

状況論的アプローチによる 情報教育のための協同学習環境のデザインと評価： プログラム対戦ゲーム「アルゴアリーナ」の開発と実践

加 藤 浩[†] 井出 有紀子[†] 鈴木 栄 幸[†]

プログラミングの導入レベルから反復や条件分岐などの基本的制御構造を使いこなせるレベルまでの初歩的アルゴリズム教育の支援を想定した相撲対戦シミュレーションゲーム「アルゴアリーナ」を開発した。学習者は力士の挙動や戦略をプログラム言語で記述し、他者のプログラムした力士と対戦させる。1つで多くの相手に勝てるような強く柔軟な力士を作るためには、高いプログラミング技能が要求されるので、ゲームを楽しみながらプログラミングを学習することができる。しかも、学習者が行うのは、状況分析、問題設定、評価などを含むトータルな問題解決活動であるため、包括的なプログラミング技能の向上が期待できる。本システムの特徴は、状況的学習理論に基づき、対戦ゲームという社会的状況設定を利用して、プログラミングを実践する学習のコミュニティを構築し、それへの参加による学習を実現するために、学習者のコミュニティの創造・維持を志向した学習環境デザインを行っていることである。授業実践を2つの公立中学校で行った結果、アルゴリズムの基本的制御構造が学習できていることが明らかになった。さらに、特定の生徒を授業全体にわたってビデオ録画し、エスノメソドロジ的観点から言動を分析することによって、学習者が次第にプログラマ的アイデンティティを発達させていることが明らかになった。これは「コミュニティへの参加による学習」が生起していることの証左となる。

Socio-cultural Approach to the Design of CSCL Environment for Computer Programming Education: Development and Evaluation of a Program Competition Game 'AlgoArena'

HIROSHI KATO,[†] AKIKO IDE[†] and HIDEYUKI SUZUKI[†]

A Sumo wrestling simulation game 'AlgoArena', aiming at basic computer programming education for novices, was developed. A learner is supposed to write a program implementing a wrestler's tactics so that he/she can enjoy the game with colleague. The learner is required to become skillful in comprehensive programming, which includes analysis, planning, evaluation, as well as program writing, if he/she wants to elaborate flexible and strong program enough to beat some others. We developed a community-oriented method for designing learning environment based on situated learning theory, in which social setting as a bout game was applied to construct a learner's community of practice in order to accomplish learning by participation. We conducted two experiments to examine how well they learned programming at two municipal junior high schools. As the results, it turned out that learners in both schools were highly motivated and successfully acquired the knowledge of basic control structures. In addition, we also conducted a participatory observation at one of the junior high schools to investigate how learners develop their identity in the community of programming practice. An ethnomethodological analysis revealed that the learners gradually develop their identity as a programmer, which endorses the occurrence of learning by participation.

1. はじめに

近年、コンピュータによる協同学習支援 (Computer-

Supported Collaborative Learning: CSCL) に関する研究がさかんになってきている。Koschmann¹⁰⁾ は、CSCL を単なる研究の一分野を超えて、新しく生まれつつある教育技術のパラダイムとして位置付けている。すなわち、CSCL は人類学、社会学、言語学、コミュニケーション科学などを基礎として、社会的な問題を

[†] 日本電気株式会社 C&C メディア研究所
C&C Media Research Laboratories, NEC Corporation

中心的研究課題とする点において、それまでの教育技術パラダイムとは一線を画すと述べ、その理論的基盤として社会的構成主義¹⁹⁾、ソビエト社会文化理論¹²⁾、状況的認知論⁷⁾の3つをあげている。

その状況的認知論の流れを汲む種々の研究の中でも、Lave ら¹¹⁾による正統的周辺参加 (Legitimate Peripheral Participation: LPP) の理論はよく知られている。これは、学習の本質を個人の内的な (第一義的には、脳内の) 変化のみに帰するのではなく、人がコミュニティ (社会集団) の文化的実践に参加し、成員性 (membership) を獲得するといった社会的関係の変化の過程としてとらえる立場である。このような「コミュニティへの参加の過程」という学習観に立つならば、教育システムのデザインにおける関心も、個人の学習効率や個人-教育システム間の情報の授受の問題から、学習者と教師によって構成されるコミュニティの構築・維持と参加の支援の問題へと拡がってくる。そのようなコミュニティを志向した学習環境のデザインの研究は、Scardamaria ら^{17), 18)}の研究を嚆矢として今まさに増えつつある (Norman ら¹³⁾, Bellamy²⁾など) が、現時点ではまだ模索の段階にあるといえよう。

本研究もそれらの研究の流れに連なるものである。本論文では、対戦ゲームという社会的状況設定を利用して学習のコミュニティを構築し、それへの参加による学習を実現するための、学習環境デザインについて述べる。具体的には、アルゴアリーナと名付けた対戦型相撲シミュレーションゲームにおいて、学習者のコミュニティの構築・維持を実現するために盛り込んだデザイン上の工夫点について述べ、それが実際にどのような学習をもたらしたかを教育実践によって検証した。

