

機関番号：34315

研究種目：基礎基盤（C）

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20500854

研究課題名（和文） 動きある図式を中心とする理解の契機の再利用環境

研究課題名（英文） Environment to Leverage Understanding Cues with Dynamic Schemas

研究代表者

島川 博光（SHIMAKAWA HIROMITSU）

立命館大学・情報理工学部・教授

研究者番号：70351327

研究成果の概要（和文）：

ある学生がプログラミング技量を習得したきっかけとなった教材である理解の契機は他の学生の理解を推進する上でも有効である。本研究では、学生の理解の進捗を示すデータを、講義、プログラミング演習時の個別指導、学生同士でのピア学習などの実環境で収集・分析し、学生の理解の契機を抽出した。さらに、これを他の学生に適用したときの効果を、テスト、ソースコードの出来具合、ソースコードを完成させるまでの思考過程といった多様な実例で明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

Understanding Cues are teaching materials contributing to acquire programming skills. Cues of one student are also effective to others. This research has extracted understanding cues from actual programming activities. It has also proven the effectiveness of application of the extracted cues to other students in various evidences such as test results, source codes, and process to complete source codes in actual programming exercise classes.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：プログラミング教育

科研費の分科・細目：化学教育・教育工学 教育工学

キーワード：プログラミング教育、データマイニング、協調学習、データ収集インタフェース

1. 研究開始当初の背景

報告者らは、プログラミング演習において学習者が提出するソースコードの評価結果をきめ細かく記録・解析すると、特定の技量を、それまで理解できていなかった学生がある特定の時点以降、使いきれようになるという事実を発見した。そこで報告者らは、プログラミングに必要な技量は特定の機会に習得されると考え、この機会を理解の契機と呼んだ。

ある学生の理解の契機が見つければ、それを他の学生にも適用し、理解する学生を増大させることができる。報告者は、プログラミング初心者にはプログラミングの諸概念をわかりやすく教える媒体として、Microsoft 社の PowerPoint のアニメーション機能に代表されるような「動きある図式」がきわめて有効であることに着目した。そのうえで、報告者

らは、動きある図式を使ったときの、その場での学生からの反応を、さらに、それらの効果を学生のプログラミング能力の向上度から解析することが必要であると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、提出したソースコードとその採点結果から各学習者の理解度を定量的に表現するとともに、学習過程で使用された動きある図式に着目し、これと理解度表現を有機的に関連付ける。これにより、プログラミング技術を習得しつつある学生の理解の契機となった動きある図式を他の学生にも共有させ、理解の輪を広げる環境を構築する。

3. 研究の方法

本研究では以下を確立する。

(1) 学習者の理解度の定量的な把握法

学生に対して定期的実施するべき実力テストを、手間をかけずに作成し、かつ、採点を自動化する手法を開発する。さらに、教えられたアルゴリズムをフローチャートなどの図式を用いて学生が表現できるかを検査し、学生がアルゴリズムを理解していないのか、それともそれをプログラムとして表現できないのかを切り分ける手法を開発する。これらのテストにより、学生の理解度を定量的に把握する。これらのテスト結果にあわせ、学生が提出したソースコードと実行結果、教員やTAが評価した達成度、各学生からの課題ごとの難易度に対するアンケート結果などのデータを収集し、学習の履歴を一元管理した学習者カルテを作成する。これにより各学

