

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：55301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23501196

研究課題名(和文)可視化インタプリタを活用するCプログラミングeラーニングコンテンツの構築

研究課題名(英文)Development of e-learning contents for mastering C programming by making use of our algorithmic visualization tool

研究代表者

大西 淳(Onishi, Atsushi)

津山工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：60311073

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円、(間接経費) 480,000円

研究成果の概要(和文)：本研究で掲げた目的は、申請者が独自に開発してきたCインタプリタを活用する有用なeラーニングコンテンツを構築できるかどうかを明らかにすることであった。本研究の最重要課題であったCインタプリタを活用することの効果に関しては、初年度の成果である学習者へのアンケートで有効であることが確認された。そして、引き続いて行った研究により、学習者に与える教材は学習者が「成功体験を得るもの」であれば、さらに効果が高いこともわかった。しかし、本研究に与えられた研究期間におけるWebコンテンツ構築技術の変化は目覚ましく、今後も継続して利用することができる形でのeラーニングコンテンツは完成に至らなかった。

研究成果の概要(英文)：Our purpose of this study is to decide whether we can develop helpful e-learning contents to master C programming by making use of our original algorithmic visualization tool. Most important issue for our purpose is to measure the efficiency of our tool, and we have gotten the good result in this study. After this result, we understood that teaching materials that gave students successful experience would be very effective.

But we could not complete substance of e-learning contents. The reason is the following; Changes of the technical trend of web systems are intense. So we failed to choose a proper technology for sustainment.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育

キーワード：e-ラーニング 組込みプログラミング

### 1. 研究開始当初の背景

情報家電製品, 工作機械, 自動車など, 日本が国際競争力を未だ維持しているどの製品を取り上げても, その中に組み込まれている組み込みソフトウェアの役割が大きくなっている. このような状況のもと, 日本国内は深刻な組み込みソフトウェア技術者不足に陥っている. そこで, 申請者は, 現場の技術者と共同して, 組み込みソフトウェア技術者を養成するための新たな教材を開発中である. この教材は, 実際の開発現場で使われる開発ツールや機材を利用するものであり, この教材を使って現実に出くわしうる課題を解決させることで, 実戦的な技術者を養成する.

この応用的なカリキュラムが機能するには, 工業高校, 工業高専, 技術系専門学校, 大学工学部など技術系の教育機関で行われている初期のプログラミング教育の成功が前提である. しかし, この前提は必ずしも成り立っていない, というのが現状である.

そこで, 申請者は, 学習初期の段階でソフトウェア技術者への道を閉ざさないよう, プログラミングの初級教育の改善にも取り組んでいる. まず, 情報系学科の学生を対象にアンケート調査を行った. その結果, 70%を超える学生が「プログラミングは苦手」と回答し, 苦手とする原因として「ソース・プログラムによってデータが操作される過程がイメージできない」ことが挙げられた.

この苦手要因を解消するため, 申請者は C インタプリタを開発した. この C インタプリタは, プログラム中で変数や配列に格納されている値が順次変化していく様子を, アニメーションなどを使って視覚的にとらえることのできる機能, 入力されたソース・プログラムを解析して自動的にフローチャート風に表現して提示し, 現在どの部分を実行中かをマークアップする機能などを持つ.

現行の C インタプリタは, 学習者が各自の PC にインストールしなければ利用できないスタンドアロン型のアプリケーションになっている. この C インタプリタを一般的な Web ブラウザ上で動作させるための Web アプリケーション化が完成すれば, 学習者は Web サーバにアクセスするだけで C インタプリタを利用できるようになり, 従来より多様な学習環境への対応が可能となる.

### 2. 研究の目的

プログラミング教育は技術習得型の教育であり, スポーツ選手育成の過程に類似していると申請者は考えている. スポーツ選手の育成過程では, 選手個々が自身で問題を発見し, それを克服することが求められる. なぜならば, 選手が抱える問題はいくつかのパターンに分けることができるものの, 一般に, 同じ問題でも有効な克服法は選手の個性に依って異なるため, 選手は有効な克服法を自身で選択しなければならないからである. このことは, プログラミング教育においても同

様であり, 学習者個々が自身に有効な学習法や学習内容を選択しつつ学習できなければ, プログラミングの習得は困難と考える.