アルゴアリーナは、プログラミング未経験者を対象に、プログラミングを通してアルゴリズム的問題解決の基礎を教育するための教育ツールである。学習者 (プレーヤー) は力士の挙動や戦略をプログラムし、他者のプログラムした力士と対戦させる。学習者は、強い力士を作るために、戦況を系統立てて分析すること (系統的分析)、論理的推論を積み重ねて問題点を発見すること (問題認識・設定)、それを解決するアイデアを考え出すこと (発想)、アイデアを実現する手順を考案しプログラムの形で記述すること (アルゴリズム構成・表現)、それが所期の問題解決を実現しているかどうかを調べること (評価・検証)、を繰り返す必要があるため、包括的なプログラミング技能の向上が期待できる。

近年、情報教育の必要性が叫ばれているが、そこでは、従来の記憶中心の学習に代わって、問題認識、発

想、分析、計画、解決案の導出、設計・製作などの課題解決過程の体験が重視されている¹⁴⁾。アルゴアリーナを用いたプログラミングの学習は、そのような総合的学習活動の1つの選択肢になりうると考えられる。

従来、この種のプログラミングによる対戦ゲームは1984年に発表された CoreWars¹⁾を初めとして数々開発されている。しかし、それらはプログラミング教育を主眼においたものではなく、基本的に娯楽性が優先されていたため、ゲームのルール、利用に際して必要な概念、使用プログラム言語の簡明さなどの点について教育的配慮は特になされていなかった。そのため、もともとある程度の計算機プログラムの経験がある人ならまだしも、まったくの初心者には使用させるには困難があった。これに対して、アルゴアリーナは、相撲というだれもが知っていてルールの単純なスポーツからの類推によって、初めてでも容易にゲームに取り組めることや、採用したプログラム言語の簡明さ、コンピュータ専門用語を極力避けたこと、ユーザインタフェースなどの点において、特に初心者の教育に配慮して設計されている。

2. プログラミング教育用対戦ゲーム「アルゴアリーナ」の概要

アルゴアリーナは中学生以上の初心者を対象としてプログラミング教育を行うための、相撲を題材とした対戦シミュレーションゲームである^{4)~6), 8)}。最初の「プログラミング入門」のレベルから、反復や条件分岐などの基本的制御構造を使いこなせるレベル、すなわち、中学校「技術家庭」の情報基礎領域でのプログラミングと同等ないしは若干高いレベルまでの初歩的教育の支援を想定している。

現在は、Windows95/98 上で稼働する版、NEC PC-98 シリーズの MS-DOS 上で稼働する版、主要なウェブブラウザ上で稼働する WWW 版⁵⁾の3種類がある。

学習者は力士の戦略的な動きを LOGO に準じたプログラミング言語でプログラムし、互いに対戦させる。対戦の経過はアニメーション表示される (図1)。

生徒が初めに作るのは、「よる つく まわしとる ながる ……」のような、動作を順に並べただけの、分岐のない単純なプログラムである。しかし、それでは特定の相手にしか勝てなかったり、自滅してしまったりして、1つで多くの相手に勝てるような「強い」力士を作ることができない。そこで、場面の情勢を判断

☆ α 版を <http://www.necsoft.co.jp/soft/algo/arena.html> で公開中。

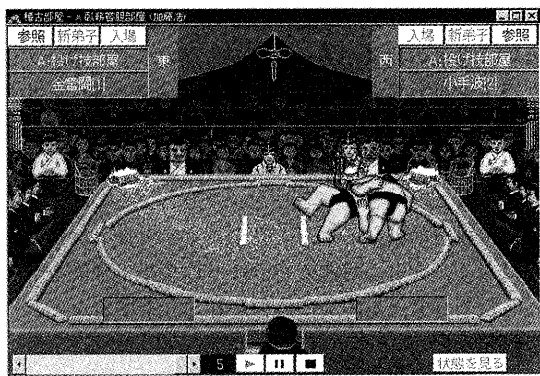


図1 アルゴアリーナの対戦画面

Fig.1 Snapshot of AlgoArena bout scene.

REPEAT(30)[defence]

TO defence

IFELSE(:_じぶんのしせい <= 2)[かがむ][

IFELSE(:_じぶんのしせい = 4)[そる][

IFELSE(:_じぶんのいち <= 2)[よる][まつ]

]

]

END

図2 力士プログラム例

Fig.2 Example of a program.

