

# 深さ優先探索とスタックの利用を学習する CSアンプラグド教材の試作

鶴田直之<sup>†1</sup> 吉村賢治<sup>†1</sup> 橋本浩二<sup>†1</sup> 高橋伸弥<sup>†1</sup> 廣嶋道子<sup>†2</sup>

深さ優先探索とスタックの利用を学習するCSアンプラグド教材を試作した。高等学校への出張講義で実践した結果を主に用いて評価を行い、その有効性について報告する。具体的には、迷宮に隠されている宝物を全て集めて帰ってくるアクティビティを試作した。これを導入として用いることにより、逆ポーランド表記の四則演算がスタックを用いて省スペース（少ないメモリ）で計算できることの理解を高めることができた。

## A CS Unplugged Activity for Learning of Depth First Search and Stack Operations

NAOYUKI TSURUTA<sup>†1</sup> KENJI YOSHIMURA<sup>†1</sup> KOJI HASHIMOTO<sup>†1</sup>  
SHIN-YA TAKAHASHI<sup>†1</sup> MICHIKO HIROSHIMA<sup>†2</sup>

This manuscript introduces a CS unplugged activity for learning of depth first search and stacks operation. Results of examination in a lecture for high school student shows good effect of the activity. In the prototype of activity for the lecture, students collect all the treasures hidden in a labyrinth and come back. By using this activity as introduction, students can easily understand that expressions of four operations described reverse Poland notation, and that the expressions can be calculated by using a stack in few memories.

### 1. はじめに

コンピュータサイエンスを子供たちに体験的に学ばせるための能動的学習法として、Computer Science Unplugged（以下、アンプラグド）が広く普及している[1,2]。アンプラグドは、より健全で高度化された情報化社会を担う子供たちのすそ野を広げるための優れた試みであると言える。この認識のもと、筆者らも、地域貢献の一環として、教員免許状更新講習において小学校から高等学校までの教師にアンプラグドを紹介している[3]。また、福岡大学の市民カレッジ（公開講座）を利用して小学生向けに年に一度の講座を開き[4]、更には出張講義を利用して高校生向けにアンプラグドを実践している。

これらの活動、特に教員免許状更新講習における小学校から高等学校までの教師との交流、を通じて知り得たことは、アンプラグドの効果は単にコンピュータサイエンス（例えば、2進数や通信の基本原則、クイックソートのアルゴリズム、オートマトンとその応用）を分かり易く子供たちに伝えることが可能だけでなく、アンプラグドが、コンピュータサイエンスを起点として、身近な例を使った論理的思考の訓練や課題発見力・問題解決力の育成、アクティビティを通じた主体性やコミュニケーション力の育成に役立つ可能性を持っていることである。本稿では、このような能力の育成を汎用的基礎学習能力（アカデミックスキ

ルズやスタディスキルズと呼ばれているものの基礎部分）の育成と呼ぶことにする。

このような期待感から、現在、我々も独自の教材の開発を進めている[4]。開発している教材は、現時点では、必ずしも学校のカリキュラムに組み込むための整合性を考慮したものではないが、小学校・中学校の総合学習の授業の1コマや中学校・高等学校へ出張講義、理科教室などの実践現場で使えることを目標としている。

本稿では、アルゴリズムを考えるアクティビティの一つとして、木構造の深さ優先探索を理解するための教材を開発したので報告する。この教材は、コンピュータサイエンスの理解として、中学・高校においてはスタックの利用方法の理解までを含む。また、同時に、抽象化された図式表現を使って論理的思考を行う訓練、得られたアルゴリズムを他の問題に当てはめて適用する問題解決能力の育成にも役立つと考えている。次章で、開発したアクティビティの教育目標の詳細について述べ、3章ではアクティビティの内容を述べる。4章では、高校の出張講義で行った実践を基に教材の有効性を検証し、5章でまとめと今後の課題について述べる。

### 2. 高校生に理解させたい内容

#### 2.1 深さ優先探索とスタックの利用

木構造と再帰の手続きを用いて分割統治型のアルゴリズムや全探索問題が簡潔に表現できること、また、深さ優先探索とスタックを用いて空間計算量を小さくして計算がで

<sup>†1</sup> 福岡大学工学部電子情報工学科  
Department of Electronics Engineering and Computer Science, Fukuoka University

