

コンピュータを使わない情報科学教育 - Computer Science Unplugged の翻訳と実践 -

兼 宗 進^{†1} 正 田 良^{†2} 紅 林 秀 治^{†3}
鎌 田 敏 之^{†4} 井 戸 坂 幸 男^{†5}
保 福 や よ い^{†6} 久 野 靖 †7

本発表では、教具を用いた「コンピュータを使わない情報教育」と呼ばれる新しい情報教育の手法を紹介する。これはニュージーランド カンタベリー大学の Tim Bell たちが始めたプロジェクトで、コンピュータ科学のさまざまな概念を、小学生の年齢から楽しみながら学ぶことが可能である。筆者らはこの教育手法の解説書を翻訳し、実際に中学校と高等学校で評価を行った。今回はその手法を紹介し、中学校と高等学校の情報の授業の中で活用するための方法を考察する。

An introduction of “Computer Science Unplugged” - Translation and Experimental Lessons -

SUSUMU KANEMUNE,^{†1} RIO SHODA,^{†2} SHUJI KUREBAYASHI,^{†3}
TOSHIYUKI KAMADA,^{†4} YUKIO IDOSAKA,^{†5} YAYOI HOFUKU^{†6}
and YASUSHI KUNO ^{†7}

In this presentation, we introduce a new educational approach called “Computer Science Unplugged”. It is a project that Dr. Tim Bell and co-researchers have proposed in 1998. By using it, students can learn principal concepts of computer science easily through their physical experiences. We translated the book into Japanese and conducted some experimental lessons in a junior high school and a high school with this. We also report several discussions on how to utilize this method in information education in schools.

1. はじめに

コンピュータを使わずに、情報科学を体験的に学ぶことができる「コンピュータを使わない情報教育」¹⁾²⁾ (原題 “Computer Science Unplugged”。以下、アンプラグドと呼ぶ) という教育方法を紹介する。

コンピュータはパソコンだけでなく携帯電話やゲーム機など多くの電子機器で活用されており、情報科学の内容は生徒にとって身近な興味のある題材である。

一方、探索やソートなど、個々の内容を取り出した学習では、日常生活との結び付きを理解することが難しいため、何のために学ぶのかを生徒が理解することは難しいという問題があった。

今回紹介するアンプラグドでは、洗練された教材を使い、自分の手を動かしながら理解することで、情報科学の代表的な内容を、小学生以上の生徒が興味を持って意欲的に学習することが可能である。

アンプラグドはニュージーランド カンタベリー大学の Tim Bell たちが始めたプロジェクトである。Tim Bell は約 10 年前に自分の 5 歳の子供に情報科学の楽しさを教えたいと考えて以来、教育方法と具体的な教材を改良してきた。

彼らは 1998 年に 20 章からなるテキストを出版し³⁾、その後はオンラインで 12 章からなるテキスト⁴⁾ を提供し続けている。これらは各国語に翻訳され、韓国でも 2006 年に出版⁵⁾ されている。

我々は著者の許可を得てオンライン版のテキストを翻訳した。そして授業で利用するために必要な教材を開発を行い、中学校と高校で評価実験を行った。その結果、従来のやり方では生徒に興味を持たせることが困難であった専門的な情報科学の内容を、生徒が意欲的に学習できることを確認することができた。

