

アルゴリズムを見よう

大西建輔 | 東海大学

アルゴリズムは難しい？

アルゴリズムは、とかく難解になりがちである。特に論文となるようなアルゴリズムの場合、既知の手法を元に自身のアルゴリズムを構築していく。その上で、数学的な道具を使い、計算量の証明などを行う。こうなってくると、論文は何十ページにもなり、限られた人だけがアルゴリズムを“理解”できることになる。一方で、アルゴリズムは、物事を行う手順を書いたものである。そのため、基本的なアルゴリズムであれば、行うことを順番にノートなどに書いてみれば分かることも多い。少し複雑になってくると、書くだけでは理解しづらいところも出てくる。そのため、1980年代からアルゴリズムを見る、すなわち分かりやすく可視化し理解を深めてもらうという研究や取り組みがなされている。

筆者は、アルゴリズムやデータ構造の理解には、3つの段階があると考えている。

1. **知識としての理解** アルゴリズムやデータ構造がどのようなことを提供してくれるのかを理解する段階である。プログラミング言語の提供するデータ構造を使う、API^{☆1}を利用することもこの段階に含まれる。計算量を証明なしに覚えることもある。
2. **仕組みの理解** アルゴリズムやデータ構造がどのように作られているのかを理解する段階である。擬似コードや実際のコードを見つつ、どう実装されているのか、なぜその計算量で終了するのかなどを理解する段階である。ここでは、数学的な知識が必要となる。
3. **実装と改善ができる理解** アルゴリズムを元に実装

☆1 Application Programming Interface, ソフトウェア同士が情報を交換するための仕様。

ができる段階である。仕組みの理解ができている上に、プログラミングの能力が要求される。

すべての学習者が第3段階までいく必要はない。一般情報教育であれば、第1段階ができればよい。多くの情報系学科や学部では、第2段階や第3段階を目指すことになる。

本稿では、第2段階までの理解を促すいくつかのツールや取り組みを説明する。これらを上手に利用し、アルゴリズムを理解してほしい。

Python Tutor

Python Tutor^{☆2}は、Philip Guoの作成したソースコードを逐次実行し、実行の過程を見せるシステムである¹⁾。Python Tutorは、Pythonだけでなく、Java言語、C言語、C++言語、JavaScript、Rubyでも利用することができる。

まず、Python Tutorの画面(図-1)を説明する。左側には、現在実行中のソースコードが表示される。緑色の矢印で示されているのは、実行し終わった行であり、赤色で示されるのは次に実行する行である。Edit this codeをクリックすると、ソースコードの編集画面に移動する。下側のスライドバーや、[Prev]や[Next]ボタンを使うことで、プログラムの実行場所を変更することができる。右側上部にはソースコードに含まれるprint文などの出力結果が表示され、右側下部にはソースコードで使われている変数やデータ構造の中身が表示される。そのため、教員が講義などで、実行の様子を黒板や

☆2 <http://www.pythontutor.com/>

ホワイトボードなどに書くことの代わりとして利用することができる。また、ソースコードさえあれば、どのようなデータ構造になっているかを見ることができる。

図 -1 では、Python Tutor 上で、Python に含まれるリスト構造 `aList` を定義 (1 行目) し、いくつかの操作を行っている。リスト構造は、同じ型の要素を順に並べたデータ構造であり、データの追加、削除、検索などの操作を行うことができる。

最初に定義されているリスト構造の要素は、`['and','bool','for','and']` である。2 行目では、`aList` を並べ替えたリスト構造 `sortedList` を作成している。`sortedList` の内容が、図 -1 の右側下部に表示されている。次に、4 行目でリストの最後尾の要素を取り出し、出力している。さらに、5 行目で最後尾に `while` という要素を加えている。緑の矢印は実行が終わった行なので、`aList` の最後に要素が追加されている。

Python Tutor の良い点として、自身の環境にインストールし、実行できることが挙げられる。次の手順を行えばよい。

1. bottle ウェブサーバのインストール。
2. git のインストール。
3. GitHub からファイルをコピー。

```
git clone
```

```
https://github.com/pgbovine/OnlinePythonTutor
```

4. `OnlinePythonTutor/v5-unity/` に移動し、`python bottle_server.py` を実行。

5. `http://localhost:8003/visualize.html` にアクセス。

Python Tutor には、以下の制限がある。

- 実行は、1,000 ステップまで。
- 利用できるライブラリには制限がある。
- `bisect`, `collections`, `math` などは利用可能。
- (Java 言語) 現在はメンテナンスされていない。また、`Scanner` は使えない。
- (Ruby) 現在はメンテナンスされていない。