<sup>†2</sup> 福岡大学エクステンションセンター  
Extension Center, Fukuoka University

きることは、コンピュータサイエンスの重要なテーマの一つであり、大学教育においても「データ構造とアルゴリズム」や「コンパイラ構成法」の中心となる内容である。

一方、アルゴリズムに関する既存のアンプラグド教材[1]では、「Phylogenetics」のアクティビティの中で、Bioinformatics を題材として分類木の表現が取り扱われている。また、「Divide and Conquer」のアクティビティの中で、分割統治型のアルゴリズムの例として二分探索の問題が取り上げられている。しかしながら、いずれのアクティビティもバックトラックを伴う探索と、深さ優先と幅優先の探索方法の種類や違いには触れられていない。

そこで、次の学習目標を達成することを検討した。

- (1) コンピュータサイエンスの理解
  - 手続きを木構造で表せることを学ぶ
  - 深さ優先に手続きの手順を決める方法を学ぶ
  - 深さ優先とスタックを利用することによって空間計算量を小さくできることを学ぶ
  - 応用可能な多くの実問題が存在することを学ぶ
- (2) 汎用的基礎学習能力の育成
  - 現実の問題と木構造を相互に変換することを通じて問題を単純化・抽象化する能力を育成する
  - 単純化された図式表現の上で、問題の本質を考慮することができる課題発見力・問題解決力の育成
  - 図式表現で得られた概念を、改めて言葉にして人に伝える表現力・コミュニケーション能力の育成

## 2.2 アンプラグドを使う以前の内容

平成 23 年度に高校の出張講義において、2.1 節で述べた目標の達成を目指して、「逆ポーランド記法とスタックの利用による算術四則演算」を講義した。具体的には、受講生 25 名の講義を 2 回行った。一回の講義は 50 分で、次の構成で行った。

1. ICT 分野の動向とアルゴリズムの重要性 (5 分)
2. 二分木による表現と二分探索アルゴリズム, 時間計算量 (15 分)
3. 木構造による四則演算の表現 (5 分)
4. 深さ優先探索と逆ポーランド記法 (5 分)
5. スタックを使って空間計算量を小さくする方法 (10 分)
6. 応用例と発展課題 (5 分)
7. まとめと質疑応答 (5 分)

項目 3 では、図 1 を用いて四則演算を木構造で表現できることを示し、計算の手順には複数の決め方があることを考えさせた。また、数値と演算子、カッコの 1 文字ずつを

書いたカードを配り、途中の計算結果を白紙のカードに書き留めながら計算を進めると、机の上にカードが広く散らばってしまうことを体験させた。

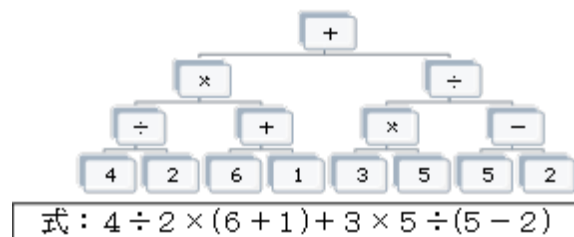


図 1 四則演算の木構造表現

Figure 1 A Binary Tree Describing Four Arithmetic Operations

次に項目 4 では、木構造のすべてのノードを辿る方法として深さ優先探索を紹介し、四則演算の木構造を深さ優先に辿り後行順に演算記号を配置することによって逆ポーランド記法が得られることを理解させた。生徒が理解できたかどうかを図 2 のワークシートによって確認した。

ところが、木構造を深さ優先に探索し、後行順の演算記号配置によって逆ポーランド表記を得ることは、生徒にとって難しいことであり、成果を得られた生徒は極めて少なかった。特に演算子の配置を間違え、あるいは戸惑う生徒が多く見られた。ワークシートを回収していないので正確な正答率は不明であるが、感覚的には半数以下であったと思われる。また、手続き的には正答できて、演算子が後ろに来ることの意味合いや、何をしようとしているのか実感が伴わず、不安に感じて質問してくる生徒が複数いた。

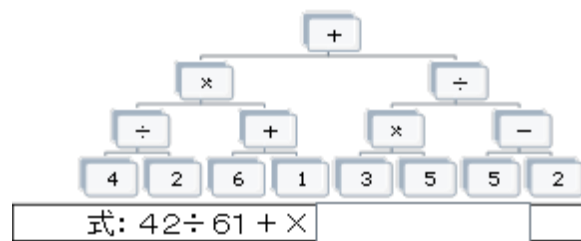


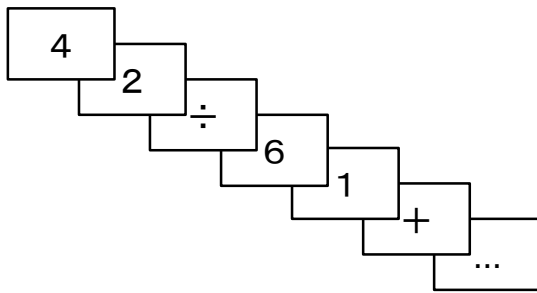
図 2 四則演算の逆ポーランド表記

Figure 2 A Reverse Polish Notation

項目 5 では、生徒にペアもしくは少人数のグループに分かれてもらい、さらに出題者と回答者に分かれてもらい、クイズ形式でスタックの利用法について学ばせた。出題者と回答者への指示は、次の通りである。

