

「情報の科学的な理解」を問題解決的に育成するプログラミング教育の展望と課題 —中学校技術科における実践研究の動向把握を通して—

宮川 洋一

(兵庫教育大学大学院連合学校教育学研究科)

森山 潤

(兵庫教育大学)

松浦 正史

(兵庫教育大学)

本稿では、中学校技術科において、生徒の「情報の科学的な理解」を問題解決的に育成するプログラミングに関する学習について、これまでの実践動向や研究成果を整理し、今後の研究課題を展望した。中学生を対象としたプログラミングにおける問題解決では、従来のLOGOやBASICを対象に詳細な分析がされるとともに、これらの分析を生かした学習指導のあり方や学習指導の条件などが明らかとなっていた。プログラミング学習の実践では、従来のLOGOやBASICを用いた実践、制御教材と併せて図形や矢印などのソースコードを用いた実践、オブジェクト指向を意識した独自の教材を開発して行っている実践など、アプローチが多様化している様相が明らかとなった。一方、イベントドリブン型プログラミングについては、大学等における実践研究はあるものの、中学生を対象とした実践そのものが極めて少ないことが明確となった。これらの動向に基づいて今後の研究課題を展望した。

キーワード：プログラミング, 「情報とコンピュータ」, イベントドリブン型プログラミング, 技術科, 学習支援システム

宮川 洋一：兵庫教育大学大学院連合学校教育学研究科・院生，〒381-2217 長野県長野市稲里町中央4丁目8-2-203,

E-mail: rs3y@yahoo.co.jp

森山 潤：兵庫教育大学大学院・自然・生活教育学系・准教授，〒651-2275 兵庫県神戸市西区壺野台2-7-5,

E-mail:junmori@life.hyogo-u.ac.jp

松浦 正史：兵庫教育大学大学院・自然・生活教育学系・教授，〒673-1421 兵庫県加東市山国2006-48-6-612,

E-mail:matsuura@life.hyogo-u.ac.jp

A Review of Researches on Education of Computer Programming for Promoting Students' 'Scientific Understanding of Information Technology' with Problem Solving

—Focusing on Practical Studies in Junior High School Technology Education—

Yoichi Miyagawa

(Science of School Education, Hyogo University of Teacher Education)

Jun Moriyama and Masashi Matsuura

(Hyogo University of Teacher Education)

In this paper, we overviewed the trend of researches with regard to the learning of programming in technology education at junior high school level. Up to now, there were a lot of researches about LOGO and BASIC from a view point of students' problem solving in the programming process. Also instructional method and condition for learning were made clear in these researches. In the trend of classroom activities, we found four approaches as follows: practice that used LOGO and BASIC, practice that used the diagram and arrow as the source code with control material, practice that is doing the material development that was concerned with object oriented etc. However, it seemed that there was a few practice that used event driven style programming in junior high school. Based on these review, we suggested some issues for future research.

Key Word: Programing, "Information and Computer", Event driven Visual Programming, Technology Education,
Study support system

Yoichi Miyagawa: Graduate School Student, Joint Graduate School (Ph.D. Program) in Science of School Education, Hyogo University of Teacher Education, 4-8-2-203, Cyuou, Inasato-machi, Nagano-city, Nagano, 381-2217 Japan. E-mail: rs3y@yahoo.co.jp

Jun Moriyama: Associate Professor, Graduate School of Education, Hyogo University of Teacher Education, 2-7-5, Kashinodai, Nishi-ku, Kobe, Hyogo, 651-2275 Japan. E-mail: junmori@hyogo-u.ac.jp

Masashi Matsuura: Professor, Graduate School of Education, Hyogo University of Teacher Education, 2006-48-6-612, Yamakuni, Kato-city, Hyogo, 673-1421 Japan. E-mail: matsuura@hyogo-u.ac.jp

I. はじめに

本稿の目的は、中学校技術・家庭科技術分野（以下、技術科）におけるプログラミングの学習について、先行研究を整理し、今後の研究課題を展望することである。

技術科では、平成10年（1998）告示の学習指導要領において、プログラミングに関する学習内容が、「情報とコンピュータ」（6）「プログラムと計測・制御」に、選択的に扱う項目として位置づけ¹⁾、問題解決的に展開されている。また、学校教育活動全体で取り組む情報教育では、「情報活用の実践力」、「情報の科学的な理解」、「情報社会に参画する態度」の三つの柱が示されており、技術科は主に「情報の科学的な理解」を中心に担当することを標榜されている²⁾。平成元年（1989）告示の学習指導要領において、明確に位置づいたプログラミングに関する学習は、近年履修している学校が少ないという現状がある。この主たる要因として、MS-Windows（以下、Windows）環境下における、よりよい教材開発や学習支援のための教材開発が少なく、実践研究があまり行われてこなかったことがあげられる。

本稿では、このような状況を踏まえ、学習素材として価値あるプログラミングについて、実践研究を推進する立場から、特に問題解決的に展開されている技術科におけるプログラミング学習を中心に先行研究を整理した。

II. プログラミング教育の性格と教材としての言語

1. 技術科におけるプログラミングに関する教育

情報処理学会の一般情報処理教育委員会が策定した、情報処理を専門としない利用者の立場が主となる大学生に対するプログラミング教育に関する研究報告書³⁾には、プログラミング教育の表記について、「プログラミング」教育とプログラミング教育との違い（「」があるかないか）が示されている。前者は、特定言語の習得を目的とするのではなく、情報科学の基本的な概念を理解させるための教育であり、後者は、特定言語の習得を目的としたプログラマを養成するための教育である。一方、プログラミングという用語は、職業プログラマが市場向けに製品として供給する高度なプログラムを作成する作業、あるいは、比較的大規模なプログラムを作成する過程を指す場合に用いられるという指摘がある⁴⁾。

技術科におけるプログラミングに関する教育は、一般普通教育における「情報の科学的な理解」を促進する取り組みであり、既述の用語に対する議論を踏まえると、「プログラミング」教育と表記するか、プログラミングという用語そのものは使用しないことが考えられる。しかし、これらの議論は単に用語に対する定義の問題ではなく、むしろプログラミングの教育内容に対する方向性を議論した問題であると考えられることができる。

そこで、本稿では、これらの議論を踏まえ、技術科に

おけるプログラミングに関する教育の性格を十分理解した上で、直接文献引用した部分は除き、表記を簡略化する観点から、一般普通教育におけるプログラミングに関する教育を、単にプログラミング教育、その学習をプログラミング学習と表記することにする。

