

## デジたま講座 ～転がしてわかるデジタルの仕組み～

九州大学大学院システム情報科学研究院教授 竹田 正幸

takeda@inf.kyushu-u.ac.jp

### 1. はじめに

わが国の情報教育の目標には、情報活用能力3要素として「情報活用の実践力」「情報の科学的な理解」「情報社会に参画する態度」が掲げられており、現行の高等学校の教科「情報」は、これら3要素のそれぞれを重視した「情報A」「情報B」「情報C」の3科目から成っている。しかし、「情報の科学的理解」に重きを置く「情報B」を採用する高等学校は少数にとどまっている。その原因の1つに、情報を科学として教えるために必要な教材・教具の整備が進んでいないことが挙げられよう。一方、2009年3月に改定・告示された高等学校学習指導要領によれば、共通科目「情報」は、「情報B」「情報C」をそれぞれ継承した「情報の科学」「社会と情報」の2科目に再編されており、「情報の科学」の教育は、今後いっそう重視される方向にある。

著者らは、小中学生を対象に、情報科学の基本事項について身体的実感を伴って学習できる教育プログラムおよび教材・教具の開発を2004年頃より行ってきた。本稿では、その概要を紹介する。

### 2. 情報の科学

「理科離れ」が指摘されて久しい。様々な自然現象の背後にある原理・法則や、身の回りの道具・機器の仕組みに対する無関心は、児童生徒ばかりでなく、大人たちにも共通した風潮である。だが、現在の情報通信機器は、極めて高度な先端技術を駆使して作られており、その詳細は専門外の人間に理解できる代物ではない。また、技術革新のスピードは目覚ましく、身につけた知識がす

ぐに陳腐化してしまう。このように、情報通信機器の仕組みや原理の教育は難しそうにみえる。

だが、デジタル情報処理の本質は、具体的な装技術を超えたところに存在する。「情報の科学」を教育する目的の1つは、そのような普遍原理について理解させることであろう。

「情報の科学」の基本的な部分は、決して難しいものではなく、本来、小学生でも理解できる。しかし、デジタル情報処理の様子は「目に見えない・さわれない」ため、その教育には特別な工夫が必要となる。

### 3. 分子模型としての「デジたま」

科学技術分野の研究者は、対象について独自の「イメージ」を有する。研究者は、このイメージの力によって、肉眼では判別できない対象や高度に抽象的な概念についても、ありありと実感し考察することができる。学習者が深い理解を得るためのカギも、そうしたイメージの獲得にある。たとえば、化学教育で用いる分子模型は、目には見えない原子や分子について明瞭なイメージをもつために有効な教具として定着している。

そこで、筆者らは、分子模型に相当する教具として、「デジたま」教具セットを案出し、小中学生を対象とした「デジたま講座」等で活用している。「デジたま」は直径12mmの白黒の球である。「デジたま講座」では、画像・文字・音楽などの様々な情報をデジたまを用いて表現し、通信路に見立てたアクリルパイプの中にデジたまを流して通信する演習を通じ、「情報のデジタル化」の原理を体験的に学ぶ。これにより、情報科学の基本概念に関して明瞭なイメージが得られる。

#### 4. 転がしてわかるデジタルの仕組み

著者らは、「転がしてわかるデジタルの仕組み」を謳い文句に、「デジたま講座」と名付けた教育プログラムを作成し、小中学生を対象に実践してきた。これは、「情報のデジタル化」を小学校低学年にもわかるよう工夫したもので、主として以下の4つから成る。

- ①情報を伝える (導入部)
- ②ころころファックス (画像情報を送る)
- ③ころころトンパ (文字情報を送る)
- ④ころころミュージック (音楽情報を送る)

「情報のデジタル化」は、画像・文字・音楽・音声などの様々な情報がどのようにして「0」と「1」で表現されているのかを学ぶのが目的である。しかし、「0」「1」を用いると、日頃慣れ親しんだ数の10進表記における「0」「1」と混同しがちである。そこで、「0」「1」は10進表記でのみ用いることとし、代わりに、「白」「黒」を用いることにした。具体的には、白と黒の抽選玉を用いることとし、これを「デジたま」と名付けた。

「白」と「黒」によって情報を表現する最も自然な事例は、白黒画像のデジタル表現であろう。そこでデジたま講座の第1回は、白黒画像をデジたまの並びとして表現することを学ぶ。

しかし、そもそも日常の感覚では「情報を表現する」ことの意味がなかなかピンとこない。そこで、デジたまを用いて実際に通信を体験させることにした。具体的には、2班の間に2mの亚克力パイプを渡し、このパイプを通してデジたまの並びを班から班へ伝送する。