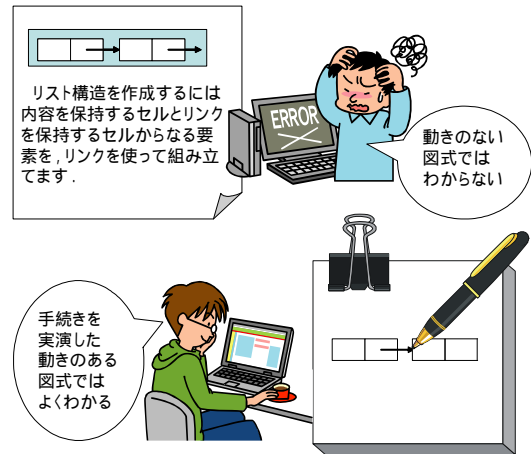


図1. 動きある図式によるプログラミング技術の習得
習者の理解度を個人ごとに履歴として管理することを実現する。

(2) 動きある図式の評価法

動きある図式は講義スライドによく使われる。講義スライド中の動きある図式を、講義中の学生からの反応より評価する手法を確立する。

(3) ピア教育における理解の契機の同定法

教員やTA、さらには同僚から個別にプログラミング技法を教わったさいに学生はプログラミング技量を獲得することが多い。個別指導のさいには処理手順を示すのによく図式が描かれる。図1に示すような図式の動きを、描画過程を記録できるデバイスを用いて獲得する。そして、図式の使用方法を解析することにより、理解の契機を同定する。

(4) 理解の契機の再利用環境

上記の3つの方法を統合し、図2に示すよう

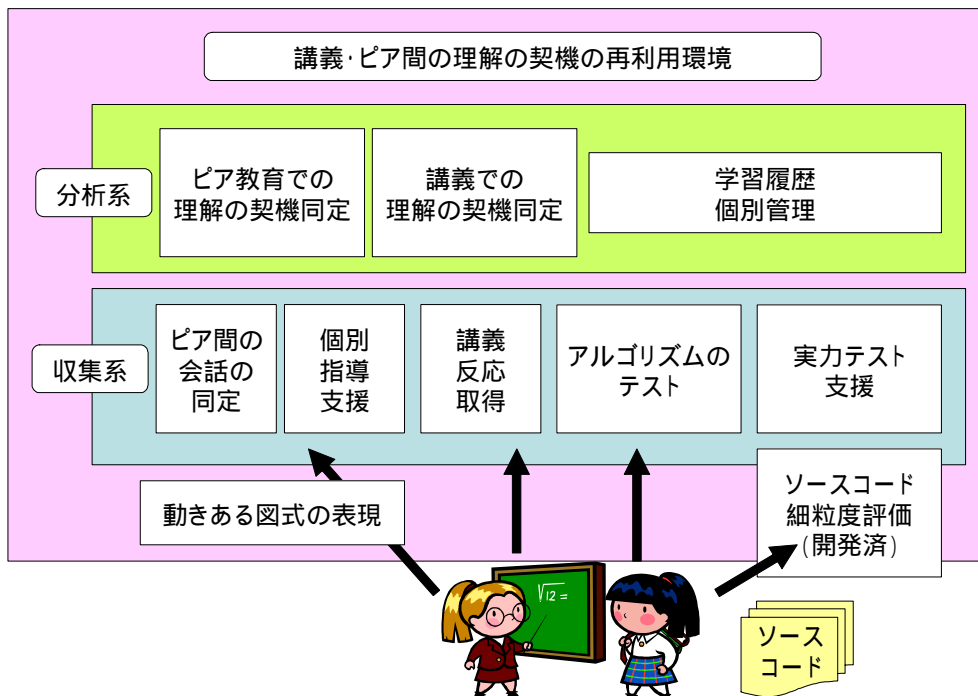


図2. 理解の契機の再利用環境

な、講義における1対多の指導だけでなく教員、TA、同僚などのピアからの個別指導も含め、理解の契機、もしくは理解の行き詰まりを抽出し、広く他学生に共有させることにより、多くの学生が容易にプログラミング能力を習得できる環境を構築する。

4. 研究成果

(1) 学習者の理解度の定量的な把握法

演習過程にサンプルコードの読解を取り入れることは多い。読解から自分で問題を解く段階へ進む間に、学生は読解対象サンプルコードへの理解度について一定の通過基準を設けテストを実施する必要がある。この理解度を自動的に判定することは難しく、現在、多くの大学は人手による判定に頼っている。本研究では、サンプルコードに対する理解度判定のための一手段として、仕様変更演習を考えた。仕様変更演習とは、読解対象サンプルコードに対して、仕様の微小な変更を仮定し、学生に仕様変更をコードへ反映させる演習である。仕様変更をサンプルコードに直接反映させると、多種多様な変更が可能であるため、評価の自動化が困難である。そこで、本研究では制御構造グラフを用いた仕様変更演習の支援手法を提案した。制御構造グラフは、サンプルコードの構成要素を抽象度順に階層化したものであり、サンプルコードより一定の規則に従って抽出される。グラフ中のすべてのノードは、サンプルコード中の特定の部分コードとの対応関係を保持している。仕様変更演習において、学生は仕様変更を受けてサンプルコードのどこを修正すべきかを、実際の部分コードとしてではなく、部分コードに対応するノードとして選択する。学生の選択ノードと、教員によってあらかじめ指定された正解ノードとの木構造上の関係から、サンプルコードへの理解度が自動で算出される。これにより、実力テストの自動生成、自動採点が可能となった。