2. プログラミング技法の変化と教材としての言語

これまで、義務教育段階におけるプログラミング教育で使用されてきた教材の代表は、LOGOと BASICである。例えば、松田らは、情報教育を目的とした小学校高学年向けのLOGOカリキュラムと教材を開発し、教員に対して研修を行った上で、授業実践を行い、評価を行っている⁵⁾。また、LOGOは、問題解決力の育成を目的として開発されたことから、技術科における授業のほかにも算数・数学における思考・表現のための道具として利用されることもあった⁶⁾。

一方、BASICは、インタプリタの扱いやすさと、パソコン用OSが広く定着するまで標準添付されていた言語として、多くの学校において教材として利用された。また、パソコンの標準的なOSがMS-DOSとなった時代においても、特別なソフトウェアを購入する必要がない手軽さから、標準添付されていたBASICは、しばらく利用されることになった。平成元年（1989）に告示された学習指導要領で位置づいた「情報基礎」⁷⁾では、解説事例としてBASICを用いた展開が具体的に示されており⁸⁾、山口が和歌山県の全公立中学校を対象に行った調査でも明らかのように、日本の場合、LOGOよりもBASICを教材として用いる学校が多かった⁹⁾。

このように多くの学校で使用されたBASICは、1970年代以前の職人芸的なプログラミングの時代に設計された言語であり、以後プログラミングパラダイムの中心となる「構造化プログラミング」（Structured Programming）に対応していない言語として、しばしば教材として取り上げることに疑問を呈された。例えば、吉本らは、情報基礎の学習を情報科学の学習の核と位置づけ、アルゴリズム学習の重要性を指摘するとともに、BASICは構造化されていない言語であり、アルゴリズムの学習にはふさわしくないと指摘した¹⁰⁾。Borkは、BASICで構造化プログラミングを教えることは不可能ではないと前置きをした上で、極めて困難なことであると指摘した。そして、BASICの経験のある学生に良いプログラミングを教えることは不可能であり、BASICを教えるなど主張した¹¹⁾。このような考え方は、少なからず技術科におけるプログラミング教育にも影響を与えた。

1985年から発売されたWindowsは、マウスなどのポインティングデバイスを活用するGUI（Graphical User Interface）環境のOSであり、特に、1995年に発売されたWindows95は、パソコンの普及に大きな影響を与えた。

1980年代になるとプログラミングパラダイムとして「オブジェクト指向プログラミング」が注目されるようになり、90年代後半のWindowsの普及とともに、プログラミング技術は高度化した。専門家以外がソフトウェアを実務で作成する必要性が全くなかったことや、インターネットの普及などにより、教育内容として「メディアリテラシー」に関心が高まる中¹²⁾、中学校におけるプログラミング教育は一時衰退していった。「オブジェクト指向プログラミング」とは、データとそれを操作する手続き(メソッド)をオブジェクトと呼ばれるひとまとまりの単位として一体化し、オブジェクトの組み合わせとしてプログラムを記述する技法であり、プログラムの部分的な再利用がしやすくなるなどのメリットがある。例えば、Windows系ソフトウェア開発に用いられるC++、C#等の言語は、オブジェクト指向言語である¹³⁾。

一方、一般的にWindowsのようなGUIを備えたソフトウェアでは、キーボードを押す、マウスをクリックするなどのユーザの操作(イベント)に対応して、処理を行うプログラミングスタイル、イベントドリブン(イベント駆動)型のプログラムを用いたものが提供されている。近年、Windows上におけるプログラミング環境として主流となっている、Microsoft Visual Basic(以下、VB)やVisual C++、Borland C++やDelphi(言語はPASCAL)といった製品は、フォーム上にあらかじめ用意された各種のコントロール(オブジェクト)を配置して、それらのプロパティが変更されたり、マウスでクリックされたりするなどイベントが発生した場合の処理をコーディングしていくことでプログラムを作成する、GUIをベースとし、オブジェクト指向とイベントドリブン型のプログラミング(オブジェクト指向のビジュアルプログラミング¹⁴⁾)に対応したプログラミング言語である。また、これらに共通していることは、統合開発環境(IDE)のような高機能な開発環境によるプログラミングの自動化や、視覚的なユーザーインターフェイスの設計、モジュール開発などの機能を備えるRAD(Rapid Application Development)というソフトウェアの開発を容易にする仕組みを備えていることである。例えば、Windows対応のソフトウェアを作成する際に必要となるグラフィックの描画など、GUIを実現するときに付随する定型的な管理はオブジェクト内部で行なわれ、ユーザがコーディングする必要がないため複雑なGUIを利用したプログラムを簡単に作成することができる特徴がある。

Ⅲ. プログラミングの授業における四つのアプローチ

中学校技術科におけるプログラミングの授業は、生徒が課題の内容を論理的に分析し、その機能についてプログラム言語や疑似言語等を用いて実現するという問題解決の過程を重視して行われる。その具体的な実現方法と

して、現在四つのアプローチを見いだすことができる。

第一のアプローチは、これまでの学習環境をそのまま維持する方法である。これは、従来のLOGOやBASICがWindows上で動作する環境を利用し、プログラミング学習の教材とするものである。この方法は、プログラミングで特に大切な概念はアルゴリズムであるとして、あくまでもプログラミングそのものの概念を習得させるところに価値を見いだす方法である。この方法のメリットは、これまでの研究成果をそのまま生かせる点や、指導する教師の負担が少ないことがあげられる。

第二のアプローチは、現在のプログラミングパラダイムのキーとなっている、オブジェクト指向に着目した方法である。兼宗らは、2世代も前のLOGOやBASICというプログラミング言語が使用されていることについて、現代におけるコンピュータシステムのさわりすらうかがい知ることができないことや、作成したプログラムが日常接しているソフトウェア製品とは決定的に隔たったものにはしか見えないと指摘し、プログラミング学習の価値と学習者の学ぶ必要感という観点から、学校教育用オブジェクト指向言語「ドリトル」を開発している¹⁵⁾。また、実際にドリトルを用い、プログラミング経験の少ない中学生を対象として、情報教育を実施し、その効果について調査研究を行った。この調査においては、①プログラミングの制御構造(反復)、メソッド呼び出しなどのプログラミングの基本概念の他、ボタンへの動作メソッドの定義やタイマーを用いたスレッドなどを扱えること、②学級単位などで行われる通常の集団教育において授業が成立したこと、③クラスの定義を用いずに、オブジェクトを複製によって生成するプロトタイプ方式の採用が、オブジェクト指向言語に対する敷居を下げる、と指摘する。また、授業実践から、①「ボタンを押すと何らかの動作が起きる」型のプログラミングに多くの生徒が興味を示したこと、②GUI部品を利用したペイントソフト等の作品により、生徒たちは実社会で利用されているソフトウェアと、自分たちが学んだプログラミング学習を結びつけることができたこと、を知見としてあげている¹⁶⁾。兼宗らの実践の特徴は、義務教育の段階において、発達段階を踏まえた上で、ドリトルという学校教育用オブジェクト指向言語を開発し、オブジェクト指向の概念を指導しようとして試みているところにある。義務教育の段階におけるオブジェクト指向言語に着目した取り組みでは、Smalltalk¹⁷⁾を使用するGorlbergやKayなどの実践がある。Gorlbergは、Smalltalkを学ぶためのサンプルや教材例の紹介をしている¹⁸⁾。Kayの取り組みは、通常の授業形態で行われたものではなく、研究室における個別指導の範疇で行われている¹⁹⁾。これに対し、兼宗らの実践は、通常授業の形態で行われているところにも特徴がある。この実践からは、プログラミング初学者に対しては、

