

平成22年 6月11日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19500783
 研究課題名（和文） 重度視覚障害者による図形対応プログラミングの学習を支援する
 環境の構築と方法の普及
 研究課題名（英文） Development of Assistive System for the Visually Impaired to
 Learn Skills on Graphical Programming
 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、重度の視覚障害者がWindows上で動作するプログラムを独力で設計・開発・完成できるようにするための支援システムを構築した。また、図形的な対象の処理を含む実践的なプログラミングの方法を非視覚的に学習できる環境を、その支援システムを中核にして整備した。これらにより、重度の視覚障害者が汎用言語でのプログラミングのスキルを習得し、実用的なプログラム開発を行えるようになることを確認した。

研究成果の概要（英文）： In this study, an assistive system was developed to enable the severely visually impaired to design and develop a program workable on Windows system. A non-visual learning environment was also built up by applying the assistive system, in which he and/or she can acquire the skills on practical programming such as graphical programming without vision. As a result, it was revealed that the assistive system and learning environment were available to the severely visually impaired in getting the skills on programming in general-purpose language C#.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：情報科学

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 汎用言語 開発環境 図形処理 GUI
学習環境 非視覚的方法

1. 研究開始当初の背景

1990年代半ば以降のGUI(Graphical User Interface)の普及により、視覚障害者がソフトウェア開発を行うことが難しくなった。それ以前は、汎用コンピュータやPC上で、

いくつかの言語によってプログラミングを行うことができ、情報処理分野が視覚障害者の職域として確立されたほか、障害を補償するソフトウェアを障害当事者が自ら開発するなど、プログラミングの可能性によって

たらされたものは多かった。そして、情報処理技術者試験の一種や二種に点字受験で合格する事例も見られた。ところが、GUI 化の進展で、プログラムのユーザインタフェース機能の設計が難しくなり、さらに、視覚を使わずに利用できる開発環境がなくなったために、ソフトウェア開発を行うことが困難になった。その結果として、視覚障害者は PC やインターネットの利用環境の改善や独自の利用法の開拓に主体的に取り組めなくなり、それらについての知識やスキルを習得するためのプログラミング教育を受けることすら難しくなった。

こうした状況の改善を目的に、研究代表者は、視覚障害者が汎用言語でのソフトウェア開発を実践的に学べるようにするための支援システムの構築を進めてきた。それにより、本研究に着手するまでに、点字ディスプレイ端末を備えた Windows 環境の下で、以下のことが行えるようになっていた。

- a) ソースコードの入力と編集
- b) コンパイラやインタプリタなど Java 言語の標準的な開発ツールの使用
- c) プログラムの動作確認

実際に、この支援システムと点字の電子教材を使って、視覚障害者も Java プログラミングの学習と実習を行えるようになった。だが、実習が可能なのは、入出力を標準チャネル経由で文字のみによって行うプログラム（つまり、図形的な対象の入出力は行わないプログラム）に限られていた。ソフトウェア開発においては図形的な対象の処理が不可避となっていることから、これではまだ、問題が十分に解決されたとはいえなかった。

2. 研究の目的

本研究は、視覚障害者が、図形の表示や処理を伴うプログラムを独力で設計・開発・完成できるようにするための支援システムの構築を目的とした。また、その支援システムを基盤にして、視覚障害者がプログラミング言語の図形関連機能（GUI 機能やグラフィックス機能）の利用について学習・実習できる環境を整備することを目指した。これらの目的の実現には、以下のことを行う必要があった。

- a) プログラムが画面に出力する「図形を含む表示」（以下、「図形表示」と記す）を触覚で読み取れるようにするための触知化システムの開発
- b) 視覚障害者が図形関連のコーディングを行う方法の確立と、その方法を支援する機能の開発
- c) 図形的な対象の処理を含むプログラミングを視覚障害者に教育するための、方法、システム、カリキュラム、教材等の整備