して動作を変えるような柔軟な戦術を力士に作り込む必要が生じる。そのために、アルゴアリーナには「じぶんのしせい」「あいてのあし」など、現在の対戦の状況を整数値で表すシステム変数が用意されている。一例をあげれば、「じぶんのしせい」の値は1のときに体が最も反っている状態、4のとき最も前傾姿勢の状態を表す。それを IF や IFELSE などの条件分岐文を使用して判断し、状況に応じた動きするようにプログラムする。

図2はそのようなプログラムの例である。この力士は防御専門で、自分からは攻撃しない。自分の体勢が反ってしまったら(:_じぶんのしせい <= 2)「かがむ」で体勢を戻し、逆に深く前屈みになってしまったら(:_じぶんのしせい = 4)「そる」で体勢を戻し、土俵近くに追い詰められたら(:_じぶんのいち <= 2)「よる」で前進し、そうでなければ「まつ」(何もしない)こと(以上が「defense」という手順)を、30回繰り返す(REPEAT(30))。このような消極的な力士でも、稚拙なプログラムが相手だと、自滅を誘って勝つことはできる。

アルゴアリーナの言語仕様は、おおむね LOGO 言語からリスト処理、グラフィックス、入出力の機能を削除し、配列、条件付き反復、アルゴアリーナ固有の力

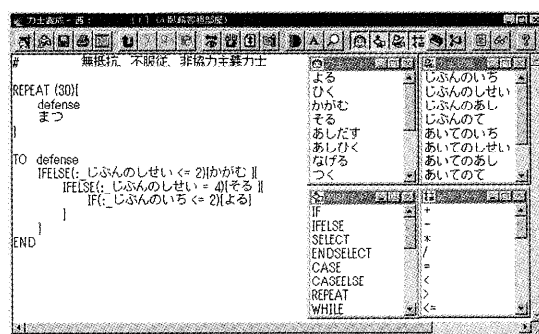


図3 アルゴアリーナのエディタ画面

Fig.3 Snapshot of AlgoArena program editor.

士動作コマンド・力士状態変数をつけ加えたものである。したがって、図2に示した条件分岐や反復や手続きに加えて、再帰呼び出し、引数付き手続き、局所変数など、一般的な制御構造を教えるのに必要な機能を備えている。図3にアルゴアリーナに組み込まれているプログラムエディタの画面を示す。画面の右側にある4つの小さなウィンドウは、それぞれ「よる」「つく」などの13種類の力士動作コマンドの一覧表、「じぶんのいち」「あいてのしせい」などの10種類の力士状態変数の一覧表、アルゴアリーナ言語で用いられている19種類の予約語の一覧表、およびアルゴアリーナ言語で用いる記号の一覧表である。その一覧表の中の語をクリックすると、それがカーソル位置に入ようになっており、基本的なプログラム入力・編集操作はマウスのみでできる(WWW版を除く)。

東西の力士プログラムは次のように実行される。プログラムの実行が開始されると、次に発行する力士動作コマンドが決定したところでいったん実行を停止し、相手が動作コマンドを決定するのを待つ。そして双方の動作コマンドが出揃った時点で、それらが同時に評価され、力士の状態が変化する。すなわち、2つの力士プログラムは1回の力士動作コマンドごとに同期をとりながら実行される。1度コマンドが評価されることを1ターンと呼ぶ。力士の状態はターンごとに変化し、ターンの途中では変化しない。次のターンの状態は現在のターンの東西両力士の状態と両力士が発行する力士動作コマンドとの組合せによって一意に決まる。こうして、両力士の状態が21種類ある「決まり手」と呼ばれる特定の条件を満たすまでターンが進行し、30ターンまで行っても勝負がつかなかったら引き分けになる。

他のプログラム対戦ゲームには CoreWars のようにプログラムの計算時間がゲームの重要なファクターになっているものが多い。そのようなゲームでは、論理

構造が複雑なプログラムは速度の面で不利になることがある。これに対して、アルゴアリーナでは、両方の力士のコマンドが出揃うまで待ってから次のターンに移行するため、多くの計算時間をかけて行動決定をすることは不利にはならない。

たしかに、現実のプログラム開発において実行速度は重要な要素ではあるが、もしも複雑な条件判断を行うことが不利に働き、単純な論理構造のプログラムに負けてしまうようであれば、複雑な論理構造を考える意欲が損なわれることが懸念される。そこで、第1段階としてはプログラムの実行速度のことはあまり気にせず、論理的に込み入ったアルゴリズムでも自在に組み立てられるようになることを目標に置きたいと考えた。このような教育的理由により、アルゴアリーナでは計算時間の制約は設けないことにした。

3. コミュニティを志向した協同学習環境のデザインの実際

1章で述べたように、アルゴアリーナでは「学習のコミュニティへの参加による学習」としての協同学習の支援を目指している。このような立場をとるならば、学習環境をデザインするということは、単に教育ツールをデザインすることだけでは済まされない。学習の場の物理的・社会的状況をコーディネートすることもまたデザインの射程に含まれる。すなわち、教育ツールの機能・ユーザインタフェース・意匠のデザインばかりではなく、学習活動内容・目標・動機づけ・インセンティブなどの運用・実施面でのデザイン、そして、人的構成・制度・規則などの組織面でのデザインもデザイナの重要な仕事となる^{7),9)}。その意味で、学習環境をデザインするということは、学習のコミュニティをデザインすることだといっても過言ではない。

