

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 30 日現在

機関番号：12103

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22500877

研究課題名（和文）重度視覚障害者にオブジェクト指向プログラミングを教育する環境の構築とその普及

研究課題名（英文）Development of Resources for Education of Object-Oriented Programming to People with Visual Impairments

研究代表者

長岡 英司 (NAGAOKA HIDEJI)

筑波技術大学・障害者高等教育研究支援センター・教授

研究者番号：30227996

研究成果の概要（和文）：本研究では、重度の視覚障害者にオブジェクト指向言語 C# によるプログラミングの基礎を学習させるための教育用資源を開発した。それによって整備された、聴覚や触覚を介してプログラミングを学習させる教育方法、オブジェクト指向プログラミングの基本的技法を習得させる教育用コンテンツとアクセシブルな教材、視覚を介さないプログラミング演習を支援するシステムを、視覚障害当事者に対する教育に用い、その有効性を確認した。

研究成果の概要（英文）：In this research, the resources for the education were developed to make people with visual impairments learn the basic skills of programming by means of object-oriented language C#. The resources include "methods to educate programming skills through auditory and/or tactile means", "contents and learning materials for education of basic techniques on object-oriented programming" and "assistive system for exercises of programming without using vision". Those were revealed to be enough effective through the experimental uses in education to students and pupils with visual impairments.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・教育工学

キーワード：視覚障害、プログラミング教育、オブジェクト指向言語、教育用資源、マルチモーダル学習資料、支援システム、点字ディスプレイ端末、聴覚的出力

1. 研究開始当初の背景

コンピュータやインターネットの活用は、視覚障害者に多くの可能性をもたらした。だが近年、その利用環境の改善や新たな利用方法の開発に視覚障害者自身が主体的に取り組むのが難しくなっている。その一因は、非視覚的な（視覚を用いない）方法での実践的なプログラミングが、ほとんど不可能になってしまったことである。

1980 年代から 90 年代中盤の時期には、視覚障害者もいくつかの汎用言語を使ってプログラミングを行っていた。それによって、新たな職域が開拓されたほか、障害を補償するためのソフトウェアを当事者が自らの手で開発するなど、大きな成果が得られていた。

ところが、1990 年代後半以降は、実用性のあるプログラミングを行う視覚障害者がみられなくなった。その背景には、GUI

(Graphical User Interface) の普及がある。そして、それにともなって、視覚障害者を対象とするプログラミング教育が衰退した。

しかしながら、社会の情報化がますます進展するなかで、実践的なプログラミングが不可能であることは、視覚障害者にとって深刻な問題である。それゆえ、可能性の復活、即ちプログラミング技能の習得とその活用を再び可能にすることは、重要な取り組みといえる。

そこで、研究代表者らは、上記の可能性の復活を目指し、本研究の開始以前に、以下のことを行ってきた。

- ・汎用言語 **Java** と **C#** でのプログラミングを点字ディスプレイ端末や画面読み上げソフトを介して (非視覚的に) 行えるようにするための支援ソフトウェアの開発

- ・非視覚的な環境で **GUI** プログラミングや図形対応プログラミングを行う方法の開発

- ・**Java** や **C#** でのプログラミングに関する点字版の参考資料や学習資料の整備

これらの取り組みの成果として実現したプログラミング支援環境の試用実験を行った結果、同環境の有効性が確認できたが、同時に、いまや主流となっているオブジェクト指向プログラミングについての適切な教育を視覚障害者向けに実施することの必要性が明らかになった。視覚障害者によるプログラミングはテキストベースであることから、オブジェクト指向に関する理解が一層重要であるとの結論を得た。

2. 研究の目的

本研究は「重度の視覚障害を持つ大学生や高校生等に、オブジェクト指向プログラミングを多面的に学ばせ、その概念や技法を総合的に習得させる教育環境」を構築することを目的に行われた。構築する環境は、プログラミングの初学者を対象に、実践的なプログラミングの技能を自立的に習得・活用できる人材を育成するためのものである。

本研究では、次の取り組みにより、その実現を図ることとした。

- ・オブジェクト指向プログラミングの基礎を非視覚的な題材で教育できるようにするために、多様な「聴覚的オブジェクト」(聴覚情報を出力するオブジェクト) や「触覚的オブジェクト」、さらに「聴・触覚的オブジェクト」(聴覚情報と触覚情報を連動させて出力するオブジェクト) の創出が可能な環境を構築し、それに基づく教育用資源を開発する。