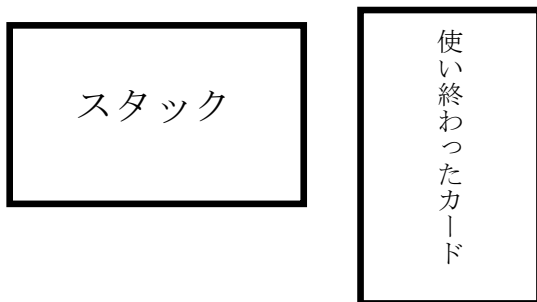
<出題者への指示>

カードを逆ポーランド表記の順番に束ね、一枚ずつ解答者に渡してください。



<解答者への指示>

- 数字のカードをもらったら、順番に「スタック」に積み重ねます。積み重ねたカードの束をスタックと言います
- 記号のカードをもらったら、スタックの上から順に2枚を取り出して計算をします。引き算と割り算の時には下にあった方から上にあった方を引いたり割ったりするので、順番に注意してください。計算結果は未記入のカードに書き留めてスタックに重ねます。使い終わったカードは「使い終わったカード」置き場に捨てちゃいましょう



少ないスペースで計算ができたことには、一応の感動が得られたようであった。しかし、項目4の理解が低いため、上記の指示に従って手続きを行えば何故計算ができるのかを理解している生徒は少ないようであった。同様の理由により、指示された手続きが文章から理解できているかどうか不安を感じて質問する生徒が多かった。項目6は、ほとんど時間をとれなかった。

### 2.3 課題

理解が難しかったところとは深さ優先の探索の手続きである。模擬講義では、文章による説明は行わず、例題を図解して説明した。模擬講義の実施後に改めて確認してみたが、各種書籍や教科書[5-13]でも、「再帰的」や「左部分木」、「バックトラック」という用語を使わずに分かり易く、かつ正確に述べているものはない。後で述べる図5のような挿絵を用いて比較的分かり易く説明しているもの[5-9]でも、説明文においては同様であった。例えば、本稿

執筆時点での Wikipedia[5]では、「形式的には、深さ優先探索は、探索対象となる木の最初のノードから、目的のノードが見つかるか子のないノードに行き着くまで、深く伸びていく探索である。その後はバックトラックして、最も近くの探索の終わっていないノードまで戻る。非再帰的な実装では、新しく見つかったノードはスタックに追加される。」と説明されている。

また、中間ノードにおける処理を行うタイミングについても、先行順 (pre order)、中間順 (in order)、後行順 (post order) の違いを平易に説明することは難しく、各種書籍や教科書でも、深さ優先探索の方法の説明も含めて何らかのプログラミング言語を用いて手続き的に記述しているものが多い。

次章では、これらの課題を克服するアンプラグドのアクティビティについて述べる。

## 3. 開発したアクティビティ

### 3.1 アンプラグドの役割

既に述べたように、高校生が逆ポーランド記法とスタックを用いて四則演算を少ない空間計算量で行えることを目標に、木構造を深さ優先で辿りながら後行順に中間ノードを処理する手続きを分かり易く理解するためのアンプラグドのアクティビティを開発する。

ただし、開発したアクティビティは、高等学校や中学校における講義での導入部分に利用できると同時に、小学生の中・高学年であれば単一のアクティビティとして理解可能なものとする。これにより、小学生でも、「木構造を深さ優先で辿りながら後行順に中間ノードを処理する」ことは日常でも役に立ちそうなことであると感じ、アルゴリズムへの興味を持てるようになるものと考えられる。

### 3.2 アクティビティの詳細

アクティビティは、図3に示すような迷宮での宝集めを題材としたゲームである。ゲームのルールと注意事項を以下に示す。

- ルール
  - 内部が迷路のようにになっている迷宮から宝物を集めます
  - 迷宮には出入口は一つしかありません
  - 迷宮の中はたくさんの行き止まりがあり、それぞれの行き止まりに宝物が眠っています
  - さあ、宝物を一つ残らず、集めて帰ってきましょう
- 注意事項
  - 宝物は取り残さないように、全て集めてきてください

