

初心者を対象とした多機能 C 言語 学習支援システムの試作

青 木 征 男*

Multi-functional C programming Web-Based-Training System for Beginners

Yukio AOKI

Abstract

A multi-functional C programming web-based-training system for beginners was experimentally developed. Its features are: (1) explanations for C program's grammars, algorithms, and sample programs; (2) exercise problems and its solution feedback; (3) a review system; and (4) a score management system. This system has been used by many students, and it is shown that this system effectively supports beginners studying C programming.

Key Words: C programming, Web-Based-Training System, WBT

1. はじめに

プログラミング教育が多く教育機関で行なわれている。プログラミング教育においては (1) 文法の理解, (2) アルゴリズムの理解, (3) プログラムの作成, (4) エラーの発見と修正のステップが必要であり, 初心者はこれらの多くのステップでつまづいている。プログラミング演習の授業では, 特に上記 (3) と (4) に対し, 教員が一人一人の学生に対応する必要があり, 多くの人手を必要とする。このような教員の負担を軽減する目的で多くの CAI システムが作成されている。たとえば, アルゴリズムの学習に重点をおいたシステム^[1], プログラムの一部を空欄にし, 空欄を埋めさせるシステム^{[2][3]}, プログラム全体を作成させるシステム^[4]などが報告されている。

本学でもプログラミング教育を行っており, 長年の教育経験から学生の自主的な学習を支援する「多機能 C 言語学習支援システム」を試作した。本システムは次の機能をもつ。

(1) 文法やアルゴリズムの基本事項の学習

(2) 演習問題による理解度の深化

(3) テストによる理解度の確認

(4) テストで間違った問題の復習

(5) 成績表示機能

(6) Web を用いた遠隔学習 (WBT)

本システムを1998年より学内に公開し, 多くの学生に使ってもらった。その使用経験をもとに, システムを改良し, 機能を追加した。これらの結果を報告する。

2. 多機能 C 言語学習支援システムの概要

本システムはサーバー・クライアントモデルを用いており, CGI 機能により学習者 (クライアント) の入力をシステム (サーバー) が受け取り, サーバーが処理した結果を学習者に表示する。このようなシステムを最近では WBT (Web-Based-Training System) と呼んでいる。

本システムは以下のサブシステムで構成されている。

(1) ID 部: ID の登録。利用者の確認。

(2) 自習部: 文法・アルゴリズム・例題の説明, 専門用語の検索機能。

(3) 演習部: 穴埋め問題の演習 (ヒント機能, 正解例

* 電子情報工学科
平成13年9月28日受理

表示機能、間違い理由説明機能)、専門用語の検索機能。

- (4) テスト部：理解度確認テスト。復習機能。
- (5) 成績管理部：テストの成績表示。

3. 本システムの特徴

本システムは多くの特徴を持っている。これらの詳細を以下に説明する。

3.1 IDの自動登録

WBTシステムを教育で使用する際、学習者の理解度や学習進度を把握するため、システムを使っている学習者を個別認識する必要がある。そのため、学習者のIDとパスワードの設定が不可欠である。しかし、多数の学習者のIDとパスワードを教員が登録し、登録したIDとパスワードを学習者に連絡するのは大変である。そこで、本システムでは、以下の方法により、学習者による自動登録方式を採用した。

- (1) システムのトップページでIDとパスワードを学習者が入力する。
- (2) 入力されたIDがシステムに存在し、パスワードが正しい場合は、「目的画面」に進み、学習できる。IDがシステムに存在し、パスワードが間違っている場合は、IDとパスワードを再入力してもらう。IDがシステムに存在しない場合は、次のどちらかを学習者に選んでもらう。
 - (a) IDを登録する。
 - (b) IDの入力を間違えたので、再入力する。
- (3) 上記で(a)を選んだ場合、入力されたIDとパスワードの確認を学習者に求め、それをシステムに登録する。