†1 一橋大学 Hitotsubashi University

†2 国士舘大学 Kokushikan University

†3 静岡大学 Shizuoka University

†4 愛知教育大学 Aichi University of Education

†5 松阪市立飯南中学校 Iinan Junior High School

†6 神奈川県立松陽高等学校 Shouyou High School

†7 筑波大学 University of Tsukuba

表 1 章構成

章	タイトル	サブタイトル	対象年齢	内容
1	点を数える	2 進数	7 歳以上	2 進表現
2	色を数で表す	画像表現	7 歳以上	画像のビット表現
3	きみの言うとおり!	テキスト圧縮	9 歳以上	LZ 法
4	カード交換の手法	エラー検出とエラー訂正	9 歳以上	パリティ
5	20 の扉	情報理論	9 歳以上	情報量
6	戦艦	探索アルゴリズム	9 歳以上	線形、二分、ハッシュ
7	いちばん軽いといちばん重い	整列アルゴリズム	8 歳以上	選択、クイック
8	時間内に仕事を終わろ	並べ替えネットワーク	8 歳以上	並列処理
9	マッディ市	最小全域木	9 歳以上	最小全域木
10	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	9 歳以上	デッドロック
11	宝探し	有限状態オートマトン	9 歳以上	オートマトン
12	出発進行	プログラミング言語	7 歳以上	人工言語

2. コンピュータを使わない情報教育

2.1 章 構 成

今回翻訳した最新版のテキストは表 1 の 12 個の章から構成される。いずれも情報科学の重要な考え方を扱っている。個々の内容は高等学校から大学の専門課程で扱われる内容だが、説明と教材を工夫することによって、小学生にも理解できるように構成されているのが特徴である。

第 1 章では、2 進数を扱っている。最初にカードで 2 進数を理解し、続いて文字をコード化してモデムのように音の高低で伝達するゲームを行う。最後にコンピュータのメモリや CD-ROM で情報を記憶する仕組みを解説している。

第 2 章では、画像のビット表現を扱っている。最初にマトリクスに描かれた図形を白と黒の並びの数で符号化する。続いて自分の絵を符号化し、同級生が元の絵に戻すゲームを行う。最後にコンピュータや FAX での画像の符号化や圧縮の効果を解説している。

第 3 章では、テキスト圧縮を扱っている。最初に、テキスト中に出現する文字列の重複を、すでに出現している箇所を示すことにより圧縮する方法を学ぶ。最後にコンピュータのデータや通信で、テキストや画像が圧縮されて扱われていることを解説している。

第 4 章では、誤り検出を扱っている。最初にパリティを使い、縦横に並べた白黒のカードのどれが反転したかを当てるゲームを行う。続いて書籍の ISBN を計算し、最後にコンピュータや音楽 CD における誤り検出と誤り訂正の重要性を解説している。

第 5 章では、情報量を扱っている。最初に情報量の定義を説明する。続いて 2 分探索により数を当てるゲームを行い、決定木を紹介する。最後にエントロピーの説明と、決定木のコンピュータのユーザインターフェースへの応用を解説している。

第 6 章では、探索アルゴリズムを扱っている。最初に生徒を並ばせて、ランダムな並びとソートされた並びで探索の効率を比較する。続いて 2 人組で相手の数を当てる戦艦ゲームを行い、線形探索、二分探索、ハッシュ探索を比較する。最後にコンピュータでの探索の重要性を解説している。

第 7 章では、整列アルゴリズムを扱っている。最初に天秤で重りを比較することで選択ソートとクイックソートを使い、続いて挿入ソート、バブルソート、マージソートを紹介する。最後にコンピュータでのソートの重要性を解説している。

第 8 章では、整列の並列処理を扱っている。最初に床に描かれた線を歩きながら、最終的に整列された並びになるゲームを行う。続いて、複数の比較を同時に行った場合とそうでない場合の効率を比較する。最後に複数の CPU で処理する利点を解説している。

第 9 章では、最小全域木を扱っている。最初に街の家を最短で結ぶ道を探すゲームを行う。続いてノードとエッジを使ったグラフを紹介する。最後にインフラだけでなく、航空路線やインターネットにも使われていることを解説している。

第 10 章では、デッドロックを扱っている。最初に生徒を円形に座らせ、両手に持ったみかんを全員が自分のみかんを手に入れるまで交換するゲームを行う。最後にネットワークにおけるデッドロックや輻輳、ルーティングを解説している。

第 11 章では、有限状態オートマトンを扱っている。最初にカードを持った生徒のオートマトンに従ってゴールの宝島を目指すゲームを行う。最後に銀行の ATM や人工知能への応用を解説している。