- ・プログラミングの応用実践を視覚的な題材で教育できるようにするために、「聴覚情報または触覚情報も出力する視覚的オブジェクト」(以下、「アクセシブルな視覚的オブ

ジェクト」) の創出が可能な環境を構築し、それに基づく教育用資源を開発する。

- ・上記の成果に基づくプログラミング教育に用いる教材を、聴覚と触覚のいずれでも利用できる「マルチモーダル教材」として開発する。

視覚障害者に、オブジェクト指向プログラミングについての教育を受ける機会がもたらされれば、それによって育成される人材が以下のような事項で、社会的に貢献する可能性が生まれる。

- ・アクセシビリティ問題の解決: **PC** やインターネットにおけるアクセシビリティの確保には、視覚障害当事者の技術面での関与が必要であり有効である。

- ・障害補償の推進: 障害による不便や困難の軽減への情報技術の活用を拡大するために、ソフトウェア開発などの技術的専門性を持つ当事者の参画が求められている。

- ・職業的可能性の拡大: 視覚障害者の職域が極めて限られているなか、組み込み型ソフトウェアの開発や音楽データの処理など、プログラミング技能を用いる職域での就労の可能性が期待されている。

本研究は、これらを通じて、視覚障害者の自立性の向上や生活の質的向上に役立つことを目指して計画された。

3. 研究の方法

本研究は、次のように遂行した。なお、実施に際しては、学内外の専門家や視覚障害当事者の協力を広く求めて妥当で有効な方法を用いることと、既存の資源を最大限に活用することを心がけた。また、教育用のプログラミング言語は、汎用性や利便性の高さから **C#** とした。

(1) プログラミング基礎教育の環境の開発
オブジェクト指向プログラミングの基礎を聴覚や触覚で対処できる題材によって教育する環境を構築するために、以下のことを行った。

- ① 聴覚的オブジェクトのための環境の構築
多様な「聴覚的オブジェクト」(聴覚情報を出力するオブジェクト) を設計・創出できる環境を、音源装置や音源データ、画面読み上げソフトウェア等を基盤にして整えた。

- ② 触覚的オブジェクトのための環境の構築
多様な「触覚的オブジェクト」(触覚情報を出力するオブジェクト) の設計・創出ができる環境を、点字ディスプレイ端末や関連のソフトウェアを基盤にして整えた。