これらによって、視覚障害者が、GUI 環境に対応するソフトウェアや図形を扱うソフトウェアを開発するスキルを習得できるようになれば、その効果は大きい。

たとえば、

- a) GUI によるバリアを軽減するツールを自身で作成できる（もしくはツールの開発に関われる）ようになり、PC やインターネットの利用が促進される。
- b) 視覚的な表現を取り入れた（単なる文字の並びだけではない）提示用資料（画像データ）を自身で作成できるようになり、従来よりも晴眼者（視覚に障害のない人）に受け入れられやすい情報発信によって、社会とのコミュニケーションが拡大する。

本研究は、こうした効果を通じて、視覚障害者の生活の質的向上や社会参加の促進を図るために計画された。

3. 研究の方法

研究の目的に沿った取り組みを以下のとおりに行った。

(1) プログラミング環境へのアクセスを支援するソフトウェアの開発

重度の視覚障害者が円滑かつ確実にプログラミングを行えるようにするには、触覚と聴覚を適宜併用してアクセスできるプログラミング環境の実現が欠かせない。研究代表者らは、そのための開発を 2005 年度に開始した。

① Java 言語への注目

プログラミング用の言語として最初に着目したのは Java であった。同言語は、C や C++ などの利点を引き継ぎ、同時にそれらの難点のいくつかが消された、比較的理解しやすく使い易い言語である。そして、注目の最大の理由は、Java の開発環境 JDK (Java Development Kit) が、旧来のコマンドライン方式を採っていることであった。近年の標準的な基本ソフトである Windows の下では、ほとんどすべての開発環境が GUI 化している中で、これは稀有な存在といえた。キーボードからのコマンドの入力で、すべての操作ができる JDK は、視覚障害者による利用に適している。

② 開発の方向性

そのような理由から、Java 言語のコンパイラとインタプリタへのアクセスを可能にする支援ソフトウェアの開発に着手した。コンパイラは、テキスト形式のソースコードを Java の中間言語コードに変換するソフトウェア、インタプリタは、中間言語コードを解釈・実行するソフトウェアである。それらを用いての作業を確実にできるようにするた

めの支援ソフトウェアの開発に際して、次のような方針を立てた。

- a) 画面表示は原則として点字と音声の両方で出力する。
- b) 点字は、情報処理用記号で、ディスプレイ端末に実時間で出力する。
- c) 音声化には、既存のスクリーンリーダーの機能を活用する。
- d) ソースコードの入力や編集を確実にできるようにするための機能を具備する。
- e) その他、プログラミング作業の能率と確実性を向上させる機能を検討し具備する。

ソフトウェアの開発と更新の実務は、当初より、山本卓氏（2005年当時、電気通信大学学生）が担当している。

③Java 用支援ソフトの完成

2006年度中に、Java プログラミング用の支援ソフトウェアが開発され、重度の視覚障害者による試用実験で、その基本的な機能の有効性の確認もできた。同ソフトウェアは、次の3種のアプリケーションで構成された。

- a) テキストエディタ
- b) 代替コマンドプロンプト
- c) コンパイル補助用フロントプロセッサ

④C#への移行

Java 言語で開発されたアプリケーションは、基本ソフトに非依存な中間言語コード形式であり、実行にはインタプリタを介さなければならない。そのために、アプリケーションの操作やアクセシビリティの確保が煩雑になるなどの難点がある。GUI の音声化が容易でないことも一例である。

そこで、本研究では、対象言語を、新たにメインストリーム言語になりつつあった C# に変更することとした。同言語を選定した理由は次のとおりである。

- a) コマンドライン方式の開発環境が整っている。（マイクロソフト社の Web ページから無償でダウンロードできる。）
- b) Windows を主たるプラットフォームとする言語であることから、そこでのアクセシビリティの確保が図りやすい。
- c) Java と同じオブジェクト指向言語であり、文法上の類似点が多い。

本研究初年度の 2007 年度には、C# に対応するためのソフトウェアの改修が主に行われた。

4. 研究成果

完成したプログラミング支援ソフトウェアの機能概要と、同ソフトならびに整備・構築した資源や方法を用いて行った教育実践事例の概要を示す。また、最後に、成果に係る考察をまとめて記す。