第 12 章では、人工言語を扱っている。最初に与えられた絵を言葉で説明し、他の生徒に描かせるゲームを行う。最後にコンピュータでの利用とエラーについて解説している。

2.2 内容の例

図1は第4章の説明図である。ここでは説明のために、図の女子生徒を生徒A、男子生徒を生徒Bと呼ぶ。

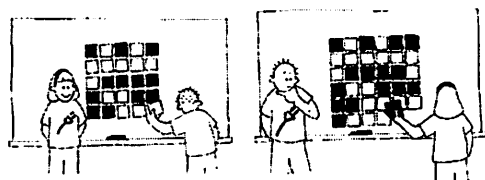


図1 パリティの説明図

- (1) 生徒Bは黒板にマグネットを貼る。この例では縦横が5枚ずつになっている。マグネットの両面は白と黒の色が付いており、規則性のないようにランダムに並べる。
- (2) 生徒Aは「もう少し難しくしましょう」と言いながら、右端と下端に1列ずつ追加する。
- (3) 生徒Bは、生徒Aが後ろを向いている間に1枚を裏返す。
- (4) 生徒Aは黒板を見て、裏返されたカードを当てる。

原理は1ビットのパリティである。これだけでは1ビットの反転を検出できるが、反転したビットの特定はできない。生徒Aは右と下に1列ずつ加えていた。ここではマトリクス状の配置に対して縦横にパリティを付けることにより、1枚の反転に対して場所を特定することを可能にしている。

生徒は事前のパリティの説明は受けずに、手品ゲームのつもりでこの学習に参加する。そして、後ろ向きで見えないのに、どうして裏返ったカードを当てられたのかを必死に考える。そして、自分が主役になってやってみようとする。

教員は、多くの生徒が原理を発見したタイミングで種明かしとしてパリティを説明する。続いて同様の原理がチェックディジットという形で商品バーコードや本のISBNなどで利用されていることを実物を見せながら説明し、実際に本のISBNを計算させる。最後に、音楽CDやデータ通信でもこの原理が使われていることを解説する。

この例からわかるように、アンブラグドでは、コンピュータで使われる情報科学の原理を、コンピュータを使わずに学習する。教科書の解説を読むだけでは、多くの生徒にとってパリティについて興味を持つことは困難である。また、教師やビデオの説明を聞くだけ

では、その場ではわかったつもりにはなれても、本当に理解して使いこなすことは容易ではない。

一方、アンブラグドを用いた場合には、パリティという言葉はいずれ忘れてしまうかもしれないが、「チェック用のデータを付加することで、データの誤りを検出できるようになる」という本質的な考え方は強い体験として残ることが期待できる。

このように、知らず知らずのうちに情報科学の主要な原理を体験的に理解し、そしてそれらがコンピュータやネットワークでどのように利用されているかを学んで行くことになる。

今回は紙面の関係で第4章だけを取り上げたが、他の章もカードなどの教具を使いながら、同様の学習を行えるように工夫されている。

3. 翻訳作業

翻訳は2007年初頭に数学および情報科学を研究する大学教員が分担して行った。訳したテキストは、数名の小中高の教員がチェックし、そのコメントを翻訳に反映していった。

情報科学の説明はほぼそのまま日本語に訳せたが、次の点はどのように訳すかについて検討が必要であった。

● 文化的な違い

戦艦で相手を攻撃し合うカードゲームやスティープンソンの「宝島」を題材に使っている章があるが、日本の生徒にはなじみが薄い。これらの章は、前提知識がなくても読めるように説明を修正した。

● 言語の違い

テキスト圧縮の例として英語の詩が使われている。どれも子ども向けの平易な詩だが、日本の生徒にはすんなり意味がわからない。これらの詩はそのまま残し、要約や単語の意味をサブテキストなどの副教材で補足することにした。

