

# Web ブラウザベースのオブジェクト指向言語実行環境

鳥居 隆司\*1・田村 謙次\*2・安藤 明伸\*3・杵淵 信\*4・森 夏節\*5  
川崎 直哉\*6・大岩 幸太郎\*7・中野 健秀\*8・藤尾 聡子\*9・古金谷 博\*9

Email: torii@sugiyama-u.ac.jp

\*1: 梶山女学園大学 文化情報学部  
\*2: 中央学院大学 商学部  
\*3: 宮城教育大学 教育学部  
\*4: 北海道教育大学 教育学部  
\*5: 酪農学園大学 農食環境学群

\*6: 上越教育大学 学校教育学部  
\*7: 大分大学 教育福祉科学部  
\*8: 愛知学院大学 商学部  
\*9: シンカーズ・スタジオ

## ◎Key Words プログラミング, オブジェクト指向, Web ベース

### 1. はじめに

現代社会では、様々な分野の知識や技能とそれらをどのように活用するかについての思考力や判断力、表現力が必要であると言われている。また、今後の社会を持続可能な未来へと形成していくための協働、多様性を尊重する姿勢、急速に発展する多くの分野の知識や技能を学び続ける力、そして、社会をより良いものにしてゆく人間性なども必要であるとされている<sup>(1)</sup>。急激に進展するテクノロジーが背景に存在する社会では、正解のある問題を効率的に解く能力の他、多くの様々な情報を主体的に判断し、活用すること、多くの人々と協働し、さらに価値あるものを導くことが求められる。そのため、情報を効率的に扱うことのできる情報活用能力を身に付けるだけでなく、新しい情報通信技術を取り入れ、使いこなすための科学的な理解が基礎として必要になってくる<sup>(2)(3)</sup>としている。

現在の学校教育では、中学校段階で「プログラムと計測・制御」が技術科の必修項目として設定され、高等学校の普通科において選択必修の共通教科「情報」の「情報の科学」の「問題の解決と処理手順の自動化」において、問題の解法をアルゴリズムを用いて表現する方法を習得させ、コンピュータによる処理手順の自動実行の有用性を理解させるとして取り組まれている。

しかし、高等学校及び中等教育学校後期課程において、共通教科情報科を担当する教員<sup>(4)</sup>の免許状保有状況を文部科学省が調査した結果、免許外教科担任が全体の27.6%にもなっているとの報告があり、この調査を受けて、文部科学省は、平成28年3月に各都道府県の教育委員会や高等学校を置く各指定都市の教育委員会に対して、教員免許「情報」保有者の採用や計画的配置及び、現職教員の同免許状取得の促進に取り組み、免許状保有率の向上を目指すことで、教科情報科を担当する教員の専門性向上に努める依頼<sup>(5)</sup>を行っている。

平成27年5月にまとめられた教育再生実行会議による「これからの時代に求められる資質・能力と、それを培う教育、教師の在り方について(第七次提言)」では、従来に引き続き、ICT活用による学びの環境の革新と情報活用能力の育成が必要とされ、子どもの自立し

た学びを育成するためにICTは、学習の手段及び学習環境として一層重要な要素になるとし、将来、どのような仕事や活動をするとしても不可欠な情報活用能力を高める教育の充実が必要と記述されている。

また、様々な政府の方針として、平成27年6月に改訂された「日本再興戦略-JAPAN is BACK・改訂2015-」では、IoTやビッグデータ、人工知能、セキュリティに関する技術が第4次産業革命につながるとして、これらの技術による産業構造の変革を検討し、情報通信技術の利活用を推進するための新たな法制上の措置を行うとしている。

さらに、平成25年6月に初版が発表された「世界最先端IT国家創造宣言」も、平成26年6月及び平成27年6月に改訂され<sup>(6)</sup>、情報通信技術の利活用と世界の範たる課題解決型のIT利活用モデルの構築、標準化による汎用性・継続性の深化と、各種領域での革新性の誘発という視点から情報通信技術の利活用による目指すべき社会・姿を明らかにし、その実現に必要な措置を講ずるとしており、情報通信技術の利活用の裾野拡大を推進するための基盤の強化を行うとしている。そして、情報通信技術や様々なデータを活用した起業や新サービスの創出を担う先端人材の発掘・支援、プログラミング等の情報通信技術の教育の推進や国民全体の情報利活用力向上、安心・安全な利用環境整備、指導者等の育成、確保を行うことに言及している。

