

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：14701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K12267

研究課題名（和文）写経型学習に基づくforループ学習支援環境

研究課題名（英文）For-loop learning support environment based on shakyo-style learning

研究代表者

村川 猛彦（Murakawa, Takehiko）

和歌山大学・システム工学部・准教授

研究者番号：90304154

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：大学1年生向けのC言語プログラミングを主な支援対象とし、写経型学習に基づく学習支援システムをWebアプリケーションとして構築した。特色として、1行または複数行で構成されるコード断片を対象とすることで、誤タイプするとき赤色で表示させ、バックスペースキーで削除するまで、次の文字入力が行えないようにしたことが挙げられる。1回分の実施を行う基本機能を開発したのち、課題を充実させ、ランク表示やリプレイなどの機能を実装した。和歌山大学システム工学部での授業の提供および分析を通じて、本システムを用いたタイピング練習は、プログラミングやタイピングに慣れていない人ほど効果が高いことが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

システム開発および大学授業での提供を通して、プログラミング学習支援として適切な機能を有することを確認し、継続的な利用により、プログラミングやタイピングに慣れていない人ほどタイプ時間の短縮をもたらすことを示唆する結果を得た。本システムのソースコードおよび課題データはGitHubに公開しており、無償でダウンロード・実行・機能拡張などが可能である。

研究成果の概要（英文）：We developed a programming learning support system as a web application, based on shakyo-style learning, which mainly supports first-year university students who learn C programming. Using this system, a user types one or more lines of source code written in C in a task. It displays a red color for typing errors, preventing the next character from being entered until the backspace key is pressed to delete the error. After developing the basic functionality to conduct a task, we enhanced the content for typing and implemented features such as rank display and replaying. Through the provision of classes at the Faculty of Systems Engineering, Wakayama University, and the data analysis, it was suggested that typing practice using this system was more effective for those who were not familiar with programming and typing.

研究分野：情報通信工学

キーワード：学習支援システム プログラミング C 大学教育

### 1. 研究開始当初の背景

多くの大学で、学部を問わず、1年次学生を対象とした情報教育が行われている。学生は情報教育を通じて、計算機およびソフトウェアの使い方、基本的なプログラミング、情報化社会におけるリテラシーなどを学ぶ。それらは専門教育(より高度なプログラミングなど)の基礎となるほか、大学生としてまた社会の一員として必要な知識を獲得する機会となる。

本研究の主なスコープ(支援対象)は、大学1年生向けのプログラミング授業である。これには2つの理由がある。一つは筆者が授業を実施しており、開発・改良しているWebアプリケーションが利用できること(本研究より前の開発事例には文献[1]がある)、もう一つは、大学における週1回の授業により、文法知識などを積み重ねて学習することへの支援を想定しているためである。対象言語はC言語とする。

C言語を対象としたプログラミング学習において、比較的初期の段階で学習する事項の一つに「for文」がある。「for(初期化;条件;更新)処理;」のように書く。for文は反復の制御文の一つであり、決まった回数を繰り返すのによく使われるほか、「処理」のところに別のfor文を取り入れることで、多次元の情報へのアクセスが効率良く記述できる。一つまたは複数のfor文を用いた処理は「forループ」と呼ばれ、Cプログラミング初学者におけるforループの読み書きの理解支援が、本研究の中心課題となる。

### 2. 研究の目的

プログラミングを理解するために採用されている学習方法の一つに「写経型学習」がある。学習の概略は次のとおりである。はじめに「手本」となる、書籍などに書かれたプログラムの完成品をそのまま打ち込む。打ち込みを終えたら実行する。もしエラーが発生すれば、打ち込んだ内容と手本を見比べて修正する。

