

視覚障害者の数式処理を用いた Rubik's Cube 解法学習の試み

藤本 光史

MITSUSHI FUJIMOTO

福岡教育大学

FUKUOKA UNIVERSITY OF EDUCATION*

1 はじめに

筆者らは 2007 年に「Gap を用いた Rubik's Cube 解法表示ソフト」を開発した [1]。これは Java3D で表示した Rubik's Cube をコンピュータの画面上でインタラクティブに操作することができ、バラバラになった状態から群論計算ソフトウェア Gap [2] を用いて完成状態までの手順を求め、その結果をグラフィカルに表示するというものである。本ソフトウェアはパズルの解法に数学が利用できることを子ども達に体験してもらうことを目指して作成され、将来的には視覚障害を持つ子ども達がルービックキューブを解く際の解法支援システム(ナビゲーションシステム)となるように発展させたいと計画している。

一方、筆者らは 2008 年夏、全国から視覚障害を持つ中高生を集めて科学に関する興味を高めるためのサマーキャンプを行った [3]。そして、その中の実習の一つとして Gap を用いた Rubik's Cube の解法学習に関するセミナーを実施した。本稿はこのセミナーの実施報告である。

2 サマーキャンプの概要

大学研究者・教育関係者・福祉機器企業などによる実行委員会(約 30 名)を組織し、電気通信普及財団やマイクロソフトなどからの助成も得て、東京の全国身体障害者総合福祉センターに於いて 4 日間に渡るキャンプを実施した。参加者は、視覚に障害を持つ生徒 18 名、付き添いの保護者・教員 18 名、ボランティア 26 名(実行委員を除く)であった。

キャンプの内容は、筑波大学附属視覚特別支援学校による化学実験や動物骨触察をはじめ、以下の実習がアラカルト方式で実施された。

- ものづくり体験—モーターを作ろう—
- 多面体を探る
- さわって解けるルービックキューブ
- 手でふれて楽しむ宇宙のすがた
- 点字による数式表現の可能性

*fujimoto@fukuoka-edu.ac.jp

- UNIX: Windows とはひと味違うコンピュータの世界を体験しよう
- ドットビューでゲーム

その他にも、視覚障害者用数独盤・立体幾何教材・ボードカーピングなどの体験ブースや、保護者向けに「視覚障害者の理数系教育」や「高等教育における視覚障害学生受入れ・支援体制」に関する講演会も実施した。本取り組みは、科学技術振興機構 (JST) の地域の科学舎推進事業 (2009 年度から 3 年間) に採択され、今後大きく発展することが期待できる。

3 さわって解けるルービックキューブ – 実習シラバス

パズルを解くのに数学が使えることを体験する。ルービックキューブは数学を使って解くことが可能である。実習では難しい計算は自分でやらず、数式処理システム Gap を利用する。参加者には Gap で計算した通りに操作するとルービックキューブが完成することを体験してもらう。実際には $3 \times 3 \times 3$ のルービックキューブでは時間がかかるので、 $2 \times 2 \times 2$ のタイプを一人一個配布して使う。ルービックキューブの各面には手で触れてわかるように点字シールが貼ってあるので、視覚に障害があっても実際に手で触って解くことが可能である。

1. ルービックキューブの各面に番号を付け、この情報からコンピュータを用いてルービックキューブの組み合わせの数を計算する。また、完成状態から一連の操作を繰り返すと必ず元に戻ることも体験する。Gap を使えば、その操作を何回実行すれば元に戻るかがわかる。
2. バラバラになった状態から Gap が教えてくれた解法に従ってルービックキューブを完成させる。次に、一般的なルービックキューブの完成法を学ぶ。具体的には、まず一面を揃えることを試行錯誤で挑戦する。次に、完成までの 2 つの公式を学ぶ。この 2 つの公式については、点図を使った資料にして配布する。
3. 2 つの公式を練習し、自力でルービックキューブを完成できるように何度も挑戦する。

4 視覚障害者用ルービックキューブの製作

$2 \times 2 \times 2$ のルービックキューブについて以下の 5 タイプの試作品を作成した。

- 各面にデコレーションペン利用して記号を描いたタイプ
- 異なる形状の事務用タックシールを重ねて貼ったタイプ
- プラ版で記号を作成し貼り付けたタイプ (理研・産総研による試作)
- 異なる触り心地の布生地を貼り付けたタイプ (理研・産総研による試作)
- 紫外線硬化樹脂 (UV 印刷) を用いた点字シールを貼ったタイプ