具体的には、初等中等教育では、情報活用能力の育成や教育環境の整備を行うことによって、次世代に求められるプログラミングなどの情報活用能力の育成を幅広い層に対して行い、大学・大学院・高専教育では、数理や情報の教育の強化、さらに、数理、情報関係学部や大学院において、情報コアカリキュラムや理工系基礎となる数学教育の標準カリキュラム整備などを柱として、結果的にトップレベルの人材を育成するとしている。

### 2. プログラミング教育とその教育環境

最近のプログラミング教育の重要性についての議論や学校教育におけるプログラミング教育の必要性が多く指摘されるようになってきた背景として、スマート

フォンなど的高機能のコンピュータを誰もが使いこなすようになってきており、いわゆるアプリの需要をはじめとして安定した良質な情報環境を供給する必要がある。そして、前述のようにいわゆる第4次産業革命に向け、AI、IoT、ビッグデータ、セキュリティ及びその基礎となるデータサイエンス等の人材の育成や確保も必要である。また、情報社会を生きるために必要な教養としてのプログラミングや、メディア・アートなどの表現や創造性、モノづくりのためのプログラミング、様々な学びの契機、手段、あるいは、学びそのものためのプログラミングなども非常に重要である。

我々は、初等中等教育<sup>(7)</sup>においては、プログラミングを前述のように直接、社会に貢献できるためのものとのみ考えるのではなく、幅広い視野でのプログラミングやその活用をとらえ、その考え方を理解し、様々な教科や分野へ応用できることを知ることも重要であると考えている。

そして、プログラミング言語を学習するための教材や方法にも、非常に多くの書籍やツールが出てきており、プログラミングに少しでも興味を持ってもらい、わかりやすく学習できるように工夫された様々なプログラム言語や学習環境もいくつも存在する。さらに、Scratch などの子ども向けのビジュアルプログラミングも開発され、このような学習環境を用いた様々なワークショップも各地で盛んに開催されている。また、諸外国においても、同様の試みは数多く行われており、文部科学省でも、諸外国におけるプログラミング教育の位置づけやその教育内容及び指導方法等について調査<sup>(8)</sup>している。

Scratch などのビジュアルプログラミングの学習環境は、簡単なアルゴリズムをブロックなどの部品として組み合わせることで、コンピュータに行わせる手順を表現し、予め用意されたダイアログの値などを変更することで、各パラメータを変えることも可能であり、コンピュータがプログラムに従って自動的に手順通り動く仕組みやある程度のアルゴリズムの理解は可能である。

しかしながら、ビジュアルプログラミングの学習環境では、通常の命令文や文法に触れることは難しいばかりか、コンピュータの低レベル領域へのアクセスやオブジェクト指向プログラミングの重要な機能については、ブラックボックスとして隠されており、扱うことはできない。プログラミング教育では、ブラックボックス化してしまっている情報技術の仕組みについて知ることは、非常に重要な要素であるにもかかわらず、そこに至るための手段が用意されていない。さらに高度のアプリケーションを作成する場合には、通常のプログラム言語の命令文や文法を統合開発環境で使用する必要があるため、結局、よく利用されるプログラム言語を学び直す必要が出てくることになる。

ところが、最近のスマートフォンや GUI に優れたデスクトップの環境を最初から利用している世代や文書処理やプレゼンテーションの文字入力程度の経験しかない場合には、コマンドベースでコンピュータに命令する方法でさえも困難であり、コンパイラ型のプログラム言語の環境を構築するために必要なファイルシ

テムの概念の理解やパスの使い方、ライブラリのリンクなどは不可能に近い作業である。

プログラム言語を学ぶ環境は、そのほとんどがオープンソースとして、公開されている。プログラム言語を学ぶ場合、それらの解説サイトなどの情報を参考に学習を進めることもできるが、解説サイトの情報の品質も様々であることや、使用している OS の種類やバージョンなどによって異なることも多く、途中の段階で手順の通りに動作せず挫折することも多い。このように意欲的であった学習者は、プログラム言語の学習を早く始めたいだけであるにもかかわらず、結果的に学習以前の段階で、コンピュータが目的のように動作せず、あきらめてしまう結果になる。

プログラム言語の学習は、その内容が多少理解できたとしても、市販のアプリケーションがそれほど容易に作成できるものでもないし、日常生活で、その知識を活用する機会もほとんどない。また、初等中等教育の現場においても、そのカリキュラムが本来の目的ではないアプリケーションの操作習得に偏る傾向にあり、高等教育においても、情報工学などを専攻としない学習者では、アプリケーションの操作習得を行ったことで、コンピュータの知識を得たと考えてしまうのは、非常に大きな問題である。