以上の方法により、IDとパスワードを学習者自身に登録してもらう方式を採用した。

3.2 豊富な例題とリンクした説明

本システムでは多くの例題プログラムを表示できる。図1に示す「例題プログラム表示画面」の「文法ボタン」や「アルゴリズムボタン」をクリックすることで、そのプログラムに関係するC言語の文法事項やアルゴリズムの説明を容易に参照できるようにした。また、「検索ボタン」を作成し、キーワードによる検索も可能とした。

学習内容の章構成を教科書^[5]と対応させ、これらの

例題プログラムや文法の説明は教科書を基に作成し、学習しやすいようにした。

3.3 自由記述式の穴埋め問題

例題プログラム・C言語の文法・アルゴリズムを理解した学習者自身に理解度を確認してもらうための演習問題を作成した。図2に「演習問題表示画面」の例を示す。プログラムの理解度を確かめる問題には(a)プログラムを全部書かせる、(b)プログラムの一部を空欄にして空欄を埋めさせるなどの問題が考えられる。しかし、(a)のプログラムを全部書かせる問題では解答の正誤判定が困難なので、採用しなかった。(b)の空欄を埋める問題の場合、(b1)学習者が解答を自由に記述する自由記述式と、(b2)複数の解答群の中から正解を選ぶ多肢選択式がある。(b2)の多肢選択式は偶然に正解する場合があります、好ましくない。一方、(b1)の自由記述式は学習者が本当に理解しているかどうかを知ることができるので、好ましいが、解答の正誤判定が(b2)のように容易ではない。本システムでは次のような工夫をすることにより(b1)の自由記述式を採用した。

- (a) 空欄の大きさを小さくし、解答の自由度を少なくする。
- (b) 上記のようにしても、複数の正解が可能な場合がある。たとえば、ある変数*i*の値を1増加する命令はC言語では「*i*=*i*+1, *i*++, ++*i*, *i*+=1」のように複数の書き方が可能である。そこで、全ての正解をシステムの「正解ファイル」に記述し、このファイルに記述されている解答と一致すれば正解と判断する。