現在の大学におけるプログラミング教育では、完成したソースコードの評価に重点が置かれており、プログラムの全体像を把握し、プログラムを段階的に詳細化する設計能力を養う教育が不十分である。学習者にとっては、プログラミング言語の文法や記述方法より、アルゴリズムを手続きとして組み立てる方が難しい。制御構造を用いて、理解したアルゴリズムを実装する方法を習得しているかをテストしなければ、学習者が正しく動作するプログラムを作成できるか判断できない。そこで、本研究では、頭に描いたアルゴリズムをプログラムとして実装する能力を学習者に教えるために、構造化プログラム設計によりプログラムの見通しを立て、そのうえで新規に学習したアルゴリズムに基づくプログラムを学習者が作成できるかを確認するテスト手法を提案した。この手法では、

プログラミング言語特有の記法から分離させたフローチャートにより、学習者にアルゴリズムをプログラムとして設計させたうえで、データ構造や値の可視化を用いて新しく学習したアルゴリズムが理解できているか確認ができるようになっている。これにより、学生がアルゴリズムを理解していないのか、それともそれをプログラムとして表現できないのかを切り分けることができる。

学習者の学習履歴を細かく記録し、その結果を指導者に提示することは、個々の学習者の理解状況を把握し、その学習者に適した教材提示を実施するのにも役立つ。このような学習過程の細かい履歴は、個々の学習者の理解状況を示す学習者カルテと呼ばれる。記録される対象は、参照された教材、小テストの結果、プログラミングの成果物などさまざまである。本研究では、Web上でさまざまな教材を参照できるようにし、その参照履歴を取得できるようにした。またソースコードの採点と結果の参照、小テストの実施などもWeb上で可能とするシステムを開発した。これにより学習カルテの電子化が可能になった。これまで、プログラミング課題の成果物を一連の記録として閲覧できるInteractive Programming Portfolioなるシステムはあったが、途中で参照した教材や小テストなどまで一元管理している電子学習者カルテは他に例をみない。

(2) 動きある図式の評価法

欧米とは違い、日本の学生は、講義中に大勢の人がいる前で質問できないと感じることが多い。よって、教員が講義中に学生の理解度を取得することは難しく、教員から学生への一方通行の講義となりやすい。そこで、報告者らは講義中の任意の時点で受講者がスライドに対する理解度を示せるレスポンス・アナライザを開発した。受講者が講義中に自らの理解度を示すボタン端末を、無線通信機能をもつPDA上に実装した。システムの運用例を図3に示す。ボタンを押した受講者の数をサーバが集計し、理解度グラフとして教員と受講者の双方に実時間で表示する。理解度グラフにより、教員と受講者は講義で説明している学習項目に対する受講者の理解度を共有できる。だれがどのボタンを押しているかはわからないので、受講者は気軽に反応を示せる。理解度グラフを見ることにより、教員は、受講者の理解度に応じた講義の進め方をとれる。このレスポンス・アナライザを用いて、受講者の理解度がどれほど向上したかを調べた。立命館大学で受講者500名程度の講義を、本手法を適用するクラスと適用しないクラスの2クラスに分け、試験結果の平均正答率を比較した。50点を満点として、本手法を適用したクラスと適用しないクラス

の平均点は、それぞれ 22.02 点, 19.80 点であり、本手法の適用により 2.22 点平均点が向上していた。レスポンス・アナライザには理解を向上させる効果があると我々は考えている。