- 出入口は一つしかありませんので、必ず元に戻ってきてください
- 集めた宝を全て持ち歩くのはたいへんですから、なるべく持ち歩かなくてよいように迷路の歩く順路を工夫してください
- 迷路で迷わないように、通路には印をつけても良いです

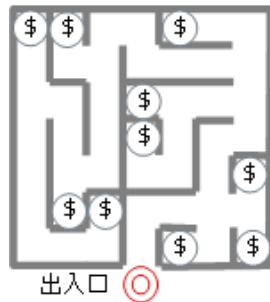


図 3 宝探しの迷路の例

Figure 3 An Example of Labyrinth for Treasure Hunting

次に、教材について述べる。図 4 の(a)に示す迷路を印刷した用紙と図 4 (b)に示すような目隠しの用紙を用意する。目隠しの用紙の中央には小さな四角い穴（小窓）をあけておく。(a)の用紙の左右に切れ目を入れておき、(b)の用紙の上下を折り曲げるか、切り落としておく。(c)に示すように(a)の用紙の切れ目に(b)の用紙を挿入し、(b)の用紙の小窓を除きながら上下左右に(b)の用紙を動かせるようにする。

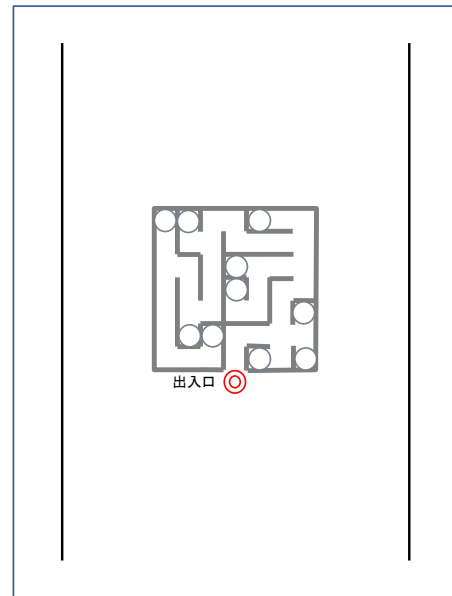
### 3.3 アクティビティの実施の手順

まず、生徒には、特に知識を与えず、次のゲームを行わせる。

1. 迷路を探検しながら、行き止まりに達したら宝物の○印の中に番号を順につけましょう
2. 灰色の線は迷路の壁ですから、ずるをして飛び越えてはいけません
3. 全部の宝物を見つけたと思ったら、上の紙を取り外してすべての○印に番号がついているか、確かめましょう

次に、「右手法」による迷路の解き方を生徒に教え、新しい迷路の用紙を使い、右手法を実践させる。

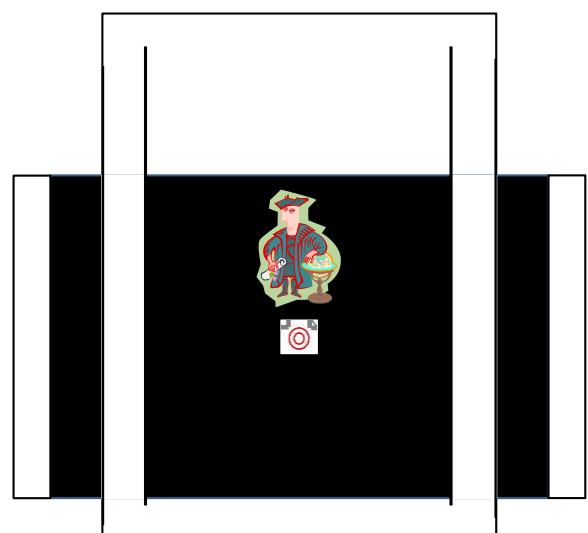
1. 壁の内側を右手で触りながら歩き回しましょう。途中で触っている手を右から左に変えてはいけません
2. 先ほどと同じ要領で、行き止まりに達したら宝物の○印の中に番号を順につけましょう
3. 宝物を全て見つけたと思ったら、上の紙を取り外してすべての○印に番号がついているか、確かめましょう



(a)



(b)



(c)

図 4 宝探し用の教具

Figure 4 A Teaching Tools for Treasure Hunting

最後に、前述の注意事項を確認する。集めた宝をなるべく持ち歩かなくてよいようするためには、迷路の途中に集めて置いておけばよいことを伝え、宝の運び方の工夫を考えさせる。

