

# Sakai を利用したプログラミング学習支援システム

## Sakai-based learning support for programming

玉木久夫

明治大学理工学部情報科学科

キーワード: プログラミング教育、学習支援システム、Sakai、適応的出題、直訳問題、コンテンツ開発、トレース力養成

### 1. はじめに

講演者の研究室では、Sakai を利用したプログラミング教育・学習支援システムを開発し、学科の授業で実際に使用している。また、その使用経験をもとに、教育・学習効果を高めるためのさまざまな手段、方法を研究している。この講演では、既に稼働しているシステムを概観し、今年度の進捗について報告する。

### 2. 稼働中のシステム : MAX/C

MAX/C は、C 言語プログラミング学習のための Web 上演習システムである。明治大学理工学部情報科学科の授業「プログラム実習 1」および「プログラム実習 2」を実施するために開発され、2005 年度よりそれらの授業で使用されている。週一回、ふたコマ(180分)の授業のすべてが、このシステムを用いて行われている。MAX/C のコンテンツは、基礎知識を確認するためのドリル問題と実際にプログラミングを行う練習問題からなる。ドリル問題は、Web ページ上で解答し、プログラミング問題に対しては、作成したプログラムをアップロードにより提出する。ドリル問題はさらに YES/NO および選択肢解答式の問題と、与えられたプログラム片をトレースするトレース問題からなる。これらの 3 つのタイプの問題に対して、MAX/C は解答の自動的な検査とフィードバックを行う。

MAX は Massive Algorithmic eXerciser の略であり、理工学の学習には膨大な問題演習が不可欠であり、そのためにはアルゴリズムによる出題と解答検査・フィードバックを行うシステムが必要であるとの観点から、より広い範囲の学習支援システムとして構想されたが、プログラミング以外の学習内容への拡張には未だに手がついていない。

MAX/C は、開発当初には独自の Web アプリケーションとして実装されたが、2009 年度卒業研究で藤井により Sakai 上のツールとして移植され学習進捗管理やコミュニケーションのためのさまざまな機能が付加された[1]。さらに、藤井[2]により、問題管理部分が Sakai の独立したツールとして分離・再構成され、さまざまな改良が加えられて現在に至っている。この再構成により、問題コンテンツを MAX/C 以外のツールから利用す

ることが可能になり、今後の研究のための柔軟性が確保された。

### 3. 今年度の進捗

#### 3.1 MILES

MILES (Model-based Interactive Learning Support) は、学習者の進捗状況に応じた問題提供を可能にするために構想された。学習者を、階層化された学習項目のそれぞれに与えた達成度の数値によりモデル化し、問題ごとに与えられた付与データと学習者モデルの照合により、問題の推薦を行う。昨年度までは、システムの設計・構築とともに、モデルの枠組み、モデル更新アルゴリズム、および問題推薦アルゴリズムの設計とそれらのシミュレーションによる調整などを行って来た[3]。今年度は、現場での運用のための障害となった負荷上の問題等を克服し、現場での試用を行った[5]。ただし、稼働開始が 2 学期の終盤になったために、学習効果についての十分なデータ収集はこれからの課題である。

#### 3.2 解答例プログラムを中心とした問題開発

MAX/C の使用を通じて、学習支援システムの提供する問題コンテンツとそれに付随した支援の多様化の必要性を痛感している。ドリル問題による基礎知識の習得の後にプログラミング問題による応用力の育成という図式は、プログラミングへの適性がある程度以上持った学生にとっては有効であるが、多くの学生にとっては十分ではない。基礎知識の習得を前提にした場合に、教師の目からは自明としか思われなようなプログラミング問題でさえも、実はドリル問題との間には相当のギャップがあることがわかって来ている。また、現在の MAX/C では、各課のプログラミング問題がレベル 1 からレベル 5 に分類されているが、連続した二つのレベルの間にも場合によってはかなり大きなギャップが存在する。

これらのギャップを埋めるためには、よりきめ細かい問題コンテンツを用意するとともに、解答に対するフィードバックや、解答過程での支援などもきめ細かくして行く必要がある。例えば、ある問題で行き詰ったときに、どの問題に戻ればよいかなどのアドバイスを対話的に行いたい。

