

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28日現在

機関番号：12604

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21300304

研究課題名（和文）

プログラム教育支援システム群の有機的連携を司るプラットフォームの開発

研究課題名（英文） Development of a Managing System for Cooperation Among the Program-Education Support Systems

研究代表者

宮寺 庸造 (YOUZOU MIYADERA)

東京学芸大学・教育学部・教授

研究者番号：10190802

研究成果の概要（和文）：

本研究では、数多く開発されている既存のプログラミング教育支援ツールを、年間を通じたプログラミング教育支援に有効に活用するためのメカニズムとシステム構築を目的とした。具体的には、学習者の状態、支援ツールのニーズ、教授者の意図に適応した支援ツール選出システムを開発した。これら3つの適応を実現するために、支援ツール選出オペレータのモデルを開発し、システム開発とは独立した形式的定義情報として扱うことにより、常に最適なツール選出が可能なメカニズムを実現した。

研究成果の概要（英文）：

This research aimed to develop the mechanism and the system for effectively utilizing the programming education support tools, which are currently developed, throughout the year. Specifically, the support tools selection system adapting to the student's condition, support tool's needs and teacher's intentions was developed. To achieve this, this research developed the model of the support tools selection operator which has these three "adaptations" as its parameters. Then it always achieves the optimal tools selection by treating these three parameters as the formal defined information, which is independent of a system development.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2010年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2011年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2012年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
年度			
総計	14,500,000	4,350,000	18,850,000

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：プログラミング教育、支援システム、システム連携、プラットフォーム、グリッド型連携手法、支援ツール選出オペレータ、教育工学

1. 研究開始当初の背景

これまでに数多くのプログラミング教育支援システム（以下、支援システム）が研究・

開発され、実用レベルでの活用も多く報告されているが、個々のシステムはプログラミング教育の特定場面を支援するものであり、プ

プログラミング教育全般に渡って支援するものではない。これら支援システムを用いてプログラミング教育全般にわたる支援を考えた場合、学習者の学習状況(=活動場面+理解状況)に合わせて、これら支援システムを個々の場面で個々の学習者に提供する必要がある。現状ではその役割は教師が果たすしかなく、教師に多大な負担を強いている。プログラミング学習過程で日々刻々と変化(上達)してゆく学習状況に合わせて、支援システムが相互に連携を図り学習者を支援することで、プログラミング教育全般に渡っての効果的な支援が達成できると考える。

一方、あらゆる支援システムを持ち込んだプログラミング教育支援環境は、学習者の計算機環境との関係から必ずしも良いとは言えない。大きな教育支援環境の運用が可能な計算機環境が要求され、現実的ではない。個々の学習者(学校)環境に応じた最大限の支援環境が提供できる必要がある。それには、支援システムの追加・削除がダイナミックにできる仕組みが要求される。

2. 研究の目的

そこで本研究の目的は、支援システムの連携を司る教育支援プラットフォームを開発することである。本プラットフォームは、既存の支援システム群が搭載可能な基盤ソフトウェアであり、個々の学習者の学習状況に合わせた支援システムの効果的な提示ができる仕組みと、学習状況に合わせ支援システムが有機的に連携を図れる仕組み、学習者の計算機環境に合わせた柔軟な支援環境を学習者に提供する仕組みを有するものである。

3. 研究の方法

本研究では現状を踏まえ、図1のような個々の学習者に対して適応的に支援ツールを選出し環境を構築する手法を提案する。概要は以下の通りである。

- ① システム運用者(教授者)が、既に開発されている多くの支援ツールの中から学習者に提示したいと考える支援ツールを本環境に取り込む。
- ② 学習者の現在の学習の状態や教授者の意図に応じて支援ツール群から統合学習環境の構築を行う。
- ③ 構築した学習環境を学習者に提示する。
- ④ 統合学習環境の利用状況に応じて、更新される学習者の状況を開発システムに対してフィードバックする。

このように、支援ツール群とそれらを統括する環境を開発することにより、学習者個人に適応的な学習環境を提供することが可能になる。また、学習者は常に最新の学習状況を考慮した学習環境を利用することが可能になる。これにより過去に開発された既存の