ここでは、筆者らがアルゴアリーナを用いた学習活動をデザインする際に、学習のコミュニティを構築し、長期間にわたって維持するために盛り込んだデザイン上の工夫点について述べる。

3.1 コミュニティの形成を支援するための学習環境デザイン

協同学習を実現するための必須条件の1つは、活動の中になんらかの形で他者と相互交流があることである。アルゴアリーナでは「対戦相手を必要とするゲーム」という状況設定を利用して、活動の中に他者と交渉を持つ必然性を創り出した。相手とともに対戦を見て楽しむことを通して、相互の情報交換や共同体意識の醸成などの社会的交渉が促進される。

また、目標や価値観を共有することもコミュニティ

の要件である。ゲームにおいては、さしあたり「勝つ」という共通の目標がある。その目標の下で「強いプログラムを作れる技量」を高く評価する価値観も共有される。実践に際しては、その目標をさらに明示化し、かつ学習者を動機づけるために、最終日の授業で大会を行うことを最初に宣言した。ただし、それによって過剰に競争的になる事態を防ぐために、大会は個人戦ではなく、チーム対抗で行うように組織・制度をデザインして、チーム内での協力が起こりやすくなるように仕組んだ。

さらに、情報交換を促進するために、教室内にだれでも力士プログラムを登録できる共有パソコンを設置した。そこには学習者の自信作が自然に集まって、格好の腕試しの場となっていた。そのパソコンで他人の強い力士プログラムを覗き見てまねるということも行われており、アイデア流通の中心の役割も果たしていた。

このように、ソフトウェアの機能面ばかりではなく、運用面、組織面など多面的にデザインすることで活動・目標・価値観を共有するような状況を創り出し、学習のコミュニティの形成を促した。

3.2 コミュニティの維持を支援するための学習環境デザイン

「勝つ」という目標も簡単に到達できてしまうようでは、長期間にわたって学習のコミュニティを維持できない。それを防ぐために、アルゴアリーナの実践ではおおむね同レベルの学習者を組織し、ともに学習することによって、「相手に勝つ」という相対的目標になるようにした。すなわち、自分と同様に相手も強くなる限りにおいて、「相手に勝つ」ことが相互的に高い目標になっていくようにした。

さらに、ゲームデザインにおいては、ルールは単純でも奥が深くなるようにした。たとえば、自滅以外の決まり手には必ずそれを防御することのできる返し技を設け、さらに不完全情報ゲーム[☆]にすることで、現実的には必勝プログラムが作れないように工夫した。それによって目標の相対性が恒久的に維持できる。

しかし、必勝プログラムを作ることは難しくても、ある程度技能が向上すれば、負けないプログラムを作ることは比較的容易にできるようになる。その結果、防衛的な力士が増えて、引き分けばかりになると、ゲームの楽しさが減退する。それを防ぐために、ゲームの

☆ 4.2節で示すとおり、ただ勝てばよいのではなく、その手段を問題とするような独自の価値観を生みだしていた。

☆☆ アルゴアリーナでは対戦状況の情報は完全に与えられているが、自分の手を出すときに、相手が何を出してくるかが分からない。

デザインにおいて、微妙な力士状態の差でも力士動作コマンドの結果に優劣が生じるようにして、引き分けになりにくくなるような工夫をした。たとえば、東西両力士が組み合った状態でも同じ動作を仕掛けてきた場合（ともに「よる」を行ってきた場合など）、両方がまったく同じ状態ならば状態に変化は生じないが、わずかでも力士の状態に違いがあれば（たとえば、どちらかの前屈みの度合いが深い）、どちらかの動作の方が優勢になって状態が変化する（この場合、前屈みの方が前進する）ようにルールを決めた。

それに加えて、制度面では、総当たり戦などの試合の結果から順位を決めるときに、勝ち数だけをカウントして、引き分けは負けと等価に扱うことにした。これらによって、攻撃的な力士を作る必然性を生み出した。

また、向上の努力が勝敗の行方にあまり関係がないならば、努力を続けようという意欲は減退してしまうので、努力が結果に結び付くことが望ましい。そのためには、少なくとも、努力の成果であるプログラムと勝敗の結果の間に、強い因果関係を取り結んでおく必要がある。そこで、アルゴアリーナでは、ゲームにおける偶然的要因を完全に排除している。偶然的要素はゲームに意外性をもたらし、楽しさを増加させる効果がある反面、あまりに偶然的要素が強すぎると、勝敗が実力を反映しなくなるために、プログラムを洗練しようという意欲が損なわれるおそれがある。他方、偶然性がない場合には、負ける原因はすべてプログラムの中にあるはずなので、プログラムを解析することで敗因を完全に把握できるはずである。