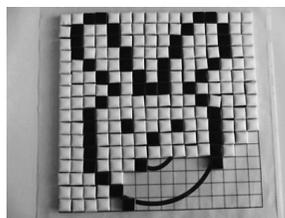
受信側は、送信側からどのような情報が届くか知らされておらず、受信後に送信側と「答え合わせ」を行うことにより、本当に情報が届いたことを実感でき、結果として情報が表現できていたことがわかる。符号化、復号化の誤りや伝送エラー等が起きた場合には、「誤り検出符号」「誤り訂正

符号」などの話のきっかけとする。

この教具は、②③④の実習に共通して用いており、メディアの種類に依存しない情報伝送を実感できる利点がある。また、このように情報伝送の体験を演習の中心におくため、講座の導入部として「①情報を伝える」を設け、狼煙、伝書鳩、飛脚、腕木通信、モールス通信、手旗信号など、様々な通信手段の歴史を簡単に振り返る。水通信やモールス信号については簡単な演習も行う。

##### 4.1 ころころファックス

「②ころころファックス」では、ファックスを例にとり、白黒画像のデジタル表現を体験させる。生徒は、用意した数枚の絵の中から好きな絵を選び、一辺10mmの正方形の白黒のタイルを用いて16×16のドット絵に変換する。具体的には、ホワイトボードの上に選んだ下絵を載せ、ます目を印刷したトランスペアレンシーを重ね、その上から裏面に磁石を貼ったタイルを置いていく。



次に、各行をデジたま16個の列に置き換え、1行ずつ16回送信する。



受信側では、送られてきたデジたまを16×16に並べることで絵を復元する。



256個のデジたまを亚克力パイプを通して送る作業にはかなりの手間がかかり、生徒たちはデ

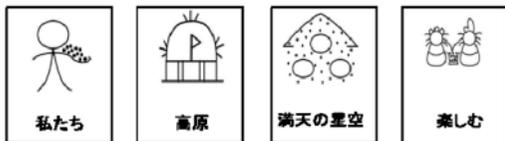
ータ量の大きさを実感することになる。また、この作業を通じて、生徒たちの多くはごく自然にrun-length符号化に到達する。

#### 4.2 ころころトンパ

「③ころころトンパ」では、文字情報の伝送の演習を行う。この回の教育目標は、「ころころファックス」と対比させることにより、「文字をそのまま絵として送るとデータ量が大きくなるが、送信側と受信側が共通の文字コード表を持っていれば少ないデータ量で通信が可能になる」とこの理解である。しかしながら、日頃使用している文字が絵である、と言われてもピンとこないのが通常感覚であろう。実際、「文字をコード化せずにそのまま文字として送ればいいのに？」という保護者の声を耳にしたことがある。

そこで、「文字は絵である」という事実を実感させるため、中国雲南省に伝わる象形文字「トンパ文字」を採用した。トンパ文字を使う体験を通し、生徒たちは、自分たちが日頃見慣れた漢字・カタカナ・ひらがなが、欧米人には文字に見えないかもしれないことに思いが至るようである。

演習では、250程度のトンパ文字を選出して1文字ずつ名刺大のカードにしたものを配布する。生徒らはまず4文字から成る「文」を作成する。



次に、それを用意したトンパ文字コード表に従って、8個のデジたまの列として符号化する。そして、「ころころファックス」と同じ要領でアクリルパイプを用いて伝送する。

受信側は、文字コード表に従って復号する。復号後は答え合わせを行い、誤りがあれば、符号化・伝送・復号化のどこで生じたか確認する。

演習後、トンパ文字を画像情報として送った場合のデータ量について考察させる。演習では4文字を送るのに、32個のデジたまを送るだけなんです。一方、もしトンパ文字の画像を16×16で表現

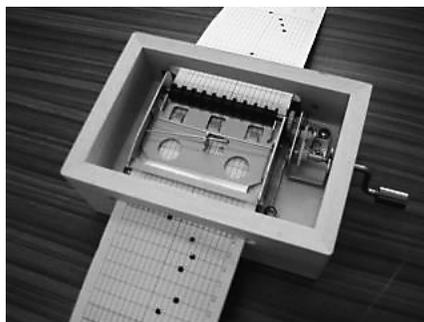
トンパ文字コード表

		後ろ半分															
		0000	000●	00●0	00●●	0●00	0●●0	0●●●	●000	●00●	●0●0	●0●●	●●00	●●0●	●●●0	●●●●	
前 半 分	0000	人	風	鳥たち	あなた	あなたたち	星	文	星	鳥の子							
	000●	物	人	又	又	又	又	又	又	又	又	又	又	又	又	又	
	00●0	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	
	00●●	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	
	0●00	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	
0●●0	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥		
0●●●	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥		
●000	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥		
●00●	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥		
●0●0	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥		
●0●●	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥		
●●00	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥		
●●0●	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥		
●●●0	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥		
●●●●	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥	鳥		