### 3.4 振り返りと発展学習

生徒に、図 5 に示すような木構造の迷路を与え、右手法で迷路を辿りながら、集めた宝をなるべく持ち歩かなくてよいようするための方法を考えさせる。順路の方向が下から上に単一なので、生徒には問題の本質が理解しやすいものと思われる。ただし、この時点では、迷路の構造が木構造で表現できることは生徒には伝えない。

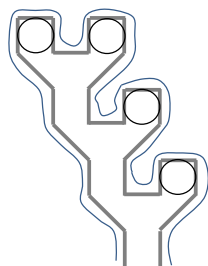


図 5 木構造の迷路の例

Figure 5 An Example of Tree Structure Labyrinth

その後、生徒が以下の点に気づくよう支援をしながら指導する。

- 分岐点では進行方向に向かって右手の通路から先に（順に）進む手順になること
- 分岐点から進んだ経路からは必ず元の分岐点に戻ってくる
- 分岐点では、すべての枝分かれを調べ終わると、必ず出入口方向に戻ること
- したがって、枝分かれした通路から集めてきた宝物は、一旦分岐点に置いて貯めておき、最後に出入口方向に戻るときに、全てを次の分岐点まで運びだせばよいこと

次に、四角い迷路が木構造の迷路を用いて表せることを学ぶ。生徒に図 6 を与え、一本道の曲がり角と交差点での枝分かれの方向、および分岐点や行き止まりの間の距離以外は、四角い迷路も木構造の迷路も同じであることを学ばせる。

迷路が必ず木構造で表現できるためには、迷路の内部にループがないことや、出口がないことが必要であるが、この制約については触れないことにした。高等学校レベルであれば、これらの制約につて生徒に考えさせることも興味深いかもしれない。

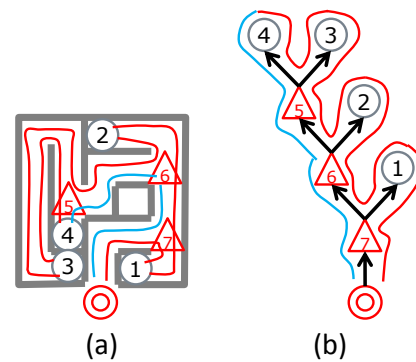


図 6 小さな迷路(a)と対応する木構造(b)

Figure 6 A Small Labyrinth (a) and its Tree representation (b).

1. (a)の図では、行き止まりに○を、交差点に△を書込んであります
2. ○印には右手法で見つけた順番に、△印には宝物をまとめて持ち帰る帰り道の順番に通し番号を付けています
3. つながりの順番を守って木状に広げたものが(b)の図です
4. 右手法のなぞり方を木構造の上で確かめましょう

高校生に対しては、図 6 の(a)のみを与えながら次のような指示をして、四角い迷路から木構造の迷路を自分で描けるように学ばせる。

1. まず、行き止まり（葉ノード）に○を、交差点（内部ノード）に△を書込みます。
2. 次に、○印には見つけた順番に、△印には宝物をまとめて持ち帰る帰り道の順番に通し番号を付けます（図 7）
3. つながりの順番を守って木状に広げましょう
4. 右手法のなぞり方を木構造の上で確かめましょう

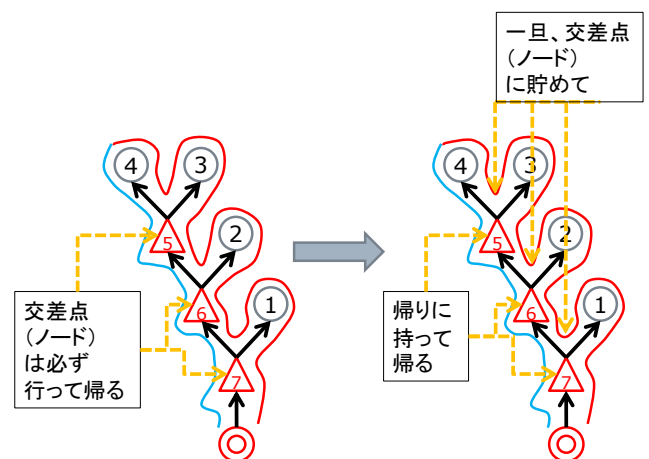


図 7 後行順に基づく宝の集め方

Figure 7 Treasure Hunting According to Post Order Manner.