①イベントドリブン型プログラミングの有効性、②プログラミング学習が日常生活と結びつくような実践、言い換えれば、生徒にプログラミング学習の有用性を認識させる実践の必要性が示唆されている。

第三のアプローチは、テキストベースの言語を使用するのではなく、図形や矢印などをソースコードとして使用する方法である。代表的なものとして、LEGO MindStormsに付属するプログラミング環境がある。LEGO MindStorms²⁰⁾ 21)とは、ブロックで有名なLEGO社が1998年に販売を開始したロボット教材である²²⁾。この教材には、データフローモデルのグラフィカルなプログラミング環境が付属しており、あらかじめ用意されているコマンド群から命令を選び、組み合わせることでプログラミングを行う²³⁾。瀬川らは、中学校技術科におけるコンピュータ利用の制御教材として、プログラミング積木を取り上げ、学習指導要領との関連や、部活動における試行を実施して、教材の特性を紹介している²⁴⁾。また、村松らは、指導時間短縮を可能とする制御用簡易言語を開発している。これにより、生徒は命令文を覚える必要がなく、アルゴリズムの工夫だけに集中できると考えている。この研究では、研修会に参加している12名の教師による評価を行い、時短効果を確認している²⁵⁾。テキストではなく、命令や命令群を図形や矢印に置き換え、グラフィカルなプログラミング環境で学習を行う第三のアプローチでは、その多くが計測・制御教材をあわせて使用している。このような意味において、計測・制御を中心としたアルゴリズム重視のプログラミング教育と位置づけることができる。

第四のアプローチとしては、Windows環境におけるソフトウェア開発の主流となっているイベントドリブン型プログラミング環境を教材として使用する方法である。MS-DOSからWindowsへの移行期において、様々な言語が存在する中、福島は、VBを授業で取り上げることを提案している²⁶⁾。亀山は、Windows環境下における情報基礎の学習を技術教育の独自性という観点から検討している。特に、Windowsにおけるオブジェクトの概念、特にクラスの再利用（プログラム部品の再利用）に着目し、情報技術を教えるためのコンピュータ言語の条件を検討し、条件を満たす言語としてVBを選定している²⁷⁾。また、技術科全体の指導時数減少に対応するため、宮崎は、短時間で理解できる適切な教材の必要性を指摘した上で、USBインターフェースのポートを直接制御できたり、音声・動画などのマルチメディアの直接再生ができたりする、簡易BASIC言語をVB上で開発している²⁸⁾。第四のアプローチは、学校や家庭において生徒が使用しているパソコン環境における一般的なプログラミング環境を使用するアプローチである。このアプローチにおいて学習者が作成したプログラムは、日常使用しているソフトウ

ア製品との乖離が見られないことから、プログラミング学習に対する必要感や有用感を、学習者に感得させやすい長所がある。一方、通常の開発環境を使用するため、学習者のレディネスに応じた適切な題材設定、特に、学習を支援する教材の充実が重要となる。

IV. プログラミングにおける問題解決

三宅は、プログラミング学習において、何らかの認知能力を伸ばそうとするのなら、そもそもプログラミングがどのような認知過程なのか、そこから調べていかなくてはならない²⁹⁾と指摘する。この指摘によれば、プログラミング学習において、問題解決過程に役立つような教材を開発していくためには、まず、プログラミング学習における生徒の問題解決過程の分析が必要不可欠になる。プログラミングにおける問題解決に関する研究は、問題解決過程の分析、問題解決力の転移、問題解決力を高める学習指導方法の検討等、様々な研究が行われている。

1. 問題解決過程の分析

前田らは、プログラミングにある程度習熟している学習者を対象として、C言語のプログラミング演習を行っているときのキー入力状況を記録し、プログラミング過程の分析を行った。そして、プログラミングスタイルを4タイプに分類するとともに、演習内容の適切さの評価や学習者に対するきめ細かい指導に対する活用可能性について述べている³⁰⁾。三輪らは、初心者者のプログラミング過程におけるエディティング行動を時系列で分析している。ここでは、自作エディタを活用し、被験者のエディティング行動を四つのモード（テキストモード、カーソル移動モード、修正モード、エディットコマンドモード）で集計し、習熟に伴って変化していく様子を明らかにしている³¹⁾。また、近藤らは、中学生を対象としたLOGOプログラミングを取り上げ、作成過程の分析を行った³²⁾。ここでは、一般的な授業時間中に、前田らによって開発されたシステム³³⁾を活用して、キー操作の履歴を収集した。そして、プログラミングの過程、誤りの分析、生徒の理解状況の把握をしている。

これらの研究は、被験者や時間情報の有無などの違いが存在するものの、いずれも、被験者のプログラミング過程を記録に残し、事後分析を行い、今後の指導に資する資料を収集する点で共通している。つまり、顕在化した様相を記録することにより、被験者におけるプログラミング過程を分析する手法を用いている。また、顕在化するデータを収集するための手法として、独自のエディタやツールを開発、利用している点に特徴がある。これらのツールの開発については、他にも、本郷のプログラム作成プロトコル記憶装置の開発³⁴⁾などの研究がある。

一方、中野らは、先行研究も踏まえ、プログラミングの過程における学習者の状況認知や意思決定が不明確で

あることを指摘し、発話思考法による発話データを収集し、キー入力データとともに分析対象とする手法を提案した^{35) 36)}。この研究は、プログラミングにおける問題解決過程を顕在的な過程のみで分析するのではなく、内的な過程を把握することの重要性に立脚している。