支援ツール群をより有効に活用することが可能になると考えられる。

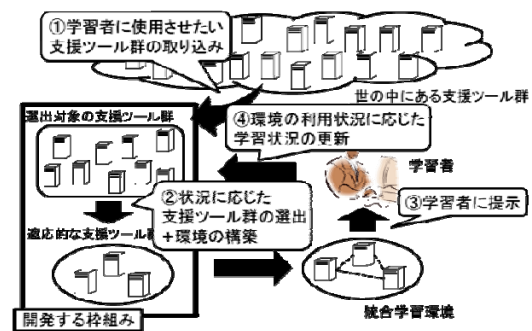


図1. 学習者に適応的な支援ツールの選出

4. 研究成果

4.1 適応的な支援ツール選出

学習者の状況に適応的な支援ツールの選出手法について検討する。本研究では、著者らのこれまでの経験から次の3つの適応を考慮する。

(1) 学習者の学習状態に適応

学習者の学習状態とは、プログラムの設計やコーディング、デバッグ等の学習活動場面や、現在取り組んでいる演習の活動単元、理解状況などを指す。

(2) 支援ツールに対するニーズに適応

支援ツールの利用の際には、学習者の嗜好の変化などにより学習者が必要としている支援ツールが変化することが想定される。そのため学習者のニーズに応じた支援ツールに対するニーズとして、次の3つを考慮する。

- ① 支援ツールに対する学習者の嗜好を考慮する。
- ② 図1の①のような支援ツールの追加やその削除を考慮する。
- ③ 有効に活用できる支援ツール群の組み合わせを“支援ツール間の連携”と呼び、考慮する。

(3) 教授者の意図に適応

年間を通した学習において、教授者の意図を踏まえた授業を行うために教授者の意図を反映した支援ツール群の選出を考慮する。

これら3つの適応を満たすために、学習者が必要とする時点で最も有効に活用できる支援ツール群を選出する必要がある。つまり、支援ツールに対するニーズの変更や教授者の意図の変更などに、ダイナミックに対応する必要がある。そのためこれら3つの適応は、選出システムのソースコードに埋め込むことなく、システムとは独立に扱う必要がある。そこで、これらを考慮した適応的な支援ツール選出システム開発のために、形式的なモデルを開発する。

なお、本節で挙げた3つの適応を本研究では“学習者の状況に適応”と呼ぶこととする。

4.2 支援ツール選出モデル

本節では、4.1 節で挙げた学習者の状況に適応的な支援ツール選出を実現するためのメカニズムについて述べる。本研究では支援ツールの選出は、

$$\delta(V: L, T, I) \rightarrow E \subset V \quad (1)$$

によって表記されるオペレータに着目する。このオペレータ δ は、プログラミング学習支援ツールの集合 V に対して、学習者の学習状態 L 、支援ツールに対するニーズ T 、教授者の意図 I の3つのパラメータが作用し、対応した支援ツールの集合 E を選出するものである。選出システムを δ と見たて、3つの適応を δ のパラメータとすることで、システムとの独立性を保つことができる。オペレータ δ を開発するためには、オペレータのパラメータとなる各情報を定義し、それぞれのパラメータが保持しうる属性および属性値を明確にする必要がある。

4.3 オペレータ δ におけるパラメータ定義

本研究では4.2節の(1)式で挙げたオペレータ δ における各パラメータを定義するために、実際にプログラミング教育を行っている授業傾向や、論文誌等で過去に取り上げられた複数の支援ツール群の分析など様々な分析を行い、その結果から属性情報の抽出、定義を行った。分析結果から定義された各パラメータ (L, T, I) の属性情報を表1~3に示す。

表1. パラメータ L の属性定義

属性項目	説明
基本情報	学籍番号などの情報
現在の学習状態	活動中の学習状態 (学習活動場面, 活動単元, 理解状況)
評価値	学習者の嗜好を考慮した値 (0以上の整数値)

表2. パラメータ T の属性定義

属性項目	説明
基本情報	支援ツール名などの情報
有する機能群	各ツールが持っている機能の名称
対象の学習状態	ツールが支援対象とする学習状態 (学習活動場面, 活動単元, 理解状況)
評価値	支援ツールの利用者全体の利用頻度を考慮した値 (0以上の整数値)
連携可能な支援ツール群	同時に使用することでより有用に使うことが可能な支援ツールの情報