### 3.5 教材の工夫点

教材開発に当たっては、事前に小中学生一名ずつに対して基礎調査として協力を依頼して試行錯誤をした。また、教員免許状更新講習において小学校から高等学校までの教師と議論をし、意見交換をして改良を試みた。

以下に、これらの活動を通して得られた工夫点を列挙する。

- 迷路を右手法で辿るとき、出発点での進行方向が下から上に向かっていった方が、困惑しにくい。
- 迷路と木構造を対応付ける際に、木構造もルートノードを下にして、下から上に広がるようにした方が良い。
- 右手法を初めて生徒に実践させる際は、図 4 の(a)だけを用いて、生徒に直接、用紙上に鉛筆書きでなぞらせた方が理解も深まり、時間も短縮できる。
- 教員免許状更新講習に参加した小学校から高等学校までの教師の中でも、右手法を知っている教師は少なく、生徒たちにとっても知名度の低い方法であると考えられる。

## 4. 実践と評価

### (1) 出張講義の内容

2.2 節で述べた平成 23 年度の高校への出張講義と同じプログラムを平成 24 年度も行った。対象となる高校も対象学年も同じである。講義を 2 回行い、それぞれの受講生は 17 名と 23 名であった。一回の講義は 50 分で、平成 23 年度に行った二文探索の項目をアンプラグドに置き換えた。具体的には次の構成で行った。各項目に配分した時間も平成 23 年度と同じである。

1. ICT分野の動向とアルゴリズムの重要性 (5 分)
2. 本稿で提案した迷路の宝探しの実践 (15 分)
3. 木構造による四則演算の表現 (5 分)
4. 深さ優先探索と逆ポーランド記法 (5 分)
5. スタックを使って空間計算量を小さくする方法 (10 分)
6. 応用例と発展課題 (5 分)
7. まとめと質疑応答 (5 分)

以下、2, 4, 5 項について、回収したワークシートから分析した生徒の理解度について述べる。

ワークシートを回収するために、生徒にはワークシートと同じ A 4 サイズのカーボン紙と白紙を配り、ワークシートへの記入内容を複写していただくように依頼をした。

2 項については迷路のアクティビティに対する生徒の直接的な理解度を測定し、4 項については 2 項の理解によって逆ポーランド記法の記述ができるようになったかどうか

を検証する。また、5 項では、スタックを使って空間計算量を小さくする方法に対する生徒の理解度、および達成感を筆者らの主観評価について述べる。

### (2) 3 項における迷路の宝探しの実践と評価

まず、以下に述べる【生徒への設問 1】によって右手法による迷路探索の理解度を確認した。次に、迷路と同じ木構造が書けるかどうかを確認した。最初に【生徒への設問 2】でやや小さな迷路を使い、同じ構造の木構造を記述するように指示した。その後、【生徒への設問 3】で本題の迷路と同じ木構造を考えられるが、時間配分の都合もあり、穴埋め式とした。【生徒への設問 4】では、なるべく疲れないように宝物を運ぶ方法の説明文を記述するよう指示した。

#### 【生徒への設問 1】

迷路を「右手法」に従って鉛筆でなぞりながら、見つけた宝に番号をつけてみよう。すべての宝を見つけることができましたか？

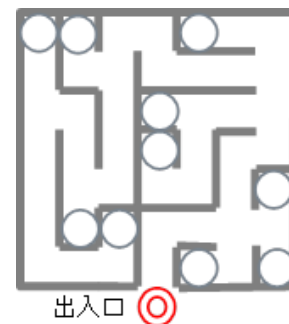


図 8 「右手法」確認用のワークシート

Figure 8 A Work-sheet for Learning of “Right Hand Method.”

表 1 「右手法」の理解度

クラス	1 (17 名)	2 (23 名)
設問 1 の正答率	100% (17 名)	95.7% (22 名)

表 1 に示すように、ほぼ全員の生徒が問題なく右手法を理解することができた。事前に右手法を知っている生徒がいるかどうか尋ねたところ、知っていた生徒は 2 クラスを合わせて 1 名だけであった。

#### 【生徒への設問 2】

練習用の下図の迷路と同じ木構造を書いてみましょう。

1. まず、行き止まり（葉ノード）に○を、交差点（内部ノード）に△を書込みます
2. 次に、○印には見つけた順番に、△印には帰り道の順番に通し番号を付けます



3. つながりの順番を守って木状にあげましょう
4. 右手法のなぞり方を木構造の上で確かめましょう

<練習用>

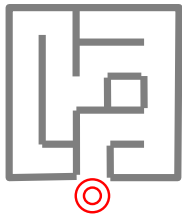


図 9 迷宮と木構造対応の確認用ワークシート

Figure 9 A Work-sheet of Tree Representation of Labyrinth

(図中の右半分は、木構造を書くための空白である)

表 2 小さな迷宮と木構造対応の正解率

Table 2 Accuracy of Tree Representation for The Small Labyrinth.

