

自己説明に基づく基本アルゴリズムの学習支援環境とその運用

土屋孝文*1・杉山康太・常富康平・渡邊裕介
Email: tsuchiya@sist.chukyo-u.ac.jp

*1: 中京大学情報理工学部

◎Key Words アルゴリズム、プログラミング、学習支援

1. はじめに

情報系基礎科目「アルゴリズムとデータ構造」の学習には、主に3種類の理解が関係する⁽¹⁾。すなわち、アルゴリズム(解法)の理解、コーディング(プログラミング)、プログラムの実行過程である。規範的なプログラミング過程は、これらのプロセスが順に進むものとモデル化されるが⁽²⁾、実際は相互に影響しあう総合的な過程となるだろう。初学者が解答プログラムを「わからない」とするとき、3種類の知識がどのように関係した状態なのかを推測するのは非常に難しい。そこで、本研究では3種類のうち、アルゴリズムの理解を中心にした学習の支援を検討している。

この領域では、具体的な例題を繰り返し解くことから、学習者自身に素朴な解法の対象化(自然な言語化)が期待できる。アルゴリズム論の学習目標の一つは、この素朴な解法に対し、歴史的理論的な解法が持つ持続的な巧妙さや計算論的適切さを解釈・納得することである⁽¹⁾。

本研究では、素朴な解法を自己説明するだけでなく、理論的な解法についても、具体的な操作事例を複数観察することから仮説的に説明を構築していく環境を検討している。またこの環境では、説明表現は協調的に共有され、多様な解の利用や修正が期待される。学習者が2つの解法を適切に対象化できれば、自分たちの解法を基礎にして、理論的な解法の持つ良さについて自然な評価がなされるだろう。

以下では具体的な学習環境の試作と運用結果を報告し、より豊かで整合的な説明生成支援の方略について議論する。

2. 学習活動の一般的デザイン

本活動のデザインには、以下にあげるような一般的な学習活動を想定している

- (1) 自分たちの解法(素朴な解法)の確認と説明。仲間との共有と比較
- (2) (賢い解法に基づく)手続きの観察や模倣。仮説的な手続きの検証。仮説の説明。仲間との共有と比較
- (3) 素朴な解法と賢い解法との比較(評価)
- (4) 理論の確認(答あわせ、種明かし)
- (5) コーディングへの接続

(1)(2)により、素朴な解法と賢い解法の比較が可能となれば、(3)では賢い解法に対する多様な感想や評価を期待できる。(4)は(2)の自己説明に対する理論的な解説に

あたる。通常は講義になる。(5)以降はプログラミングに関する活動である。

(1)や(2)における説明は必ずしも収斂するとは限らず、むしろ集団内に多様な説明が現れる可能性がある。それらは協調活動によって共有されるだろう。また(4)の理論的な正答と比較すると、(2)の自己説明は協調活動を通して不十分なものととどまる可能性がある。

以下では、3つの基本的アルゴリズムについて、一般的な枠組みに沿ってウェブ上に試作を行った環境と運用例を報告する。

3. ユークリッドの互除法 - 言語表現の難しさ

ユークリッドの互除法は2つの自然数の最大公約数を求めるアルゴリズムである。活動(1)については、素因数分解による解法を確認した。活動(2)については、解法操作例を観察したあと、2つの例題の検証に続き、問題に関する説明を行うウェブページ(図1)を運用した。



図1 操作例ページと検証ページ

活動(3)については説明と感想の一覧ページを提供した。

この活動では97名の参加者全員が正解を求め、ほぼ同一の手続きを説明した。この解法について、「知っていたような気がする」という回答までを含め既知と判断した参加者は29名(29.9%)で、図1のような観察模倣と仮説検証により全員の自己説明が可能となっている。(3)については、共有ページ上のコメントに「簡単」「初めて知った」「驚いた」などといった表現がみられ、自分の素朴な解法との比較が行われていると考えられる。一方、手続き自身の正当性に関する説明、つまりこの解法で最大公約数が求まる証明に関する直接的なコメントは少なく(5名、5.2%)、より深い理解を方向付けするための支援が課題となった。

この活動では(4)に続き、(5)のために停止条件と再帰条件からなる再帰的な手続き表現の枠組み⁽³⁾を与え、記述を求めた。回答した69名全員が、正解手続きを知っているはずだが、再帰的表現の記述には、2つの条件を

判別する条件(2つの自然数の剰余が0かどうか)のみを回答して各条件の詳細を記述しない参加者が多かった(32名、46.3%)。より多くの表現生成を促す工夫、特に再帰的表現による手続きの言語化には別に支援が必要と考えられる⁴⁾。