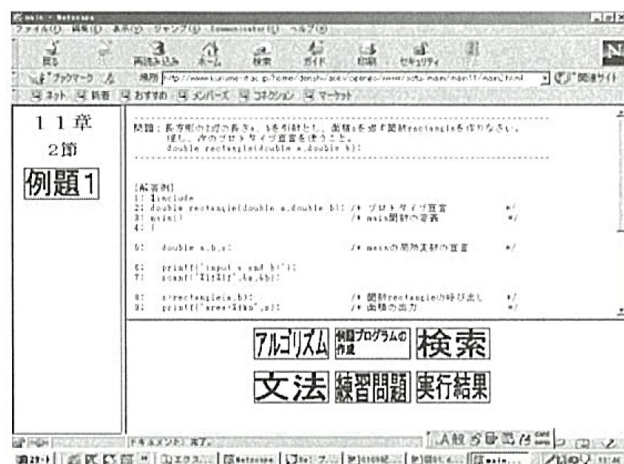


図1 「例題プログラム表示画面」の例

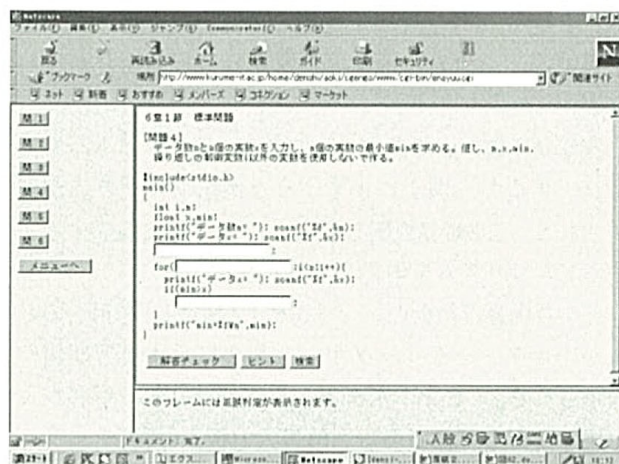


図2 「演習問題表示画面」の例

3.4 間違い理由を学習者に提示

同じ誤りをする学習者が多数いることが予想される。そこで、次のようにし、多数の学習者が間違う誤答に対して、その誤り理由を提示する機能を持たせた。

- (1) 「正解ファイル」と「間違い理由ファイル」をあらかじめ作成する。正解ファイルには正解例を、間違い理由ファイルには、予想される誤答例と間違い理由を記述する。
- (2) システムは学習者の解答と「正解ファイル」の解答を比較し、一致すれば正解と判断する。一致しない時は、「間違い理由ファイル」の誤答例と比較し、一致すれば「間違い」と表示し、さらに「間違い理由ファイル」に記載されている間違い理由を表示する。誤答例と一致しないときは、空欄を学習者の解答で埋めたプログラムをコンパイルする。コンパイルエラーがあれば「間違い」と表示する。これにより単純なスペルミスなどを間違いと判定できる。コンパイルエラーがない場合は、その解答を「学習者解答ファイル」に自動的に記録する。
- (3) 多くの学習者に本システムを使ってもらった後、教員が「学習者解答ファイル」を分析し、解答が正解の場合は「正解ファイル」に追加する。誤答の場合は、教員が間違い理由を推測し、「間違い理由ファイル」に誤答とその間違い理由を記述する。

このようにすることにより、多くの学習者が間違う問題に対しては、その理由を説明できるので、学習効果が向上することが期待できる。

3.5 学習者の理解度に応じた学習が可能

本システムは章ごとに学習を進めるようにしている。学習内容は複数の章に分かれており、各章には自習部・演習部・テスト部があり、自習部と演習部は複数の節で構成されている。また、演習部の演習問題は難易度により基礎・標準・応用に分類し、学習者の便宜を図った。本学には普通科高校のほかに工業科高校出身者など多様な学生が入学しており、プログラミングの学習履歴も多様である。また、初めてプログラムを学習する学生でも理解度は学生により大きく異なる。そこで、自習部と演習部の学習は学習者が自分の理解度に応じて自由に選択して自主的に学習できるようにした。

3.6 積み上げ方式の学習システム

工学部の多くの講義と同様、プログラミングの学習も基礎的事項から順番に学習する必要がある。たとえば、配列を学習する前に繰り返しを理解しておく必要がある。前節で説明したように、自習部と演習部の学習は学習者の選択に任せた。しかし、学習者が本当に理解したかどうかを判断する必要がある。基礎をおろそかにして、次の章に進んでも学習効果が上がらない。そこで、本システムでは各章ごとにテスト部を設け、テストに合格しないと次の章に進めないようにした。このような学習システムを積み上げ方式の学習システムと呼ぶことにする。

3.7 復習機能

前節で説明したように、テストに合格しないと次の章に進めない。不合格者は合格するまで何回か再テストを受験する。そこで、本システムでは全ての章に3種類のテスト問題を作り、毎回異なる問題を出題するようにした。このようなシステムを多数の学生に使ってもらったところ、6.1節で述べるようにテストに不合格になった場合、復習をせずすぐ再テストを受験し、3回連続不合格になる学生が多数いることが分かった。そこで、システムを変更し、不合格になった場合、復習をしないと再テストを受験できないように、以下に説明する復習機能を追加した。

テスト問題を複数の演習問題の組み合わせで作成する。学習者がテストに不合格になった場合、間違った問題の基になった演習問題（これを復習問題と呼ぶことにする）番号をシステムに記憶させ、Web 画面に「復習ボタン」を表示する。学習者が「復習ボタン」をクリックすると、復習問題番号一覧を表示し、この一覧表から学習者が復

習問題を学習するように指示する。学習者が全ての復習問題に正解すると、再テストを受験可能とする。

学習者が再テストを受験した時は、3種類のテスト問題のうち、最初とは異なるテスト問題を出题するので、復習問題の正解を丸暗記しても再テストに合格するとは限らない。しかし、復習問題を解答することにより基本的事項を理解すれば、再テストに合格することができる。このような復習機能により学習効果の向上が期待できる。