(1) プログラミング支援ソフトウェア AiBTools の機能概要

重度視覚障害者による C#プログラミングを可能にするために開発された支援ソフトウェアは「AiBTools - the accessible programming tools in braille」と名付けられた。本ソフトウェアは、5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等への触覚情報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。点字への変換と点字ディスプレイ端末ならびに点字プリンタの制御にはニュー・ブレイル・システム株式会社の NBS エンジンを用いており、点字は完全な情報処理用記号で出力される。また、点字ディスプレイ端末のカーソルスイッチが各場面で有効である。

本ソフトウェアのうちの下記(1)～(3)に係るモジュールは、Web ページ (<http://www.sgry.jp/aibtools.index.html>) からダウンロードして無償で利用できる。ただし、NBS エンジンについては別途の購入が必要である。

①テキストエディタ AiBEdit

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。

②代替コマンドプロンプト AiBTerminal

コマンドライン方式での対話（コマンド等のキー入力と実行結果等の確認）を点字ディスプレイ出力と音声読み上げを介して行えるようにする。入力用ウィンドウと出力用ウィンドウとを有し、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、出力用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。

③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 を連動させる。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。

図 1 に示す。

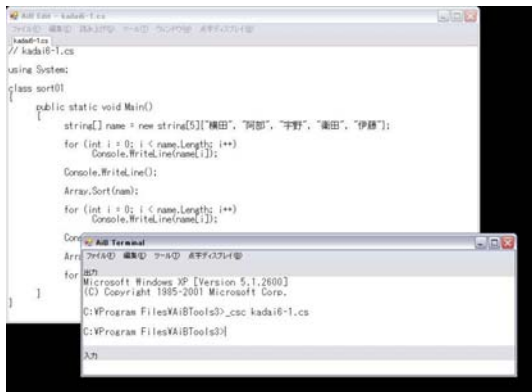


図 1 AiBTools の操作画面

④点字印刷機能 AiBPrint

編集時のソースコードや閲覧中のエラーリストなどのテキストデータを、情報処理用点字に変換して点字プリンタに出力する。テキストエディタ AiBEdit から簡便に起動できるほか、印刷の書式やプリンタの機種の設定が可能である。

⑤点図化機能 AiBGraphics

Windows の画面に表示される図形を点図化して高機能点図プリンタに出力する。

(2) 教育実践での活用

本研究の開発成果を用いて教育実践を試行し、成果を得た。その二つの事例を紹介する。

①就職準備のための教育事例

情報分野での就職を目指す全盲の大学生 A が、2008 年 10 月から同 21 年 4 月までの間、AiBTools を使って C# でのプログラミングを学習した。A のプロフィールを表 1 に示す。学習開始時、A は情報系学科の 3 学年に在籍しており、C 言語などでのプログラミングの経験を有していた。テキスト処理やゲームのソフトを開発するなど、プログラミングのスキルは比較的高く、就職後の可能性を考慮し

表 1 A のプロフィール

C#学習開始時の年齢	22 歳
視覚障害の状況	全盲 (14 歳で失明)
点字使用歴	失明後から使用 (約 7 年)
PC 使用歴	中学 1 年時から使用
PC へのアクセス手段	スクリーンリーダ (点字ディスプレイも一部使用)
プログラミング経験	約 2 年半 (主に C 言語)

てオブジェクト指向言語に慣れておくために、この学習を始めた。

A による学習は、概ね週に 2 時間程度、前述の点字版学習資料と課題集を用いて、筆者らが指導する形で行われた。毎回の内容は、

- a) 課題に対する A の回答 (プログラム) の評価
- b) サンプル・プログラムを用いての新規事項の学習
- c) 新規学習事項に関連するプログラミングの実習

である。4 月末までに 18 回の学習を行い、オブジェクト指向の考え方を含め、C# プログラミングに関する基礎的な知識とスキルを一通り習得した。

②就労継続のための教育事例

ソフトウェア会社での 19 年余の勤務経験を持つ全盲の B は、職務環境の変化に対応するために C# でのプログラミングのスキルを習得することになった。B のプロフィールを表 2 に示す。B には、C 言語でのソフトウェア開発の業務経験がある。