4. エラトステネスのふるい - 多様な自己説明

エラトステネスのふるいは、ある整数以下の素数を列挙するアルゴリズムである。活動(1)には、4種類の正数Nについて、N以下の素数を列挙しおわるまでの解答時間を競うウェブページ(図2)を作成し、そのあと自分の解法を説明、共有することとした。



図2 自分の解法を確認するための作業ページ

71名の参加者の説明を分析すると、(A)対象の数について、それまでに確定済の素数で割りきれぬかを判定する方法(14例、19.7%)、(B)素数を確定した場合、それより後ろの数をその素数で割りきれぬかを判定していき、候補リストから消去する方法(13例、18.3%)、(C)素数を確定した場合、それより後ろの倍数を全て消去する方法(21例、29.6%)、(D)(B)と(C)の混合型(6例、8.5%)、(E)直感的な表現(その他)(17例、23.9%)に大別された。参加者の説明は分散している。なお、エラトステネスのふるいは、(C)の方法に「素数の候補には \sqrt{N} までの数を調べるだけでよい」という探索範囲の条件を付加したものである。

活動(2)では、図3に示すように、上の代表的な3つの方法とエラトステネスのふるいについて、手続きをアニメーションで示し、各自の方法がどれにあたっているのかを判定させた。また、エラトステネスのふるいを自己説明させた。



図3 手続き観察、確認用のページ例

96名の自己評価の結果は、(A)(44名、45.8%)、(B)(31名、32.2%)、(C)(11名、11.5%)、(D)エラトステネスのふるい(4名、4.1%)、(E)その他(6名、6.3%)となった。上の分析結果とは食い違いがみられるが、自分の解法の対象化や他者の解法との比較には十分な機会と考えられる。

一方、正解の手続き例(図3右)に関する自己説明(95例)は、探索範囲について記述されていない(C)のままの回答が多く(79例、83.2%)、賢い解法を表現できた回答は少数だった(16例、16.8%)。活動(4)の講義によ

って、両者の橋渡しは可能と考えられるが、観察時に注意を促すことで自己説明を変化させることも可能と考えられる。

5. 基本ソート法 - 説明量

選択ソート、挿入ソート、バブルソートは代表的な基本ソート法である。活動(1)では5つの数を並びかえてみるページ(図4)を作成し、操作履歴を参考にしながら自分の解法を説明、共有することとした。



図4 自分のソート法を確認するための作業ページ

活動(2)では、3つの基本ソートに関する動画を観察し、各ソートについて次の操作結果を問うクイズページを作成した。そのあと、3つのソート法の説明と感想を共有した。97名の参加者は全員がクイズに正解したが、各ソートの説明を分析してみると、十分な記述になっている説明は、選択ソート(54例、55.7%)、挿入ソート(12例、12.4%)、バブルソート(31例、32.0%)となった。

これらの結果をみると、一度に多くの自己説明を求めていることが問題と思われる。わかりやすいソートから順に説明や理解を積み上げていく必要があるだろう。なお、最もプログラムしやすそうなソート法には、39名(40.2%)が選択ソートを選んでいる。

6. おわりに

手続きをある程度形式的に言語化することや、他人に伝えられるレベルで十分表現することは、支援なしにはなかなか難しいと考えられる。例やプロンプトといった表現支援ツールの利用が必要だろう。

説明の共有ページは一定数を超えると一覽も難しい。現状では協調的な活動の可能性にはなっていないが、有効な相互作用を生み出すには至っていない。テキストを用いた間接的なコミュニケーションを支援するために簡単な情報検索や統計的な処理を検討している。

アルゴリズムの理解が一定レベルにあれば、アルゴリズムやプログラムの理解には、対応するプログラムの実行過程の可視化が有望と考えられる。

参考文献

- (1) 木村泉：“さなげ山通信 16 アルゴの恐怖 - 歴史、総合、心理”，bit, Vol. 31, No.4 pp.93-101 共立出版(1999)。
- (2) 神宮英夫：“スキルの認知心理学”，pp.163-168, 川島書店(1993)。
- (3) Roberts, E. R. : “Thinking Recursively”, John Wiley & Sons (1986). (邦訳 有川ら訳 “再帰的思考法”，pp. 9-10, オーム社(1993))。
- (4) 土屋孝文：“自己説明を促す問題解決スクリプトの試作と運用 - 初学者のプログラミングを例に”，2012PCカンファレンス論文集, pp.79-80。