するならば、1文字あたり256個のデジたまが必要で、合計1024個のデジたまを送ることになる。しかも、16×16では元の文字がまったく判別できず、64×64でやっと判別できる程度であるから、データ量はさらに16倍となる。これらの考察を通して、文字コード表や文字フォントの役割に気付かせる。また、トンパ文字コード表と同じ形式で印刷したアスキー文字コード表を用意し、「字化け」の原因を理解させる。

#### 4.3 ころころミュージック

「④ころころミュージック」では、MIDI等のデジタル音楽について学ぶ。音を鳴らす機構としては、ペーパーラウンドオルゴールを採用した。これは、専用シートに穴をあけることで「音を鳴らすタイミング」と「音の高さ」を自由に指定することのできるオルゴールである。



演習では、「音を鳴らすタイミング」と「音の高さ」の対をデジたまで表現したものの系列を入力として与える。②や③を体験した生徒に対しては、デジたまを転がす作業は省略し、紙に印刷し

たデジたまの列を与える。生徒はこれを10進表現に変換して専用シートに穴をあけるべき箇所の座標を求める。

すなわち、ここでの学習の中心は、数の2進表現⇒10進表現の変換である。しかし、数は0から9までの数字を用いて10進表現し、いわゆる2進表現には「0」「1」でなく「白」「黒」を用いる方針をとっており、この点が通常と異なる。これによって、小学校低学年であっても混乱することなく2進表現⇒10進表現の変換をこなす。

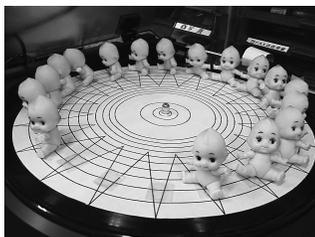
曲名を伏せておくと、オルゴールのハンドルを回すまで何の曲かわからないため、生徒らは熱心に取り組むようである。

#### 4.4 その他

デジたま講座では、①～④を補うものとして、以下を用意している。

##### ⑤アニメーションの仕組み

##### ⑥音声をつたえる



⑤では、静止画の連続が「動いて」見えることを体感させるため、ペラペラ漫画やゾートロープのほか、マルチストロボとレコードプレーヤーを用いたアニメーションやウォーターパールなどを体験させる。

⑥では、「音声は電流の強弱に変換できる」ことを理解させるために、ラジカセのイヤホン端子にイヤホンをつなぎ、途中にLEDを入れて音声に同期したLEDの点滅を見せる。また、オシロスコープ等を用いて「波」を意識させ、波をデジタル表現する話へと誘導する。

#### 5. 「うんちく」コーナー

情報通信機器の仕組みを電子部品の詳細に立ち入って理解することは容易でない。また、目の前

にある機器に囚われた教育を行うと、その技術が陳腐化した際に、学習した知識が役立たなくなる。このため、デジたま講座では、個々の情報通信機器からいわば「離陸」し、わかりやすいモデルに置き換えて教育している。しかし、モデルを用いた学習により理解が得られた後には、必ず、もとの情報通信機器へと「着陸」してみせることが肝要である。この着陸を行わないと、身の回りの情報通信機器と切り離されたまま、理解が抽象レベルにとどまってしまう。そこで、デジたま講座では、「うんちく」コーナーを設けて、デジカメの仕組みや、CD・DVDの記録方式、画像データの圧縮方式など、情報通信機器に関わる先端技術についての簡単な説明を加えている。

#### 6. おわりに

情報通信機器の内部を覗いても情報処理の様子は見えない。著者らが開発したデジたま教材は、デジタル情報処理に関する生き生きとしたイメージをもたせ、情報科学の基本概念について、枝葉末節に囚われない、確かな理解を与える。

わが国の情報教育は、初期においては専門家の育成に力点が置かれ、プログラミング等の専門的教育が行われた。第2段階においては、一般素養としての情報リテラシー教育に力が注がれた。最近になって、「情報機器の使い方」ではなく「情報の科学」を教育することの重要性がようやく認知された。次世代情報化社会において、社会情報基盤を支える「情報の科学」の教育の重要性は、ますます顕在化するであろう。

「コンピュータを使わない情報科学教育」としてTim BellらのComputer Science Unpluggedプロジェクトがある。このプロジェクトの歴史は古く、1998年にはテキストの第1版が出版されているが、わが国で注目されるようになったのは比較的最近のことである。著者らも同様にコンピュータを使わず、デジたまを中心とした教材・教具の開発と実践を続けていく計画である。なお、デジたま講座で用いる教材の詳細については、<http://digitama.i.kyushu-u.ac.jp/>を参照されたい。