C# プログラミングの学習は、前述の点字版学習資料での自習から始まった。その直後の 2009 年 4 月に AiBTools の使用法を直接に指導し、以後、前述の課題とその回答や問い合わせを研究代表者とメールでやり取りする方法で教育が進められた。オブジェクト指向の概念に慣れるのに苦労があったものの、基本的なスキルは一通り習得できた。

職業場面での AiBTools の具体的な適用業務や活用の可能性として、B は、(組み込み系や内的処理系の) ソフトウェアの開発実務や、社員に対するプログラミングの指導、社内のプログラミング支援体制の構築などを挙げた。

表 2 B のプロフィール

C#学習開始時の年齢	39 歳
視覚障害の状況	全盲 (4 歳で失明)
点字使用歴	小学 1 年生から (約 33 年)
プログラミング歴	職業訓練 1 年 + 勤務先での業務 19 年 (主に C 言語)
これまでの職務内容	ダム制御プログラムの更新、公営競技用業務ソフトの開発、新入社員に対するプログラミング教育など
使用 OS	Unix, Windows
PC へのアクセス手段	スクリーンリーダ、点字ディスプレイ端末、点字プリンタ

(3) 成果に係る考察

これらの教育実践事例から、重度視覚障害者のためのプログラミング支援環境と、それを活用したプログラミング教育環境が、基本的には実現したと判断できる。それとともに把握できたいくつかの事項について以下に略述する。

①点字ディスプレイ出力の有用性

AiBTools では、音声出力と点字ディスプレイ出力の両方をしようできる。慣れた作業や簡潔なソースコードの編集では、音声出力のみでの作業が主になるようである。しかし、プログラムの実行結果や複雑なソースコードの確認には点字ディスプレイ出力が使用されており、とくに書式や文字種、記号などの仔細な確認には有効である。また、ソースコードの編集時に、点字ディスプレイ端末のカーソルスイッチで、直接当該箇所にフォーカスを移せるのがたいへん便利との評価があった。

②資料の利便性

プログラミングの学習や開発実務では、資料の利用が不可欠である。点字版学習資料は、ソースコードなどを確実に読み取れるという利点がある反面、大部なために利用しにくいとの評価もあった。また、ネット上にある膨大な参考資料へのアクセスが容易でないことも問題とされた。

③支援体制の必要性

プログラミングのスキルを習得する学習モデルの構築、学習資料や参照資料の整備、プログラミングの学習や実務の支援ができる人材の確保など、プログラミングの学習や実務を支援する体制の基盤の整備が重要である。なかでも、オブジェクト指向プログラミングの概念やスキル、図形描画の非視覚的方法等を視覚障害を持つ初学者に習得させる有効な指導法や有用な手段、資源等の開発が、まずは必要といえる。

④職業場面での具体的な用途の開拓の必要性

AiBTools は、職業的な用途がまだ明確でない。前述の事例のBは、この支援ソフトウェアを使ってデータベースやWebを対象とするアプリケーションの開発ができれば、そのスキルは職業的に有用なものになると考えている。また、そのための一つの条件として、デバッグツールの整備を挙げている。職業的な用途が具体化すれば、事例のAの場合のような就職準備学習での本ソフトウェアの利用が意義を増すことになる。

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2件)

- ①長岡英司, [他2名、筆頭]、重度視覚障害者のためのプログラミング環境の開発とその職業的活用の可能性、第17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、2009、pp260-263
- ②山本卓、長岡英司、清水豊、重度視覚障害者用開発環境の構築～メインストリーム言語JavaとC#への対応～、第33回感覚代行シンポジウム講演論文集、査読なし、2007、pp. 43-46、

[学会発表] (計2件)

- ①長岡英司, 他、重度視覚障害者のためのプログラミング環境の開発とその職業的活用の可能性、第17回職業リハビリテーション研究発表会、2009.12.02、千葉(独立行政法人 高齢・障害者雇用支援機構)
- ②山本卓、長岡英司、清水豊、重度視覚障害者用開発環境の構築～メインストリーム言語JavaとC#への対応～、第33回感覚代行シンポジウム、2007.12.04、東京(産業技術総合研究所)

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

なし

(3) 連携研究者

なし