

# アルゴリズム学習支援システム “ FLOMAGE ”

田島 章 大谷 紀子

本学部では、適切なアルゴリズムを導くための論理的思考力養成を目的とした科目「アルゴリズム入門」が開講されている。講義では、アニメーションや比喻を用いてアルゴリズムの処理過程を説明しているが、入力値が固定されているため、さまざまな入力値での過程を試すことはできない。一方、ユーザが設定した入力値での処理過程を確認できるよう提案された「フローチャートシミュレータ」では、変数の変化を表形式で示しており、視覚的効果が十分とはいえない。本研究では、アルゴリズム初学者の学習支援を目的として、可視化表現に重点を置いたフローチャートシミュレータ“FLOMAGE”を構築した。既存のシミュレータにアニメーションや比喻表現を盛り込み、処理を遡って過程を確認できる機能などを搭載することで、支援効果の向上を図った。アルゴリズム入門受講者を対象とする評価実験の結果、FLOMAGEにおける可視化表現が学習支援に有効であることが示された。

キーワード：アルゴリズム，フローチャート，視覚表現，学習，学習支援

## 1 アルゴリズムとフローチャート

### 1.1 アルゴリズム

情報処理の分野では、目的を達成するための手順をアルゴリズムと呼ぶ。コンピュータはあらかじめ人間が指示した手順でのみ動作するため、人間が適切な手順を指示しておかない限り目的達成のために役に立つことはない[1]。また、人間は想像力や推察力によって手順の間違いや過不足を補えるが、コンピュータは人間が指示した手順のみを忠実に実行する。したがって、人間が目的に沿ったアルゴリズムを適切に導き、コンピュータに指示することが必要となる。本学科では、適切なアルゴリズムを導くための論理的思考力を養うことを目的として、1年次後期に科目「アルゴリズム入門」が開講されている。

アルゴリズムにとって必要となる条件は、いかなる場合であっても正しい結果を出せることと、現実的な範囲の時間で処理が終了することである。前述の通りコンピュータは自ら手順の間違いや過不足を正せないため、あらかじめ必ず正しい結果を出せるような手順を指示しておかなければならない。数値を入力すべき場面でユーザが文字列を入力するといった異常な操作がなされた場合、処理を続けられないと判断して中断するような手順を準備しておくことも大切である。また、正しい結果を出せ

るアルゴリズムであっても、処理に膨大な時間がかかれば意味をなさない。例えば、現在の気象状態を元に明日の天候を予測するアルゴリズムが結果を出すのに3日かかるようであれば、予測した結果は無駄になる。アルゴリズムを導く際は、以上の条件を意識しながら手順を組み立てることが重要である。

### 1.2 フローチャート

アルゴリズムを記号と線の組み合わせで表現した流れ図がフローチャートである。アルゴリズムは文章や箇条書きなどの方法でも表現できるが、フローチャートを用いることで実行の手順を視覚的に理解しやすくなるとされている[2]。「アルゴリズム入門」の授業では、アルゴリズムを説明するときにフローチャートによる表現を用いている。

フローチャートを記述するときは、日本工業規格（JIS X 0121）によって定められた情報処理用流れ図記号を用いる。情報処理用流れ図にはデータ流れ図・プログラム流れ図・システム流れ図が含まれるが、本論文ではプログラム流れ図のみを用いる。フローチャートの例を図1に示す。