そのために、アルゴアリーナでは、ゲームの状態変化を決定するルールに確率的な条件を組み入れなかった。さらに、ゲームの進め方を、将棋のようにプレーヤが交互に手を進めるのではなく、東西の力士動作コマンドが同時に評価されるようにした。

その結果、同じ組合せの対戦は何度行っても、力士の東西を入れ替えても、必ず同じ経過をたどる。また、同一の力士どうしを対戦させると、まったく同じ動作をして、必ず引き分ける。これより、勝敗は運や反射神経や攻撃順などとは無関係に、単にプログラムどうしの関係によってのみ決まる。

このような、勝敗とプログラムの内容との強い因果関係は、プログラムを深く理解しようという動機付けになる。また、勝敗は完全にプログラム作成者の腕次第ということになるので、学習者は、試合を通して、そのコミュニティにおける自己の相対的技能水準に対する直接的フィードバックを得ることができる。

さらに、アルゴアリーナのエディタには、「世代交代」という機能があり、力士名を変えずに古いバージョンのプログラムを残しておくことがマウス操作のみで簡単にできるようになっている。それにより、新しいバージョンと古いバージョンとを戦わせることができるので、改良がもくろみどおりかどうかの確認に使える。また、ときどき、昔のプログラムを振り返って見ることで、学習者のプログラミング技能の進歩の経過を自己評価することが可能になる。歴史の可視化を支援することは、コミュニティへの愛着・帰属意識を醸成し、コミュニティを維持するために重要だと考えられる。

4. アルゴアリーナによる学習の評価

本章では、実際に学校でアルゴアリーナを用いた教育実践を行った結果から、アルゴアリーナを用いた学習がどのようなものであったかを明らかにする。まず、4.1 節では質問紙法による2つの中学校での調査結果を示す。しかし、質問紙による統計的な手法は、学習効果を総括的にとらえるには良いが、個々の学習者の何がどのように変化したかまでは見えにくい。そこで、4.2 節では、中学校の学級の中から少数の学習者のサンプルを選び、全授業を通して彼らを集中的に観察し、その言動を分析した結果を示す。つまり、総括的ではあるが粗い分析と部分的ではあるが細かい分析の両面からのアプローチによってアルゴアリーナによる学習を描出したい。

4.1 質問紙法による総括的评价

4.1.1 公立中学校での評価（その1）

実験は1996年1～2月に滋賀県某市立中学校3年の2学級76名（男46女30）を対象に、技術・家庭の授業として行った。授業は計12回で、(1)アルゴアリーナの使い方・プログラムの基本的な要素（繰返し、条件分岐、手続き定義）の解説、(2)プログラム実習・自由対戦、(3)全員参加のアルゴアリーナ相撲大会、という内容であった。生徒は2人で1台のパソコンを共有した。プログラム実習に入った段階で席替えを行い、4人チームを作った。このチーム単位で、授業最終日に相撲大会（団体戦）を行い、優勝チームを決定した。

質問紙調査としては、全授業終了後に9項目からなるアンケートと、学年末テストとして7問からなるプログラミング理解テストを実施した。

理解テストの結果は、9点満点で平均点7.12（平均正答率79%）という高得点であった。表1に個々の問題の内容と、その平均正答率を示す。この中では、

表 1 プログラミング理解テスト結果

Table 1 Results of programming comprehension test.

問題の内容 (配点)	平均正答率
REPEAT を用いたプログラム例文の意味を記述する (1)	94.8%
IF を用いたプログラム例文の意味を記述する (1)	93.5%
IF と OR を用いたプログラム例文の意味を記述する (1)	82.7%
IF と AND を用いたプログラム例文の意味を記述する (1)	80.0%
IFELSE や IF を 3 つ用いた 3 種類のプログラムの断片が別に提示された 3 種類のフローチャートのどれと対応するかを選択する (2)	76.7%
IFELSE を用いたプログラム例文の意味を記述する (1)	74.6%
2 つのプログラムを提示され、それを机上でトレースしてどのような実行経過になるかを予測する (2)	66.7%

最後のプログラムの机上トレースの問題の正答率がやや低い (67%) が、これはプログラムの意味に加えて、アルゴアリーナのゲームルールも記憶している必要があるという点で最も高度な問題である。理解テストの結果より、生徒はプログラム言語の基本的な文の意味や動作を正しく理解していたことが分かる。

ちなみに、本授業以前に LOGO によるプログラミングの経験があった生徒が 37% いた。理解テストの平均値は、LOGO 経験者が 7.8、未経験者が 6.7 と、経験者に高い傾向が見られたが、その差は有意ではなかった ($t(67) = 1.95, p < 0.1$)。したがって、生徒の事前知識が本理解テストの結果に及ぼす影響はあまり大きくはなく、また、本授業以外に生徒がプログラミングをする機会がなかったことから、この理解テストによって測定された知識は、授業を通じて学習されたものであると考えられる。