Detienneによれば、このようなプログラミングにおける内的過程を研究(プログラミングの心理学)する本格的な研究は1970年代に始まった³⁷⁾。1960年代にRouanetとGateauのような、プロセスを分析する目的の研究³⁸⁾も存在するが、この時期としては完全に唯一である。1970年以降、プログラミングの心理学は、二つの全く異なる時期を認めることができる。1970年代は、研究者の多くが、コンピュータに関する科学者であり、主にパフォーマンスの観点からソフトウェアツールの評価を主な目的とする記述論的な研究が大半であった。1980年代以降になるとパラダイムの転換により、プログラミングの認知的モデルが発達し、システム論的な研究が数多く行われるようになった。

森山らは、プログラム作成作業における思考過程は一連の操作手順に応じた下位の思考過程の組み合わせによって構成され、構造的に把握しうるものであると指摘し、初学者のプログラム作成作業における思考過程の下位過程をプロトコル分析で探索的に抽出し、思考過程の内省を測定するための尺度項目(RSTP)を作成している³⁹⁾。その上で、中学生を対象として、RSTPを用いた調査を実施してその思考過程を因子分析し、四つの因子を抽出するとともに、クラスタ分析によって因子の階層構造を明らかにしている⁴⁰⁾。

このように、プログラミングにおける外的過程の分析、内的過程(又は思考過程)の分析を通して、初学者を対象とした従来のLOGOやBASICを用いたプログラミングにおける問題解決過程の構造が明らかとなっている。

2. 学習指導と問題解決

市川は、プログラミング学習における教育的効果について、知的側面と情緒的側面から分類した上で、プログラミングは「考えた手順を明示的な形で表現されることが要求される」、「自分の考えが正しいかどうかのフィードバックが迅速に、かつ正確に得られる」などの点で、特異な教材と成りうることを指摘している。そして、プログラミング学習で得られた知的能力は、科学的な思考方法や日常的問題解決能力にも通ずるところがあるだろうと述べている⁴¹⁾。

市川が指摘するような、プログラミング学習と問題解決能力育成との因果関係に関する研究については、これまで数多く行われている。例えば、GormanとBourneは、小学生を対象にLOGOプログラミングを経験した児童と経験のない児童とを比較し、一般的な問題解決の課題における正答率が高かったことを明らかにしている⁴²⁾。ま

た、Cathcartは、LOGOを用いたプログラミング学習の結果、問題解決能力の伸びを確認するとともに、一般的な問題の解決にこの能力が転移したことを示している⁴³⁾。一方、Peaは、LOGOを用いたプログラミング学習を1年間実施したが、教科における問題の解決には反映されなかったと示している⁴⁴⁾。WilliamsonとGintherは、LOGOを用いたプログラミング学習によって、認知能力の伸長について、ロボットを操作する課題を用いて調査を行ったが、有意な差は見られなかったとしている⁴⁵⁾。

宮田らは、これらの先行研究が示す異なった結果について、それぞれの研究で用いられたプログラミングの指導方法の違いによるという三宅⁴⁶⁾の見解を示すとともに、教師の生徒に対する関わり方や、指導方法に関して注意を払っていないものや言及していないものが見受けられたと指摘した。その上で、問題解決過程を重視するアプローチ(the process-oriented approach)とプログラムの作成を文法や命令の暗記を中心に指導していくアプローチ(the traditional content-oriented approach)という異なる指導方法による比較を行い、問題解決過程を重視するアプローチでプログラミングを指導した場合の方が、ハノイの塔問題という限定された状況ながら、問題解決の転移が起こりやすいことを報告している⁴⁷⁾。

森山は、これら一連の研究が学習効果として設定される従属変数に、レディネスとなる認知能力や、プログラミング途上で活用されるメタ認知能力といった認知的能力とが混在している問題点を指摘している。その上で、プログラム作成能力(表層的要素)が、知能の水準(深層的要素)や、思考過程の内省(中層的要素)の影響を受ける3層構造の認知的因果関係があることを明らかにしている⁴⁸⁾。そして、これらの構造を踏まえた上で、学習指導におけるプログラム作成能力の認知的形成モデルを構築し、生徒のプログラム作成能力の形成に因果する認知的方略、思考過程、学習指導の条件等の構造的な関連性を示している⁴¹⁾。

また、山本らは、学校外で実施したLEGO MindStorms教室に参加した中学生19名が作成したラインレースを行うプログラムを、時系列に沿って質的に分析し、①プログラム作成能力の高い生徒には、適切な時期に新しい知識や技能の指導が必要なことや生徒の思考に対応する支援の必要性、②学習の定着が不十分な生徒に対する支援として、学習内容を再確認するプリント教材や段階を踏んだ課題設定の重要性、を指摘している⁴⁹⁾。

これらの先行研究からは、プログラミングの学習指導と問題解決について、学習者の思考過程の分析を通して、認知的な側面から学習指導のあり方を検討していく重要性や、生徒の学習状況を細部にわたって質的に分析し、学習支援の方略を設定する必要性が示されている。

V. 技術科におけるプログラミング学習の実践研究

技術科におけるプログラミング学習の実践研究は、平成元年（1989）告示の学習指導要領における「情報基礎」の新設から本格的に行われ、これまでLOGO やBASIC を用いたプログラミングの実践研究が数多く報告されている。例えば、林は、BASICを使用して音楽づくりとLOGOを使用してのタートルグラフィック、模型制御の実践を行い、その指導例を示した⁵⁰⁾。須曾野は、LOGOプログラミングの基本操作から作品制作に至るまでの学習活動を半年間継続し、授業実践で得られた成果について検討し、実践を進めていく上での課題を明らかにした⁵¹⁾。

篠田らや奥西らは、情報基礎の学習におけるプログラミング学習の内容にグラフィックを取り上げることは、生徒が比較的抵抗を示す本学習において有効であることを生徒の姿から示した⁵²⁾ ⁵³⁾。これに対し、岡らは、グラフィックの有効性も認めながらも、コンピュータの機能の中心がグラフィックだと勘違いを起こさせる危険性を指摘し、計算機能をも扱う必要性を主張した⁵⁴⁾。生徒に取り組みせる題材に着目した研究では、本郷らがLOGOプログラミングを用いた音楽、制御、タートルグラフィック、数量関係の各題材モジュールが、学習者の情意的側面にどのような影響を与えているかを調査し、①教材の相違が学習の進展とともに、学習者の情意的側面に差異を生じさせること、②制御が他題材に比べて学びあう環境を自然な形で提供し、プログラミングの価値づけにおいて優れていることを明らかにしている⁵⁵⁾。