しかし, このような学習法は, 特に初級学習者にとっては困難であり, 選手育成の際のコーチに相当する存在が重要である. このコーチに関し, 少数の学習者に対して指導者をつけられる環境であればよいが, プログラミング授業は一人の指導者に 30~50 名の学習者がつくのが一般的であり, このような大人数教育を効果的に実施する方法は, 未だ確立されていない.

そこで, 申請者は, 1. で述べた C インタプリタを活用することにより学習者の自学自習を支援できるのではないかと考えた. 今回はこの仮説に従い, 1. で述べた C インタプリタを活用する効果的な自学自習用 e ラーニングコンテンツを実現できることを明らかにする目的で研究に取り組んだ.

### 3. 研究の方法

今回の研究では, 次の 4 つの課題に取り組むことにより, 目的を達成しようと試みた.

(1) 今回の申請以前に実施した研究で, C インタプリタの試作品はできあがっている. しかし, この試作品は授業で学習する C 言語のすべての構文に対応できているわけではない. そのため, 授業担当者の要望に十分応えているとはいえない. そこで, 課題の一つとして, 授業担当者の意見を聞き, C インタプリタの機能を充実させ, 試作品を実際の授業での使用に耐えられるまでに改良することにした. この改良を行うために, まず, 試作品である C インタプリタの動作を確認し授業担当者の意見も聞きながら, 改良すべき点を調査した. その結果, 大きく分けて「機能の拡張・改良」と「可視化処理の改善」の 2 点について改良を行うべきと判断した.

(2) プログラミング教育の効果をあげるためには, 2. で指摘したように, 学習者一人一人にコーチのような存在をつけることが望ましい. しかし, 現実には不可能である. そこで, 本研究では, コーチの代わりに, 試作した C インタプリタを活用しようとしている. コーチの代わりとして C インタプリタを各学習者に提供するための一手段として, 試作品は各 PC にインストール作業が必要なスタンドアロンのアプリケーションであったところを, Web ブラウザ上で利用できるアプリケーションに作りかえることが考えられる. C インタプリタの Web アプリケーション化することを課題の一つとして挙げた.

(3) C 言語によるプログラミングを学習者にマスターしてもらうためには, (2) で述べた Web アプリケーション化された C インタプリタとともに, 学習効果の高い演習課題を e ラーニングサイトなどからコンテンツとし

て学習者に提供する必要がある。しかし、学習者が高い学習意欲を維持して取り組めるプログラミング学習課題の作成は、なかなか困難である。そこで、申請者らは、学習者に成功体験を得させ、そこから達成感やプログラミングの面白さを感じさせる演習課題を作成できれば、この問題を解決できるのではないかという仮説を設けた。この仮説の実証を課題の一つに設定した。

(4)効果的なプログラミング学習教材である要件として、内容が実践的であることや、学習者の興味を引くことなどが挙げられる。これらの要件を満たす題材として、今回の申請前から自転車ロボットの姿勢制御を取り上げることに付いて、申請者らは研究していた。自転車ロボットの姿勢制御は、リアルタイム制御プログラムに必要な技術を網羅する典型的な課題であり、実用的課題である。また、このプログラムは1.で指摘した組み込みソフトウェアとして実現されるものであり、組み込みソフトウェア技術者育成のための教材としても有用である。さらに、物理的に物を動作させるプログラム作成は、学習者の興味を引きやすいとも考えられる。そこで、この自転車ロボットの開発に関する研究を進めることも、課題の一つに掲げた。

#### 4. 研究成果

(1)Cインタプリタの改良については、一定の成果を得た。まず、機能の拡張・改良では、今回の研究以前に作成されたCインタプリタに存在する機能の制限について調査し、授業利用のために拡張が必要と判断される機能を検討した。その結果、以下のような機能が挙げられ、これらの機能の拡張を行った。