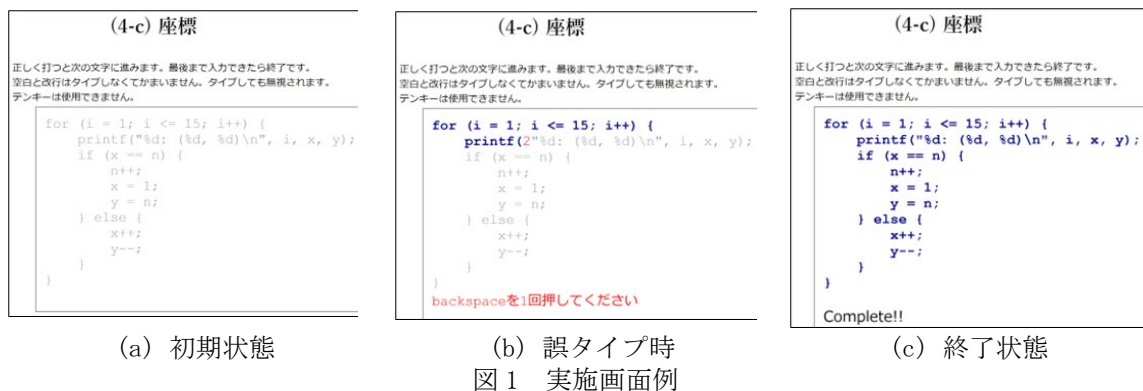
本研究において、「プログラミング初学者がforループを理解し適切に読み書きするために、どのような支援を行えばよいか」を学術的な問いに掲げ、「写経型学習に基づいて学習支援システムを開発し、運用することで、より多くの学生が効率良く理解できるようになる」という仮説を立て、プログラミング初学者向け教育支援環境を確立・提供することを目的とし、開発、運用、および評価を行った。

本研究の着手より前に、写経型学習に基づく支援システムの開発や、初学者の躓きの類型化などが試みられてきた[2][3]が、本研究では、初学者のプログラミングのつまづきは、「プログラムを書き上げること」ではなく、for文における「実行の順番が記述の順番と異なるプログラムコード」にあると認識し、1行から複数行で構成されるコード断片を対象とした学習が行えるよう、設計・開発を行った。

### 3. 研究の方法

開発したシステムを用いた1回分の実施について述べる。

初期状態では打ち込むべき対象を薄い文字色にしている(図1(a))。タイプすると、正しく打ち込んだ文字が濃い色に変わる。空白文字は入力する必要がなく、スペース、タブ、改行のキー操作があっても無視される。誤タイプするとき、その誤タイプ文字を赤色で表示させ(図1(b))、バックスペースキーで削除しないと、次の文字入力に進めないようになっている。最後の文字まで打ち込めば、1回分が終了となる(図1(c))。



打ち込む対象は、課題によって異なるが、1行または複数行であり、前処理指令を含むソースプログラム全体とすることも可能である。誤タイプとその訂正、および空白文字のタイプを含め、タイプごとに経過時間を獲得してサーバに送付しており、タイピングの手が止まったり、誤タイプしたりした箇所を後で知ることできる。

2019年度に開発したシステムでは、タイピング機能のみであったが、2020年度に実用的なWebアプリケーションとなるよう、問題ごとに解説ページを設け、プログラムの動きや構造、採用す

るアルゴリズムなどを説明するようにした。「LbTyping」の名称で、2021年3月にソースコード一式をGitHubに公開した際には、タイピング完了後に、paiza.IO（オンライン実行環境）によるソースコードと実行結果の表示を取り入れた。

2021年度には、問題の編集・動作確認・登録をWebブラウザのみで行うことができる「問題作成支援」機能、実施者ごとに課題の実施・未実施を確認できる「実績表示」機能、1回の実施におけるタイプ時間と誤タイプ数に基づきAからDまでのいずれか文字とメッセージを表示する「ランク表示」機能、サーバに登録された記録を指定して1つまたは2つを再現する「リプレイ」機能を開発した。

問題数について、2019年度は評価用に2問のみであったが、2020年度は6問に増やし、2021年度には授業科目の第2～7回授業の内容に関連する17問を整備した（基本問題）。2022年度には、基本問題1つにつき補充問題を1問作成し、合計34問となった。

システムはWebアプリケーションとして実現しており、利用者はWebブラウザを使用して指定のURLにアクセスし、学生番号の入力によりユーザ確認を行う。サーバ部は、Webサーバとデータ管理システムの2つで構成され、それぞれDockerコンテナとして稼働し、Docker Composeにより一括してビルド・起動・停止が行える。

