造 C
第14回	ソーティングアルゴリズムの動き	第29回	整列2分木 C
第15回	挿入ソート、クイックソート、マージソート U,C 「時間内に仕事を終えろ」-並び替えネットワーク、並列処理 U スーパーコンピュータ京(けい)	第30回	計算の複雑さ C 前年度試験問題を用いた解説
		終了 翌週	終了時試験(第2回試験)

図1 2013年度「アルゴリズムとデータ構造」各回の内容

Uとある回ではCSアンブラグドの本[1]を、Cとある回では「計算機科学入門」[9]を教科書として使用

2.2 進め方

[8]でも述べたように、多くの回では、CSアンブラグドのパズル・ゲームを行ない、次いでその背景の理論を通常の方法で解説している。例えば第13-15回では、「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。

しかしCSアンブラグドで扱っていない事項を解説する際には、それを使わない通常の方法での解説も行なっている。例えば第5-7回では「アルゴリズムとは」「アルゴリズムの3要素(連続・選択・繰り返し)」を、通常の黒板授業として解説している。

2.3 その他の題材

上記のようにこの授業では、CSアンブラグドと通常の黒板授業が主だが、それ以外にも導入あるいは独自に使っている題材がある。

・ アルゴロジック

論理的思考(アルゴリズム)をゲーム感覚で習得するための課題解決型ゲームソフトアルゴロジック[10]を第8回で使い、アルゴリズムの組み立て方の理解の一助にしている。(いまのところ「アルゴロジック」のみを使用し「アルゴロジック2」などは使っていない。)

・ ハッシュ法ゲーム

[8]に構想を述べた「ハッシュ法ゲーム」を実施してみた。(図2)



図 2 ハッシュ法ゲーム

1. 探索役を一人選び、他の者はデータ役とする。
2. 0番-9番の場所をそれぞれ用意する。
3. 最初に表を作成：データ役の人がひとりずつ、自分でハッシュ値を計算する。例えば2345なら4と計算し、4番の場所に入る。（[8]ではデータ役と別に「ハッシュ関数役」を置くとしていたが、今回はデータ役の各自に計算させた。）これを繰り返してハッシュ表を作る。
4. 次に表を探索する：データ役は自分の数は隠しておく。探索役は、与えられた数からハッシュ値を計算する。たとえば2345なら探索役は4と計算して4番のところへ行き、そこにいるデータ役にひとりずつ数を聞いてゆく。

やってみた印象としては、考えていたのに比べてかなり単純な印象のものになってしまった。例えば「宝島（宝探し）」[1]と比べると、「宝島」では次にどこの「島」に行くか知っているのは「島」の役の者だけなのに比べ、このゲームでは、表作成の段階では、ハッシュ関数がわかっているのでデータ役の者はすぐに各自でハッシュ値を計算できてしまう。表探索の段階も、探索役がハッシュ値をさっさと自分で計算して対応するところに行つて該当するか聞いて回るだけの単純なもの、という印象になってしまった。（本来ハッシュ法はそういうものだからそれでよい、という考え方もあるが。）

・ 整列アルゴリズムの比較サイト

各整列アルゴリズムを紹介した後、それらの動作を視覚的に表示して表示するサイト[11]を第14回で利用して、各アルゴリズムの動作を直感的に比較させている。

・ そっくりハウス

再帰の概念を紹介する際、NHK「みんなのうた」の曲「そっくりハウス」を、第20回で上映して理解の一助にしている。これは「子供が夜中に目が覚めたら部屋の中に自分の

家と同じ形の小さな家があり、その中をのぞいてみたら、その中に小さな自分がいてもっと小さな家をのぞいていて...気がついたら自分も家の外から大きな自分にのぞかれていた」という内容の歌詞であり、それをアニメーションにした映像がついている。なおこれを変形し、二分木状の再帰（ハノイの塔のアルゴリズムなど）をたどった歌詞「お部屋のまん中に、小さなお家が「2つ」ありました...」という筆者による改作もあわせて紹介している。

・ 再帰呼出しのトレース

第19～22回で再帰の概念を紹介している。その際、最も重要な（かつ一般に初学者がつまづきやすいと言われる）「自分自身を呼び出す」という概念に関する説明について独自の工夫をしている。すなわち「自分自身を呼び出す」とは言わずに「もとの手続きのコピーを呼び出す」と言っている。そして、手続きを大きな紙に何部も印刷して用意し、トレースの中で再帰呼出しを行なうつど、新たな1部を取り出して黒板に貼り付けことにより、あたかも内容が同一の別々の手続きを呼び出すかのように解説し、再帰呼出しの動きの理解を促すようにしている。これを、階乗のアルゴリズム、文字列反転のアルゴリズム、および下記のハノイの塔に関して行なっている[8]。