- ・2重以上の if 文, for 文, while 文
- ・ファイル操作関連の機能
- ・ポインタの演算機能

また、授業担当教員の方の意見も聞き、授業で使うために必要と伝えられた以下の機能も実装した。

- ・Cインタプリタ操作履歴保存機能
- ・日本語 / 英語表示切り替え機能

可視化処理の改善では、まず、可視化処理にどんな問題点があるかを調査した。その結果、チャート図とポインタ変数の可視化処理を改善する必要があると判断した。

ポインタ変数の可視化処理は、ポインタ変数と指し示される変数の関係をわかりやすい形に改善する必要があると判断した。そのために、ポインタ変数の可視化処理と、代入するときのアニメーションを改善した。

ポインタ変数の可視化処理は、指し示す変数の図が、変数を可視化した図である箱の図になるように改善した。その結果、図1のよ

うに改善された。



図1 ポインタ変数の改善

ポインタ変数への代入アニメーションは、ポインタ変数に格納された値と指す変数との違いを明確にするために、代入されたアドレス値のボールが、次第に指し示す矢印の形に変わり、別の変数を指していく過程を描くように改良した。その結果、図2のようにアニメーションを改良した。



図2 ポインタ変数の代入アニメーション

チャート図の改善では、フローチャートに代わるプログラムの流れの表示方法を実装する。これまでのCインタプリタではフローチャートが使われていたが、フローチャートはプログラムが複雑になると、線が錯綜して図が見えにくくなる問題点がある。そのため、フローチャートに代わるよりわかりやすい表示方法を検討して、実装した。

表示方法を検討した結果、NSチャートがCインタプリタで処理の流れを可視化する手段として優れていると判断したため、実装した。NSチャートは図3のような図で表現される。



図3 NSチャート

NSチャートは処理の組み合わせをボックス化することで階層化しており、if文で分岐した先の処理やfor文とwhile文で繰り返す処理の内容がどの範囲までなのかが明確になっている。また、線を一切なくしているため、線による図の複雑化の問題は存在しない。よって、フローチャートに代わるチャート図として、NSチャートを実装した。

以上の改善についての評価実験を行った。この評価実験は、津山工業高等専門学校情報工学科平成23年度2年生のプログラミングの2重ループとポインタ変数との授業において実施した。その結果、チャート図については、NSチャートに変更した明確な効果は確認できなかったが、改良前のバージョンであるフローチャート版の評価を含めると、チャ

ート図を提示することの学習効果は確認できた。また、ポインタの可視化については、可視化そのものに効果があることと、今回の変更にも効果があることの両方を確認できた。

また、今回改良したCインタプリタを用いて、既存のeラーニングシステムとの連携に関して連携研究者が確認を行った。

(2)CインタプリタのWebアプリケーション化については、完成には至らなかった。

可視化に関する指示命令を織り込んだ実行用オブジェクトコードを生成するCインタプリタは、コンパイラと同様に、大きく分けて解析 (analysis) と合成 (synthesis) の二つのフェーズから構成される。解析を行う前半部をフロントエンドと呼び、合成を行う後半部をバックエンドと呼ぶ (図4)。



図4 ソースプログラムを可視化する流れ

フロントエンドは、ソースプログラムの解析を担当する。この解析は、字句解析、構文解析、意味解析の3ステップからなる。この解析結果を木構造データとして表現する。

バックエンドは、フロントエンドから受け渡された解析結果 (構文構造と意味) に可視化するための情報を付加して合成しなおし、可視Cオブジェクトコードを生成する。可視Cオブジェクトコードは、可視情報に基づいてソースプログラムに関する情報 (例えば、メモリの使用状況、変数の値の移り変わりのシーケンス) を可視化し、学習者に理解させるためのデータの状態を可視化することができるためのものである。

フロントエンドの最初のフェーズでは、字句解析を行う。字句とは単語のことであり、よって字句解析とは文字列の中から単語を抽出する作業である。この単語のことをトークンと呼び、単語への分割を担当する部分のことをスキャナ (字句解析器) と言う。このフェーズは正規表現のパターンマッチを用いることで実現した。