我々はこのような目標を一般的な人工知能によってではなく、膨大なコンテンツの作りこみによって達成しようとしている。そのためには、コンテンツの効率的な開発手法は極めて重要である。我々のアプローチは、プログラミングの問題を、解答例のプログラムを中心として開発していくことにある。解答例プログラムのそのもの持つ情報と、ソース上に付加された情報を合わせることで、例えば次のようなコンテンツを生成する。

- (1) 問題文
- (2) 解答検査プログラム
- (3) 配布下敷きプログラム (穴埋め問題用)
- (4) ヒント

さらに、次のような支援のための手がかりも提供する。

- (A) 提出時の理解度確認
- (B) バグ発見の支援
- (C) 欠けている基礎の指摘

今年度は、主に (1)、(2)、(3) の自動生成を目的として、情報付加のためのタグの設計と生成ツールの実装を行った。

### 3. 3 直訳問題

プログラミングの問題の典型的なものは、それを解くために、プログラミング言語の文法的な知識と、アルゴリズムなどのプログラミングの技法についての知識、そしてプログラムの動作を把握するための論理的な思考力のすべてを必要とするものとなっている。初学者にとっては、これが時に過大な負担となる。慣れないがための、ごくつまらないミスの発見に多くの時間を費やすような経験の積み重ねがプログラミングへの嫌悪感につながるケースも少なからずあるように思われる。

外国語の学習においては、面白くて価値があるような内容を論ずることを求められるのは、学習過程の後の方であり、学習の初期においては、機械的な反復練習によって文法を単なる知識ではなく、反射的に活用できるスキルとして身に付けさせようとするのが普通であろう。我々は、プログラミングの教育にも、そのような要素がある程度必要であると考え、直訳問題の活用を計画した。直訳問題は、日本語で記述されたプログラムをプログラミング言語に逐次翻訳することを求める問題である。当然、無味乾燥であり、学習者の興味を掻き立てるものとは言えない。我々は、直訳問題の役割を主に既存のプログラミング問題で行き詰って手がつかない場合のサポートと位置づけて、MAX/C の中で既存の問題と関連づけて配備した。授業での感触と、アンケート調査の結

果、直訳問題が意図したとおりの役割をある程度果たしていることが観測された[4]。

### 3. 3 トレースシート

トレースシート[6]は、プログラムの実行過程のすべての情報を表示するスプレッドシートであり、その各列が変数に、各行が実行のステップに対応する。すなわち、ひとつのセルは、実行中のある時点における変数の値を表す。デバッグツールが、デバッグのために必要な実行情報を選択的に手際よく得ることを主眼としている（そしてそのためには、使用法に習熟する必要がある）のに対し、トレースシートはまずすべての情報を何の操作も介さずに隠さず見せることを主眼としている。初学者にプログラムの実行の背後にある状態空間とその時間変化を強く意識させ、トレースの能力を開発するためのツールとして考案された。前年度は、Java のサブセットから EXCEL へのコンパイル方式の実装と、自主講座での実験的な使用を行った。今年度は、MAX/C への配備と授業での使用を目指して、C 言語版の実装を行った。また、EXCEL へのコンパイル方式はファイルの大きさがかなり大きくなるために、中間語とブラウザ上のフロントエンドによる処理方式の開発も行った。

### 参考文献

- [1]S/fujii, K.Ohkubo, H.Tamaki: MAX/C on Sakai – A Web-based C^Programming Course, In Proc. the 2nd International Conference on Computer Supported Education, pp. 196-201, 2010.
- [2]藤井聡一郎： 統合 e-ラーニング環境 Sakai を用いたプログラミング教育システムの構築. 明治大学大学院理工学研究科基礎理工学専攻情報科学系修士論文、2011.
- [3]山田悠：C 言語学習システムにおける理解度モデルの構築とシミュレーションによる改良. 明治大学大学院理工学研究科基礎理工学専攻情報科学系修士論文、2012.
- [4]山下美穂：プログラミング学習のための練習問題の多様化と効率的開発に向けて. 明治大学大学院理工学研究科基礎理工学専攻情報科学系修士論文、2013.
- [5]小芦勇介、玉木久夫：理解度モデルに基づく C 言語学習支援システムの設計と実装および試用. 情報処理学会コンピュータと教育研究会第 119 回発表会、2013.
- [6] S.Fujii and H.Tamaki: Tracesheets - Spreadsheets of Program Execution as a Common Ground between Learners and Instructors. In Proc. the 4th International Conference on Computer Supported Education, pp. 158-163, 2012.