● 時代的な違い

データが符号化されて送られる説明としてモデムの音が取り上げられているが、モデムは生徒にとって、すでに身近な存在ではなくなっている。このような例は現在でも使われているFAXの通信など、体験可能な例に置き換えた。

● 教育課程の違い

各章の冒頭には、数学など各教科のカリキュラムとの対応が書かれている。ニュージーランドの教育課程⁶⁾と日本の教育課程は必ずしも同じではないため、日本のカリキュラムとの対応を付録のような形で取り上げることにした。

4. 授業での検証

翻訳の過程では、訳が終った章から特定の授業で使ってもらい、実際に授業で使う際の課題や問題点を収集した。対象としたのは、中学校「技術・家庭科」と高等学校「情報 B」の授業である。どちらも 2006 年度の 3 学期に授業を行った。

4.1 中学校の授業

中学校では 3 年生の選択授業を使い、16 人ずつ 4 クラスの生徒を対象に 12 章をすべてを扱った。表 2 に実施したカリキュラムを示す。授業の順序は章の順を意識せず、教員が生徒の興味を見ながら判断した。

表 2 中学校で実施したカリキュラム

章	内容
2	画像処理
3	圧縮
4	パリティ
1	2 進数
6	検索
9	最小全域木
12	人工言語
7	ソート
10	デッドロック
8	並列処理
5	情報量
11	オートマトン

章ごとに必要な教材が異なるため、テキストのワークシートを配布して使うほかに、担当教員が次のような教材を用意した。

- パリティのゲームをするためのマグネットシート
- 整列するためのフィルムケースに砂の入った重り
- 重さを比較するための天秤ばかり
- 複数の生徒が歩きながら並べ替えをするための工事用ブルーシート
- デッドロックを学習するためのピンポン球

図 2 に授業の様子を示す。図 3 は教員が自作した天秤ばかりと重りを使った学習の様子である。

図 4 は 2 人組で行う探索アルゴリズムの学習の様子である。戦艦ゲームとして相手の数を当てるゲームを行うときに、互いのシートが見えないように工夫していることがわかる。

図 5 はグループで行うデッドロックの学習の様子である。それぞれの名前を書いた 2 個ずつのピンポン球をランダムに配り、隣同士で手渡すことにより、全員が両手に自分の球を持つように互いにやり取りする。お互いに欲しいものを持ち合っているデッドロックの

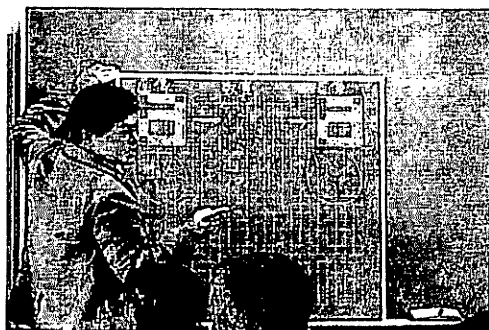


図 2 授業の様子



図 3 自作した天秤ばかりと重り

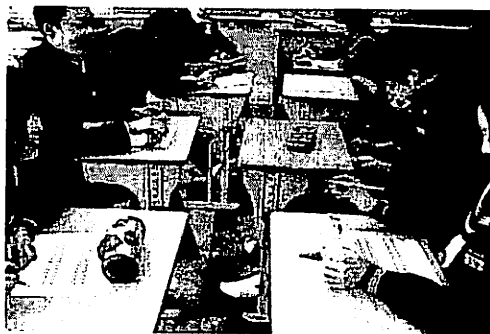


図 4 検索アルゴリズムの学習

状態や、いちどに多くの球を渡せない幅輻など、ネットワーク通信の基本的な原理を学ぶことができる。

授業では最初の時間に第 2 章「画像表現」を扱った後で、生徒に「コンピュータを使った授業と、今日やったアンブラグドの授業をどちらをやりたいか」と尋ねたところ、多くの生徒から「アンブラグドをもっとやりたい」という声が上がった。そして最後まで意欲的に取り組むことができた。以下に、授業全体を通して感じたことを示す。