そこで、本研究では、上記のような状況に対し、オブジェクト指向型のプログラム言語を学びたい場合に、そのプログラム言語のデバッグ、コンパイルや実行が可能な環境を容易に得ることができ、スマートフォンはもちろん、電子書籍リーダーのようなコンピュータとしての能力の低い携帯情報端末からでも十分に学習が可能な基礎的な環境をクラウドコンピュータ上に開発し、ソフトウェア開発を行うことも可能な環境の構築を行った。

### 3. Web ベースの実行環境の構築

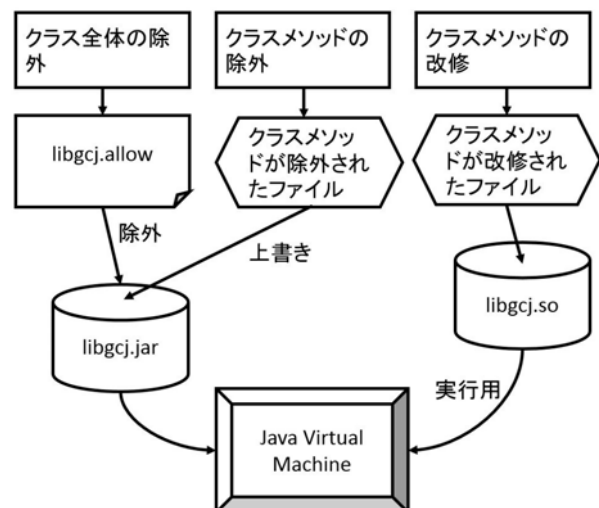


Fig.1 機能制限のためのクラスの除外及び改修

本研究でのオブジェクト指向型のプログラム言語として、Java 言語を選択した。Web ベースのコンパイル・実行が可能な環境を構築するために配布形態が GPL である Java コンパイラの libgcj.jar をカスタマイズして用いた。このライブラリには、Java バイトコードを

インタプリタで実行可能な gij コマンドがバンドルされており、gcjによってコンパイルを行った後、gijによって実行することができる。これらを本環境に構築するため、既に報告しているC言語の実行環境に、Fig.1に示すように機能制限とJava言語の実行環境の追加を行う方法とした。

機能制限には、あるクラス全部の除外、クラスメソッドの除外、クラスメソッドの改修の3通りがある。あるクラス全部を使えなくするには、libgcj.jarに当該クラスを含めない方法を採用。特定のクラスメソッドだけを除外するには、ソースコードを書き換えて作成したクラスファイルをlibgcj.jarに登録する方法で実現できる。しかし、クラスメソッドの内容を変更するのは技術的に難しいものであるが、libgcj.jarはクラスやクラスメソッドの存在確認に使用されるのみであり、実行時にJVMから参照されるコードはlibgcj.soに含まれるものであることから、改修を加えるメソッドは、単にユーザプログラムからだけではなく、JVMでも使用される。従って、改修はJVMの動作を妨げない配慮が不可欠となる。

これらに必要なファイルは、パスのチェック機能を追加したソース (File.java.plus)、メソッドを除外したソース (File.java.minus)、メソッドを除外したソース (System.java.minus)、メソッドを除外したclassファイルを所定の場所に作成するためのシェル (myMake.sh)、許可するクラス名一覧 (mylibgcj.allow)、libgcj.jarを作成するためのシェル (mylibgcj.sh) などである。また、libgcj.soやlibgcj.aを書き換えていることから、再度gcc及びgcjのインストールを行った。

本実行環境は、クラウドコンピュータ上に構築するため、AmazonEC2においてこのような作業を実行したが、実行モジュールが /usr/local/bin の下に配置されるよう、--prefix=/usr/local を指定する。所要時間は--enable-languages=c,java としたとき make bootstrap の所要時間はEC2では、3時間以上を費やす結果となった。次に、java.io.File及びjava.io.FileDescriptorのメソッドに対する処理の追加と、java.lang.Systemクラスのin, out, err, exit以外のメソッドと、java.io.FileクラスのFileコンストラクタ以外のメソッドの除外を行った。

ユーザプログラムから参照可能なクラスは、libgcj.jarに登録されているクラスである。従って、Fig.1に示すようにlibgcj.jarを作成するときに当該クラスを除外することで目的を達成できる。そして、libgcj.jarへの登録の有無をmylibgcj.allowに指定する。mylibgcj.allowは、利用可能な全クラスを収めたmylibgcj.allを基にして、ユーザプログラムでの利用を禁止するクラスの行頭に“#”をつけて作成した。

