

C 言語学習支援のための Web 上でのプログラミング環境の開発

宇 野 健 ・ 二階堂 恵

Development of the Programming Environment on Web for C Language Study Support

Takeshi UNO and Megumi NIKAIDO

要 約

プログラミング教育では、学習者によるコンパイルエラーの自力での解決が困難であることや、授業外での自学習確保のための環境設定が困難であることなどの問題点がある。また、教員が学習者個別の学習状況を把握することが困難である。これらを解決するために、本稿ではオンライン上でのソース編集、ソース保存、コンパイル・実行可能なC言語学習支援システムの開発をおこなう。また、エラーの自己解決に関する機能も開発、実装をおこなう。そして、開発したシステムを用いて実際の授業での運用実験をおこない、利用状況とアンケート調査をから、システムの有効性を検証した。

1. はじめに

情報処理推進機構 (IPA) により、平成 23 年 11 月から IT パスポート試験において、CBT (Computer Based Testing) が導入された。これは、わが国人材の IT 能力の底上げを図るには、試験の受験機会を増やすことが必要、という判断に基づいている¹⁾。また経済産業省は IT 人材育成事業や IT 人材調査事業を行うなど、ICT に対して非常に注目している。平成 18 年の IT 人材実態調査において情報/工学系の大学や大学院で教育してほしいスキルを挙げるなど、教育機関への IT 教育の期待が窺える²⁾。

このような状況の中で、本学経営情報学部において多くの ICT 教育を実施しているが、力点を置いている分野として、プログラミングがあげられる。プログラミング教育にはいくつか問題点がある。まず、学習者側の問題としては、コンパイルエラーを自力で克服することが困難なことがあげられる³⁾。プログラミング初学者では発生したエラーを自己解決することは難しく、学習へのモチベーションの低下を招く。教員側の問題点としては、学習者個人の詳細な進捗や問題点を把握することが困難なことがあげられる。試験や自己申告だけでは個人の理解度は測り難く、理解できない学習者の自己申告率は極めて低いことが把握を困難にする理由のひとつとなっている

る。その他の問題点としては、プログラミング初学者にとって、プログラミング学習環境の構築が困難なことである。自宅等でのコンパイラやエディタ等の導入や設定は、自学習する上での大きな障壁となり得る。

そこで本研究では、これらの問題点の解決を目的とし、C言語プログラミング学習に特化したWeb上で利用可能な学習支援システムを開発する。本研究の目的は大分して二つある。一点は、基本システムであるWeb上で利用可能なC言語コンパイルシステムの開発をおこなうことである。これにより、自学習用のプログラミング学習用の環境を提供する。もう一点は、Webコンパイルシステムを使用した運用実験を行い、実験で得たデータを集計してエラー傾向などの分析をおこなう。そしてその結果を参考にして、コンパイルエラーの傾向や学習者個人の習熟度・進捗状況を表示するフィードバックシステムを開発する。これに並行し、通常のプログラミングの講義で活用することによりエラー内容を蓄積し、学習者個人の苦手分野の自覚と内省支援に繋げる。また、学習者の講義への参加度合い等をリアルタイムに把握し、教員が今後の指導や授業改善などへの活用可能となることを目的とする。

2. Web上でのC言語プログラミング学習支援システムの開発

2.1 開発背景

今回は以下のようなプログラミング教育の問題を克服するために開発をおこなった。

- (1) エラーを自力で克服することが困難であること
- (2) 学習者個人の理解度・進捗の把握が困難であること
- (3) プログラミング初学者には、学習環境の設定が困難であること

(1)の問題を解決するためには、学習者自身がエラー傾向の把握、そしてエラーメッセージを理解することが必要となる。そのために、学習記録やコンパイルエラーの記録を蓄積する機能が必要であり、その記録を分析する機能も必要となる。また、エラーメッセージを初学者にも理解しやすい工夫もおこなう。

(2)の問題を解決するためには、学習者の学習記録の蓄積が必要となる。学習記録を蓄積した上で、エラー傾向を通知するなど、把握すべき分野ごとに集計をおこない、提示する。

(3)の問題に対しては、このシステムをWebアプリケーションとして開発することにより、プログラミング学習にブラウザから使用できるように提供する。

2.2 C言語プログラミング学習支援システム WePECS の概要

今回開発したシステムC言語プログラミング学習支援システム (Web Programming Environment for C Language Study Support, 以下 WePECS) の概要について述べる。

WePECSはC言語のプログラミング学習支援を目的として開発した。Webコンパイルシステムと学習情報のフィードバックシステムからなる。前者は、テキストエディタによるプログラムソースの作成と、コンパイルをWeb上でおこなうことを目的として開発した。後者は、学習時に発生する学習者の操作やコンパイルの結果などの全てのデータをデータベースに蓄積し、それらのデータを集計、分析し、学習者に対してフィードバックすることを目的として開発した。