・ ハノイの塔

第21,22回で用いている。本質的に再帰性があるパズルであることを紹介し、円盤3～4枚の場合に関してアルゴリズムを上記のように何部も印刷してそれを用いてアルゴリズムをトレースして見せている。すなわち、円盤3枚ならば拡大印刷したものを7部用意してトレースを行なう。

また、このアルゴリズムの実行時間（円盤の移動回数）を題材に、べき乗オーダーの増え方についてイメージを持たせている。（図3）

・ 片対数グラフと片対数方眼紙

図3に示した時間を片対数方眼紙に手書きでプロットさせ、結んだ線が直線になることで逆に対数の概念を理解させる。プロットに先立ちこの「変な方眼紙」の目盛りはどう見ればいいのか解説している。

1,2,3,4...と等間隔になるのではなく1,10,100,1000...の間が等間隔になること、それと1,2,4,8,...（ハノイの塔の場合は0,1,3,7）と増えることとは同じこと（底が異なっても単に定数倍・比例関係になるにすぎないこと）を直感的に理解させることを試みている。

余談だが、今は実用的に対数グラフを描く場合はコンピュータ上で作図できてしまうため、通常の方眼紙は売られていても対数方眼紙は流通が非常に少ないようであり、今後さらに入手困難になることが懸念される。

	A	B	C	D	E	F	G
1	1	秒	分	時間	日	年	
2	2	3	0.05	0.00	0.00	0.00	
3	3	7	0.12	0.00	0.00	0.00	
4	4	15	0.25	0.00	0.00	0.00	
5	5	31	0.52	0.01	0.00	0.00	
6	6	63	1.05	0.02	0.00	0.00	
7	7	127	2.12	0.04	0.00	0.00	
8	8	255	4.25	0.07	0.00	0.00	
9	9	511	8.52	0.14	0.01	0.00	
10	10	1023	17.05	0.28	0.01	0.00	
11	11	2047	34.12	0.57	0.02	0.00	
12	12	4095	68.25	1.14	0.05	0.00	
13	13	8191	136.52	2.28	0.09	0.00	
14	14	16383	273.05	4.55	0.19	0.00	
47	47	140737488355327	#####	#####	#####	4,459,701.89	
48	48	281474976710655	#####	#####	#####	8,919,403.78	人類の発生は約600万年前
49	49	562949953421311	#####	#####	#####	17,838,807.56	
50	50	1125899906842620	#####	#####	#####	35,677,615.12	
51	51	2251799813685250	#####	#####	#####	71,355,230.24	
52	52	4503599627370490	#####	#####	#####	142,710,460.47	
53	53	9007199254740990	#####	#####	#####	285,420,920.94	
54	54	18014398509482000	#####	#####	#####	570,841,841.89	
55	55	36028797018964000	#####	#####	#####	1,141,683,683.77	
56	56	72057594037927900	#####	#####	#####	2,283,367,367.54	
57	57	#####	#####	#####	#####	4,566,734,735.08	地球が誕生は46億年前
58	58	#####	#####	#####	#####	9,133,469,470.17	
59	59	#####	#####	#####	#####	18,266,938,940.33	宇宙の誕生から137億年前
60	60	#####	#####	#####	#####	36,533,877,880.66	
61	61	#####	#####	#####	#####	73,067,755,761.33	
62	62	#####	#####	#####	#####	146,135,511,522.66	
63	63	#####	#####	#####	#####	292,271,023,045.31	
64	64	#####	#####	#####	#####	584,542,046,090.63	
65	65	#####	#####	#####	#####	1,169,084,092,181.25	

図 3 2 のべき乗オーダー（ハノイの塔）の解説（1秒に1枚を移動した場合のかかる時間。行番号が枚数を示す。）

3. 試験

この授業では2回の試験を行なっている。「紙・本の形のもの」（コンピュータファイルを印刷したものを含む）は何でも持ち込み可として行なっている。

2013年度に実際に用いた試験問題の例（抜粋）を図4に示す。いずれも基本的なことが理解できていれば（それを暗記している必要はなく、持ち込んだ本をその場で見てそれを正しく思い出せれば）できる問題だが、例えば最小全域木問題では、きちんと学んでいない者が正解することができるだけ無いように、クラスカルの方法（授業内で解説してある）などを正しく使えば正解が求まるが、そうせずにいいかげんにやると間違いやすい（全域木ではあるが最小ではないものになりがち）ようなグラフを工夫している。