フロントエンドの二番目のフェーズでは

字句解析によって得られたトークン列の構文構造を解析する。構文構造とは、トークンのグループの階層構造のことである。各トークンはそれ自身が特定の意味を持っているが、複数のトークンがグループを成すことでより複雑な意味を表すことができる。さらにトークンのグループがグループを成すことで、より上位の意味を表すことができる。このグループ化は一般に木構造を成す。

構文解析器はパーサジェネレータであるRaccを用いて生成するので、文法規則を定義した。文法を定義するというのは、パーサが従わなくてはならない規則群を示すことであり、その規則群全体が文法である。記号 (トークンの種別) は、記号の並びで定義される。C言語の文法規則はK&Rによって定められているので、それをBNFに似た形で記述した。Raccを利用することによるメリットとして、構造を持った複雑な文字列にも再帰的に対応できることが挙げられる。

構文解析部は、K&Rで定義されているC言語の文法規則に基づいて生成されたパーサにより、C言語の自由な文脈に対応した。解析した結果の構文木の一部を図5に示す。

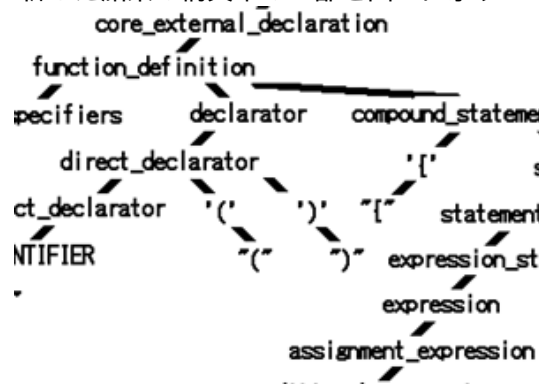


図5 解析した構文木の一部

構文木は単にプログラムの文面の階層構造を表すだけであって、プログラム理解に必要な十分な情報を表現しているわけではない。フロントエンドの3番目のステップである意味解析では、不足している情報、特に構文構造では扱いきれない情報の解析と補正を行う。

構文木中にデータ型の情報およびデータ型変換を埋め込む。これは構文解析と同時にを行うようにした。この意味付き構文木を、バックエンドに中間言語として処理を渡す。

この中間言語の中で、変数宣言を行っている部分の情報をもとにメモリビューを作成した。これが可視情報の付加である。最終的に生成される可視Cオブジェクトコードには、記述したC言語プログラムのメモリの内容が含まれる。

Ruby on RailsはオープンソースのWebアプリケーションフレームワークであり、Webアプリケーション化にはこれを用いる。Railsは、Webアプリケーションを見通しよく構築するために、MVCアーキテクチャが採

用されている。

MVC アーキテクチャのコントローラ部に C インタプリタとメインコントローラ、ビュー部に Flash で作成したソースコードを入力する UI を設置した Web ページを記述することで、C インタプリタを Web アプリケーション化した。

以上のようにして、可視 C オブジェクトコードを生成する機能の骨子は実現できたが、可視化機能については、メモリビューア以外の機能、例えば、(1)に記したアニメーションや NS チャートを生成する機能は実装できなかった。その一つの理由として、Web コンテンツ作成で用いる技術の選定を誤ったことが挙げられる。本研究では、一貫して Adobe 社の Flash 技術を利用してきた。しかし、本研究の期間中に、今後は HTML5 を中心とする新しい技術に移行する流れが鮮明になった。そのため、研究終了後に利用できることが重要である今回の取り組みは、この段階で断念せざるを得なかった。

(3) 学習者に成功体験を得させることができる演習課題であれば、そこから達成感やプログラミングの面白さを感じさせることができるのではないかと、という仮説については、実証できた。演習課題は、津山高専情報工学科 2 年生向けの実験課題として作成した。実験課題は 4 週分ある。学生は時期をずらして 3 グループに分かれ、プログラミング実験を受講するシステムとなっている。