本システムはWebブラウザで利用可能としているために、特別な環境設定が不要となり、学内外を問わず同じ環境で学習が可能とした。また、作成したソースファイルもサーバ上に蓄積され

るため、USB メモリ等を利用しなくても、どこからでも作業中のファイルにアクセスできる。これによりプログラミング初学者でも、インターネットとブラウザが使用できる場所であれば、授業と同じ環境での学習が可能となる。Fig. 1 に WePECS のシステム構成図を示す。

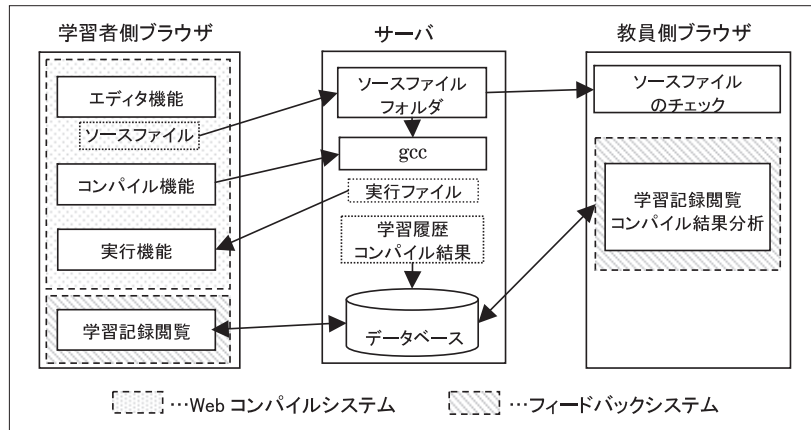


Fig. 1 WePECS 概要図

今回のシステムの開発環境、運用環境を示す (Table 1)。今回は授業で利用している環境 (Windows Vista と Internet Explorer 8) での動作を優先して開発した。そのため、Google Chrome 等のブラウザでの動作は保証していない。

Table 1. 開発, 運用環境

開発 OS	Windows 7 Professional
サーバ OS	Windows Server 2008R2
Web サーバ	Apache HTTP Server 2.2.15
データベース	MySQL 5.1.41
プログラミング言語	PHP 5.2.13 (サーバサイド)
	JavaScript (クライアントサイド)
C コンパイラ	gcc (Cygwin)
Web ブラウザ	Internet Explorer 8 以上

3. Web コンパイルシステムの開発

3. 1 Web コンパイルシステムの概要

Web コンパイルシステムは、インターネット上での C 言語プログラミング学習環境の提供を目的としている。ブラウザ上でエディタやコンパイラを利用可能とすることにより、専用のソフトウェアのインストールや設定が不要な学習環境を提供することができる。また、サーバ上で動作する Web アプリケーションの特性を生かし、学習者の操作履歴やコンパイルエラーなどの学習記録をデータベースに蓄積し、後述のフィードバックシステムに活用する。

本システムの主な機能は以下の通りである。

- (1) テキストエディタ機能
- (2) コンパイラ機能
- (3) プログラムの実行機能
- (4) ソースファイルの管理機能
- (5) データベースへの学習記録の保存機能

テキストエディタはC言語のソースプログラムを作成するための必要最低限の機能を有している。これで作成したソースプログラムは、サーバ上のユーザフォルダに保存するため、場所を選ばずに利用することができる。

コンパイラはgccを用いており、サーバ上に保存したソースプログラムを、サーバ上でコンパイルをおこなう。エラーメッセージの日本語化に関しては、本学科で利用頻度の高いVisual C/C++に準拠した表現とした。

プログラムの実行機能は、サーバ上でコンパイルした実行ファイルをダウンロードし、クライアント側で実行する機能である。サーバはWindows Serverであるため、クライアントのPCのOSは、Windowsに限定される。実行ファイルをダウンロードする方式にした理由は、サーバ上で実行では、入力待ちのプログラムが正常に実行できないためである。

ソースプログラムの管理機能を開発実装したことにより、授業中に演習室からアクセスする時と同じ条件で自宅からも利用することができる。

データベースの学習記録の保存機能により、サイトへのアクセス環境やログイン情報といった基本的な情報から、コンパイルのエラー情報などの学習記録を詳細に保存することができる。

これらの機能を、ページ遷移などを最低限に抑え、シームレスに利用可能とするため、Ajaxによるクライアントサーバ間の非同期通信を活用した。

3. 2 Web コンパイルシステムの機能解説

Web コンパイルシステムのメイン画面をFig. 2に示す。システムのインターフェースは、コマンドプロンプトでのコンパイラをモチーフとして作成した。コンパイラのコマンドや、エラーメッセージについても、Microsoft Visual C/C++のコマンドプロンプトと同等とし、他コンパイラへの移行時も違和感なく利用できるように設計した。