表3. パラメータ I の属性定義

属性項目	説明
対象の支援ツール	教授者が考慮したい支援ツール
学習状態	対象となる学習状態
特殊条件	学習状態で表現できない条件

4.4 各パラメータの形式的定義

4.3 節で抽出・定義したオペレータ δ における属性情報の形式的定義を行った。それぞれの属性情報を形式的に定義することにより、支援ツールの情報や学習者の状態をそれぞれ独立に扱うこと、データベース設計やアルゴリズムとデータの関係を明示的に表現することが可能になる。本研究ではそれぞれのパラメータが持ち得る属性情報を集合の概念を用いて定義した。

4.5 オペレータ δ の開発

オペレータ δ は支援ツール選出メカニズムと属性情報の更新メカニズムの2つのフェーズからなる。本研究ではオペレータ δ の開発として、4.4 節で定めた形式的定義に基づいて2つのフェーズの記述を行った。オペレータ δ における選出部の例を図2に示す。

```

{
  Tools =  $\phi$ ;
  Select = Select_Function( $l$ ); // 学習状況に適応的な機能群 Select の選出
  if (Select $\neq\phi$ ) { // 選出した機能群のソーティング
    Select=Order_Function( $l$ ,Select);
    for ( $v_i \in V$ ,  $V$ に含まれる全ての支援ツールを適用) {
      if function( $v_i$ )  $\wedge$  Select $\neq\phi$  { // 選出した機能を含む支援ツールの選出
        Tools={ $v_i$ }  $\cup$  Tools; } // end if
      } // end for
    } // end if
  return Tools;
}

```

図2. オペレータ δ の選出部 (main 部)

4.6 学習支援環境

これまで述べた手法を搭載したプログラミング学習環境の構築について述べる。以下の2つの要件を満たす環境を構築する。

要件1: リアルタイムな学習状況の把握を行う

要件2: 属性情報と開発システムを独立に扱う

以上の要件を満たす環境の構築のために本研究では「課題演習システム」「課題閲覧・提出システム」「支援ツール選出システム」の3つのシステムの開発を行う。課題演習システムと課題閲覧・提出システムに関しては学習中に常に使用する可能性のある支援ツールであるため、選出される支援ツールからは除外し、独自に開発を行った。

課題演習システムは仮想マシン環境として学習者に提供される。仮想マシン上に学内の演習環境と同様の環境を構築することにより、学習者は迷うことなく演習活動を行うことが可能となる。なお本システムではコーディングをしていることを示す `emacs` コマンドや、コンパイルしたことを示す `gcc` コマンドのラッパーを使用することにより、履歴の収集を

行うメカニズムを搭載している。

課題閲覧・提出システムは Web ブラウザからアクセス可能な Web アプリケーションとして実装した。本システムでは、何の課題に取り組んでいるかなどの履歴情報を操作ログから取得しており、課題演習システムと共に本システムを運用することにより要件 1 のリアルタイムな学習状況把握が可能となる。

支援ツールは属性情報の定義ファイルを読み込むことにより決定される。学習者に適応的な支援ツール選出フローを図 3 に示す。それぞれの情報は xml 形式により独立した情報として定義されており、定義情報の更新に伴い図 3 に示した選出フローが実現され、選出アルゴリズムが再構築されるように設計・開発されている。これにより支援ツールの追加・削除や教授者の意図の変更など、選出ルールダイナミックな変更を可能にしている。これにより、要件 2 を満たす柔軟なツールの選出が実現されている。

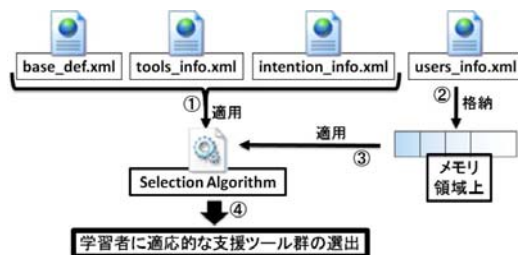


図 3. 支援ツール選出フロー

実装したシステムの動作例を図 4 に示す。図 4 は開発環境と合わせて現在の学習者に適応的な支援ツール群を推薦している提示部の画面例である。選出された支援ツール群はボタン形式で学習者に提示されており、学習者は利用したい支援ツールを選択することで実際にツールを起動し、参照することが可能である。