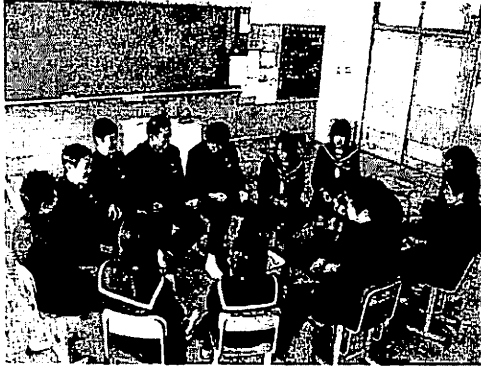


図5 デッドロックの学習

まず、学習の中に必ずゲームがあることが挙げられる。遊びの要素があることで、「遊びの中で学ぶ」ことが可能であった。今回のように「遊ぶ」という行為が学習と結び付いている場合には、遊びは学習にとってマイナスにはならず、かえって集中力を高め、学習に対する強い動機付けにつながるということがわかった。

次に、机上での学習と、体を動かす学習が適度に組み合わせられていたことが挙げられる。ワークシート(生徒に配布するプリント)を使った学習の章は8個、机から離れて行う学習は4個あり、授業のアクセントとして有効だった。

また、どの学習にも、他の生徒とのやり取りが含まれていることが挙げられる。机上の学習であっても他の生徒とワークシートを交換したり、互いの数を当てるなどやり取りがあった。さらに体を動かす学習ではピンポン球をチームで受け渡すなど、ひとりで行うのではなく、集団で学ぶことによる効果が大きかった。

今回行った3年生の選択授業では、情報とコンピュータを学んだ後で学習する発展的な内容として適切な内容と難易度であることを確認できた。

4.2 高校の授業

高校では2年生33人を対象に、6章「検索アルゴリズム」を65分で、7章「整列アルゴリズム」と8章「並べ替えネットワーク」を35分で扱った。時間の関係で3つの章だけを扱ったが、情報A,B,Cの各分野で学ぶ内容と関連づけて学習できることを確認できた。

表3に情報A,B,Cおよび情報処理学会が提案している高校普通教科「情報」新・試作教科書⁷⁾の単元との対応を示す。これは授業を担当した情報科の教員が自分の授業を想定して判断したものである。(○: 利用できる、△: 関連がある)

表3 「情報A,B,C」および「新・試作教科書」との対応

章	内容	情報A	情報B	情報C	情報I,II
1	2進数	○	○	○	○
2	画像処理	○	○	○	○
3	圧縮	○	○	○	△
4	パリティ		○	○	
5	情報量		○		○
6	検索		○		○
7	ソート		○		○
8	並列処理		○		○
9	最小全域木		△	△	△
10	デッドロック		△	△	△
11	オートマトン		△		○
12	人工言語		○		○

アンブラグドは通常の授業の合間に実施したため、短時間で効率よく進める必要があった。また、オリジナルの内容は小学生以上を想定していたため、高校生に対しては考えさせる要素を増やし興味を持たせるようにした。

1時間目の探索では、導入ゲームを「お見合いゲーム」と名付けた。これはアイスブレイクとして働き、「何をするんだろう」と見構えていたクラスの雰囲気はほぐれ、図6のようにリラックスして集中した状態でアンブラグドの内容に入っていくことができた。



図6 導入ゲーム

6章の戦艦ゲームによる探索では、アンケートで「探索の必要性を理解できた(97%)」「探索にはいろいろなアルゴリズムがあることを理解できた(91%)」という回答が得られた。短時間ではあったが、線形探索、二分探索、ハッシュ法について、特徴を理解することができた。

天秤を使ったソートでは、アンケートで「選択ソートの最大比較回数を理解できた(97%)」「ソートにはいろいろなアルゴリズムがあることを理解できた(94%)」という回答が得られた。短時間ではあったが、選択ソートとクイックソートについて、特徴を理解することができた。