3.8 成績管理機能と利用者の階層化

システム利用者をシステム管理者・教員・学習者の3階層に分類した。システム管理者は特定の利用者に教員の権限を与えることができる。テストの成績は成績管理部で記憶し、表示する。学習者は自分の成績のみを見ることができる。教員は全ての学習者の成績を見ることができ、学習者の進捗・成績を把握できる。

4. 学習の流れ

本システムを使った学習の流れを図3に示す。学習者はクライアントのパソコンからブラウザを立ち上げ、本システムのトップページのURL^[6]を入力する。トップページでIDとパスワードを入力する。

登録されたIDであり、パスワードが正しければ、「目的画面」が現れるので、「学習する」か、「成績を見る」

」を選ぶ。「学習する」を選び、さらに学習する章を選択すると、図4に示す「学習内容選択画面」が現われる。

各章は複数の節で構成されており、節のタイトルをクリックすると、図1に示すような例題プログラムが表示される。3.2節で説明したように、例題に関する文法やアルゴリズムを学習することができる。

「学習内容選択画面」で「基礎」「標準」「応用」のどれかのボタンをクリックすると図2に示す演習問題が表示される。「ヒントボタン」をクリックし、解答を入力することも可能である。解答入力後、「解答チェックボタン」をクリックすると正誤判定結果が表示され、誤答の場合は「正解例表示ボタン」が現れるので、正解例を知ることでもある。

図4の画面で「テストボタン」をクリックするとテスト問題が出题される。演習問題画面とほとんど同じであるが、ヒントボタン、検索ボタン、正解例表示ボタンなどはない。解答入力後、「解答チェック」ボタンをクリックすると合否判定結果が表示され、合格の場合は次の章に進むことができる。不合格の場合は、3.7節で説明したように復習することになる。