Fig. 2 Web コンパイルシステムのインターフェース

インターフェースの初期画面は、左側にコンパイラ、右側にテキストエディタを配置した。この配置は、学習者の好みや利用環境に併せ、自由に配置することができる。

エラーメッセージの日本語化においては、Visual C/C++ に準拠しておこなった (Fig. 3)。データベースに英語と日本語の対応テーブルを作り、表示の際に変換する。なお、エラーメッセージの種類は非常に多いため、運用実験期間の前半で収集したエラーメッセージの頻出度上位のものから優先的に日本語化した。

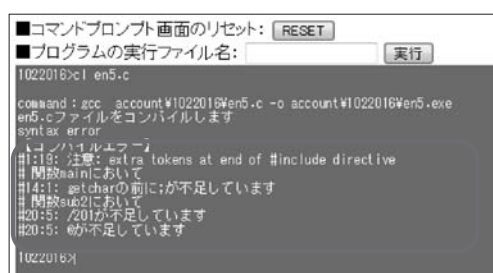


Fig. 3 エラーメッセージの日本語化

4. 学習情報のフィードバックシステムの開発

4. 1 フィードバックシステムの概要

このシステムは、Web コンパイルシステムでデータベースに蓄積した情報を集計し、学習者に対して、分野ごとの頻出エラーや、苦手箇所を整理することにより、自省を促すことを目的としている。また、教員側に対しては、クラス全体のエラー傾向を整理するなど、指導の支援も目的としている。主な機能は以下の通りである。

- (1) 講義毎の学習状況概要表示
- (2) ソースファイル毎のエラー時系列表示
- (3) ソースファイル毎の頻出エラー表示
- (4) 学習者の学習ファイル一覧表示

4. 2 フィードバックシステムの機能解説

(1) 講義毎の学習状況概要表示機能

この機能では、講義ごとに学習状況の概要を表示する。学習分野ごとに、作成したプログラムのファイル数・コンパイル結果の集計・そしてコンパイル成功率を見ることができる (Fig. 4)。コンパイル成功率によりどの分野が苦手であるかなど、学習者の自覚と自省への活用を想定している。また、教員は学習者のレベルや、苦手分野を理解することにより、全体的な授業レベルの微調整や、学習者に対する個別対応が容易となる。

(2) ソースファイル毎の頻出エラー表示機能

この機能では、学習者が作成したソースファイルごとに、頻出エラーを発生回数の多い順に表示する (Fig. 5)。運用実験で得られたデータを元に頻出エラーを調査し、多い順にリストを作成した。そのリストを元にエラーメッセージを検出し、頻出エラーのうち、どのエラーが頻出して

■コンパイル成功数			
種別	ファイル数	成功	割合
他	19	30	31%
		44	%
■第10回 関数1 - 引数(6/13)			
	5	9	35%
		15	%
■第11回 関数2 - 戻り値(6/20)			
	2	18	92%
		2	%
■第12回 ポインタ(6/27)			
	3	7	100%
		0	%

Fig. 4 講義毎の学習状況概要表示機能

種別	エラー内容	件数
1	1: 関数呼び出しが閉じていない可能性があります	0
2	2: 関数呼び出しが閉じていない可能性があります	1
3	3: 関数呼び出しが閉じていない可能性があります	1

Fig. 5 ソースファイル毎の頻出エラー表示機能

いるかを表示する。

5. 運用実験

5.1 実験概要

今回開発した WePECS の運用実験を、本学経営情報学部2年生のプログラミング科目の受講者48名を対象としておこなった。受講者のほとんどがプログラミング初学者である。期間は6月中旬～10月下旬の間、計9回の講義で行い、講義中の演習や課題作成・試験勉強などに利用させた。なお、4月上旬～6月上旬までの計7回の講義では、Web コンパイルシステムとは別のエディタとコンパイラ（サクラエディタ、Visual C/C++）を使用していた。また、実験開始から6回目の講義終了後に利用頻度や操作性などについてのアンケート調査を実施した。

運用実験中の6月13日～7月24日の間は学内サーバで運用したため、学内からのアクセスだった。7月25日から学外サーバでの運用を開始し、自宅からのアクセスも可能とした。

5.2 アクセスログデータの集計結果

運用実験期間中の総アクセス数は752件であった。その内訳は、大学から694件、自宅から58件であった。アクセス元を比較すると大学からのものが多いが、毎週の授業において演習に用いられていたことと、学外からのアクセス可能期間が短かったためである。学外サーバへの移行後に限定すると、総アクセス数は154件、大学からは96件、自宅からは58件という結果となり、自宅からのアクセスも多かったことが分かった。