図 7 戦艦ゲーム

2回の授業を通しての感想として「コンピュータとアンブラグドのどちらが好きか」という質問をしたところ、「アンブラグドがよい(60%)」「コンピュータがよい(7%)」「両方必要(33%)」という結果になった。「アンブラグドがよい(60%)」「両方必要(33%)」という生徒が多いことから、生徒にとって意欲を持って取り組める教材であったことがわかる。

また、自由表記のアンケートでは、「脳が活性化された」「印象的だった」「楽しかった」「共同作業ができた」「先生も楽しそうだった」という回答が多く得られた。

教科「情報」では実習を取り入れた学習が求められているが、コンピュータを操作させるだけでなく、学習内容そのものを体験的に行う学習は効果が高いことがわかった。また、通常の授業では、コンピュータに興味を持っていない生徒が存在するが、コンピュータを使わない学習活動を取り入れることで、情報に対する苦手意識をなくし、「わかる」「楽しい」「印象的な」授業を行うことができた。

5. ま と め

コンピュータを使わずに情報科学を学習できる「コンピュータを使わない情報教育」の概要と翻訳の試み、そして授業実験について報告した。

題材は高度な情報科学の概念を扱っているが、ゲームや体験を取り入れた実践的な教材により、中学校と高等学校において効果的に活用できることを確認できた。特に生徒たちの学習意欲は高く、最後まで興味を持って取り組むことができた。

このように有用な教育手法でありながら、アンブラグドは英語という言葉の壁もあり、国内ではほとんど知られてこなかった。また、実践を行うためには教員が自分の授業に合わせて指導案や教材を工夫する必要があり、原著を入手してもそのまま授業で使うのは難しかった。

今回行った中学校と高等学校での実験授業では、地域のディスカウントストアなどを活用することで、教材費を抑えるための工夫を行った。また、すべての授業について指導案を作成した。

今後は、翻訳したテキストの出版を進めつつ、全国の授業で活用できるように Web などを利用して教材作成方法、授業カリキュラム案などを提供して行きたい。特に中学校および高等学校のカリキュラムとの対応を位置づけることが重要である。さらに、情報処理学会が提案している高校普通教科「情報」新・試作教科書⁷⁾との対応やプログラミング学習への発展についても検討していきたい。

なお、関連する研究としては、教具を利用して情報科学を学習する手法として、Kinesthetic Learning Activities⁸⁾、Non-Programming Resources for an Introduction to CS⁹⁾などが提案されている。カーネギーメロン大学はアンブラグドなどを活用した高等学校教員向けのワークショップ¹⁰⁾を開催している。これらの活動とも連携していきたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 兼宗進ほか: 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. <http://www.etext.jp>
- 2) 奥村晴彦: 情報科学への利用 (特集 教育用プログラミング言語と授業利用), 情報処理, Vol.48, No.6, pp598-601, 2007.
- 3) Tim Bell, Ian H. Witten, Mike Fellows: Computer Science Unplugged... off-line activities and games for all ages, 1998.
- 4) Tim Bell, Ian H. Witten, Mike Fellows: Computer Science Unplugged - An enrichment and extension programme for primary-aged children, 2005.
- 5) Lee WonGyu(translation): Computer Science Unplugged (Korean Version).
- 6) Ministry of Education of New Zealand: The New Zealand Curriculum - Draft for consultation 2006.
- 7) 情報処理学会 初等中等教育委員会: 高校普通教科「情報」新・試作教科書, 2006. <http://www.ipsj.or.jp/12kyoiku/teigen/v83joho-text0701.pdf>
- 8) Kinesthetic Learning Activities. <http://ws.cs.ubc.ca/kla/index.php>
- 9) Non-Programming Resources for an Introduction to CS. <http://csis.pace.edu/bergin/iticse2000/>
- 10) CS 4 HS Summer Workshop. <http://www.cs.cmu.edu/cs4hs/>