内容は、1 年時に受講する「プログラミング I」で扱う条件分岐や反復などの復習を前半で行い、後半はそれらの知識を応用して簡単なゲームプログラムを作成するというものとなっている。なお、プログラミング I との兼ね合いから、言語は JavaScript を使用している。

実験は、4 回分(4 週分)の実験課題で構成されており、1 回あたり 2 コマ(100 分)分の課題となっている。平成 22 年度と平成 23 年度では、難易度を調整した都合で異なっている課題が多少あるが、概ね同じような課題内容である。このうち、前半 2 回分は、標準入出力、条件分岐、反復など、JavaScript を使って「プログラミング I」で学習した基本事項を、典型的な課題を解くことで思い出すようになっている。具体的には、整数の大小判定や自然数の総和計算などを題材に、テキストに示したサンプルプログラムを、簡単な要件に従って改造するという課題を提示している。例えば、大小判定の条件を変更したり条件を増やしたりする、for 文による繰り返し回数をキーボードから入力された値に変更する、for 文の入れ子構造を応用して指定した図形を「\* (アスタリスク)」で書かせる、などといった課題である。

そして、残る後半 2 回分は、前半で思い出した基本事項を活用して、じゃんけんゲームを作成し、これを改造していく課題となって

いる。最初に与えるサンプルプログラムは、標準入力で 2 人分のじゃんけんの手(グー、チョキ、または、パー)をキーボードで入力すると、入力されたそれぞれの手を文字列として表示するというものである。これに、勝敗判定する機能を加える、1 人分の手を乱数を使って決定するようにする、あいこの場合は決着がつくまで繰り返すようにする、1 勝制から 3 勝先勝制(先に 3 勝したほうを勝ちとする)に変更する、勝率を表示する機能を加える、といった改造を施していく。

この実験を考案するにあたり、著者らは、ある留意事項を念頭に置いた。その留意事項とは、総じて、学生にまずプログラミングに関する成功体験を得させ、そこから達成感やおもしろさを感じさせることを目標においたものである。この目標を実現できれば、過去の研究成果により、学生が入学時に持っていたプログラミングに対する学習意欲の維持や新たな学習意欲の喚起につながり、後続の学年におけるプログラミング教育の効果が向上することを期待できる。

評価のため、平成 22 年度と平成 23 年度に実験を受講した学生にアンケート調査を行った。その結果、学習者に成功体験を得させることができれば、そこから達成感やプログラミングの面白さを学習者に理解させることができる、という仮説が実証された。

(4) 自転車ロボットの開発についても、一定の進展が見られた。申請者らは、今回の申請以前から、津山高専情報工学科の卒業研究に一部を取り入れながら、教材開発に取り組んでいた。取り組み開始以降、中国職業能力開発大学校や四国職業能力開発大学校の講師など、協力者を増やしたり、平成 22 年には、教材の普及事業を行うための特定非営利活動法人「自動姿勢制御自転車教材普及推進委員会」を設立したりしながら、現在も教材開発を継続している。

これまで、図 6 のように、何体かの自動姿勢制御自転車の試作を行った。試作第一号は左の写真のように、幼児用自転車を改造したものであった。今回の研究終了時点では、真ん中の写真のように小型化を実現した。



図 6 自転車ロボットの試作品

自動姿勢制御自転車は、車体の傾斜角に応じて発生する車体を転倒させようとする力を、ハンドル操作によって発生する遠心力で相殺して走行する。自動姿勢制御は、「傾斜角速度センサー」、「旋回角速度センサー」、「速度検出センサー」の信号を「制御・演算器」に取り込んで、物理法則に基づ

く姿勢制御演算を行い、その結果を「電動機励磁装置」へ出力し、「操舵電動機」と「走行用電動機」を駆動することで行う。また、「無線受信器」を使い、外部から旋回指令と速度制御指令が可能である。これら搭載装置を駆使して姿勢を制御するソフトウェア開発を題材に、今後教材開発を進める予定である。