#### 4. 実行環境での動作

本研究では、前述のようにインターネットに接続されたWebブラウザがあれば、すぐにJava言語の学習が始められる学習環境をクラウドコンピュータ上に構築したので、電子書籍リーダーに付属のブラウザ環境で実行した結果をFig.2, Fig.3に示した。このようにコン

ピュータとしての能力が極めて低い情報端末においても十分実行できることが確認できた。

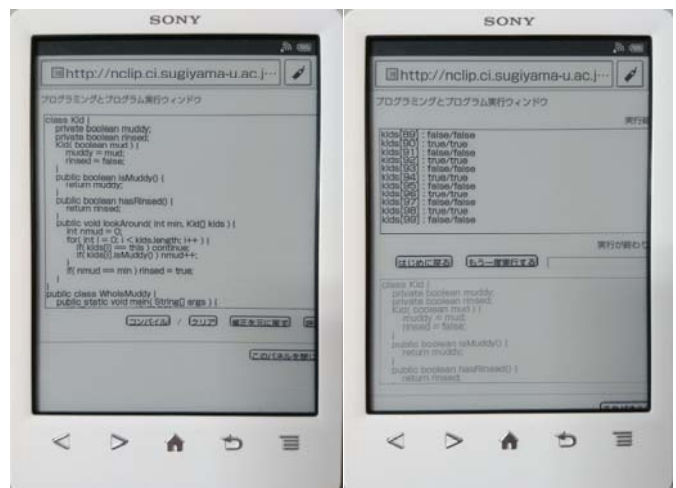


Fig.2 e-Ink タイプの電子書籍リーダーによるプログラミング環境と実行結果



Fig.3 データファイルなどをクラウド上に保存するためのメニューボタンなど

また、Fig.3に示すように、[データファイル]ボタンから、各ユーザの保存領域を参照することができ、ソースファイルやファイルの入出力結果などをクラウド上に保存することもできる。このメニューでは、この他に、プログラムの編集やコンパイル・実行を行うためのモードとログアウトするためのボタンを備えた。

また、Javaの特長のひとつであるポリモーフィズムや抽象クラスについて実行した例をFig.4に示す。ここでは、抽象クラスを定義し、サブクラスとなる様々な内容の属性や動作を定義した。そして、抽象クラスを抽象メソッドとして、継承して作るいくつかのサブクラスでそれをオーバーライドし、各クラスに応じたメソッドを実装している。そして、プログラムの実行時にmainメソッドの引数argsに指定するプログラムを例として示した。したがって、コンパイル時ではなく、実行時に初めてどのクラスのインスタンスかが決まるという状況を作成し、ポリモーフィズムによって、指定に応じたメソッドが実行されることも確認できた。実際には、Fig.4に示すようにエラーなくコンパイルが終了し、実行可能な状態になった時点で「実行」ボタンの横の

(args)と書かれたテキストエリアが表示されるので、そこに必要な値などを指定する。その後、実行ボタンをクリックすると、プログラムの実行が始まり、指定した値などがmainに渡される。