4. 成績分布と学生からの評価

4.1 成績分布

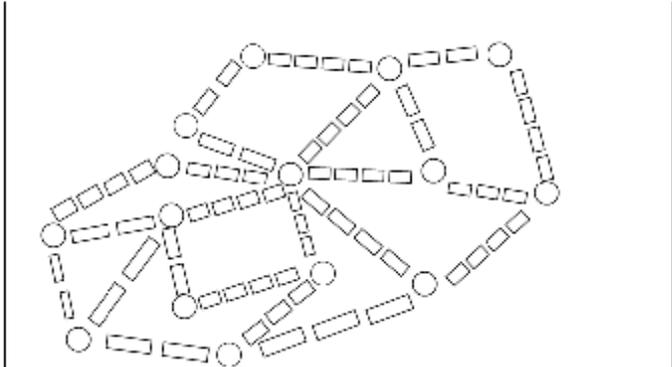
2013年度の受講者数とその成績分布を表1に示す。成績は2回の100点満点の試験から「その者の平均点と第2回の点数のうち高いほう」として機械的に算出している。選択

年度	試験を受けた人数	60点未満 (不可)	60点代 (可)	70点代 (良)	80点代 (優)	90点以上 (秀)
2013	24	11	2	5	3	3
2012	53	11	9	13	5	15
2011	18	7	3	1	3	4
2010	14	1	0	1	3	10

表 1 成績認定対象人数と成績分布

授業のため受講登録者数は一定せず、また、履修登録をするだけで受講しない者や途中でやめてしまう者もかなりいるので、表1では履修登録者ではなく授業期間終了後に最後の第2回試験を受けた者（＝成績評価の対象となる者）の人数を示した。もっともこれも、授業に出ていないが試験だけは受けた、という者を含んでいる。2012年は受講人数が飛びぬけて多いが、知る限りでは他の年度と違う特別な事情があったわけではない。また2010年度は多くの者が90点以上をとっているが、特に試験問題を易しくしたわけではなく、たまたまこうなるような学生層が受講したとしか考えられない。

1. 解答用紙に示した図に関して、その最小全域木を「アンラグド」p.78にあるように「舗装」する「敷石」を塗りつぶすことで示さない。なお最小全域木以外は不正解とします。



2. 「アンラグドコンピュータサイエンス」学習 1 の前半 (2 進法) に関して、次の(1)から(8)にそれぞれあてはまるものを選択肢から選びなさい。カードを選ぶ欄に関しては、たとえば  が正解の場合は「2」と書きなさい。同じものを何度選んでもかまいません。

・      の 5 枚のカードを使うと、21 を表す場合は 5 枚のカードのうち(1)と(2)と(3)を表 (おもて) にすればよい。

・ この 5 枚のカードで表わせる最大の数は(4)である。5 枚のうち  を取り去って     の 4 枚だけにすると、表せる最大の数は(5)になる。

・ この 5 枚のカードを使って、0 から始めて 1,2,3,...と 1 ずつ増やす場合、増やすごとに毎回動かすカードが 1 枚ある。それは(6)のカードである。また逆に動かす回数が最も少ないのは 5 枚のうち(7)のカードであり、0 から(4)まで増やす中でこれを動かすのは(8)回である。

選択肢

1	2	3	4	5	6	7
8	15	16	23	31	32	33

6. 「アンラグドコンピュータサイエンス」の学習 6 の「戦艦 ハッシュ法を使ったゲーム」を参考に、以下の番号の船はそれぞれどの列に入るか、0~9 のうちあてはまる数を答えなさい。(ハッシュ関数は「戦艦 ハッシュ法を使ったゲーム」と同じものを用いるものとします。)

(1) 8523
 (2) 1150

7. 「アンラグドコンピュータサイエンス」の学習 8 の並び替え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び替えます。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。