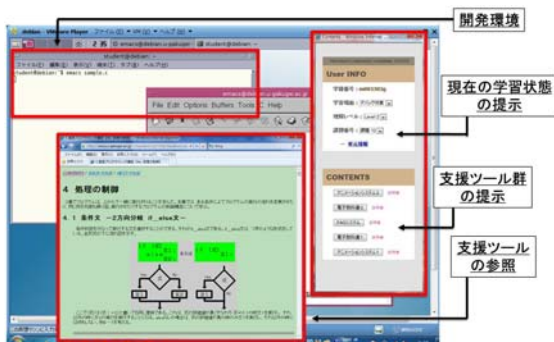


図 4. 推薦システムの動作例

定義属性の修正機能の画面例を図 5 に示す。定義属性の変更や属性値の変更等はシステ

ム管理者（教授者）が行う。必要な入力項目の入力フォームが GUI で提供され、システム管理者が必要項目を入力後システムへ送信する。システムは入力された内容に基づいて定義ファイルの更新を行う。教授者の意図の考慮についても同様のメカニズムを用いて意図の追加や削除を行う。



図 5. 属性情報の追加画面例

4.7 関連研究との比較

本節では、学習者個人に適応的な支援システムの提案をしている研究や統合環境を提案している関連研究を挙げ、本研究の位置づけについて述べる。

本研究のアプローチと同様に、個々の学習者に対応した支援を行っている研究 [4] [5] がある。これらの研究では学習者の活動履歴から学習者の入力データを抽出し、それらの学習パターンを分析することにより、学習者に適応的なコンテンツ提示を実現している。これにより学習者の学習状況を考慮したコンテンツの提示が可能となっている。本研究では、支援ツールや教授者の意図を汎用的に取り入れるためのメカニズムを考慮した上でシステムの構築をしている。そのため既に開発されている支援ツール群の有効活用を行うことが可能になっている。

また、プログラミングにおける統合環境については、利用者に応じて機能群の追加・削除を行うことや学習者自身が必要としている機能を選択し使用することを可能にしている。しかし多くのものは、統合開発環境は開発者をサポートするものであり、年間を通じたプログラミング教育支援には不向きである。また、これらの研究では既に独立して存在している支援ツールの追加・削除や、それらツール間の連携を考慮したものではないため、本研究とは立場が異なる。本研究で開発したシステムでは、過去に開発された支援ツールや教授者の意図などを自由に追加・削除することが可能である。

よって本研究の独創性および優位性が言える。

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 36 件)

- ① Hiroaki Kaminaga, Gotoh Fumihiro, Rumiko Kurita, Setsuo Yokoyama, Youzou Miyadera, Shoichi Nakamura, A SUPPORT SYSTEM FOR SHARING CONTEXTS OF TECHNICAL DOCUMENT CREATION IN COOPERATIVE SOFTWARE DESIGN EXERCISE, Proc. International Conference on Applied Computing, 査読有, 2012, 427-430.
- ② 野崎要, 森本康彦, 中村勝一, 宮寺庸造, プログラミング学習履歴分析のための系列パターンマイニング手法の開発, 信学技報, 査読無, ET2012-61, 2012, 49-54.
- ③ Yasuhiko Morimoto, Sho Ikawa, Shoichi Nakamura, Poao Chengei, Setsuo Yokoyama, Youzou Miyadera, A Dynamic Construction Model of Learning Content Suitable for Learners' Mobile Environments, Proc. 10th World Conference on Mobile and Contextual Learning (mLearn2011), 査読有, 2011, 95-103.
- ④ Shoichi Nakamura, Yachiyo Ishikawa, Setsuo Yokoyama, Yasuhiko Morimoto and Youzou Miyadera, Formal Models for Extraction and Visual Presentation of Research Information Suitable for Activity Situation, Proc. IADIS International Conference on Internet Technologies & Society (ITS 2010), 査読有, 2010, 189-198.
- ⑤ 山本耕大, 野崎要, 森本康彦, 中村勝一, 横山節雄, 宮寺庸造, プログラミング教育における学習者の状況に適応的な支援ツール選出システムの開発, 電子情報通信学会技術報告, 査読無, ET2010-50, 2010, 7-12.
- ⑥ S. Nakamura, S. Chiba, H. Shirai, H. Kaminaga, S. Yokoyama, Y. Miyadera, Algorithms for Extracting Topic across Different Types of Documents, Proc. 12th International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems (KES2009), in LNAI 5712, 査読有, 2009, 580-590.
- ⑦ 山本耕大, 中野聡美, 柳生亜也子, 中村勝一, 横山節雄, 宮寺庸造, 応的なプログラミング学習環境構築のための支援システム選出モデル, 電子情報通信学会技術報告, 査読無, ET2009-1, 2009, 1-6.