「目的画面へ戻る」をクリックし、「成績を見る」をクリックすると、成績を見ることができる。

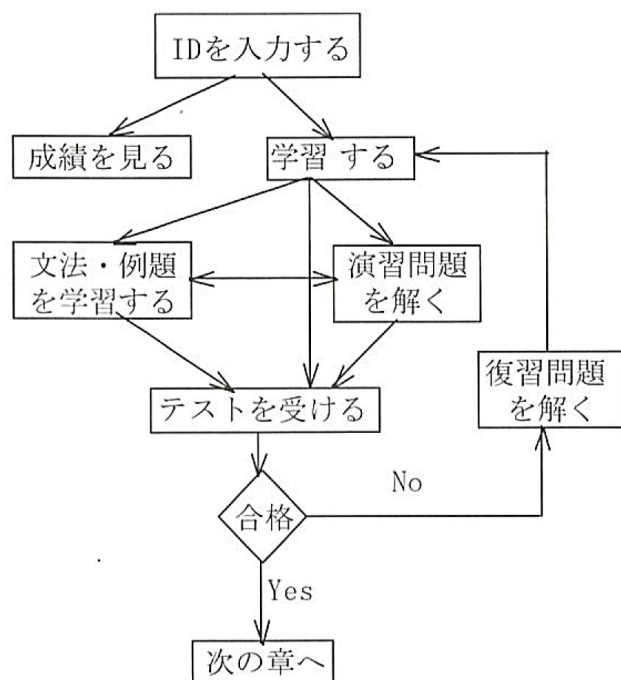


図3 学習の流れ

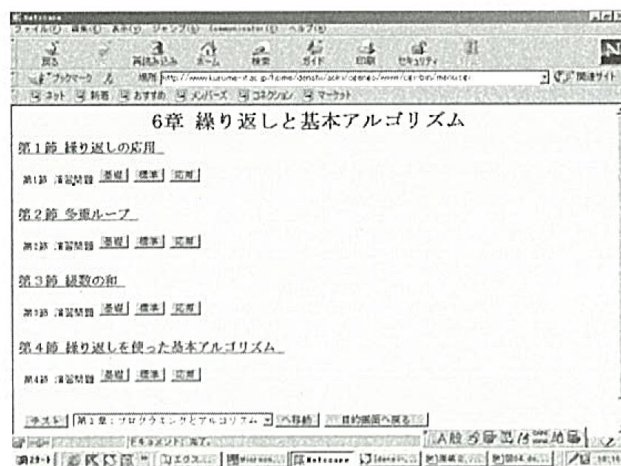


図4 学習内容選択画面の例

表1 組み込んだ例題・演習問題の数

例題プログラムの数	120
演習問題の数	599

表2 学生の解答の分析

No.	区 分	解答数
(a)	学生の解答数	589
(b)	(a)のうち準備した解答例と一致した解答数	414
(c)	(a)のうち準備した解答例と一致しなかった解答数	175
(d)	(c)のうち準備していなかった正解の数	1
(e)	(c)のうち準備していなかった誤答の数	174

5. システムの試作

試作したシステムを UNIX の WEB サーバー上におき、1998年より学内で公開し、その後、学習内容（章）の追加、機能の拡充を行なってきた。

本システムに組み込んだ学習内容は、講義で使用している教科書^[5]に対応しており、章の題名を付録に示す。システムに組み込んだ例題・演習問題の数を表1に示す。この程度の演習問題を組み込むことにより、実用的なシステムになった。

6. システムの試用結果

6.1 第1版の試用評価

1997年12月に本システムの枠組みが完成し、9章から13章の演習問題とテスト問題の一部をシステムに入れた。この範囲内で本システムを本学科の学生16名に使ってもらいシステムの評価を行った。

(a) 演習問題の正誤判定の妥当性

演習問題は自由記述式の穴埋め問題であり、可能な正解例をシステムに記憶させた。このような方法で正誤判定を正しく行なうことができるかどうかを調べた。表2に示すように、学生が解答した演習問題の穴の数は延べ589個で、そのうち414個はシステムが準備した正解例あるいは間違い例と一致した。学生が入力した解答のうち正解例にない正解は1個と少なく、正解例は殆ど全部準備できていることが分かった。

(b) テスト問題の種類の数

これらの学生が各々の章のテストを何回で合格したかを調べた結果を表3に示す。テスト問題を3種類作成したが、3回以下で合格した割合は88%と高く、テスト問題の種類は3種類程度で十分であることが分かった。しかし、3回受験しても合格しない割合は12%であった。その理由を調べたところ、テストで不合格になっても復習せず、すぐ次のテストを受験していることがわかった。そこで、テストに不合格になった場合は強制的に復習さ

表3 テストに合格するまでの回数

回数	人数	累積人数
1	44	44
2	9	53
3	3	56
4	4	60
5	3	63
6	0	63
7	1	64
合計	64	

せる機能が必要であると感じた。この結果から、3.7節で説明した復習機能を1999年度に追加した。

6.2 第2版の試用評価

(a) 復習機能の効果

1999年度の夏休みに復習機能を組み込み、第2版を作成した。復習機能の効果を調べるため、1999年度前期と2000年度前期の成績を比較した。表4に1章から7章までのテストを受けた学生の延べ人数と合格率を示す。テストはどの章も100点満点で80点以上を合格としている。どちらの年度も1回目のテストで合格する学生の割合はほぼ同じであるが、不合格になった学生のみが受験した2回目および、3回目の合格率は1999年度より2000年度のほうが高い。これは、再受験前に復習機能により復習したためであると考えられる。このように強制的に復習させることにより合格率が向上した。

(b) アンケート結果

2000年度の講義受講者64名に本システムを使ってもらい、アンケートを取った。その結果を表5に示す。この結果より、例題表示や文法説明は教科書と同じ内容なので半数の学生しか使っていないが、演習問題はほとんどの学生が使っており、ほとんどの学生が役に立つと答えている。復習機能も半数以上の学生が役に立つと答えている。このことから本システムは学生の学習支援に役

表4 復習機能の有無による合格率の比較

(a) 1999年度前期 (復習機能なし) (43名)