ぜひ、さまざまなソースコードを Python Tutor で試してほしい。また、これ以外にも、ソースコードを可視化してくれるサイトとして、Algorithm Visualizer^{☆3} などもある。ただし、元のソースコードに可視化するためのコードを追加する必要がある。

アルゴリズム図鑑

アルゴリズム図鑑^{☆4} は、石田保輝さんと光森裕樹さんが作成したさまざまなアルゴリズムを見られるアプリである。Android 携帯向け、iPhone/iPad 向けが公開されている。また、その内容を解説した書籍『アルゴリズム図鑑 絵で見てわかる 26 のアルゴリズム』²⁾ も出版されている。

アルゴリズム図鑑では、以下のアルゴリズムを動きのあるイラストで見ることができる。基本は無料のアプリ

☆3 <https://algorithm-visualizer.org/>

☆4 <http://algorithm.wiki/>

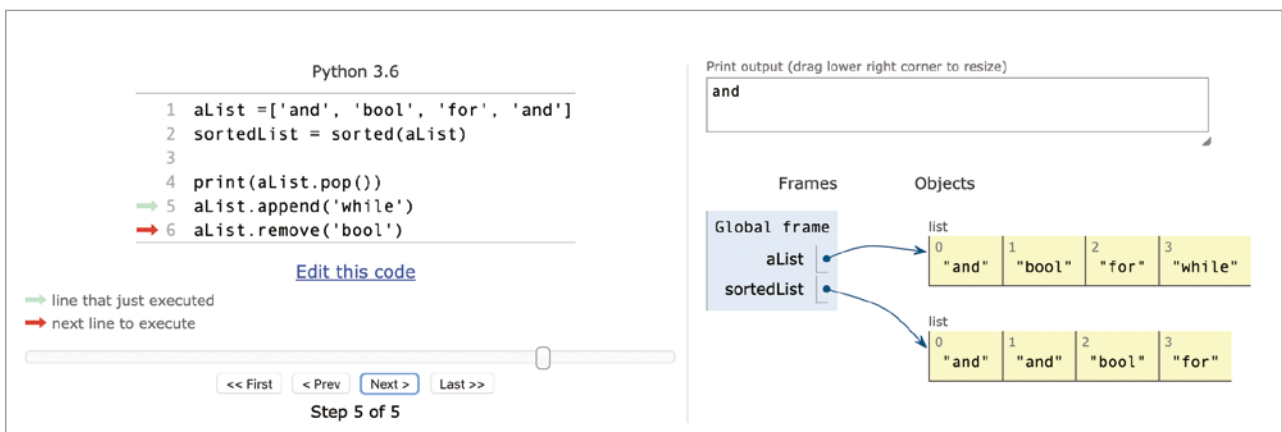


図 -1 Python Tutor の実行画面

であるが、一部のアルゴリズム（†の付いたもの）は有償である。

ソート バブルソート、選択ソート、ヒープソート、マージソート†、クイックソート†

データ構造 リスト、配列、スタック、キュー、ハッシュテーブル、ヒープ†、2分探索木†

グラフ探索 幅優先探索、深さ優先探索、ベルマンフォード法、ダイクストラ法†、A* アルゴリズム†

数学、再帰 ユークリッドの互除法、素数判定法†、ハノイの塔

データ圧縮 ハフマン符号†、ランレングス符号

セキュリティ ハッシュ関数、共通鍵暗号方式、公開鍵暗号方式、ハイブリッド暗号方式†、ディフィー・ヘルマン鍵交換法†、メッセージ認証コード、デジタル署名†、デジタル証明書†

リスト探索 線形探索、2分探索

その他 k -means 法（クラスタリング）†、ページランク（ウェブ）†

図-2 は、アルゴリズム図鑑のスクリーンショットである。図-2 左は、起動時の画面である。バブルソートとその実験などの項目が並んでいることが分かる。図-2 中、右は、それぞれ線形探索のアルゴリズムの説明と実験である。アルゴリズムの説明では、そのアルゴリズムがど

のような動作をするのかを段階的に見せる。そして、実験はアルゴリズムを実際に使い、どう動いていくのかを段階的に見ることができる。説明と実験のペアでアルゴリズムを理解していくというのが、アルゴリズム図鑑の良い点である。また、英語、スペイン語、ポルトガル語、中国語、ロシア語、韓国語に対応しているため、それぞれの言語でアルゴリズムを学ぶ学生も利用できる。さらに、書籍も出版されているため、手元でアプリを動かしつつ、書籍を読むことで、アルゴリズムの動作や仕組みを理解できるようになっている。