#### 4. 研究成果

開発したシステムを、和歌山大学システム工学部1年次向けプログラミング導入科目で提供し受講者に実施させた。科目名は、2019年度は「情報処理Ⅱ」（セメスター科目、対面型）、2020年度から2022年度までは「情報処理ⅡA」（クォーター科目、遠隔オンデマンド型）である。

##### (1) 初期システムの利用および評価

開発したシステムを、2020年度の情報処理ⅡAの第2回～第7回授業（2020年10～11月）で使用してもらった。授業内容に沿った全6問を出題し、集計を行った。情報処理ⅡA開講5クラスのうち2クラスで実施し、うち1クラスでは「主要箇所に限ったタイピング」を行ってもらい（実験群と呼ぶ）、他の1クラスでは「全てタイピング」を行ってもらった（統制群と呼ぶ）。

実験群と統制群それぞれ問題ごとの所要時間と誤タイプ数、文字それぞれの1文字当たりのタイプ時間を算出した（表1）。実験群と統制群のいずれもタイピング速度の向上が見られた。また、本実験ではプログラムの理解とタイピング速度の関係性調査のためのデータとして「printf」に注目したが、群間の違いや、実施回数に応じたタイプ時間の短縮の傾向などは見られなかった。

表1 1文字当たりの平均タイプ時間

クラス	日付	行数(文字数)	タイプ時間(秒)
実験群	2020-10-08	1行(44)	0.992
実験群	2020-11-19	5行(99)	0.817
統制群	2020-10-08	9行(84)	0.910
統制群	2020-11-19	17行(207)	0.697

情報処理ⅡA最終回に理解度テストを解答してもらい、学習度合いを確認した。出題は1問で「wakayama」を10行、出力するプログラムになるように空白部分のプログラムコードを提出させた。理解度テストの結果を表2に示す。一度も利用していない者よりも、システムを繰り返し利用した者がより正答率が高くなった。

表2 理解度テスト結果

	正解(人)	不正解(人)	正答率(%)
実験群(4回以上)	12	1	92.3
実験群(3回未満)	1	1	50.0
統制群	11	1	91.7
利用せず	50	10	83.3

##### (2) 利用者評価

課題を充実させ、支援機能を多く開発した2021年度において、情報処理ⅡAの授業時に本システムの利用評価アンケートを実施した。5段階評価（5：そう思う、…、1：そう思わない）の結果を表3に示す。リプレイ機能の設問を除き「5」の回答が最頻値となった。「実績表示」「ランク表示」「リプレイ」の3つの機能について比較すると、授業で先に提供した機能ほど、より良い評価となった。

表3 利用者評価（単位：人）

	1	2	3	4	5
画面は分かりやすかった	24	6	16	28	<u>90</u>
タイピングは集中して実施できた	27	11	11	33	<u>82</u>
誤タイプの表示と訂正は、学習の役に立った	22	18	18	35	<u>71</u>
解説ページは、学習の役に立った	19	22	23	32	<u>68</u>
「実績表示」の機能は、学習の役に立った	18	14	34	37	<u>61</u>
「ランク表示」の機能は、学習の役に立った	22	22	33	29	<u>58</u>
「リプレイ」の機能は、学習の役に立った	17	19	<u>62</u>	23	43
来年度以降も提供するといいい	20	12	19	35	<u>78</u>

## (3) 記録の分析

2022年度の授業で提供し、サーバに保存されたタイピング記録に対し、分析を行った。

課題が「for (i = -2; i <= 2; i++) {」であるとき、その実施状況は以下のような文字列でデータベースに登録される。

66, 0.394;6F, 0.313;72, 0.708;38x, 0.666;42S, 0.999;28, 0.767;69, 0.649;3D, 0.506;2D, 0.424;32, 0.214;3B, 0.424;69, 0.702;3C, 0.618;3D, 0.561;32, 0.634;3B, 0.321;69, 1.112;2B, 0.913;2B, 0.16;29, 0.645;7B, 0.987

この文字列では、「;」で区切られたそれぞれが1タイプの情報となる。1タイプの情報はさらに「,」で区切られ、その左は、正タイプするとき該当文字のASCIIコードの16進2桁表現となる。誤タイプは、該当文字のASCIIコードの16進2桁表現に「x」を付し、バックスペース (BS) キーによる訂正は「42S」で表記する。「,」の右は、該当のタイプ時間 (単位は秒) である。