TAJIMA Sho

武蔵工業大学環境情報学部情報メディア学科 2007 年度卒業生

OTANI Noriko

武蔵工業大学環境情報学部情報メディア学科准教授

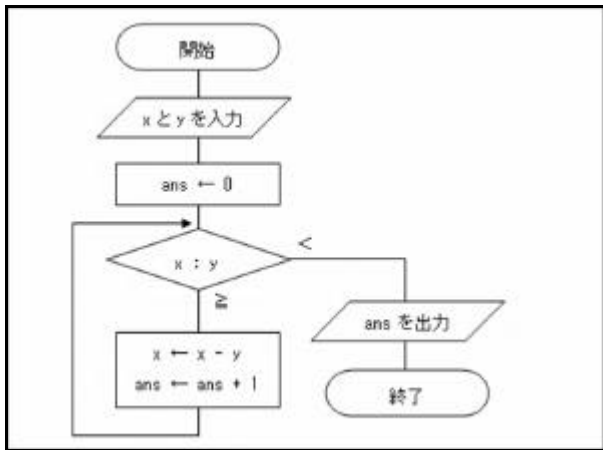


図1 フローチャートの例

## 2 既存のアルゴリズム学習支援手法

### 2.1 PowerPointのアニメーション機能を用いた学習支援

「アルゴリズム入門」ではアルゴリズムの表現にフローチャートを用いている。また、処理過程と結果を確認するために、Microsoft社のプレゼンテーションソフト「PowerPoint」のアニメーション機能や、変数を箱として表す比喩を用いている。類推を促すイメージを初学者に与えることの有効性が先行研究[3]において示されていることから、「アルゴリズム入門」でのアニメーションや比喩を用いた手法は有効であると考えられる。授業で提示されているPowerPointのスライドの例を図2に示す。変数はそれぞれ名前の付いた箱として表されており、コンピュータがフローチャートに従って動作する様子を表現するためにアニメーションを用いている。授業で使用したPowerPointのスライドの一部は授業後に学生に対して公開され、復習や試験対策に活用されている。

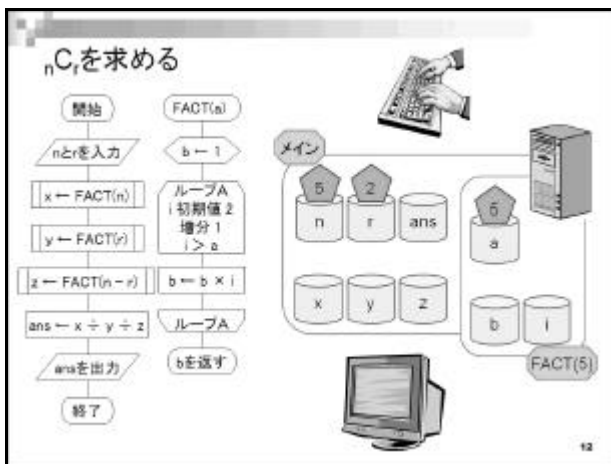


図2 PowerPointによる説明の様子

### 2.2 フローチャートシミュレータ

フローチャートシミュレータ(以下「シミュレータ」)は、アルゴリズムの学習を支援するため作成された学習支援システムである[4]。シミュレータは、ユーザが選択したフローチャートに従って処理の様子をシミュレートし、過程において変化する変数の値や実行位置の情報を表示する。動作画面を図3に示す。画面左にはユーザが選択したフローチャートが、画面右下には変数の値が表示される。画面右上には、フローチャート選択直後には選択されたフローチャートの説明が、シミュレート中には直前の処理内容が表示される。PowerPointによる手法では講師が想定した入力値による処理過程のみが確認可能であったのに対して、シミュレータではユーザが処理の対象となる値を自由に入力でき、様々な条件での処理過程が確認できる。シミュレータに実装されている主な機能について以下で説明する。

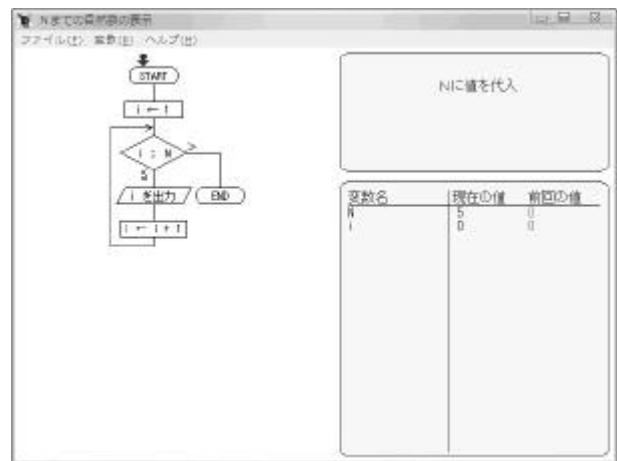


図3 フローチャートシミュレータ動作画面

#### (1) 変数の値入力機能

変数の値入力機能は、処理の対象となる値をユーザが自由に入力できる機能である。2つの整数の最大公約数を求めるフローチャートであれば2つの整数を、配列の値を並び替えるフローチャートであれば配列の要素の値を入力する必要がある。値はシミュレート開始時に表示される図4のような変数入力ダイアログを用いて入力する。