平成10（1998）年に告示された学習指導要領では、情報に関する内容が技術科の半分を占め、プログラミング学習は内容B「情報とコンピュータ」（6）「プログラムと計測・制御」の中で扱われることになった。この時期になると学校で使用されるパソコンのOSの多くが、MS-DOSからWindowsへと本格的に変わり始め、Windows環境における制御に関する教材開発や実践研究が増えてきた。例えば、山本らは、VBによるプリンタポート（パラレルポート）を制御する教材の開発を行い、電圧を測定する学習内容を設定した実践に取り組み、自動制御機構への興味・関心を高めていく生徒の事例を紹介している⁵⁶⁾。また、亀山らは、Windows環境におけるプリンタポートを用いたビット単位のコンピュータ制御は、困難になったことを指摘し、USBインターフェースを用いた制御教材を開発し、VBにてLEDを点滅制御するデモ教材の作成を行っている⁵⁷⁾。

しかし、学習指導要領が完全実施となる平成14（2002）年には、内容B「情報とコンピュータ」（6）「プログラムと計測・制御」を必修として扱っている実践研究の報告が極めて少なくなったという指摘がある⁵⁸⁾。この原因として、①インターネットなどのコンピュータネットワークの普及を背景として、技術科で扱う必修の

学習内容が、コンピュータリテラシーを中心にシフトしたこと、②学校に導入されるパソコンの性能が向上し、マルチメディアの活用などの多彩な題材設定が可能となったこと、③Windows環境下におけるプログラミング学習の有用性を生徒に感じさせることのできる題材の開発がなされてこなかったこと、などがあげられる。亀山は、このような状況における中学生のプログラミング学習について、オブジェクト指向の長所を生かした教育を重要な柱とすることが大切であると述べるとともに、生徒の発達段階を踏まえ、クラスの作成や設計などを指すのではなく、既製クラスの再利用に重点を置くプログラミング教育が必要であると主張した⁵⁸⁾。

近年の実践では、例えば、森は、ロボット教材を用いた制御・プログラミング学習を実施し、学習効果を実践前後のアンケート調査から分析している。LEGO MindStormsを活用した実践では、ロボットやプログラミングに対する生徒の興味・関心の高まりや、センサーなどロボットを構成している諸技術に対する指導上の留意点を示している⁵⁹⁾。また、井戸坂は、学校教育用オブジェクト指向言語ドリトルを使い、技術科におけるプログラミング学習を実践している。中学3学年を対象として、18～20時間のカリキュラムを作成し、タートルグラフィックス、タイマーによるアニメーション、ボタンによる対話的な操作、音楽演奏という小題材を設定し、実践した上で、生徒の学習カードやアンケート調査から、プログラミング学習の効果を検討している⁶⁰⁾。

これら、ロボット教材を用いた制御・プログラミング学習や学校教育用オブジェクト指向言語ドリトルを活用したプログラミング学習の実践は、中学校のみならず小学校へも波及している。例えば、田代らは、教育ロボット「梵天丸」と「いろは姫」を使用して、小学校の「総合的な学習の時間」を中心とした実践を行った⁶¹⁾。山本らは、同様に小学校において、ゲーム的活動を取り入れたプログラミングの学習課題を設定し、ロボット制御の学習を実践した。ここでは、個別学習になりがちなプログラム学習に共同（グループ）学習を取り入れることで、話し合い活動を通して、作戦を考え、役割分担を行うなど、一つの課題遂行のための様々な知識や技能の習得も可能とする工夫を行うことで、児童は意欲的に学習に取り組み、課題を遂行する姿が確認できたと報告している⁶²⁾。また、佐藤らは、小学校における情報教育にプログラミングとロボット制御を取り入れることを提案し、5、6年生を対象に学校教育用オブジェクト指向言語ドリトルやSqueakeToy、LEGOのROBO Technology Setと制御用ソフトウェアROBOLABを使った実践報告をしている⁶³⁾。学校教育用オブジェクト指向言語ドリトルを使用した実践では、紅林らが、小学校6年生を対象として、プログラミング学習の実践を行い、事後評価としてエレベータ

事故の新聞記事を提示した上で、質問紙を用いて事故に対する理解度などの効果を検証している⁶⁴⁾。

このように、技術科におけるプログラミング学習は、LOGOやBASICを用いた実践から、計測・制御を中心とした実践、オブジェクト指向に着目した実践へと広がりを見せている。また、従来技術科で行ってきたプログラミング学習の内容を、小学生の実態に適合させながら実践する研究も報告されるようになってきている。しかし、技術科において、VBなどのイベントドリブン型プログラミングに関する実践報告は、ほとんど見られない。

Ⅶ. イベントドリブン型プログラミングを対象とした学習指導方法研究

このようなプログラミング教育の実践の中で、VBなどのイベントドリブン型プログラミングに関する研究や実践は、その対象を大学生としている場合が多い。

例えば、Clarkは、89名のプログラミングを学ぶ大学生を対象として、従来のBASICを使用する群とVBを使用する群とに分けて、順次、分岐、反復、変数、配列などの初期プログラミングにおける理解度を比較し、VBは従来のBASICより優れていると報告している⁶⁵⁾。杉江らは、大学等におけるプログラミング教育を行う場合は目的が非常に多岐にわたることを指摘し、大学生の初心者に対してはアルゴリズムとデータ構造を踏まえた手続き型プログラミングから教育していくことを本筋としながらも、近年の学生の実態から、GUIをベースとしたイベントドリブン型プログラミングの有効性を認知してシラバスの提案を行っている⁶⁶⁾。

同様の立場から、藤井もVBが手続き型プログラミングとオブジェクト指向プログラミング形式が混在する特徴を有することから、Java言語などのオブジェクト指向プログラミングへの橋渡しになる点や、VBAなどのアプリケーションに付随する言語の利用というビジネスユースへの応用が可能であることに着目し、文系短大の情報応用系学科の学生にとっては、Windowsプログラミング教育はVBがふさわしいと指摘する⁶⁷⁾。また、三河は、高等専門学校における学生の実態の踏まえ、それまでのC言語からVBに変更して実践を行った結果、留学生に謙虚な効果を確認し、初年度の学生に対する同様の効果を予見したと報告している⁶⁸⁾。森山らは、従来のLOGOプログラミングにおいて中学生を対象に共同学習の効果について検討を行い、ペア学習により、課題の達成点が向上することや思考過程の内省が有意に深まったことを示している⁶⁹⁾が、VBを用いた共同作業に対する検討では、柳下らが、検討を行い、アンケート調査と習熟度テストから、共同作業の有効性を報告している⁷⁰⁾。