一方、アンケートによれば、生徒のうち 66% が力士プログラムの作り方が「分かった」ないしは「だいたいわかった」(アンケートはすべて 5 件法) と答えており、これに「ふつう」も加えると 80% の生徒がプログラミングを理解したと自己評価している。これは、理解テストの結果を生徒の主観的側面からも裏付けるものである。

アルゴアリーナをまたやってみたいかという質問には、44% の生徒が「ぜひやりたい〜やりたい」と答えており、多くの生徒が活動を楽しんでいた反面、29% は「やりたくない〜絶対やりたくない」と答えており、一部に否定的にとらえていた生徒もいたことが分かる。この質問に対する答えの分布を男女別に集計したのが図 4 である。

男子生徒の平均が 3.9 (1: 絶対やりたくない〜5:

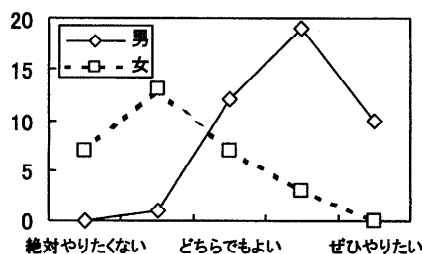


図 4 「アルゴアリーナをまたやってみたいか」に対する男女別回答分布

Fig. 4 Response distribution by sex for the question: "Do you want to play AlgoArena again?"

ぜひやりたい) に対して女子生徒は 2.2 で、その差は有意であった ($t(70) = 8.40, p < 0.01$)。これより、女子生徒の方が男子生徒よりも否定的であることが分かる。この原因として、アルゴアリーナの題材が相撲という女子生徒にはあまり人気のないスポーツであるということや、対戦という攻撃的な状況設定、力士という男性キャラクターに対する感情移入のしにくさなどゲームデザイン上の問題が考えられる。しかし、その原因を明らかにするためには、現時点では十分なデータがなく、今後さらなる調査が必要である。ただし、理解テストの結果では、男女による有意な差はなく ($t(73) = 0.78, p > 0.1$)、問題は情意面だけにとどまっている。

まとめると、アルゴアリーナを用いた授業によって、大多数の生徒が、プログラム言語の基本的な文の意味や動作に関する知識を身につけた。そして、男子生徒は半数以上がアルゴアリーナの活動に意欲的だった反面、比較的女子生徒との相性が悪いという問題点が明らかになった。

4.1.2 公立中学校での評価 (その 2)⁵⁾

実験は 1997 年 10 月〜1998 年 3 月まで、東京都内市立中学校 3 年生の理科の選択授業枠を用いて、1 回 45〜50 分の授業を全 11 回行った。授業の内容は前項の実験とはほぼ同じで、最後の 1 回は大会にあてられた。授業は 33 名が選択したが、事前テストと事後テストを両方とも受けたのは 27 名 (男 21, 女 6) であった。

評価テストは、実験開始前と、実験終了後に同一問題を使用して行った。テストには、アルゴアリーナとは別種のプログラミング課題 2 種類各 5 問ずつを用いた。課題 1 (5 問) に 10 分、課題 2 (5 問) に 15 分の解答時間を与えた。図 5 に 2 つの課題の例を示す。この課題を解くためには、アルゴアリーナ固有の知識 (対戦のルールなど) は役に立たないが、アルゴリズムの基本的制御構造に関する一般的知識・技能は有用

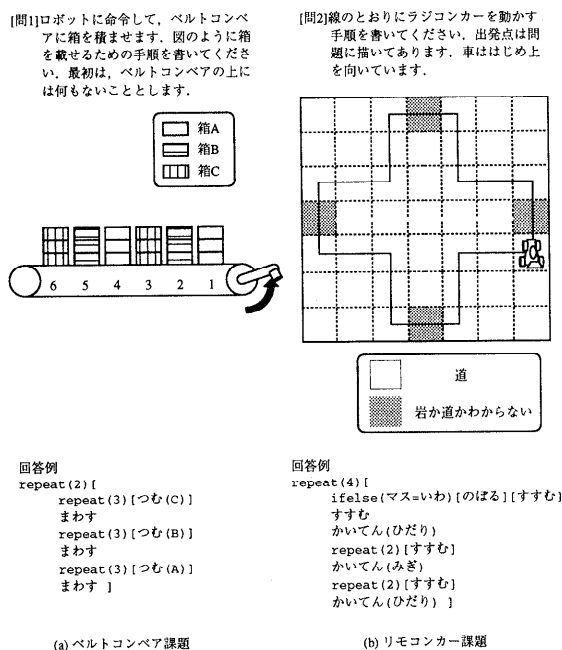


図 5 事前/事後テスト問題例

Fig. 5 Example of items used for pre/post-test.