図4 変数入力ダイアログ

(2) ココ画像

ココ画像は、フローチャート上における現在の処理位置を示す矢印である。図5にココ画像を示す。授業中は講師が口頭やポインタで位置を示すことができるが、自習時は学習者が自ら処理位置を把握しなければならないため実装された機能である。評価実験においては被験者の学生35名の全員から「必要である」との評価を受け、機能の有効性が示されている。

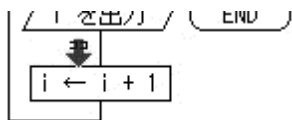


図5 ココ画像

2.3 フローチャートシミュレータ2.0

フローチャートシミュレータ2.0(以下「シミュレータ2.0」)は、2.2節で述べたシミュレータを元とする学習支援システムである[5]。学習者がアルゴリズムを導くための能力を身につけられるよう支援することに重点を置いている。学習者がシステム上でフローチャートを作成し、実行過程を確認できる点がシミュレータ2.0の最大の特徴である。

シミュレータ2.0によるフローチャート作成の様子を図6に示す。画面右上に並んだ記号をマウスのドラッグによって移動させ、画面左の配置パネルにドロップすることでフローチャートが作成できる。各記号の処理内容は画面右下のプロパティ領域で設定可能である。画面右中段には、シミュレートの際に変数の値が表示される。

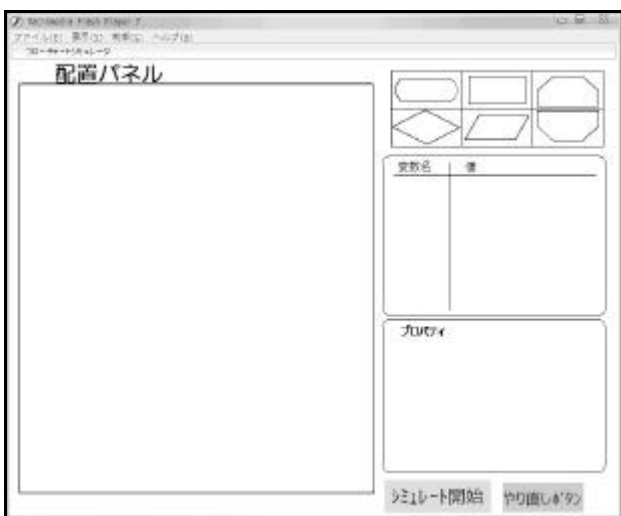


図6 フローチャートシミュレータ2.0動作画面

3 フローチャートシミュレータ“ FLOMAGE ”

本研究では、2節で述べた各種の学習支援手法を元にしたフローチャートシミュレータ“FLOMAGE”を構築した。FLOMAGEはPowerPointによる説明で用いられているアニメーションや比喻表現、2.2節のシミュレータでの変数の値入力機能やココ画像を取り入れている。またインタフェース面では、2.3節のシミュレータ2.0と同じくMacromedia社のWebコンテンツ作成ソフトであるFlashによる操作性や描画能力を活かしている。

図7にFLOMAGEの動作画面を示す。画面内にはフローチャート、変数の箱やココ画像、FLOMAGE操作のボタンが配置されている。ボタンのクリックにより処理を進めたりは逆行させると、処理内容に応じて変数の表示が変化する。FLOMAGEの主な機能については以下で詳しく述べる。