データ構造ビューワ

データ構造ビューワは、筆者がデータ構造とアルゴリズムの理解、特に仕組みの理解のために考案したアプリである。Java で書かれた Java 版は、Android 携帯上で動作し、Google Play（2020 年 6 月現在）に公開されている。Java 版のコードは、GitHub で公開^{☆5}されている。また、JavaScript で書かれたデータ構造ビューワは、Monaca というプラットフォーム^{☆6}上で開

☆5 <https://github.com/KensukeOnishi/data>, 数年前の Android コードのため、動作の保証はしない。ただし、Heap.java などのデータ構造の Java コードは利用可能である。

☆6 <https://edu.monaca.io/>



図-2 アルゴリズム図鑑、起動画面（左）、線形探索（中）、線形探索の実験（右）

発され、Google Play と App Store にて、公開されている (2020 年 6 月現在)。アプリの公開先は、書籍サポートページ^{☆7}を見てほしい。このバージョン (Monaca 版と呼ぶ) は、アシアル (株)^{☆8}の協力を得て、開発された。Monaca 版は、Android 携帯と iPhone/iPad に対応している。Monaca 版のコードも、GitHub で公開^{☆9}されている。本稿では、Monaca 版を中心に説明するが、Java 版でもほぼ同じことを実現している。

図-3 は、データ構造ビューワの画面である。図-3 左は、データ構造ビューワで実装したアルゴリズムの一覧が表示されている。この画面は、アプリ左上の☰をタップすることで、表示される。Monaca 版で実装されているのは、スタック、キュー、リスト (配列)、リスト (ノード)、順序付きリスト、二分探索木、ヒープ、ハッシュ、バブルソート、選択ソート、挿入ソート、クイックソート、マージソートである。Java 版では、ソート以外のデータ構造が実装されている。

図-3 中は、クイックソートの画面である。データ数は、5 個から 20 個まで変更することができる。表示スピードのスライダを動かすことで、実行の速度を変化させることができる。下部には、比較回数、交換回数が表示され

る。ソートアルゴリズムには、すべて比較回数と交換回数が表示されるため、アルゴリズムごとの比較回数、交換回数を比較することで、計算量の違いを見ることができるようになっている。

図-3 右は、ノードを用いたリストである。ノードは、それぞれのノードを表す数値 (C 言語や Java ではポインタ)、そのノードが持つ情報 Info と次のノードを表す数値 Next からなる。このノードを繋いでいき、リスト構造を作る。Monaca 版は、JavaScript で書かれているため、ノードの生成順にユニークな ID を付けて、ノードを表す数値としている。Java 版は、hashCode メソッドを用いて、実現している。

図-3 右のノード 0 (Node:0 となっている行) はヘッダと呼ばれるノードで、情報 Info を持たず、次に続くノードが 9 であるという数値 Next を持つ。そこでノード 9 を見ると、“伊集院”という情報と、次のノードが 8 であることが分かる。順にノードをたどっていき、Next が null になったときに、リストは終了となる。

リスト (ノード) のアプリでは、ヘッダだけの初期状態から始まり、ノードを (ヘッダのすぐ後に) 追加、入力にある情報を持つノードを検索／削除することができる。そのため、ユーザはリスト構造の仕組みを見ながら、学ぶことができる。また、ソースコードは GitHub で公開さ

☆7 書籍サポートページ <https://edu.monaca.io/data> には、アプリへのリンクや Monaca を用いた実行方法の解説もある。

☆8 <https://asial.co.jp/>

☆9 <https://github.com/asial-joken/monaca-algorithm>



図-3
データ構造ビューワ、
アルゴリズム一覧 (左)、
クイックソート (中)、
リスト (右)

れているため、それを参照しながら学ぶこともできる。

データ構造ビューワでは、データ構造の中身になるべく見せるようにしている。単にどう動くかだけでなく、その仕組みを理解してほしいためである。

さらに、拙著『アプリで学ぶデータ構造とアルゴリズム』³⁾には、各データ構造の中身やアルゴリズムとしての解説、ソースコード、計算量の解析などを載せた。そのため、読者の学びたい段階まで学習することができる。細かく丁寧に説明を行ったので、これまでにデータ構造やアルゴリズムの学習に挫折してしまった人も一度手にとってほしい。また、アプリを使うだけでも、アルゴリズムを理解するきっかけになると考えている。