1回の実施における誤タイプ数は、登録された文字列から「38x」の出現回数を数えればよく、上記では1である。また課題としてのタイプ文字数は19なので、(1タイプごとの)誤タイプ率は $1/19=0.053$ となる。1タイプごとのタイピング時間は、課題としてタイプすべき文字ごとに算出する。例えば上記のうち「38x, 0.666;42S, 0.999;28, 0.767」は、「8」、BSキー、「(」の順にタイプしたことを意味し、「(」のタイプ時間は、 $0.666+0.999+0.767=2.432$ 秒により算出している。

2022年度の情報処理ⅡAのクラスの一つで本システムを使用させ、全8回の授業のうち第1回・第8回を除く各回に合計34個の課題を提供した。1回以上実施した学生数は125名であった。

19回以上実施した94名に限定し、1回目と19回目の実施について1タイプごとのタイピング時間を算出した。全体およびクラスの成績で上下に分けたときの平均値および中央値を表4に示す。1タイプごとのタイプ時間に関しては、実施回数ごとの減少傾向が見られた。本システムを用いたタイピング練習は、プログラミングやタイピングに慣れていない人ほど効果が高いことが示唆された。

表4 1タイプごとのタイピング時間の変化

		平均値(秒)	中央値(秒)
全体	1回目	0.878	0.841
	19回目	0.760	0.754
成績上位者	1回目	0.705	0.732
	19回目	0.679	0.674
成績下位者	1回目	1.050	1.000
	19回目	0.840	0.838

## 〈引用文献〉

- [1] 村端宏介, 卯田敦生, 村川猛彦: C言語学習支援のためのeラーニングシステム, 2018年電子情報通信学会総合大会, 情報・システム講演論文集1, p.135 (2018).
- [2] 岡本雅子, 喜多一: プログラミングの「写経型学習」における初学者のつまずきの類型化とその考察, 滋賀大学教育学部附属教育実践総合センター紀要, No.22, pp.49-53 (2014).
- [3] 中島祥, 渡辺義明: 写経型学習に基づくプログラミング初学者の自習支援システムの開発, 電気・情報関係学会九州支部連合大会論文集, 06-1P-02, p.178 (2014).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 田中和季, 村川猛彦	4. 巻 32
2. 論文標題 プログラミング学習支援のためのオンラインジャッジシステムの構築	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 情報知識学会誌	6. 最初と最後の頁 307~312
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2964/jsik_2022_024	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 村川猛彦	4. 巻 Vol.31, No.2
2. 論文標題 タイピングによるプログラミング学習のためのソースコード提示に関する一検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 情報知識学会誌	6. 最初と最後の頁 244-251
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2964/jsik_2021_033	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 村川猛彦, 田中和季
2. 発表標題 タイピングによるプログラミング学習のコンテンツ追加および授業実践
3. 学会等名 情報処理学会第85回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村川猛彦, 石村隆博, 田中和季, 山下優真
2. 発表標題 タイピングによるプログラミング学習の機能追加および授業実践
3. 学会等名 情報処理学会第84回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村川猛彦, 堀口雄紀
2. 発表標題 タイピングによるプログラミング学習の利用を促す試み
3. 学会等名 2022年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村川猛彦
2. 発表標題 for文は必要か プログラミング授業における設問と分析
3. 学会等名 第11回知識・芸術・文化情報学研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小高真太郎, 村川猛彦
2. 発表標題 写経型プログラミングに基づく学習支援システムの構築
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野崎崇弘, 村川猛彦
2. 発表標題 情報リテラシーおよびプログラミングに関する理解度テストの実施と分析
3. 学会等名 2019年度情報処理学会関西支部支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小高真太郎, 窪田雅崇, 村川猛彦
2. 発表標題 写経型学習に基づくC言語学習支援システムの開発
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takehiko Murakawa
2. 発表標題 LbTyping: A web application for programming learning by typing
3. 学会等名 The Fourteenth International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

takehiko/LbTyping: 写経型学習のためのWebアプリケーション <a href="https://github.com/takehiko/LbTyping">https://github.com/takehiko/LbTyping</a>
--

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------