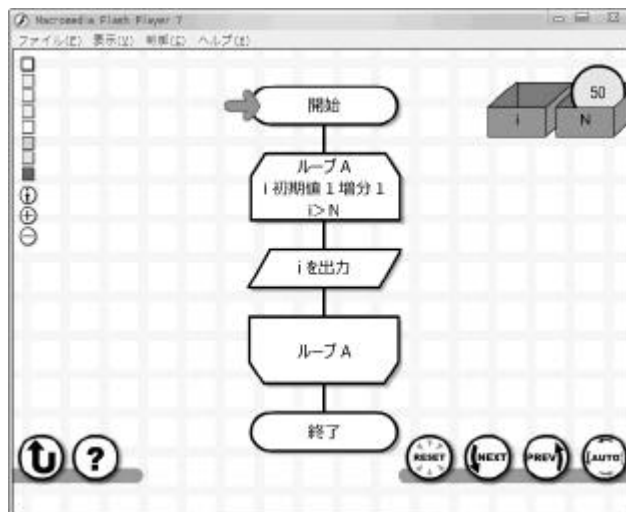


図7 FLOMAGE動作画面

・アニメーションと比喻表現による実行過程の表示  
 FLOMAGEではアニメーションや比喻による表現に重点を置いている。アニメーションや比喻による表現は既存のシミュレータでは取り入れられていなかったが、講義において有効性が示されていることから、システムを用いた自学自習においても有効であると考えられる。FLOMAGEではPowerPointによる説明と同様に、変数を箱、値を箱に入った円盤という比喻を用いて表現する。また、変数の値の変化やココ画像の移動を表すためにアニメーションを用いて学生の理解度の向上を図る。値が変化すると変数の箱に入った円盤が垂直軸を中心に回転し、裏側から変化後の値が現れる。図8は変数*i*の値が変化する様子を表したものである。

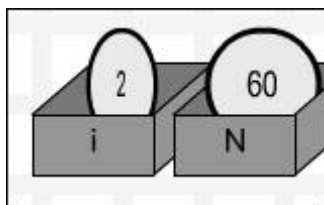


図8 変数のアニメーションの様子

#### ・履歴表示機能

既存のシミュレータでは処理過程を遡って確認できない。過去と現在の状態を見比べて一連の動作による変化を認識することは、処理の流れを理解することにつながると考えられるため、FLOMAGE では履歴表示機能を実装した。図9の逆行ボタンをクリックすることにより、処理が一段階逆行する。



図9 逆行ボタン

#### ・自動進行機能

FLOMAGE では基本的に図10の進行ボタンのクリックにより一段階ずつユーザが処理を進行させるが、処理間ボタンをクリックすることなく自動進行させることも可能である。自動進行ボタンをクリックすることで自動進行が開始し、再度クリックすることで自動進行が停止する。自動進行中の処理進行速度は速度変更ボタンによって自由に変更できる。自動進行ボタンと速度変更ボタンを図11に示す。自動進行機能は、特定の箇所のみ確認することが目的で不要な箇所を省略したい場合、十分にアルゴリズムを理解しているため個別の処理を逐一確認する必要がない場合に利用することを想定した機能である。



図10 進行ボタン



図11 自動進行ボタン・速度変更ボタン

## 4 評価実験・結果

評価実験として FLOMAGE を情報メディア学科の「アルゴリズム入門」受講中の学生255名に使用させた。初めてフローチャートが扱われる2007年10月15日の授業にて学生に FLOMAGE を紹介し、以後自由に使用させた。授業と並行して長期的に使用させることで各学生の学習過程と密着した情報が得られると推測されるため、12月13日までの約2ヶ月にわたる長期的な実験を行った。実験期間終了後、システムの動作記録と学生へのアンケートにより FLOMAGE の学習支援効果を評価した。

### 4.1 動作記録

動作記録は、選択されたフローチャートやシミュレーション実行の様子を時系列順に保存した情報である。ボタンを押す・変数を入力するといった操作の履歴が、学籍番号と結び付けられて蓄積される。学生ごとの使用傾向を推測し、各機能の使用頻度を定量的に分析するための記録である。

### 4.2 アンケート

学生の使用目的や理解度、学習意欲の変化は動作記録のみでは判断できない。また、動作記録には FLOMAGE を使用した学生に関する情報しか含まれないため、FLOMAGE を使用しなかった理由を調べるためには他の手段が必要となる。本研究の評価実験ではアンケート調査を併用し、動作記録による分析の欠点を補った。アンケートは12月13日の「アルゴリズム入門」の授業内で配布し、直後に回収している。