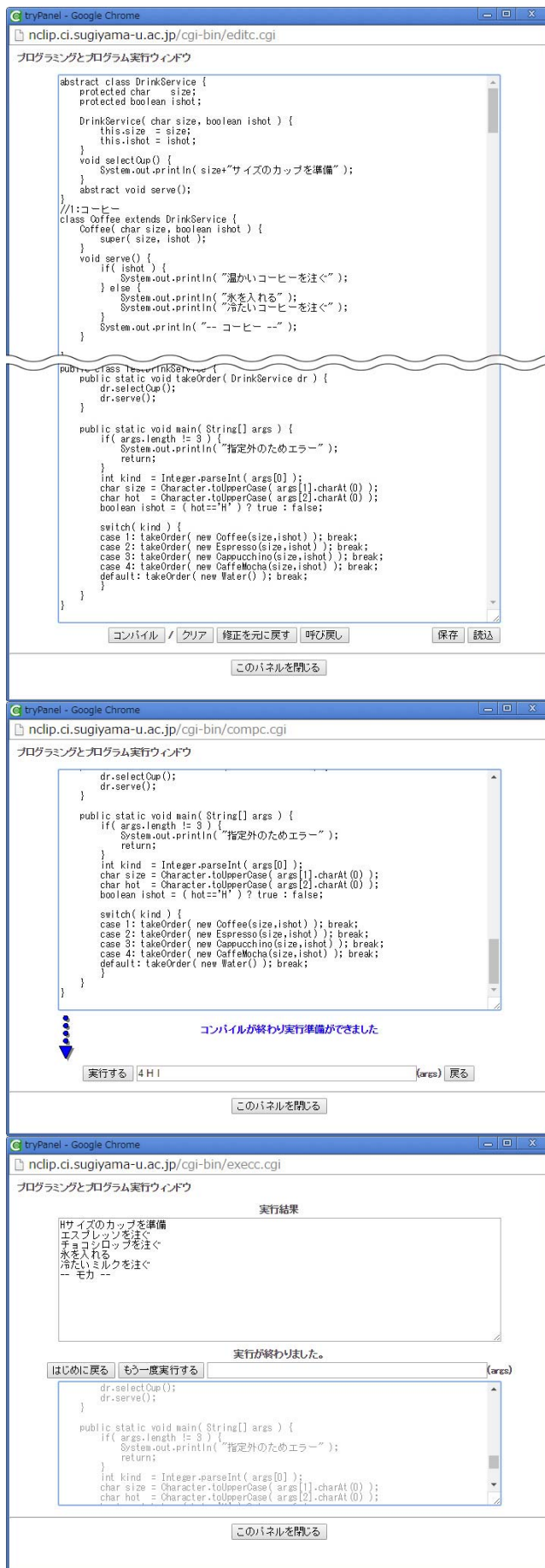


Fig4 ポリモーフィズムや抽象クラス及び、プログラムの実行時に main メソッドの引数を指定するプログラムの例

## 5. 考察

本研究では、オブジェクト指向言語である Java 言語の実行環境をクラウドコンピュータ上に構築し、E-Ink タイプの電子書籍リーダ程度の性能である情報端末であっても、対話型の処理やプログラムの実行時の引数の受け渡しの他、クラウドコンピュータ上へのソースファイルの保存や読み込み、プログラムの実行によるファイルの入出力などが可能であることが確認できた。Java 言語は、C 言語と比較して、実行環境そのものの破壊について配慮されていると言われているが、様々な攻撃を想定し、コンパイラが生成するオブジェクトにそれらの攻撃を検出する論理的な判断機能も実装し、さらに、サーバ自体に悪影響を及ぼすライブラリなどは、機能そのものを制限する手法ではなく、ソースコードを書き換え機能の制限を行うことで対応し、Java 言語の学習において問題のないことを確認した。現在、本システムをインターネットに公開しており、不特定多数のユーザで利用できるようになっている。今後は、本研究で構築した実行環境にプログラミングの実行結果のグラフィック表示の機能を加え、構成主義的な学びを支援する環境を構築する予定である。

## 6. おわりに

急激に情報化される現代社会の変化に対応するため、産業分野から教育分野まで様々な取り組みが考えられ、モノづくりやプログラミングなどのワークショップが盛んにおこなわれているが、情報やコンピューティングに関する理解も人材も予算も不足しているのが現状であろう。本研究によって、情報やコンピューティング分野の基本的な考え方や理解を様々な場面で支援できることを願っている。

### 謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 24501069, 25381242 15K00935 及び 16K04748 の助成を受けたものである。

### 参考文献

- (1) 第5期科学技術基本計画, 内閣府, 平成28年1月.
- (2) 「ビッグデータの利活用のための専門人材育成について」, ビッグデータの利活用のための専門人材育成に向けた産学官懇談会, 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構, 平成27年7月.
- (3) 教育課程企画特別部会における論点整理について (報告), 教育課程部会 教育課程企画特別部会, 平成27年8月.
- (4) 中野由章, 中山泰一, 「高等学校情報科教員の現状」, 情報処理, Vol.55, No.8, 2014.
- (5) 「高等学校情報科担当教員への高等学校教諭免許状「情報」保有者の配置の促進について (依頼)」, 文部科学省, 平成28年3月.
- (6) 世界最先端IT国家創造宣言 平成27年6月一部改訂, 内閣府, 平成27年6月.
- (7) プログラミング教育実践ガイド (文部科学省), 一般社団法人ラーン・フォー・ジャパン, 平成27年3月26日.
- (8) 諸外国におけるプログラミング教育に関する調査研究, 文部科学省平成26年度・情報教育指導力向上支援事業, 平成27年3月.