- ③ 聴・触覚的オブジェクトの検討
「聴・触覚的オブジェクト」(聴覚情報と触覚情報を連動させて出力するオブジェクト) の実例を開発した。

- ④ 教育用資源の開発
上記①～③で整備された環境で行うオブ

ジェクト指向プログラミングの基礎教育に必要な資源（教育コンテンツ、教育方法、課題集等）を開発した。

⑤ 評価と改良

開発された環境や資源を学内の視覚障害学生や盲学校の生徒による試用実験によって評価し、改良した。

⑥ 支援システムの改良

上記⑤の試用実験を通じてプログラミング支援システムの機能を評価し、改良した。

(2) プログラミング応用教育の環境の開発
プログラミングの応用実践を視覚的な題材によって教育する環境を構築するために、以下のことを行った。

① アクセス手法の体系化

「アクセシブルな視覚的オブジェクト」の実現に備えて、PC上の視覚的な対象に聴覚や触覚を介してアクセスする手法を整理し、実用性や適用の範囲を明らかにした。

② 視覚的オブジェクトのアクセシビリティを向上させるための環境の構築

「アクセシブルな視覚的オブジェクト」の実現が可能な環境を、各種の視覚障害者用アクセス機器を基盤にして整えた。

③ 教育用資源の開発

上記②で整備された環境で行う教育に必要な資源（教育コンテンツ、教育方法、課題集等）を開発した。

④ 評価と改良

開発された環境や資源を学内の視覚障害学生による試用実験で評価し、改良した。

⑤ 支援システムの改良

上記④の試用実験を通じてプログラミング支援システムの機能を評価し、改良した。

(3) マルチモーダル教材の開発

上記(1)と(2)によって開発された教育環境で用いる教材を整えるために、以下のことを行った。

① 教材コンテンツの製作

上記(1)④と(2)③で開発した素材を基盤にして一元的な教材コンテンツを制作した。

② 教材のマルチモーダル化

上記①で制作したコンテンツを、聴覚・触覚・保有視力のいずれでも利用できる形態に整えた。

③ 評価と改良

学内の視覚障害学生等による試用で教材を評価し、改良を行った。

4. 研究成果

本研究の成果は、「聴覚や触覚を介してプログラミングを学ばせる教育方法の確立」、「プログラミング教育のコンテンツとそのマルチモーダルな教材の完成」、「プログラミングを支援するシステムの完成」の3点からなる。これらは、本学内外の視覚障害学生や

盲学校の生徒に対する教育に試行的に用いて実用性が確認できたほか、教材のアクセシビリティやプログラミング支援システムのユーザビリティについて満足できる評価を得た。

(1) 教育方法の確立

重度の視覚障害を持つ学生や生徒等に、汎用言語 C#によるオブジェクト指向プログラミングを教育する方法を開発した。重度視覚障害者に対する教育では、情報を聴覚や触覚を介して取得させることが必要であり、基本である。それゆえ、プログラミング教育の実現においても、そのための方法や手段の整備が主たる課題となる。ここでは、確立した教育方法の要点を示す。

① 概要

教育の形態として、実習を主体に学習者が一斉的な解説や個別的な質問対応等の助力を適宜受けながら自身に適した進度で知識や技能を習得していく方式を想定した。その基盤になるのは、次項(2)で詳述する教育コンテンツと教材である。また、実習は、(3)に記すプログラミング支援システムを用いて行う。それらを含め、すべてが聴覚と触覚を介する方法や手段からなる。

② 既存のアクセスツールの活用

教材へのアクセスやプログラミング実習は、学習者が自力で PC を使用することによって遂行される。そこでは、スクリーンリーダー(画面読み上げソフト)や点字ディスプレイ端末、点字プリンタなどの既存のアクセスツールが介在する。したがって、学習者には、それらを利用する技能が求められ、その習得のための事前の教育が必要な場合もある。

③ 言葉による表現

アルゴリズムやデータ構造などについての解説は図解等のビジュアルな方法で行うのが一般的であるが、それが不可能であることから、すべてを言葉による表現に置き換える。また、補足的に触図(触れて読み取る図)を用いる。

④ 点字の活用

プログラムのソースコードや数式などのように、細部を正確に読み取る必要がある対象を非視覚的に円滑かつ確実に伝達するには、点字の介在が不可欠である。そこで、教材の利用やプログラミング実習では、点字を読み取りの主たる手段とする。

⑤ オーディオ出力の利用

プログラムの実行の状況や結果を非視覚的に迅速かつ簡便に把握させるには聴覚情報の出力が有効である。それゆえ、WAV形式の音源データや PC のビーブ音機能によるオーディオ出力での実時間的な情報提示を、プログラミング実習に用いる。

⑥ 点字出力と音声読み上げの併用

点字出力による情報伝達の正確性と音声

読み上げによる情報伝達の迅速性の両方を活かせるよう、教材の利用やプログラミング実習では、両者を適宜併用させる。

⑦ ユーザ・インタフェイスの方式に関する留意

プログラミング実習では、非視覚的な操作の容易性から、コマンドライン方式のプログラム開発環境を用いる。また、プログラミング基礎教育では、非視覚的なアクセスの容易さから、主に CUI (Character User Interface) 方式のプログラムの開発を対象とする。

⑧ GUI への対応

プログラミング応用教育では、GUI プログラムの開発も題材とする。ここでは、画面表示のレイアウトを座標計算で設計し、それを触図で確認するなど、非視覚的な手法で GUI に対応する

(2) 教育用コンテンツとマルチモーダル教材の完成

C#言語によるオブジェクト指向プログラミングを重度の視覚障害を持つ初学者に教育するためのコンテンツと、アクセシビリティに配慮した教材を開発した。コンテンツの選定では、聴覚や触覚による学習の効率を考慮し、本質的な事項をまずは確実に習得させるために、言語の機能やプログラミングの技法の網羅的な紹介を避けて、必要最少の範囲に限定することを基本とした。同様の理由から、教材の構成や文章表現についても、可能な限りの簡素化を図った。