上で説明した自動姿勢制御自転車の活用に関して、我々は三つの展望を持っている。一つは、特定非営利活動法人を活用した教材および教材を利用した教育の普及である。自動姿勢制御自転車の完成後、組込み制御技術に関する教育を行っている全国の教育機関に対し、教材を無償配布したい。法人は、無償配布の費用の受け皿としての利用を考えている。

二つ目は、自動姿勢制御自転車を使った競技会の開催である。無償配布によって多くの学生に本教材を体験してもらった上で、学生各々が工夫を凝らして競技課題に取り組み、成果を競い合える競技会を開催したい。競技会の開催は、組込み技術教育の活性化の一助になると考えている。

三つ目は、アミューズメント仕様の自動姿勢制御自転車の開発である。これが完成すれば、教育分野以外にも市場を開拓でき、量産することが可能となる。この量産効果によってコスト引き下げを実現でき、上述した無償配布が容易となる。

以上、4つの課題の成果をまとめる。Cインタプリタ活用の有効性は確認されており、また、続く研究により、学習者に与える教材は「成功体験を得るもの」であれば、さらに効果が高いこともわかった。また、教材用の自転車ロボットの開発も進んでいる。特にこの自転車ロボットについては、商品化などに興味を持つ国内企業も出てきており、技術コンテスト開催の可能性も含めて展開が有望である。今後は、この自転車ロボットを中心に据えて教材化を進めていく展望が開かれている。しかし、eラーニングコンテンツの構築については、今回の研究期間では残念ながら完成に至らなかった。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3件)

大西淳、高山直紀、学生の学習意欲を維持・発展させるプログラミング実験への取り組みとその結果、日本高専学会論文誌、査読有、Vol.19、No.4、2014(掲載予定)

大西淳、高山直紀、学生の学習意欲を維持・発展させることを目指したプログラミング実験の実施報告、津山高等専門学校紀要、査読有、第54号、2013、pp.65-70

Takayuki TERAMOTO, Atsushi ONISHI,

Syoya KOSHII, Shigeo KAWATA, A Programming e-Learning System in Education-Support PSE: TSUNA-TASTE, An International Journal of Research and Innovation, Advances in Information Sciences and Service Science, 査読有、Vol.4、2012、pp.33-45

[学会発表](計 6件)

武下博彦、大西淳、自動姿勢制御自転車教材、日本機械学会2013年度年次大会、2013年9月11日、岡山大学、岡山市

石谷尚大、大西淳、Web上で動作するC言語自学用ツールの作成、計測自動制御学会中国支部津山地区計測制御研究会、2013年2月2日、津山圏域雇用労働センター、津山市

Takayuki TERAMOTO, Atsushi ONISHI, Shigeo KAWATA, A Programming Education-Support PSE System to Programming Competition, 7th International Conference on Computing and Convergence Technology, Association for Information, Culture, Human and Industry Technology, Dec. 4th, 2012, Seoul, South Korea

武下博彦(共同研究者 大西淳他)、自動姿勢制御自転車教材、第17回リサーチパーク研究・展示発表会、2012、岡山県工業技術センター、岡山市

Takayuki TERAMOTO, Atsushi ONISHI, Shigeo KAWATA, A Programming e-Learning System in Education-Support PSE: TSUNA-TASTE, 6th International Conference on Computer Sciences and Convergence Information Technology, The International Association for Information, Culture, Human and Industry Technology, Nov. 29th, 2011, Seogwipo, South Korea

越井翔也、寺元貴幸、大西淳、授業利用に向けた教育用Cインタプリタの改良、IEEE広島支部学生シンポジウム、2011年11月12日、13日、広島大学、東広島市

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

大西 淳 (ONISHI, Atsushi)

津山工業高等専門学校・情報工学科・准教授

研究者番号：60311073

##### (2) 研究分担者

なし

##### (3) 連携研究者

寺元 貴幸 (TERAMOTO, Takayuki)

津山工業高等専門学校・情報工学科・教授  
研究者番号：30237010