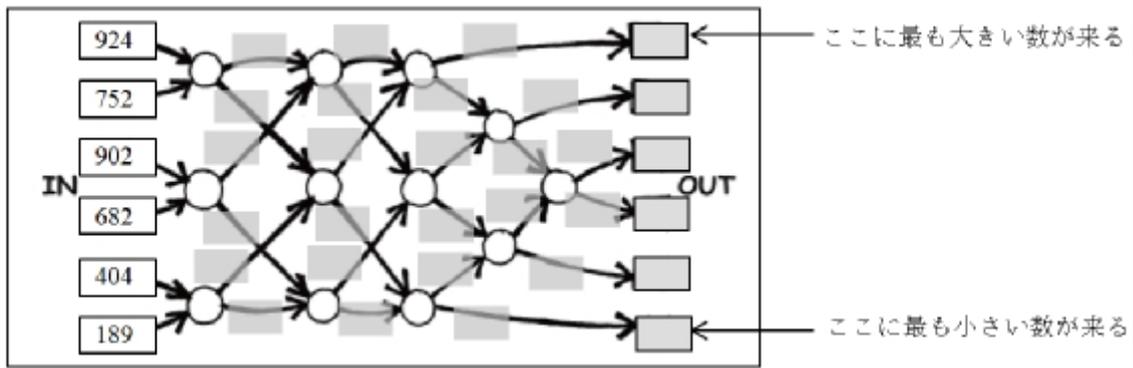


図 4 実際に用いた試験問題の例

項目内容	CS アンブラグドでの項目通称	5	4	3	2	1	平均	忘	不	無
ランレングス符号化	FAX ゲーム	5	11	6	0	0	4.0	1	0	1
2進法	2進法カード	6	14	4	0	0	4.1	0	0	0
文字列の圧縮-重ねない例	Pitter Patter	8	8	6	1	1	3.9	0	0	0
文字列の圧縮-重ねる例	Banana	11	6	4	1	1	4.1	0	1	0
アルゴリズム		6	5	9	2	0	3.7	2	0	0
探索	戦艦	9	9	4	0	0	4.2	1	1	0
整列	天秤ソート	7	7	8	2	0	3.8	0	0	0
並列ソート	並び替えネットワーク	3	9	7	2	1	3.5	2	0	0
再帰-階乗計算と文字列反転		4	8	9	2	0	3.6	1	0	0
「そっくりハウス」上映		4	7	10	0	0	3.7	0	2	1
ハノイの塔		5	9	8	1	0	3.8	1	0	0
最小全域木	マッディ市プロジェクト	10	4	7	1	0	4.0	0	2	0
ルーティングとデッドロック	みかんゲーム	9	7	5	1	0	4.1	1	1	0
回答数 24 人	表中の数字はその回答をした人数を示す。 5が最高, 1が最低の意味							忘: 覚えていない 不: 受けていない 無: 無回答		

表 2 各項目の評価を問うアンケートの結果

CS アンブラグドに関するアンケート 長野大学「アルゴリズムとデータ構造」
和田 勉 2013.07.26

授業で扱った、以下のそれぞれの、CS アンブラグドその他について、興味深かった・勉強になったなどの観点から、あなたの評価を 5 (最高) -1 (最低) で該当するものに○を付けてください。

なお、その回の授業を受けていない、あるいは受けたがよく覚えていない場合は「覚えていない/受けていない」に○を付けてください。

5 (最高) - (最低) 1

第 2 回 画像の符号化「色を数で表す」(FAX ゲーム) - 画像のランレングス符号化	5 4 3 2 1
	覚えていない/受けていない
第 2 回「点を数える」(2進法カード) - 数の符号	5 4 3 2 1
	覚えていない/受けていない

図 5 各項目の評価を問うアンケートの用紙 (部分)

4.2 学生からのアンケートの結果

所属大学ではすべての授業に関して授業評価アンケートを実施しているが、2013 年度はこの授業で独自に、授業で扱った各項目ごとに 5 から 1 までの評価を求めるアンケートを実施した。アンケート用紙の一部を図 5 に示す。

項目内容による評価の平均を見ると、評価が最低なのは僅差ではあるが CS アンブラグドの中では「並び替えネッ

トワーク」である。やはりカードを持ってシートの上で歩を進めるのは、もっと年少の者向きなのかという推測も成り立つ。またアルゴリズムが思ったほど評価が高くなかったのも意外だった。

5. おわりに

CS アンブラグドを中心に、従来型の黒板授業と交えつつ毎年行なっている「アルゴリズムとデータ構造」の授業での工夫に関して紹介した。本来このような内容はすべての大学生に学んでほしいものだが、いわゆる「文系」の大学においては、専門家を目指す以外の者が情報科学系の事項を学ぶべきだということが、文系の教員にもまた多くの学生にも、なかなか理解されがたい。その中で、内容の本質を「骨抜き」にすることなく、しかしわかりやすく学んでもらうための工夫を続けていることの現状報告である。

謝辞 CS アンブラグドや関連の分野の研究コミュニティの方々に感謝する。参考文献として挙げた論文のうち、[8][9][11]を除くそれぞれの著者の方々がそのうちの一部であり、それぞれ折に触れてお世話になっている方々である。

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ブ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ブ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ブ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, 情報教育シンポジウム SSS2008(D-2)
- 8) 和田勉: アンブ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, 情報処理学会研究報告, 2009-CE-100(5), pp.1-7 (2009)
- 9) 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)
- 10) 大山裕: アルゴリズム体験ゲーム「アルゴロジック」, 情報処理, 53(3), 316-320 (2012-02-15)
- 11) David R. Martin: Sorting Algorithm Animations, <http://www.sorting-algorithms.com/> (2007) (2013.09.14 閲覧)
- 12) 嘉田勝: 平成 20 年度(2008)前期 離散数学 A (シラバス), <http://www.mi.s.osakafu-u.ac.jp/~kada/course/08dma/> (2013.09.14 閲覧)