このようなVB使用の有効性を指摘する研究報告に対し、望月は、プログラミング教育で最も大切なのはアル

ゴリズムであることを強調し、VBはソフトウェアのインターフェースを作りながらプログラミングを行っているスタイルであることから、アルゴリズムの認識を学習者から欠落させてしまう問題点を指摘している。そして、この問題点を改善するための題材を提案している⁷¹⁾。

これらの一連の研究からは、プログラミング初学者に対しては、おおむねVBのようなイベントドリブン型プログラミングが教育上有効であることが読み取れる。また、望月の提案は、VBの特性を把握しつつも、授業者が行うプログラミング学習の目的に応じたに適切な題材設定の重要性を示しているものと考えられる。

Ⅶ. プログラミング教育における学習支援

プログラミング教育においては、専門教育や高等教育を対象として、学習者の学習過程をサポートするために、様々なシステムの開発・提案されている。

伊藤らは、これらのシステムを、大きく「診断・指導型」システムと、「説明生成（可視化）型」システムとに大別している。一般に、「診断・指導型」システムは、プログラム理解（診断）技術を利用した構成がなされ、バグカタログの整備や教育方略の洗練化がなされている。「説明生成（可視化）型」システムは、デバッガやトレーサなどのプログラム作成ツール、アルゴリズムアニメーションなどがあるという⁷²⁾。

「診断・指導型」システムでは、例えば、海尻の初心者のプログラミングの認識システムがある。このシステムのプロトタイプでは、良質でないプログラムサンプルについて評価した結果、約85%の認識率を得られたと報告している⁷³⁾。同様に森らは、Webブラウザを利用してプログラムを作成すると、システムが自動的に正誤判定を行い、その情報を学習者に提示するシステムを開発している⁷⁴⁾。これらは、「診断・指導型」システムの中においても、診断に重点をおいた研究である。

これに対し、知見らは、これらのシステムが、結果における正誤の診断のみを行っている点を指摘し、プログラミング過程で重要である内省を促進させる支援システムを提案している⁷⁵⁾。このシステムは、失敗から新たな知識を学ぶという概念をもつ失敗学の理論⁷⁶⁾に着目し、失敗したことを記述し、失敗の知識化を図ろうとしているシステムである。これは、「診断・指導型」システムの中においても、バグカタログの整備や教育方略の洗練化に重点をおいた指導型システムであるといえる。

「説明生成（可視化）型」システムでは、例えば、西らのデバッガと連携し、学習者の学習支援となる教材を提示するC言語学習支援システムがある。このシステムは、コンパイラやデバッガと連携し、学習中に発生したエラーやトレースした変数の情報をもとに学習者の支援となる教材を提示するシステムである⁷⁷⁾。

これらの先行研究は、大学生を中心とした専門教育における学習支援システムである。既述したように、専門教育と普通教育ではプログラミング教育の目的が異なる。また、大学教育と義務教育では、学習（授業）形態も全く異なる。河田らは、学習者が自力で間違いを発見し、正しい内容へ修正する作業を積み上げることがプログラミング能力を習得するためには必要であるといひ、この作業を十分行うことなく、誤り箇所や誤りの原因、正しい記述内容を教示されるような助言は好ましくないと指摘する⁷⁸⁾。この指摘は、今後の学習支援システムの方向性を決める際に大きな意味を持っている。

VIII. 展望と課題

以上のように、技術科のプログラミング教育について、教育実践及び研究の動向を把握した結果、①従来のLOGOやBASICを用いた実践、制御教材と併せて図形や矢印などのソースコードを用いた実践、オブジェクト指向を意識した独自の教材を開発して行っている実践など、アプローチが多様化してきていること、②その一方で、イベントドリブン型プログラミングについては、大学等における実践研究はあるものの、中学生を対象とした実践そのものが極めて少ないこと、③プログラミングにおける問題解決では、従来のLOGOやBASICを対象に詳細な分析がなされ、学習指導の条件などが明らかになっているものの、その知見がイベントドリブン型プログラミングに適用しうるかどうかが定かではないこと、④プログラミング教育のための学習支援システムは、高等教育を中心にその開発と実践が進められているが、中学校段階の授業で活用できる簡易な学習支援システムの開発はほとんどなされていない。

これらの動向からは、現在、実践・研究共に手薄になっているイベントドリブン型プログラミングについて、その問題解決過程や学習支援の方策を今後検討していくことが求められる。そのためには、具体的には、次の研究課題に対応していく必要がある。

第一の課題は、イベントドリブン型プログラミングにおける問題解決過程を解明することである。そのためには、具体的な題材を設定し、プログラミングの初学者を対象としたイベントドリブン型プログラミングにおける内的過程を分析し、構造的を明らかにしなければならない。第二の課題は、プログラミングは知識に依存する問題解決であるというDetienn³⁷⁾やAnderson⁷⁹⁾の指摘にもあるように、生徒のプログラミングに関する知識に着目して、プロセスとしての問題解決過程とプロダクトとしてプログラム作成能力との因果関係を解明することである。第三の課題は、第一、第二の課題で明らかとなった基礎的知見をもとに、中学校の授業で活用しう適切な学習支援システムを開発し、実践的なアプローチからその効

果を検証することである。

今後は、これらの各課題について対応し、生徒の認知的実態に基づく適切な学習指導のストラテジーを構築することが重要であろう。

参考文献

- 1) 文部科学省：中学校学習指導要領（平成10年12月）解説 一部補訂 一技術・家庭科編一，東京書籍（2004）
- 2) 文部省：高等学校学習指導要領解説 情報編，開隆堂出版（2000）
- 3) 情報処理学会：大学等における一般情報処理教育の在り方に関する調査研究，情報処理学会（1993）
- 4) 森山潤：プログラム作成における思考過程の構造分析，風間書房（2003）
- 5) 松田稔樹，坂元昂：Logoを利用した小学校高学年における情報教育カリキュラムの開発とその評価，日本教育工学雑誌，15，（1），pp.1-13（1991）
- 6) 杉野裕子：数学教育におけるプログラミングの利用—“学校図形Logo”を通して—，教育情報研究，Vol.5，No.1，pp.79-88（1989）
- 7) 文部省：中学校指導書 技術・家庭科編，開隆堂出版（1989）
- 8) 津止登喜江，浅見匡，河野公子（編著），文部省内教育課程研究会（監修）：中学校新教育課程の解説 技術・家庭，第一法規出版（1989）
- 9) 山口晴久：「情報基礎」実施上の問題点に関する調査研究，日本産業技術教育学会誌，第38巻，第3号，pp.215-222（1996）
- 10) 吉岡富士雄，山本秀彦：技術・家庭科「情報基礎」領域におけるアルゴリズム教育の提案，和歌山大学教育学部教育実践センター紀要，No4，pp.65-72（1994）
- 11) Alfred Bork（著），塚本榮一（訳）：21世紀に向けた学校教育とコンピュータ，丸善（1991）
- 12) 鈴木みどり（編）：メディアリテラシーの現在と未来，世界思想社（2001）
- 13) B.Stroustrup（著），株式会社ロングテール／長尾高弘（訳）：プログラミング言語C++第3版，アジソン・ウェスレイ（1998）
- 14) Borland Software Corporation：Borland C++Builder6開発者ガイド，ボーランド株式会社（2002）
- 15) 兼宗進，御手洗理英，中谷多哉子，福井眞吾，久野靖：学校教育用オブジェクト指向言語「ドリトル」の設計と実装，情報処理学会論文誌：プログラミング，pp.78-90（2001）
- 16) 兼宗進，御手洗理英，中谷多哉子，福井眞吾，久野靖：初中等教育におけるオブジェクト指向プログラミングの実践と評価，情報処理学会論文誌：プログラミング，pp.58-71（2003）
- 17) A.Goldberg，D.Robson：Smalltalk-80，The Language and Its