すべてのタイプを複数の視覚障害者に試用してもらった結果、UV 印刷を利用したタイプを採用した。点字シールの記号は「・, +, -, □, ○, 無印」の 6 種とした。

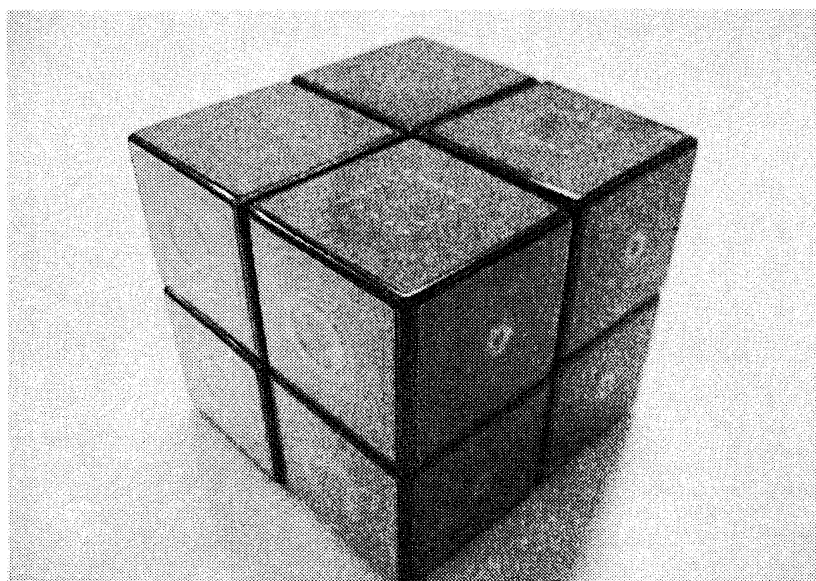


図 1: UV 印刷を利用した視覚障害者用ルービックキューブ

5 実習の様子

実習場所： 全国身体障害者総合福祉センター戸山サンライズ
 実習日時： 2008 年 8 月 23 日 (土) 9:00～11:35
 実習参加者： 8 名 (中二 4 名, 中三 2 名, 高一 2 名)
 実習講師： 藤本光史 (福岡教育大学)
 実習補助： 坂本好夫 (九州先端科学技術研究所),
 亀井 笑, 森 智美, 落合珠美 (東京女子大学)

■ 1 時間目

【ルービックキューブについて】配布した点字資料を参照しながら、ルービックキューブの歴史やいろいろな種類について解説した。その際、担当者の小学校時代のルービックキューブブームの様子も紹介した。また、ルービックキューブの遊び方はバラバラになったキューブを元に戻すだけでなく、6 面揃える速さを競う世界大会もあり、2007 年の優勝者は日本人であることを紹介した。

【ルービックキューブと数学】ルービックキューブの各ピースに番号を付けると、すべての操作はこれらの番号の「置換」で表現できることを解説した。置換に関する数学理論は「群論」と呼ばれ、150 年ほど前から多くの数学者によって研究されており、この理論を用いることでルービックキューブを解くことができると説明した。

【ルービックキューブとコンピュータ】群論は大学の数学科で学ぶものであるが、Gap というソフトウェアで体験できることを紹介した。実際に担当者が Gap を操作し¹⁾、ルービックキューブ群の位数 (ルービックキューブの状態の総数) を計算し、その巨大な数を紹介すると、参加者の多くは驚いた様子であった。その後、完成状態から一連の操作 (右側面を反時計回りに 90 度回転→上面を時計回りに 90 度回転) を何回か繰り返すと必ず元に戻るという現象をルービックキューブを操作して体験した。何回繰り返せばよいかを Gap に計算させ、実際の回数と同じであることも確認した。