クラス	1 (17名)	2 (23名)
設問2 練習用 正答率	94.1% (16名)	47.8% (11名)

【生徒への設問3】

本番用の迷宮と木構造が同じになるように、空欄に番号を入れて、木構造を右手法でなぞってみよう。

<本番>

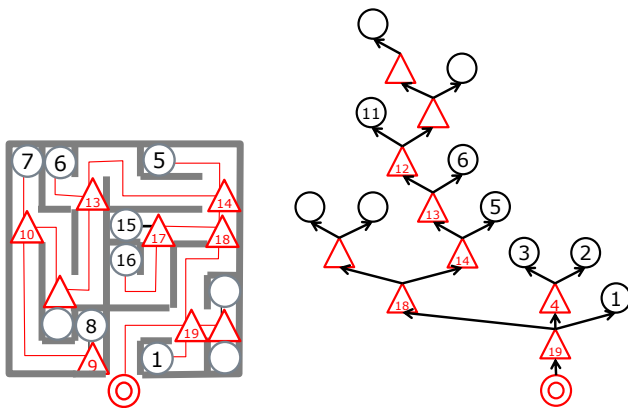


図 10 迷宮と木構造の対応付けの確認問題

Figure 10 A Short Test for Tree Representation of Labyrinth

表 3 迷宮と木構造対応の正解率

Table 3 Accuracy of Tree Representation for The Labyrinth.

クラス	1 (17名)	2 (23名)
設問2 本番 完全正答率	17.6% (3名)	60.9% (14名)
設問2 本番 部分正答率	29.4% (5名)	26.1% (6名)
合計	47.1% (8名)	87.0% (20名)

生徒への指示が徹底できておらず、クラスによって練習用と本番に使用する時間配分にバラつきが生じた。表 2 に示すように、クラス 1 では、94%の生徒が練習用の迷宮から対応する木構造を記述することができた点を踏まえると、十分な時間を使えば達成可能な課題であったと言える。

また、クラス 2 では、本番課題の完成を目標にするように、更に木構造の穴埋めを優先するように指示をした。表 3 では、全ての穴埋めを正解した生徒の割合を完全正答率、木構造の穴埋めまではできている生徒の割合を部分正答率として評価した。結果から、やや複雑な構造の迷宮であっても、十分な時間を使えば迷宮と木構造を対応付けることは可能であると言える。

【生徒への設問4】

なるべく疲れないように宝物を運ぶ方法を説明してみましょう。

表 4 後行順による宝運びの説明正解率

Table 4 Accuracy of Explanation for Treasure Hunting According to Post Order Manner.

クラス	1 (17名)	2 (23名)
設問3の正答率	23.5% (4名)	30.4% (7名)

設問が抽象的であったことと、時間が足りなかったこともあり、解答した生徒がすくなかった。しかしながら、解答は全て「交差点に宝物をためて、入口方向に戻るときにまとめて持ち帰る」という主旨のことが記述できており、内容は理解できていると思われる。

(3) 4項における逆ポーランド記法の理解度の評価

【生徒への設問5】を用いて逆ポーランド記法の理解度を測定し、3項におけるアンブラグドの効果を評価する。

【生徒への設問5】

今度は、「逆ポーランド記法」を使いましょう。四則演算は木構造で表現できます。まず、逆ポーランド記法の式を書いてみましょう。

表 5 逆ポーランド記法で四則演算式を記述できた割合

Table 5 Accuracy of Reverse Polish Notation derivation .

クラス	1 (17名)	2 (23名)
設問4の正答率	94.1% (16名)	91.3% (21名)

講義では図 2 を用いて左半分の木と、導出される逆ポーランド記法の説明をし、空欄部分の正答は与えなかった。これに対し、生徒の理解度を確認するときは、図 1 のみを与えて、導出される逆ポーランド記法の導出ができるかどうかを問うた。

結果的に、非常に高い正解率を得た。2.2 節でのべたように平成 23 年度の出張講義では、主観評価で正解した学生が半分以下であったのに対し、逆ポーランド記法に関する説明時間を延長することなく高い正解率を得ることができたことは、提案したアクティビティの効果があつたものと言える。