### 4.3 実験結果

#### ・FLOMAGE の利用者数

「アルゴリズム入門」を受講している学生255名のうち、2ヶ月の間に FLOMAGE を1回以上使用しており動作記録が残っている学生は38%の96名であった。アンケートでは回答者166名のうち、46%の77名が FLOMAGE を使用したことがあると回答している。

#### ・各機能に対する評価

アンケート調査において、FLOMAGE の各機能を「役に立った(必要である)」「役に立たなかった(必要でない)」「改善されれば役に立つ(必要だが現在の機能には不満がある)」という3つのカテゴリに分類する形式で評価させた。いずれのカテゴリにも当てはまらないと判断され、分類されていない場合は「分類なし」として集計した。学生の評価を図12に示す。

アニメーションや比喩表現による処理過程の表示につ

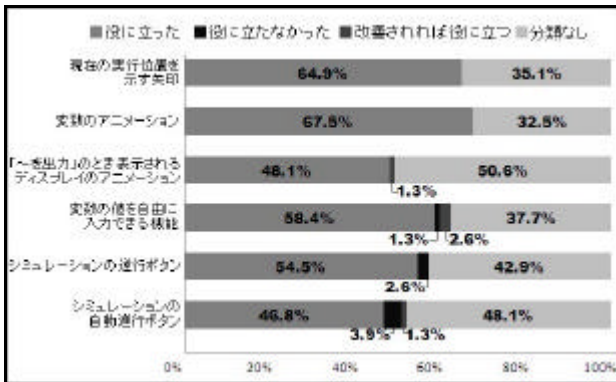


図 12 各機能に対する評価

いては、FLOMAGE を使用した学生のうち 52 名 (67.5%) が「役に立つ」と評価した。自由記述欄への回答では、「アニメーションがシンプルで見やすい」「わかりやすい」といった意見が挙げられた。

履歴表示機能は、図 12 の「シミュレーションの逆行ボタン」の部分で示す通り 42 名 (54.5%) の学生が「役に立つ」と評価している。自由記述欄では「『ん?』と思う点を考え直すことができる」「進みすぎた時に、逆行するのは助かる」など、理解に役立つという意見が挙げられた。

自動進行機能は学生ごとに使用頻度が大きく異なり、フローチャートの違いによる使用頻度の変化はみられなかった。進行ボタンを一切使わずに自動進行のみでシミュレーションを進行させる学生、逆に自動進行機能を一切使わずに進行ボタンのクリックのみで進行させる学生など、様々な傾向がみられ、各学生の学習方法や FLOMAGE 使用動機の違いにより変化が表れたものと考えられる。学生からの評価は図 12 に示す通りで、「役に立つ」と回答した学生が約半数の 46.8% に達しているのに対し、「役に立たない」と回答した学生も少数ながら存在する。自由記述欄では「クリックで十分なため必要ない」「シミュレートが長時間にわたる場合には役に立たない」といった意見が挙げられた。

FLOMAGE の機能のうち、先行研究で有用性が示された機能は本研究においても学生から高評価を得た。変数の値入力機能は 58.4% の学生に「役に立つ」と評価されており、「変数をこちらで指定できるので様々な例ができる」「これがあると理解しやすいと思います」といった意見が挙げられた。図 12 で「現在の実行位置を示す矢印」としているココ画像是 64.9% の学生に「役に立つ」と評価されており、アニメーション表現の 67.5% と並ぶ高い結果となった。先行研究による評価実験は短期間のものであったが、長期間にわたる実験においても有効性が認められたといえる。

・使用目的

FLOMAGE の使用目的については、74.0% の学生が復習と回答しており、予習の 18.2% を大きく上回る。レポート執筆の参考として FLOMAGE を使用した学生の割合も 59.7% という大きなものとなっていることから、理解が困難なアルゴリズムに直面したときや、発展的な内容のアルゴリズムを導くときに FLOMAGE が使用されたと推測される。