運用期間中に蓄積されたコンパイル実行結果のデータは10589件となった。集計したコンパイルエラーを原因別に分類すると、カッコやセミコロン・中カッコなど単純に記号が抜けているもの、変数の宣言が無いもの、足りない部分の詳細は無いが宣言が抜けているもの、となった。一般的なプログラミング初学者がしやすいミスと同様の傾向があることがわかった。

5.3 利用者アンケートの集計結果

(1) 自宅での利用

アンケートの結果、自宅で学習する学生が約7割いることが判明した。その中の約4割が Web コンパイルシステムを活用していることがわかった (Fig. 6)。利用者が半数に満たなかった理由としては、本システムの運用前に、自宅で Visual C/C++ の環境を構築していた学生がいたため、そちらを使用していたためであると考えられる。

その他 Web コンパイルシステムを利用した自由記述の意見として、「使いやすい」、「Visual C/C++ はコンパイラとエディタが別々になっているが、WePECS は一つになっていてよい」などがあった。また、システムを利用した意見として「Visual C/C++ がない」という意見もあった。これは Visual C/C++ の自宅への導入はできなかったが、WePECS によって自宅学習ができるようになったと考えられる。

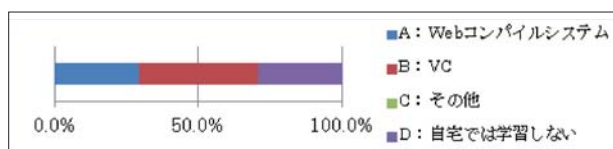


Fig. 6 自宅での学習時に利用するシステムに関する質問結果

(2) システムの操作性

システムの操作性については、おおむね高評価を得られた。その理由として、コンパイラやエディタを同一画面に置くことにより、作業が一つの画面で完結するという意見が多かった。しかし、Visual C/C++ との比較に関する回答結果では、半数近くが Visual C/C++ を使った従来の方法が使いやすいという結果となった。その理由として、「Visual C/C++ を講義の初回から利用したから」、という意見が多く挙げられた (Fig. 7)。なお、「どちらもいえない」と答えた約 4 割の学生の意見として、「どちらも慣れ次第」、「それぞれ長所・短所がある」などがあった。これにより、今後のシステムの改善次第では Web コンパイルシステムの利用頻度を上げることが可能になると考えられる。

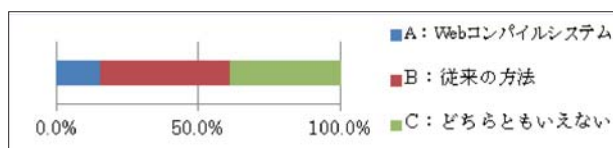


Fig. 7 使いやすさに関する質問結果

6. まとめ

本研究では現在一般に行われているプログラミング教育の問題点を解決するために、C言語プログラミング学習支援システム (WePECS) の開発を行った。WePECS の開発により、学習者に対して、学内外問わず同じ環境でプログラミングの実習環境を提供することを可能とした。これにより、自学習におけるプログラミング環境作りという初学者が直面する問題を解消できた。また、学習者の利用履歴や 10000 以上のコンパイルエラー等の学習記録を蓄積することができた。

そして本システムを用い、実際の授業において運用実験をおこない、授業の最終回に受講者を対象としたアンケート調査もおこなった。その結果、家からの利用が多かったなど、学習環境の提供においては一定の評価を得られ、開発したシステムの有効性が実証できた。しかし、インターフェースや使い勝手においては、改善の余地があることもわかった。

今後の課題として、まずはシステム全般のインターフェースの向上があげられる。特に Web

コンパイルシステムについては、実行ファイルのダウンロードが原因となる OS とブラウザの依存について改善が必要である。これについては、Flash やサーバサイド言語を用いた、学習用の疑似実行環境の開発をおこなう予定である。また、今回は運用前のデータの蓄積がなかったため、フィードバックシステムを十分に活用することができなかった。今後は今回の運用実験で蓄積したデータを元に、学習者及び教員への学習状況のフィードバック機能についての改善をおこなっていく。

参考文献

- (1) 経済産業省, 情報処理技術者試験のコンピュータ化について, 2010
- (2) 経済産業省, IT 企業に見る人材育成の実態と戦略, 2010
- (3) 倉澤邦美, 鈴木恵介, 飯島正也, 横山節雄, 宮寺廉造, プログラミング演習における一斉指導のための学習状況把握システムの開発, 電子情報通信学会技術研究報告, ET, 教育工学 104 (703), pp.19-24, 2005