- ⑧ 山本耕大, 中村勝一, 森本康彦, 横山節雄, 宮寺庸造, プログラミング教育における学習者に適応的な支援システムの推薦手法, 電子情報通信学会技術報告, 査読無, ET2009-82, 2009, 75-180.

[学会発表] (計 21 件)

- ① 杉田公生, 土田賢省, 宮寺庸造, 夜久竹夫, プログラミング教育のための視覚的ソフトウェア開発支援システム, 日本情報科教育学会第4回全国大会, 2011年10月15日, 畿央大学(奈良県).
- ② 野崎要, 森本康彦, 中村勝一, 宮寺庸造, 学習履歴推移グラフによるプログラミング学習状況把握支援システム, 日本教育工学会第27回全国大会, 2011年9月18日, 首都大学東京(東京都).
- ③ 山本耕大, 野崎要, 森本康彦, 中村勝一, 宮寺庸造, プログラミング教育における学習者に適応的な支援ツール推薦システム, 教育システム情報学会第35回全国大会, 2010年8月27日, 北海道大学(北海道).
- ④ 福田康平, 森本康彦, 河野真也, 春原将寿, 宮寺庸造, USBメモリによる可搬型教育環境の構築と実践, 日本情報科教育学会第3回全国大会, 2010年6月26日, 日本大学文理学部(東京).
- ⑤ 宇佐美晶宏, 本澤和浩, 武藤翔, 神長裕明, 宮寺庸造, 中村勝一, 研究環境ユビキタス実現のためのシステム制約に適応的な環境構築支援手法の提案, 電子情報通信学会2010年会総合大会, 2010年3月17日, 東北大学(宮城県).
- ⑥ 藤井亮平, 山本耕大, 中村勝一, 森本康彦, 横山節雄, 宮寺庸造, アクティブ変数解析によるプログラミングスタイル学習支援システムの開発, 情報処理学会2010年全国大会, 2010年3月11日, 東京大学(東京都).
- ⑦ Youzou Miyadera, Shoichi Nakamura and Setsuo Yokoyama, Co-LabChart: Collaborative Research Activities Support System in University Laboratories, Proc. of the 13th International Conference on Human-Computer Interaction, 2009年7月23日, Town & Country Resort Hotel (San Diego, CA, USA).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮寺 庸造 (MIYADERA YOUZOU)
東京学芸大学・教育学部・教授
研究者番号: 10190802

(2)研究分担者

中村 勝一 (NAKAMURA SHOICH)
福島大学・共生システム理工学類・准教授
研究者番号：60364395

(3)連携研究者

横山 節雄 (YOKOYAMA SETSUO)
東京学芸大学・名誉教授
研究者番号：20090532

櫛山 淳雄 (HAZEYAMA ATSUO)
東京学芸大学・教育学部・教授
研究者番号：70313278

森本 康彦 (MORIMOTO YASUHIKO)
東京学芸大学・情報処理センター・准教授
研究者番号：10387532

夜久 竹夫 (YAKU TAKEO)
日本大学・文理学部・教授
研究者番号：90102821

米澤 宣義 (YONEZAWA YOSHINOBU)
工学院大学・工学部・教授
研究者番号：30100390

栗田 るみ子 (KURITA RUMIKO)
城西大学・経営学部・教授
研究者番号：60383171