¹⁾Gap をインストールしたノートパソコンの画面をスクリーンリーダー (読み上げソフト) で音声出力することで情報を共有した。

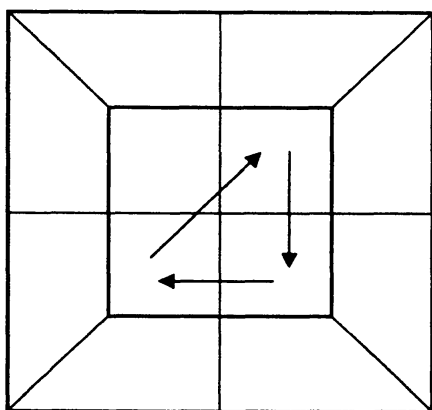


図 2: 公式 1 によるピースの移動

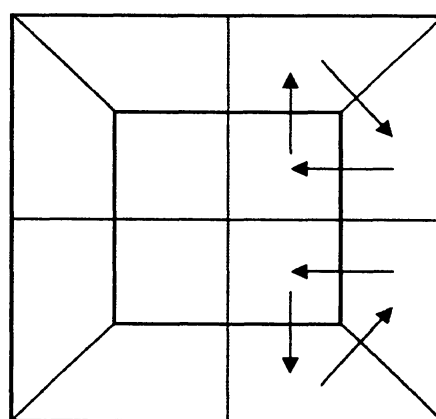


図 3: 公式 2 によるピースの移動

■ 2 時間目

【解法ステップ 1】ルービックキューブの各面の記号「・, +, -, □, ○, 無印」を、完成状態でもう一度確認した後、各自でバラバラの状態になるよう操作した。そして、試行錯誤を繰り返して一面を揃える実習を行った。補助者からの助言をもらいながら、参加者は一面を揃えていった。次に、ただ一面を揃えるだけではダメで側面も揃える必要があることを説明し、一段目を完成させる実習を行った。参加者にとって、この部分は難しかったようで、予想以上に時間がかかった。

【解法ステップ 2】一段目を崩さずに二段目のピースの位置だけを揃える公式 1 について解説した。まずこの公式の操作を用いると、ルービックキューブのピースの配置がどのように変化するかを点図 (図 2) で確認した。そして、操作の表現方法について説明を行った。ルービックキューブの右側面を A、上面を B、左側面を C で表し、「A 下」で右側面を正面に向かって下方向に 90 度回転、「B 左」は上面を正面に向かって左方向に 90 度回転、「C 上」は左側面を正面に向かって上方向に 90 度回転を表すこととした。この操作表現を覚えるために何度もみんなで練習した。この操作表現を用いると公式 1 は「A 下→B 左→C 下→B 右→A 上→B 左→C 上→B 右」と表せる。次に、実際にルービックキューブを操作し、点図の示す通りの状態になるかを確認する実習を行った。公式の途中で操作ミスをするとう元に戻すことができなくなるので、各自に一段目の揃ったルービックキューブを 3 個ずつ配布し、操作ミスをする度に別のキューブを使うよう指示した。崩れたキューブは担当者が直して回った。この公式 1 の習得は大変難しかったようで、これを時間内にマスターできた参加者は少なかった。

■ 3 時間目

ステップ 2 が完了していない参加者が多かったため、担当者がステップ 2 まで完了した状態のルービックキューブを配布し、次のステップに入ることにした。

【解法ステップ 3】公式 2 (図 3) は、前半 8 操作と後半 8 操作が左右対称になっている。

前半 : A 下→B 左→B 左→A 上→B 左→A 下→B 左→A 上

後半 : C 下→B 右→B 右→C 上→B 右→C 下→B 右→C 上

この操作を担当者が読み上げ、参加者全員で一斉に操作していった。一度目で完成できた参加者は 1 名のみであったが、二度目で 4 名、三度目で 6 名、最後の四度目で 8 名と回数を重ねる度に完成できた人が増えていった。時間の関係で 4 回しかできなかったが、何とか最終的には参加者全員が完成できた。このステップにおいても、崩れたキューブは担当者が直して回ったが、この作業は 1 人での対応だったので、時間がかかってしまった。

6 生徒の感想

- 「さわって解けるルービックキューブ」は家にルービックキューブがあつて、そのルービックキューブがなかなか解けなかったから、この実習を選びました。ルービックキューブは $2 \times 2 \times 2$ の場合で約8千万以上の組み合わせがあることには驚きました。
- ルービックキューブのすべての面をそろえることがとても大変でした。何度も挑戦して、やっと全面がそろった瞬間は、とても気持ちがよかったです。
- ルービックキューブは見たことはあつてもやったことがありませんでした。最初は1面をそろえることができませんでした。でも解くための公式があることを知って、2回目に全部そろいました。時間がある時に1面をそろえようと頑張りました。1面がそろってうれしかったです。2時間半あつという間で楽しかったです。
- ルービックキューブの授業では、やはり数学は奥が深く、複雑なのだと感じました。 $2 \times 2 \times 2$ の単純なポケットキューブから、何千万通りもの組み合わせが織り成されるなんて聞いた時には、自分の軽い覚悟とのギャップに落胆を覚えたくらいでした。