① コンテンツの構成

教育用コンテンツは、習得させるべき知識や技能に即して系統的に分類、配列された単元に分割されている。プログラミング基礎教育用のコンテンツを構成する単元の一部を表-1 に示す。

表-1 プログラミング基礎教育用コンテンツの単元一覧 (抜粋)

第3章 処理の流れの作りかた(1) 制御文
3.1 分岐のための制御文(1) if 文
3.1.1 最も簡単な構文
3.1.2 二分岐の if 文
3.1.3 多分岐の if 文
3.2 分岐のための制御文(2) switch 文
3.3 反復のための制御文(1) for 文
3.4 反復のための制御文(2) while 文
3.5 反復のための制御文(3) do-while 文
3.6 例外処理のための制御文 try-catch 文
第4章 処理の流れの作りかた(2) クラス
4.1 複数のクラス定義からなるプログラム
4.2 メソッドの引数
4.3 メソッドのオーバーロード
4.4 コンストラクタ
4.5 変数や配列へのアクセスを仲介するメンバ

- 4.5.1 プロパティ
- 4.5.2 インデクサ
- 4.6 クラスの継承

② 単元の構成

各単元は原則として、「概要の理解」、「プログラム例の参照」、「詳細と関連事項の理解」、「課題によるプログラミング実習」からなる。プログラム例や実習課題は、非視覚的な方法での対応に適した題材で作成した。

③ プログラム例

習得させたい要点を織り込んだプログラム例を単元ごとに作成した。その表題リストの一部を表-2 に示す。

表-2 プログラム例の表題リスト (抜粋)

SAMP018	平方数
SAMP019	if-else
SAMP020	成績判定
SAMP021	英単語で音源ファイル
SAMP023	自然数の和
SAMP024	音のサインカーブ
SAMP025	二重のループ
SAMP026	高さが等間隔のビーブ音(while ループ版1)
SAMP027	等間隔のビーブ音(while ループ版2)
SAMP028	テキストファイルの内容表示(while 版)
SAMP029	テキストファイルへの書き出し
SAMP030	テキストファイルの内容表示(例外処理版) try-catch
SAMP031	計算の反復
SAMP032	電話帳の表示(第1版)
SAMP033	電話帳の表示(第2版)
SAMP034	電話帳の表示(第3版)
SAMP035	引数を持つコンストラクタ
SAMP036	サイコロのプロパティ
SAMP037	携帯の番号

④ 実習課題

習得した知識や技法を定着させるためのプログラミング実習課題を、各単元に設けた。その例を表-3 に示す。

表-3 課題例

(課題 EX025)
SAMP022 のプログラムを修正し、最初にキーボードからの整数値を読み込み、ビーブ音の振動数がその値を超えるまで反復を続けるようにしなさい。
(課題 EX027)
コサイン関数 cos を音で表すプログラムを、

Math クラスのメソッド Cos を使って作制しなさい。

(課題 EX029)

SAMP025 とは逆の順でビーブ音を鳴らすプログラムを、二重の for ループを使って作制しなさい。

(課題 EX032)

キーボードから入力される英単語が、car(車)、helicopter(ヘリコプター)、gun(銃)、rain(雨)、applause(拍手)のときはそれぞれの音源ファイル、end(終わり)または空のときは終了音ファイル、それ以外の綴りに対してはエラー音ファイルを再生する処理を、終了音が再生されるまで反復するプログラムを、SAMP021 のプログラムに do-while 文などを付加して作制しなさい。

(課題 EX040)

SAMP034 の TelnList クラスに、4 番目の disp メソッドを追加しなさい。その disp は、disp(string search, int lines) のように二つの引数を持ち、search の値を含む名前の行のうちの先頭に最も近い行から lines の値の行数分を表示するものとする。

⑤ 教材のマルチモーダル化

学習者が各自に適した進度で個別に教育を受けられるようにするために、教育コンテンツを文書化して教材を制作した。また、その教材を、触覚や聴覚、保有視力を適宜併用して効率良く利用できるよう、マルチモーダル化した。すなわち、普通文字版と点字版を制作し、自動音訳、点字表示、点字印刷、拡大表示を介して利用できるようそれぞれを電子データ化した。各版では、媒体やアクセス方法の特性を考慮した調整を行い、アクセシビリティの向上を図った。