である。

テストの結果、正答数を繰返しがある場合の分散分析にかけたところ、課題要因 ($F(1; 26) = 13.3$, $p < 0.01$) と事前・事後テスト要因 ($F(1; 26) = 10.4$, $p < 0.01$) の主効果が有意であり、交互作用は有意ではなかった。これより、課題 2 の方が難しく (課題 1 の平均 = 2.1, 課題 2 の平均 = 1.3), また、事後テストの方が成績が良かった (事前平均 = 1.3, 事後平均 = 2.0) といえる。

また、正誤とは無関係に、制御構造の REPEAT 文をどの程度積極的に用いているかを見るために、各問の解答について REPEAT を利用しなければ 0, 利用すれば 1, 入れ子で利用すれば 2, 三重の入れ子で利用すれば 3 として、その合計値を繰返しがある場合の分散分析にかけたところ、課題要因 ($F(1; 26) = 6.05$, $p < 0.05$) と事前・事後テスト要因 ($F(1; 26) = 5.26$, $p < 0.05$) の主効果が有意であり、交互作用は有意ではなかった。これより、課題 2 の方がより多く REPEAT を用いた (課題 1 の平均 = 3.7, 課題 2 の平均 = 4.5), また、事後テストの方がより多く REPEAT を用いていた (事前平均 = 3.7, 事後平均 = 4.5) といえる。

以上の実験結果より、アルゴリズムの基本的制御構造に関する一般的知識・技能についても、仕様を満足するプログラムを作成する課題において一定の向上が

見られた。さらに、反復構造を学習前よりも積極的に利用するようになった。これより、問題の中から繰返しパターンを抽出して反復構造として表現する能力が向上していることが推察できる。これらは、事前テストと事後テストの間が 5 カ月あったことを考慮すると、単純な反復練習効果によるものとは考えにくく、主にアルゴアリーナの学習効果であると考えられる。

4.2 参与観察による質的評価

4.2.1 分析の理論的背景

Lave ら¹¹⁾ は正統的周辺参加 (LPP) 論において、新参加者がコミュニティの社会的実践に正統的 (legitimate) で周位的 (peripheral) に関与していき、やがて十全的 (full) 参加へと変わっていく過程として学習をとらえている。そのような参加の度合いの深まりにともなって、役割の変化、言語使用 (いつ, どこで, だれに向かって, 何を, どのように語るか) の変化、知的技能の変化などが観察されるが、Lave らは「アイデンティティの発達は新参加者の実践共同体での経歴の中心にあり、したがって、それが正統的周辺参加の概念の基礎である」¹¹⁾ として、アイデンティティの変化を学習の中心に据えた。

しかし、アイデンティティの変化の様子は、どのようにして知ることができるのであろうか。筆者らは、アイデンティティは個人の内的属性ではなく、他者との相互行為によって関係的、局所的 (local), 随伴的 (contingent) に (しかし、繰返し) 編成されるものとするエスノメソドロギー^{3), 21)} 的立場を支持している。つまり、コミュニティの成員が文化的実践のさなかに、お互いのアイデンティティを表示し合い、認め合うという相互行為の積み重ねによって、そして、それによってのみアイデンティティが編成されると考えるのである。

アイデンティティを編成する種々の相互行為の中でも、筆者らは、観察が容易であることから、主に会話においてどのように成員カテゴリー化装置^{15), 16)} が用いられているかに着目して分析を行った。成員カテゴリー化装置とは、成員カテゴリー (コミュニティの成員が自分や他の成員に対して与える分類) の集合に、その適用規則を加えたものである。たとえば、人は筆者を「会社員」「親」「成人」など様々な成員カテゴリーで呼ぶことができる。そして、各々のカテゴリーには、それと組をなす他のカテゴリーが存在する。たとえば、「会社員」に対しては「学生」「自営業」などが組となって、「職業」というカテゴリー集合をなす。また、カテゴリーには、どのような場面で、どのようにカテゴリーを適用するのが適切かを規定している

暗黙の規則がある。成員カテゴリー化装置を適切に使用できることは、コミュニティの成員であるための必要条件である³⁾。それと同時に、会話の中で成員カテゴリー化装置を使用することは、成員のアイデンティティを表示し、相互に確認し合う実践であり、アイデンティティの相互行為的編成において重要な位置を占めているといえよう。

以下では、アルゴアリーナの実践において、生徒が自分自身や他者にどのような成員カテゴリーを適用し、それが時間とともにどう変化したかを手がかりに、生徒のアイデンティティがどう変容したかを追跡する²⁰⁾。

4.2.2 調査概要

フィールド調査は4.1.1項の中学校の授業で行った。調査では、1つのペア（大村・今川：仮名）を選択し、彼らの会話、行動、パソコン画面を全授業時間にわたって記録した。このペアは、担当の教師に「ビデオにも物怖じしない性格の生徒」という条件で選んでもらった生徒（大村）とその友人（今川）である。加えて、実験者2名（筆者ら）が教室内に滞在し、観察記録をつけるとともに、生徒の質問に答え、システムトラブルに対処するなど、授業のアシスタント的な役割を担った。