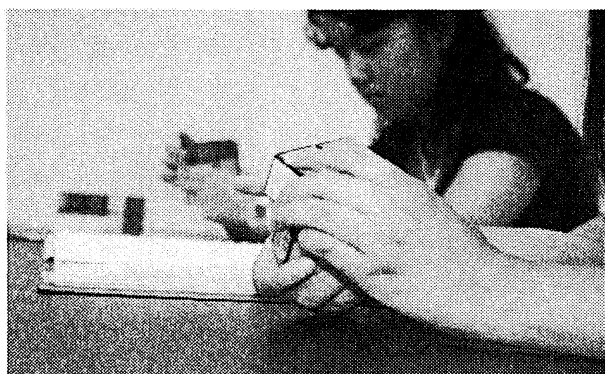


図 4: 実習中の様子

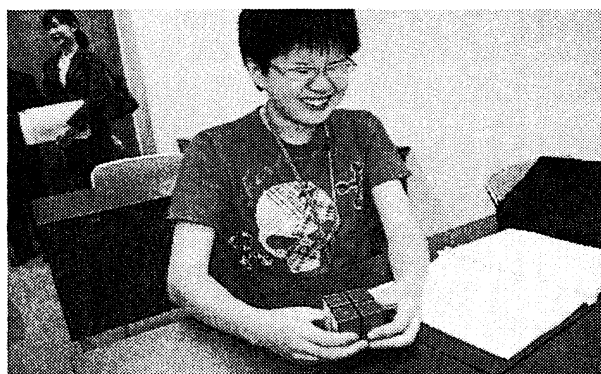


図 5: 完成したルービックキューブ

7 おわりに

今回の実習を終えて改善すべきと思われる点をいくつか列挙したい。公式1の説明については、左上にすべきピースのを見つけ方が難しかったようである。また、右側面をA、上面をB、左側面をCで表し、それを用いて公式を表現した方法はよかったが、操作中にどの面がAだったかで見失ってしまう参加者も多かった。これらの点については今後の課題と言える。生徒2人に1人の補助者が付いたことは実習を進める際に非常に役立ったが、ルービックキューブに精通した補助者が少なかったので、補助者には事前に公式を覚えてもらうなどしておけばもっと円滑にできたかもしれない。

今後の発展としては、ルービックキューブには模様を作る楽しさもある。今回は $2 \times 2 \times 2$ のルービックキューブを利用したが、 $3 \times 3 \times 3$ のタイプだと複雑な模様が作れるので、この模様を作る実習もやってみたい。また、解法を支援するナビゲーションシステムがあれば、補助者の負担を軽減できる。ルービックキューブの状態をWebカメラで撮影し、画像解析により色の配置を求め、その情報から解法を計算し、次の状態までの操作方法を音声で指示するナビゲーションシステムを構築したい。

8 謝辞

視覚障害者向けルービックキューブの試作品の製作において、池上祐司氏（理化学研究所ラピッド・エンジニアリングチーム）と手嶋吉法氏（産業技術総合研究所デジタルものづくり研究センター）に協力いただいた。また、サマーキャンプは、財団法人電気通信普及財団の平成 19 年度 福祉・文化事業援助の助成を受けて実施した。この場を借りて感謝申し上げる。

参 考 文 献

- [1] 田崎拓馬, 藤本光史, GAP を用いた Rubik's Cube 解法表示ソフトについて, 京都大学数理解析研究所 講究録 1652, Computer Algebra – Design of Algorithms, Implementations and Applications, (2009) 125–131.
- [2] GAP – Groups, Algorithms, Programming – a System for Computational Discrete Algebra, <http://www.gap-system.org/>
- [3] 科学へジャンプ・サマーキャンプ 2008, <http://www.sciaccess.net/JSSC2008/> (詳細な報告書がこの URL からダウンロード可能)