・不満点

アンケートの回答では「使い方がわかりにくい」という不満の意見が挙げられた。そのほか、複雑なフローチャートを表示する際に画面内に収まらず全体が見えない点を不満と感じる学生が複数存在した。各機能の効果や利便性のみならず、誰もが戸惑うことなく使用できる操作性や画面構成を追及することの必要性がうかがえる。

・総合的な評価

FLOMAGE の総合的な満足度を問う設問では、学習の役に立った、理解の助けになったという回答が数多く挙げられた。

5 考察

5.1 FLOMAGE の各機能に関する考察

・アニメーションと比喻表現による処理過程の表示

図 12 で示した回答および自由記述欄における回答では否定的な意見がないことから、アニメーションと比喻表現により処理過程を表示する FLOMAGE の特徴は学生に受け入れられたといえる。「アルゴリズム入門」の授業での PowerPoint スライドに似た表現を用いていることから、学生に自然に受け入れられたと推測される。

・履歴表示機能

フローチャートの複雑さと機能の使用率・平均使用回数の相関関係について考察する。フローチャートの複雑さを計る指標として、本研究ではフローチャートを構成する記号の数をを用いている。フローチャートにサブルーチンや再帰的処理が含まれることによって複雑さが増し、使用率・平均使用回数が増えることも考えられたが、明確な違いがみられないためサブルーチンや再帰は複雑さの指標として採用していない。機能の使用率は「1 回以上履歴表示機能が使用されたシミュレーションの回数 ÷ シミュレーションが実行された回数」という式で求めた。各フローチャートについて記号数を横軸に、使用率を縦軸にプロットして描いた散布図が図 13 である。



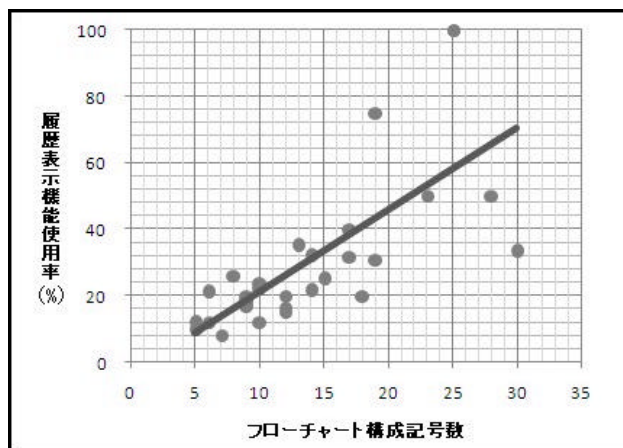


図13 フローチャート複雑度と履歴表示機能使用率の相関

回帰直線が右上がりになっていることに加え、ピアソンの積率相関係数は0.35であり、弱い正の相関があるといえる。シミュレーション実行回数が少ない一部のフローチャートでは使用率が極端な値となっているため、相関係数の値が低く留まったと考えられる。機能の平均使用回数は「履歴表示機能が使用された回数 ÷ 1回以上履歴表示機能が使用されたシミュレーションの回数」という式で求めた。各フローチャートについて記号数を横軸に、平均使用回数を縦軸にプロットして描いた散布図が図14である。

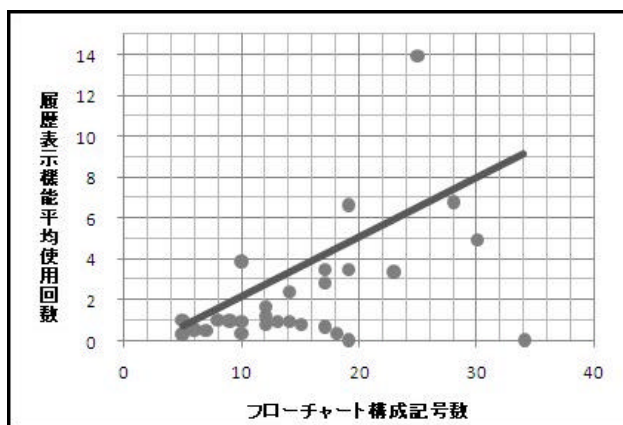


図14 フローチャート複雑度と履歴表示機能平均使用回数の相関

使用率と同様に回帰直線が右上がりとなっている。積率相関係数は0.48であり、やや弱い正の相関があるといえる。フローチャートが複雑になるほど使用率・平均使用回数が増加する傾向がみられたこと、使用目的を問う設問で「復習」と回答した学生が大部分であったことから、履歴表示機能は難しいフローチャートを理解する際に活用されたと考えられる。