(3) プログラミング支援システムの完成

本研究より以前から開発を進めてきたプログラミング支援ソフトウェア AiBTools を、教育方法や教育コンテンツ、教材を評価する過程で使用するとともに、それによって得られた知見に基づいて同ソフトウェアを改良し、プログラミング支援システムとして完成した。

① AiBTools の基本機能

重度の視覚障害者による C#プログラミングを可能にする支援ソフトウェア AiBTools は、3 種のアプリケーションからなる。そのいずれもが、点字ディスプレイ端末への出力機能を持つとともに、各スクリーンリーダーで読み上げがなされるよう設計されている。それぞれのアプリケーションの機能概要は次のとおりである。

・テキストエディタ AiBEdit : 点字ディス

プレイ端末上の表示を介してプログラムリストの編集ができるアプリケーションである。テキストの編集に必要な基本的な機能に加え、コンパイラと連携する機能、フォーカスの現在位置(行番号やメソッド名)を読み上げる機能、プログラムの構造の概要を表示する機能(アウトライン機能)などを備えている。画面上には、編集用のメインウィンドウとアウトライン表示ウィンドウが表示される。

・代替コマンドプロンプト AiBTerminal : プログラムのコンパイルや実行を、点字ディスプレイ出力と音声読み上げを介して、コマンドライン方式で行えるアプリケーションである。入力ウィンドウと出力ウィンドウを有し、操作の流れに従って自動的にフォーカスが移動する。コンソールへの新たな出力があると、出力ウィンドウ上でフォーカスがその内容の先頭の直前に置かれるようになっており、点字ディスプレイ端末で、すぐにそれを読み始めることができる。

・コンパイル補助用フロントプロセッサ _csc : C#のコンパイラ csc を起動するとともに、AiBEdit と連動するアプリケーションである。csc と同様にコマンドラインで操作すると、コンパイルを開始し、エラーが検出された場合は、その一覧表示のウィンドウが開く。点字ディスプレイ端末上でエラーメッセージの一つを選択すると、AiBEdit が起動してソースコードの当該エラー発生箇所にフォーカスが置かれ、同時にその部分が点字表示される。

② 新規機能の付加

テキストエディタ AiBEdit に次の二つの機能を追加した。

・点字データへの変換機能 : 入力・編集時/後のテキストデータを点字データに変換するために用いる機能である。これにより、ソースコードを簡便に点字で印刷できる

・行折り返し機能 : テキストの行長が点字ディスプレイ端末の表示桁数を超える場合に、自動的に点字行の折り返し処理を行う機能である。これにより、触読の操作の煩雑さが改善され、読みの能率や精度が向上する。

③ 問題点の改良

AiBEdit や AiBTerminal における点字表示、音声出力、処理動作等に関連する不具合や問題を解決するとともに、バージョン情報を取得できるようにした。

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)

- ① 長岡英司、視覚障害者の情報アクセスやコミュニケーションを支える機器とソフトウェア、総合リハビリテーション40巻9号、医学書院、査読なし、2012、pp1201-1206
- ② 宮城愛美・長岡英司・田中直子、重度視覚障害者の情報処理分野における就職の支援事例、第19回職業リハビリテーション研究発表会発表論文集、査読なし、2011、pp35-38
- ③ 長岡英司・宮城愛美、重度視覚障害者用プログラミング環境の開発とその活用、視覚リハビリテーション研究第1巻第1号、視覚障害リハビリテーション協会、査読なし、2011、pp36-40

[学会発表] (計2件)

- ① 宮城愛美・長岡英司・田中直子、重度視覚障害者の情報処理分野における就職の支援事例、第19回職業リハビリテーション研究発表会、2011.12.20、千葉市(独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構障害者職業総合センター)
- ② 長岡英司・宮城愛美、重度視覚障害者に対するプログラミング教育の実践 - C#用プログラミング支援システムの活用、日本特殊教育学会第49回大会、2011.09.23、弘前市(弘前大学)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長岡 英司 (NAGAOKA HIDEJI)
筑波技術大学・障害者高等教育研究支援センター・教授
研究者番号：30227996

(2) 研究分担者

宮城 愛美 (MIYAGI MANABI) (産休に伴い2012年9月3日に辞退)
筑波技術大学・障害者高等教育研究支援センター・講師
研究者番号：60447258