#### (4) 5 項によるスタックの利用方法の理解度の評価

2.2 節で述べた項目 5 を平成 23 年度と同様に実施した。すべてのグループが時間内に最後まで終わることができ、アルゴリズムの面白さを理解し、感動が得られたようであった。また、平成 23 年度のように指示された手続きが文章から理解できているかどうか不安を感じて質問する生徒はいなかった。項目 6 は、ほとんど時間をとれなかった。

#### (5) 6 項での応用例

数字カードの並べ替え問題を取り上げ、四則演算の木構造において中間ノードの演算をマージによる並べ替えに置き換えれば、直ちに二分探索型のマージソートになることを説明し、深さ優先探索を行うことで狭い場所でも並べ替えが行えることを説明した。理解度を確認するには至らなかった。

### 5. おわりに

本稿では、アルゴリズムを考えるコンピュータサイエンスアンブレグドのアクティビティの一つとして、新たに提案した木構造の深さ優先探索を理解するための教材について報告した。開発したアクティビティを高等学校の出張講義で実践し、その有効性を評価した。出張講義は、四則演算の式を木構造で表現して逆ポーランド記法による表現を導出し、深さ優先探索とスタックを用いて少ない空間計算量で処理が行えることの理解を目的として行った。アンブレグドのアクティビティの役割は、深さ優先探索と後行順を使った木の探索手順を分かり易く伝えるための事前学習である。提案したアクティビティを使わずに平成 23 年度に行った出張講義では、深さ優先探索と後行順を使った木の探索手順の理解が進まず、逆ポーランド記法で四則演算式

を記述できないなど、つまり生徒が半数以上いたのに対し、アクティビティを使った平成 24 年度の出張講義では、90%以上の生徒が逆ポーランド記法で四則演算式を記述することができた。この教材は、コンピュータサイエンスの理解に加え、中学・高校においてはスタックの利用方法の理解までを含む。また、同時に、抽象化された図式表現を使って論理的思考を行う訓練、得られたアルゴリズムを他の問題に当てはめて適用する問題解決能力の育成にも役立つと考えている。

今後は、先行順、中間順についてもストーリー性を持ったアクティビティを開発して後行順との比較ができるようにすることが考えられる。

**謝辞** 本研究の一部は文科省科学研究費 23501038「小学校から高校までのアクティビティ型情報科学教育の開発と実践」の助成を受けて行った。

### 参考文献

- 1) <http://csunplugged.org/>  
<http://office.microsoft.com/ja-jp/word-help/CH010097020.aspx>
- 2) 兼宗進監訳, コンピュータを使わない情報教育アンブレグド コンピュータサイエンス, イーテキスト研究所 (2007)
- 3) 吉村賢治, 鶴田直之, 佐藤寿倫, Computer Science Unplugged の教員免許更新講習での活用事例, 情報処理学会研究報告コンピュータと教育, Vol. 2009-CE-101, No. 5, pp. (2009)
- 4) 吉村賢治, 橋本浩二, 高橋伸弥, 鶴田直之, 廣嶋道子, 小学生を対象としたCSアンブレグド「体験して学ぶコンピュータ科学」の実施報告, 情報処理学会研究報告コンピュータと教育, Vol. 2012-CE-114, No. 12, pp. (2012.3)
- 5) <http://ja.wikipedia.org/wiki/>
- 6) 森元暹, C をさらに理解しながら学ぶ データ構造とアルゴリズム, 共立出版 (2007.12)
- 7) 湯田 幸八, 伊原 充博, アルゴリズムとデータ構造 (電気・電子系教科書シリーズ), コロナ社 (2002.5)
- 8) 杉山行浩, C で学ぶデータ構造とアルゴリズム, 東京電機大学出版局 (1995/11)
- 9) A. V. エイホ, R. セシィ, J. D. ウルマン, 原田 賢一, コンパイラー原理・技法・ツール〈1〉 (Information & Computing), サイエンス社 (1990.10)
- 10) 杉原 厚吉, データ構造とアルゴリズム, 共立出版 (2001.12)
- 11) 平田 富夫, アルゴリズムとデータ構造—改訂 C 言語版 (電気工学入門シリーズ), 森北出版 (2002.9)
- 12) A.V. エイホ, J.D. ウルマン, J.E. ホップクロフト, (訳) 大野義夫, データ構造とアルゴリズム (情報処理シリーズ), 培風館 (1987.3)
- 13) クリストファ・J. ヴァン・ワイク, Christopher J. Van Wyk, (訳) 玉井浩, データ構造と C プログラム (Higher Education Computer Series), アジソンウェスレイパブリッシャーズジャパン (1999.1)