さらなる学びに向けて

ここまで、Python Tutor、アルゴリズム図鑑、データ構造ビューワという3つのツールを紹介した。それぞれに特徴はあるが、組み合わせることもできる。

図-4は、Python Tutorでデータ構造ビューワのJava版に含まれる配列によるリスト構造 ListArray.java を含んだコードを実行したものである。最初に、リスト alist を宣言しているので、右側にあるリスト構造

ができる。図-4の alist に book という文字列を入力するところまで実行が進んだところ (20 行目) である。入力前に、配列が満杯かどうかを調べるため、full (14 行目から 17 行目) が呼び出されている。

今回、紹介したのは、あくまでも学びのためのツールである。ここに書かれていることを行わなければ、学習ができないわけではない。昔から使われている素晴らしい書籍を読むだけで、アルゴリズムやデータ構造を学ぶことができる人もいるだろう。そこでしか学べない内容もある。しかし、現代は、老若男女がプログラムを作り、初等教育でもプログラミングが教えられる時代である。それぞれの学びがあり、それぞれの段階に応じた理解があってよい。読者の皆さんの目標とする理解を目指して学習してほしい。

参考文献

- 1) Guo, P. J. : Online Python Tutor : Em-bedddable Web-Based Program Visualization for CS Education. SIGCSE 2013.
- 2) 石田保輝, 宮崎修一: アルゴリズム図鑑絵で見てわかる 26 のアルゴリズム, 翔泳社 (2017).
- 3) 大西建輔: アプリで学ぶデータ構造とアルゴリズム, 学術研究出版 (2019).

(2020 年 5 月 29 日受付)

大西建輔 (正会員) onishi@tokai-u.jp

1998 年神戸大学大学院自然科学研究科博士課程満期退学, 電気通信大学助手を経て, 2004 年から現職。アルゴリズムや情報教育の研究に従事。博士 (理学)。

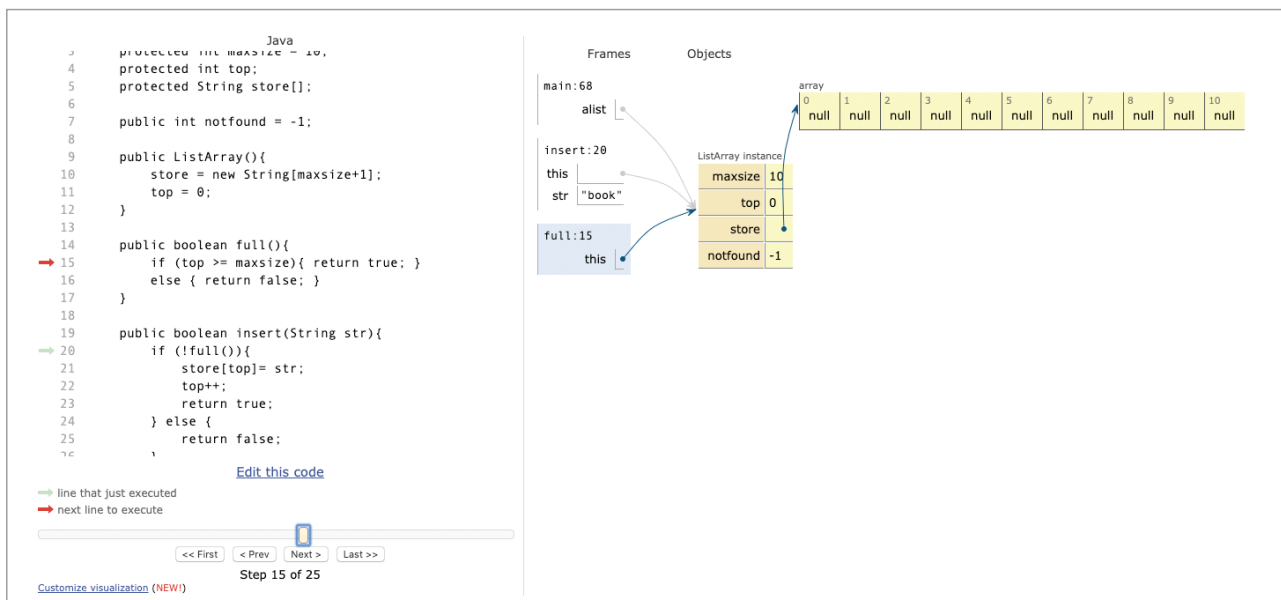


図-4 Python Tutor での ListArray.java の実行