- Implementation, Addison-Wesley (1983)
- 18) A.Goldberg, J.Ross: Is the Smalltalk-80 System for Children? ; BYTE, Vol.6, No.8, pp.348-368 (1981)
 - 19) A.Kay, A.Goldberg: Personal Dynamic Media, IEEE Computer, Vol.10, No.3, pp.31-41 (1977)
 - 20) F.Klassner, S.D.Anderson.: LEGO MindStorms: Not Just for k-12 Anymore, available at (2001)
 - 21) P.Wallich: MindStorms not just Kid's Toy, IEEE Spectrum September, pp.52-57 (2001)
 - 22) 宮崎和光: MindStoremsと高等教育, 人工知能学会誌, Vol. 21, NO.5, pp.517-521 (2006)
 - 23) 瀬古俊一, 山岸真弓, 中西健太, 伊与田康弘, 永井敏裕, 服部隆志, 荻野達也: ViPPER-ロボットを使用した初等教育向けビジュアルプログラミング, 情報処理学会研究報告, pp.91-95 (2007)
 - 24) 瀬川良明, 高田稔己, 田代圭: 中学校技術・家庭科におけるプログラミング積木の教材特性, 北海道教育大学教育実践総合センター紀要, pp.175-182 (2000)
 - 25) 村松浩幸, 岡田雅美, 阿久津一史, 兼折泰影, 鈴木善晴, 長谷川元洋: 中学校技術・家庭科における制御教材の開発と評価, 日本教育工学会誌, 29 (Suppl.), pp.177-180 (2005)
 - 26) 福島誠, 塚本正秋: Windows環境におけるBASIC言語とアプリケーションの利用について, 島根大学教育学部紀要(教育科学), 第27巻, pp.1-5 (1993)
 - 27) 亀山寛, 鷺野富哉: ウィンドウ環境と情報基礎, 日本産業技術教育学会誌, 第41巻, 第2号, pp.55-62 (1999)
 - 28) 宮崎英一: Visual Basic上における簡易型BASIC言語の開発, 日本産業技術教育学会誌, 第48巻, 第1号, pp.11-17 (2006)
 - 29) 三宅なほみ: コンピュータを教える; 岩波講座 教育の方法 教育と機械, 岩波書店, pp.120-159 (1987)
 - 30) 前田恵三, 中野靖夫: プログラム作成過程の分析, 日本教育工学雑誌, 19, 3, pp.171-180 (1995)
 - 31) 三輪和久, 櫻井桂一, 岡田稔, 岩田晃: 初心者のプログラミング行動時系列分析, 信学技報, HT93-47, pp.9-16 (1993)
 - 32) 近藤智嗣, 中野靖夫: Logoプログラム作成過程の分析, 信学技報, HT94-65, pp.31-36 (1994)
 - 33) 前田恵三, 中野靖夫: コンピュータ操作過程の再現システム, 日本教育工学雑誌, 16, 4, pp.185-195 (1993)
 - 34) 本郷健: プログラム作成プロトコルの記憶装置とその試作, 日本産業技術教育学会誌, 第36巻, 第4号, pp.305-312 (1994)
 - 35) 中野靖夫, 前田恵三, 和泉嘉則: プログラミングにおける状況認知と処理過程, 信学技報, HT98-75, pp.21-28 (1998)
 - 36) 前田恵三, 中野靖夫: プログラミング過程の認知面からの考察, 信学技報, HT98-76, pp.29-36 (1998)
 - 37) F.Detienn: Software design -Cognitive Aspects-, Springer, London (2002)
 - 38) J.Rouanet, Y.Gateau.: Le travail du prorammeur de gestion:essai de description, AFPACERP, Paris (1967)
 - 39) 森山潤, 足立明久, 桐田襄一: 初学者のプログラミングにおける思考過程の自覚程度を測定するための尺度項目の作成, 京都教育大学教育実践研究年報, 第12号, pp.103-119 (1996)
 - 40) 森山潤, 桐田襄一: 中学生のプログラミングにおける思考過程の構造解析, 日本産業技術教育学会誌, 第38巻, 第4号, pp.255-262 (1996)
 - 41) 市川伸一: コンピュータを教育に活かす「触れ, 慣れ, 親しむ」を超えて, 勁草書房 (1994)
 - 42) H.Gorman, L.E. Bourne: Learning to Think by Learning Logo; Rule Learning in third Grade Computer Programmers, Bulletin of Psychonomic Society, 21, pp.165-167 (1983)
 - 43) J.Cathcart: Effect of Logo Instruction on Cognitive Style, Journal of Education Computing Research, 6:2, pp.231-242 (1990)
 - 44) R.D. Pea: Logo Programming and Problem solving, Technical Report No12, Bank Street College of Education, New York (1983)
 - 45) J.D.Williamson, D.W.Ginther: Knowledge Representation and Cognitive Outcomes of Teaching Logo, Journal of Computing in Childhood Education, v3, n3-4, pp.303-322 (1992)
 - 46) 三宅なほみ: 教室にマイコンをもちこむ前に, 新曜社, pp.169-177 (1985)
 - 47) 宮田仁, 大隈紀和, 林徳治: プログラミングの教育方法と問題解決能力育成との関連, 教育情報研究, 第12巻, 第4号, pp.3-13 (1977)
 - 48) 森山潤, 桐田襄一: 「情報基礎」領域における生徒のプログラム設計能力の向上に対する諸要因間の因果関係, 日本産業技術教育学会誌, 第39巻, 第2号, pp.87-95 (1997)
 - 49) 山本利一, 林俊郎, 小林靖英, 牧野亮哉: 中学生が作成したプログラムの分析による指導法の改善, 教育情報研究, 第21巻, 第1号, pp.15-26 (2005)
 - 50) 林秀明: BASICとLOGOを使用したプログラムの作成指導例; 西之園晴夫, 村田正男(編著): 中学校これからの情報教育とその指導, 東京書籍, pp.96-110 (1990)
 - 51) 須曾野仁志, 木谷康司, 下村勉: 中学校「情報基礎」におけるLogoプログラミングの実践と評価, 教育情報研究, 第12巻, 第4号, pp.41-49 (1997)
 - 52) 篠田功, 杵渕信, 川島章弘, 田中通義, 中村昇一: 情報教育におけるプログラミングの学習, 上越教育大学研究紀要, 第10巻, 第1号, pp.321-333 (1990)
 - 53) 奥西邦彦, 松田純雄, 富山朝司, 結城守利: グラフィックによる簡単なプログラム作成を中心とした「情報基礎」の指導, 日本産業技術教育学会誌, 第35巻, 第1号, pp.39-45 (1993)
 - 54) 岡俊博, 吉田誠, 葉山泰三: 「情報基礎」の授業におけるBASICプログラミング教授方法に関する研究, 奈良教育大学教育実践研究, p.10 (1991)