#### ・自動進行機能

図12の結果では一定の評価は得ているものの、長時間のシミュレートで不便であるという点については改善の余地があるといえる。指定したサブルーチンやループ中の処理を細かく確認せずに、瞬時にサブルーチン・ループ終了時に移動して結果のみを確認することも可能にするよう改良することによって改善できると考えられる。

## 5.2 総合的な評価

第4章における結果と5.1節での考察を合わせて考えると、FLOMAGEはアルゴリズム学習において十分な学習支援効果を発揮したといえる。一方で学生から不満点が指摘されていることから、さらなる改良により学習支援効果と利便性を向上可能だと考えられる。主な改良案を以下に記す。

#### ・操作方法や操作解説の改善

操作方法の理解しにくさが障害となりシステムを十分に活用できない学生が存在することは、学習支援システムとして致命的な欠点である。操作方法自体を見直すことに加え、システムに操作マニュアルを添付する、初めて使用するときでも自然と操作方法が理解できるような直感的なインタフェースを構築するといった方法によって改善できると考えられる。

#### ・長時間にわたるシミュレーションのための機能

FLOMAGEでは、入力値によってはシミュレーションの開始から終了までに非常に長い時間がかかる。例えば数値を整数化するフローチャートでは、入力された値から1を引き続け、値が1未満になるまでの減算の回数を出力する。値が大きくなるほど計算と比較の回数が増え、処理時間もまた増大する。自動進行機能に関する考察で挙げたサブルーチンやループの省略機能に加え、処理終了までの時間を推測し表示する、入力値によって処理時間が大きく変化するフローチャートでは値の入力時に警告を表示するといった改善案が考えられる。

#### ・フローチャートの充実

FLOMAGEでは「アルゴリズム入門」の授業内で紹介されるフローチャートのみを収録していたが、学生からはその他のフローチャートを収録してほしいという要望が挙がった。教科書に掲載されているが授業ではふれられていないアルゴリズムのフローチャートを収録することで、授業に加えてさらに発展的な内容を学びたい学生のニーズに応えられると考えられる。

## 6 まとめ

本研究では、比喻やアニメーションといった可視化表現を用いることで、システムによるアルゴリズム学習支援の効果が向上することを示した。授業と並行した長期的な評価実験により学習支援システムの効果を検証した点は、本研究の特徴である。学習は数ヶ月や数年といった長期にわたると考えられ、学習を支援するシステムもまた長期にわたり使用されることが想定される。実用に則した形で FLOMAGE による支援効果を示したことには大きな意義があったといえる。以降の学習支援に関する研究においても同様に、授業と連動した実験により提案手法を評価することが望ましいと考えられる。

本研究で用いた学習支援のための手法は、個別のプログラミング言語を学ぶ過程でも有効であると考えられる。C言語であればポインタ、オブジェクト指向言語であればクラスやオブジェクトなど、各言語に特有の概念を表現するために比喻やアニメーションを用いることで、学習者の理解を助ける効果があると推測できる。発展研究におけるさらなる活用が期待される。

## 参考文献

- [ 1 ] 伊藤華子：パソコンプログラミング入門以前, 毎日コミュニケーションズ, pp.48-75, 2002
- [ 2 ] 大谷紀子, 志村正道：アルゴリズム入門, コロナ社, p.39, 2004
- [ 3 ] 大谷紀子：“Prolog 学習過程におけるイメージの効果”, 東京工業大学卒業論文, 1993
- [ 4 ] 阿部彩香：“フローチャートシミュレータに関する研究”, 武蔵工業大学卒業論文, 2006
- [ 5 ] 清水健三：“フローチャートを用いたアルゴリズム学習支援システムの研究”, 武蔵工業大学卒業論文, 2007