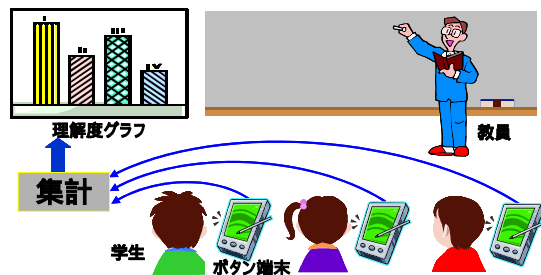


図 3. レスポンス・アナライザ

(3) ピア教育における理解の契機の同定法

動きある図式を動作させながらプログラムのふるまいを説明することは、学習者にアルゴリズムを理解させる上で有効である。プログラムの実行が状態を変化させていく過程を、実行の各段階での状態を示す図式の変化で説明できるからである。特に個別に指導を行うピア教育では、個々の学習者が理解できていない点を確認しながら指導できるので動きある図式の効用は高いと考えられる。本研究で開発した指導シートは、図 4 に示すように、計算機画面を覆う透明のシートがあるかのように動作するソフトウェア・ツールで、展開と解除の 2 つの状態をもつ。マウスからの入力は、展開状態では指導シートへの描画と見なされ、解除状態では画面に表示されたウィンドウへの操作と見なされる。指導シートを用い、演習時に学習者が質問したときの、教員や TA からの個別指導において以下のような実験を試みた。プログラム実行の途中状態と、それを説明する講義資料に書かれた静的な図式との対応を示すため、実行を止めた時点でのコードと静的図式とを指導者が矢印で結んで学習者に説明した。その説明を計算機画面上で実施し、説明に使われた図式、コード、図式とコードの対応のために描かれた線、指導者と学習者の音声を記録した。これを指導記録と呼ぶことにする。指導記録は学習者の理解困難箇所を示している。多数の指導記録が得られれば、多くの学生に共通する理解困難箇所が同定でき、教材の改善ができる。実験は、1 回生の受講生 60 名を被験者として実施した。静的図式とコードの特定箇所を対応付ける動きある図式から指導内容を推測し、結果を音声情報と照らし合わせて検証した。この場合、指導記録 23 件中 21 件について指導した内容の推測が可能であった。さらに、13 件においては、どこが間違っていてどう指導したかまでほぼ正確に指導内容を把握できた。図式とコードだけからの推測と比較すると、動きある図式の

記録からの推測はその詳細度・精度が共に大きく上昇する。したがって、動きある図式を記録することにより、教員は学習者が何を理解できていなかったかまで、詳細に把握できるといえることが分った。

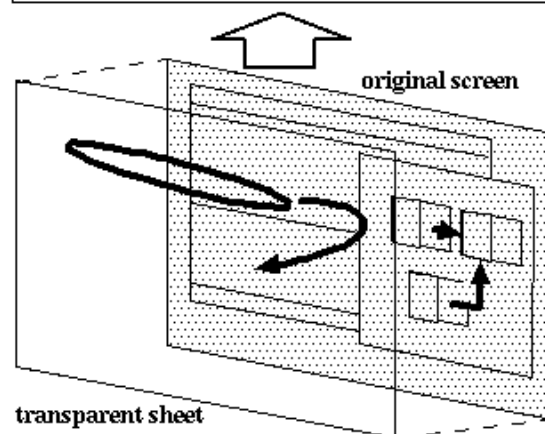
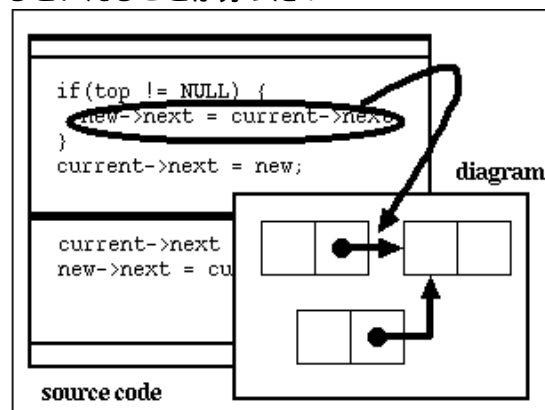