- 55) 本郷健, 松崎寛幸: 「情報基礎」のプログラミング学習における教材が学習者の情意的側面に与える影響, 日本産業技術教育学会誌, 第40巻, 第2号, pp.65-69 (1998)
- 56) 山本利一, 服部昌博, 河合勝清, 牧野亮哉: Windows環境における制御教材の開発—Visual BASICによるパラレルポートの制御—, 教育情報研究, 第13巻, 第3号, pp.41-46 (1997)
- 57) 亀山寛, 戸塚雅彦: USBインターフェースを備えた制御教材の開発, 日本産業技術教育学会誌, 第45巻, 第3号, pp.135-141 (2003)
- 58) 亀山寛, 内山真路: 「情報とコンピュータ」教育におけるオブジェクト再利用プログラミング教育, 静岡大学教育学部附属教育実践総合センター紀要, No11, pp.65-80 (2005)
- 59) 森慎之助: ロボット教材を用いた制御・プログラミング学習の授業実践と作業分析, 日本産業技術教育学会誌, 第47巻, 第3号, pp.201-207 (2005)
- 60) 井戸坂幸男: 中学校 技術・家庭科における「プログラミング学習」の実践 ～プログラミング言語「ドリトル」を使って～, ICT・education (日本文教出版), 33, pp.22-25 (2007)
- 61) 田代久美, 岩本正敏, 水谷好成: ロボットを用いた小学校におけるプログラミング教育の研究 —教育用ロボット「梵天丸」「いろは姫」の仙台市における活用事例から—, 信学技報, HT2006-30, pp.49-52 (2006)
- 62) 山本利一, 田賀秀子, 新屋智絵, 小林靖英: 共同学習を取り入れたプログラミング学習の課題の提案 —カーリングゲームを取り入れたプログラミング指導—, 教育情報研究, 第22巻, 第3号, pp.11-18 (2007)
- 63) 佐藤和浩, 紅林秀治, 兼宗進: 小学校におけるプログラミング教育の現状と課題, 情報処理学会研究報告CE, 78, 9, pp.57-63 (2005)
- 64) 紅林秀治, 兼宗進: 制御プログラミング学習の効果について —小学校の実践から—, 情報処理学会研究報告CE, 87, 1, pp.1-8 (2006)
- 65) B.Clark, Cathy: Comparing Understanding of Programming Design Concept Using Visual Basic and Traditional Basic, Journal of Education Computing Research, V18, n1, pp.37-47 (1998)
- 66) 杉江晶子, 森博: Windows環境における目的別プログラミング教育, 名古屋文理短期大学, 第23号, pp.1-7 (1998)
- 67) 藤井雅章: Visual Basicによるオブジェクト指向プログラミング教育, 北海道女子短期大学部紀要, 第38号, pp.249-256 (2000)
- 68) 三河佳紀: プログラミング教育の改善に関する研究, コンピュータ&エデュケーション, Vol.14, pp.71-78 (2003)
- 69) 森山潤, 三谷亮, 桐田襄一, 樋口裕一: 共同学習環境の導入による生徒のプログラム作成能力の向上, 日本産業技術教育学会誌, 第43巻, 第2号, pp.69-77 (2001)
- 70) 柳下孝義, 望月純夫: Visual Basic教育におけるプログラミング共同作業の分析, オフィス・オートメーション学会, 第37回全国大会予稿集, pp.77-80 (1998)
- 71) 望月達彦: Visual Basicによるプログラミング教育, 名古屋学芸大学短期大学部研究紀要, 第4号, pp.9-17 (2007)
- 72) 伊藤良二, 小西達裕, 伊東幸宏: プログラミングの問題領域上での動作説明を行うプログラミング学習支援システムの構築, 人工知能学会誌, 15巻, 2号, pp.362-375 (2000)
- 73) 海尻賢二: ゴール/プランに基づく初心者プログラミングの認識システム, 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol.78-D-II, No.2, pp.321-332 (1995)
- 74) 森正, 角川祐次, 阿江忠: プログラムの正しさの理解を目的とした教材作成システム, 情報処理学会研究報告 コンピュータと教育, No.061-006, pp.31-38 (2001)
- 75) 知見邦彦, 坂庭裕希子, 樋山淳雄, 宮寺庸造: 失敗知識を利用したプログラミング学習環境の構築, 信学技報, ET2004-2, pp.7-12 (2004)
- 76) 畑村洋太郎: 失敗学のすすめ, 講談社 (2000)
- 77) 西輝之, 劉渤江, 横田一正: デバッガとの連携によるC言語学習支援システムの提案, 信学技報, ET2006-136, pp.173-178 (2007)
- 78) 河田進, 宮武明義, 矢野米雄: 学習者プログラムの振る舞いを利用した誤り解決支援, 信学技報, ET2002-95, pp.1-5 (2003)
- 79) J.R.Anderson: KNOWLEDGE COMPILATION The General Learning Mechanism, R.S.Michalsk, J.G.Carbonell, T.M. Mitchell (ed): Machine learning an artificial intelligence approach Vol. II, Morgan Kaufmann, pp.289-310 (1986)
(2007.11.30 受稿, 2008.1.31 受理)