受験回数	1	2	3	4
受験者延べ人数	301	86	29	11
合格者延べ人数	215	57	18	11
不合格者延べ人数	86	29	11	0
合格率	71.4	66.3	62.1	100.0

(b) 2000年度前期 (復習機能あり) (80名)

受験回数	1	2	3	4
受験者延べ人数	560	157	34	8
合格者延べ人数	403	123	26	8
不合格者延べ人数	157	34	8	0
合格率	72.0	78.3	76.5	100.0

表5 アンケート結果 (64人)

1. 例題表示・文法説明について

非常に役に立った	6
少し役に立った	15
あまり役に立たなかった	5
全然役に立たなかった	2
この機能を使ったことがない	34

2. 演習問題について

非常に役に立った	28
少し役に立った	29
あまり役に立たなかった	3
全然役に立たなかった	1
この機能を使ったことがない	3

3. 復習機能について

非常に役に立った	7
少し役に立った	32
あまり役に立たなかった	11
全然役に立たなかった	4
この機能を使ったことがない	8

立っていることが分かった。

7. ま と め

プログラム初心者を対象とした多機能 C 言語学習支援システムを試作した。本システムには以下の特徴がある。

1. 文法やアルゴリズムの説明・例題プログラムの説明・キーワード検索機能など豊富な機能がある。
2. 演習問題・テスト問題は穴埋め問題であるが、自由記述式であるため、偶然に正解になることがない。

3. 学習者の理解度に応じて学習内容を取捨選択できるが、一定の理解度に達しないと次の章に進めない「積み上げ方式」を採用している。

4. テストに不合格になると強制的に復習させるので、学習効果が上がる。

5. 学習者の ID は自動登録方式なので、システム管理者の負担が少ない。

6. 学習者は自分の成績を、教員は全ての学習者の成績を閲覧できる。

本システムを試作し、C 言語の基本的な文法事項とアルゴリズムを組み込み、多数の学生に使ってもらった。その結果、多くの学生から「役に立つ」との評価を得た。また、復習機能による学習効果の向上も確認できた。

謝辞：本システムの作成に協力してくれた多数の青木研究室の卒業生に感謝します。また、2000年度より本学の特別研究費の助成を受けました。本研究を支援してくださいました高松康生学長はじめ多くの教職員に感謝いたします。

参考文献

- [1] 井上勝行, 上和田徹, 魚井宏高, 首藤 勝: “可視化技術を援用したアルゴリズム自習支援環境の構築”, 教育システム情報学会誌, Vol.15, No.2, pp.65-74(1998)
- [2] 柏原昭博, 曾我真人, 豊田順一: “空欄補充問題をういたプログラム理解支援”, 教育システム情報学会誌, Vol.15, No.3, pp.129-138(1998)
- [3] 下山寿継, 宮地 功: “穴埋め記述問題による C

言語学習支援システム”，教育システム情報学会研究報告，CAI 研究部会，Vol.99，No.2，pp.8-11(1999)

[4] 渡邊高司，青木征男：“プログラミング初心者を対象とした誤り場所指摘システムの試作”，信学技報，ET98-60，pp.41-48(1998)

[5] 青木征男：“例題中心 C プログラミングの基礎”，ムイスリ出版社（2000年4月）

[6] 試作システム：<http://www.kurume-it.ac.jp/home/denshi/aoki/cgengo/www/>

付録：学習内容の章のタイトル

第1章 プログラミングとアルゴリズム

第2章 最初の一步

第3章 四則演算

第4章 選択構造

第5章 繰り返し入門

第6章 繰り返しとアルゴリズム

第7章 文字と switch 文

第8章 数学関数

第9章 配列入門

第10章 配列とアルゴリズム

第11章 関数入門

第12章 ポインタ入門

第13章 ポインタを引数とする関数

第14章 文字列

第15章 ファイル

第16章 構造体

第17章 再帰関数

第18章 計算量

第19章 リスト

第20章 木・スタック・キュー

第21章 ポインタ配列とその応用