図 4. 指導シート

(4) 理解の契機の再利用環境

これまでに説明した要素技術を統合することによって図 2 に示した理解の契機の再利用環境を構築した。仕様変更演習やフローチャートを用いた小テスト、さらには、図 3 に示したレスポンス・アナライザや、図 4 に示した指導シートなどさまざまなツールを既存の採点システムと統合して、プログラミング学習者カルテを管理するデータベースシステムを実装した。本システムを立命館大学で実施されるプログラミング演習の実授業に適用し、毎年の受講生の学習者カルテを管理している。プログラミング教育においては、多数の学習者を受け持つ教員に、限られた時間での教育効果を高めるために、演習課題の出来具合に基づき、教員が個々の学習者の理解状況を容易に把握できるプログラミング学習カルテの分析法が必須となる。プログラミング学習カルテにより、学習者の学習経過を反映した技法ごとの理解状況を把握できる。本研究では、過去の学習者に対して彼らの学習カルテを分析し、後に行き詰まってしまった学習

者と共通する特徴をもつ、現在の学習者を、行き詰まりのおそれが高い学習者として特定する手法を提案した。提案手法は、行き詰まりのおそれが高い学習者を、理解状況が似ている学習者ごとにまとめてグルーピングする。このグルーピングにより、指導者は、行き詰まりの恐れがある学習者を優先的に指導できるだけでなく、似た問題を抱える学習者をまとめて指導できる。本手法を立命館大学のC言語プログラミング教育に適用し、41名の習得不十分者を同定した。これらの学生と同じ特性を持つ学生を翌年の受講者から選出したところ、29名が行き詰まりの可能性のある学生とみなされた。これら2つの学年における理解に行き詰まる学生の共通点を調べたところ、5つのグループに分割ができ、それぞれのグループで理解に行き詰まっている原因が特定できた。この成果は他社の学習者カルテを使って、教員が現在指導している学生の指導方法を見つける方法であるといえる。このような理解状況の再利用をした研究は、報告者の知る限り他に例をみない画期的な研究である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

著者名:石原俊、原田史子、高田秀志、島川博光、論文表題:制御構造グラフを用いたサンプルコード理解のための演習支援、雑誌名:電気学会論文誌C、査読:有、巻:130、発行年:2010、ページ:343-350

著者名:島川博光、論文表題:支援システム導入による教育改善の試み - 実授業への適用結果を中心に -、雑誌名:システム/制御/情報、査読:有、巻:53、発行年:2009、ページ:453-456

著者名:田口浩、原田史子、高田秀志、島川博光、論文表題:プログラミング学習カルテの分析による人的教育資源の有効活用、雑誌名:情報処理学会論文誌、査読:有、巻:50、発行年:2009、ページ:2409-2425

著者名:奥井善也、原田史子、高田秀志、島川博光、論文表題:講義中の反応に基づく説明方法と教材の改善、雑誌名:情報処理学会論文誌、査読:有、巻:50、発行年:2009、ページ:361-371

著者名:Dinh Thi Dong Phuong、Hiromitsu Shimakawa、論文表題:Collaborative Learning Environment to Improve Novice Programmers with Convincing Opinions、雑誌名:WSEAS Transactions on Advances in Engineering Education、査読:有、巻:

5、発行年:2008、ページ:635-644

〔学会発表〕(計15件)

発表者名:Dinh Thi Dong Phuong、Hiromitsu Shimakawa、発表表題:Refining programming education course from student opinions reflecting genuine behaviors、学会名等:2011 International Conference on Data Engineering and Internet Technology (DEIT2011)、発表年月日:2011年3月16日、発表場所:バリ(インドネシア)

発表者名:Hiromitsu Shimakawa、Dinh Thi Dong Phuong、Yusuke Yokota、Fumiko Harada、発表表題:Refining Programming Education Course with Absolute Measure、学会名等:2010 International Conference on Education and Management Technology (ICEMT 2010)、発表年月日:2010年11月2日、発表場所:カイロ(エジプト)

発表者名:Dinh Thi Dong Phuong、Yusuke Yokota、Fumiko Harada、Hiromitsu Shimakawa、発表表題:Graining and Filling Understanding Gaps for Novice Programmers、学会名等:2010 International Conference on Education and Management Technology (ICEMT 2010)、発表年月日:2010年11月2日、発表場所:カイロ(エジプト)

発表者名:Toru Hirose、Fumiko Harada、Hiromitsu Shimakawa、発表表題:Support System to Present Materials Reflecting Students Understanding、学会名等:2010 3rd International Conference on Computer and Electrical Engineering (ICCEE 2010)、発表年月日:2010年11月17日、発表場所:成都(中国)

発表者名:Kohei Tanigawa、Fumiko Harada、Hiromitsu Shimakawa、発表表題:Detecting Learning Patterns during Exercise from Function Call Logs、学会名等:2010 3rd International Conference on Computer and Electrical Engineering (ICCEE 2010)、発表年月日:2010年11月17日、発表場所:成都(中国)

発表者名:Masahiro Ono、Fumiko Harada、Hiromitsu Shimakawa、発表表題:Semantic Network to Formalize of Learning Items from Lecture Notes、学会名等:2010 3rd International Conference on Computer and Electrical Engineering (ICCEE 2010)、発表年月日:2010年11月17日、発表場所:成都(中国)

発表者名：谷川紘平、原田史子、島川博光、発表標題：関数呼び出しの分析による頻出学習パターンの導出、学会名等：第9回情報技術科学フォーラム、発表年月日：2010年9月7日、発表場所：九州大学（福岡県）

発表者名：大野公裕、原田史子、島川博光、発表標題：講義資料からの意味ネットワーク作成による学習事項の形式化、学会名等：第9回情報技術科学フォーラム、発表年月日：2010年9月7日、発表場所：九州大学（福岡県）

発表者名：Dinh Thi Dong Phuong、Fumiko Harada、Yusuke Yokota、Hiromitsu Shimakawa、発表標題：Encouraging Novices to Collaborate in Programming Exercises、学会名等：IADIS International Conference e-Learning 2010、発表年月日：2010年7月26日、発表場所：フライブルグ（ドイツ）

発表者名：Daisuke Inaba、Fumiko Harada、Hiromitsu Shimakawa、発表標題：Support for Programming Education with Structured Program Design Using Combination of Phrases、学会名等：International Conference on Computer Sciences and Convergence Information Technology (ICCIT2009)、発表年月日：2009年11月25日、発表場所：ソウル（韓国）

発表者名：Phuong Dinh Thi Dong、Fumiko Harada、Hiromitsu Shimakawa、発表標題：Encouraging Programming Learning for Novices with Grouping and Convincing Opinions、学会名等：International Conference on Computer Sciences and Convergence Information Technology (ICCIT2009)、発表年月日：2009年11月24日、発表場所：ソウル（韓国）

発表者名：Phuong Dinh Thi Dong、Fumiko Harada、Hiromitsu Shimakawa、発表標題：Collaborative Learning Environment to Improve Novice Programmers with Convincing Opinions in Computer Room、学会名等：International Conference on Intelligent Network and Collaborative Systems (INCoS2009)、発表年月日：2009年11月4日、発表場所：バルセロナ（スペイン）

発表者名：Yuki Okamoto、Phuong Dinh Thi Dong、Fumiko Harada、Hiromitsu Shimakawa、発表標題：Programming Skill Transfer from Experienced to Novices with Animated Diagrams、学会名等：International Conference on

Intelligent Network and Collaborative Systems (INCoS2009)、発表年月日：2009年11月4日、発表場所：バルセロナ（スペイン）

発表者名：Daisuke Inaba、Hiroshi Taguchi、Fumiko Harada、Hiromitsu Shimakawa、発表標題：Choosing Controls and Phrases in Flowcharts to Inspect Understanding Frames of Procedures、学会名等：The Seventh International Conference on Creating Connecting and Collaborating through Computing (C5 2009)、発表年月日：2009年1月20日、発表場所：京都大学（京都府）

発表者名：Dinh Thi Dong Phuong、Fumiko Harada、Hideyuki Takada、Hiromitsu Shimakawa、発表標題：Collaborative Learning Environment with Convincing Opinions for Novice Programmers、学会名等：The 12th WSEAS International Conference Educational Engineering、発表年月日：2008年7月22日、発表場所：イラクリオン（ギリシャ）

【その他】

ホームページ等

<http://www.de.is.ritsumei.ac.jp/study/study.html#edual>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

島川 博光（SHIMAKAWA HIROMITSU）

立命館大学・情報理工学部・教授

研究者番号：70351327