4.2.3 調査結果

(1) 主体的活動の萌芽

最初は授業2日目の会話である。この段階ではまだIFなどの制御文は導入されていない。

断片1 1月16日

今川：「最小限にしぼる」(1-1)

大村：「最小限やろ，“よる”1個でええねん」(1-2)

今川：「さすが、今川・大村ペア。どんな力士でも最小限の力で勝とうとする。他の（やつら）とは違うな」(1-3)

大村：「そうすね」(1-4)

ここでは「今川・大村ペア」「他の（やつら）」(1-3)ということばで、他のグループから自分たちを括り出している。それでは、自分たちを他のグループと差別化する根拠は何かといえ、それは「最小限の力で勝とうとする」(1-3)と表現された「最も短い手数で勝つ」という目標を持っていることである。ここでは、その目標を、彼ら自身が（他からの強制でなく）自発的に創造したものであるということを表示し、確認し合っていることが観察できる。ここから、彼らが、教師から課せられた活動に、オリジナルな目標を付与して、主体的な活動に再編していることが分かる。

また、ここで彼らは「力」(1-3)という本物の相撲に関連する概念を用いている。実は、アルゴアリーナのゲームルールには「力」という概念はない。それにもかかわらず、彼らが「力」と言っているのは、アルゴアリーナを相撲というスポーツの観点から見ていたからだと考えられる。さらに、彼らがそのような見方を共有していたことも、「そうすね」(1-4)という肯定から分かる。このことは、後との対比で重要になってくる。

(2) プログラム的アイデンティティの非対称な出現

次は、授業が進んで第6日目に見られた会話である。このころ、大村はかなりプログラムに入れ込んでおり、コンピュータをほとんど占有していた。一方、今川はプログラミングには手を出さず、友人と大村の間を行き来して開発状況を相互に知らせる役目をしていた。この日、大村は、自宅でプログラムを考え、それをメモして授業に持ってきた。それを使用する際に、次のような行動が観察された。

断片2 1月31日

〈大村と鈴木（実験者）がプログラムの作り方について話している。話が終わり鈴木が立ち去った。〉

大村：メモ用紙を今川に見せる「あほ、昨日考えてきたったぞ」(2-1)

今川：「完全にコンピュータ・オタクやな」(2-2)

大村：「昨日な、夜、暇やってんか」(2-3)

今川：「わかってる」(2-4)

大村：「ちゃうって」(2-5)

今川：「はまってきたぞ、大村。ちゃうって、自分でも気づかへんねんって」(2-6)

大村：「おお、そうやんけ。やばいやんけ俺」(2-7)

今川：「不良になっても気づかへんのと同じや」(2-8)

大村：「うそや、気づかへんのけ不良になつてて。俺、気づくぞ」(2-9)

大村は今川によって「コンピュータ・オタク」(2-2)と呼ばれている。オタクというカテゴリーは、そのカテゴリーに属さない人々が当該集団にあてはめられる支配的カテゴリー¹⁶⁾であり、反社会的・差別的なニュアンスをともなう用いられることが多い。つまり、オタクというカテゴリーを行使するのは「オタクではない人」である。これより、今川は大村に「オタク」というカテゴリーを付与すると同時に、自分は「非・オタク」というカテゴリーに属することを表明しているといえる。それに対して、大村は「夜、暇やってんか」(2-3)といったのは反論のきざしを見せるものの、結

局は「おお、そうやんけ」(2-7)と大筋で認めている。しかし、オタクの無自覚性を指摘する「はまってきたぞ、大村。ちゃうって、自分でも気づかへんねんって」(2-6)という今川の発言を受けて、「やばいやんけ俺」(2-7)と自覚があるような発言をすることで、逆に、まだオタクにはなっていないことを表明している。このことから、「大村=ほとんどコンピュータ・オタク」、「今村=非・コンピュータ・オタク」という異なるアイデンティティがこの相互行為から観察される。

(3) 今川のアイデンティティの変化

この後、しばらく(第6~8日目)は今川と大村は同じような関係が続くが、第9~10日目に大村が欠席したことをきっかけとして、今川もまた自分でIF文などの制御構造を用いた複雑なプログラムを書き始める。そんな10日目に次の会話は観察された。

断片3 2月6日

今川:「どういふこと、これ。俺も技いっぱい入れたろ(聞き取り不能)それ何ページ?」(3-1)マニュアルを手にとってページめくる

井原:「(聞き取り不能)」(3-2)

今川:「もー、俺もマニアになってしまいそうやわ」(3-3)

井原:「そやった?」(3-4)

今川:「おお。こんなんにはまってるよお」(3-5)

今度は、今川が「はまって」(3-5)しまって「マニアになってしまいそう」(3-3)であることが表明されている。「マニア」というカテゴリーは、支配的なカテゴリーではないものの、その意味するところは「オタク」とほぼ同じと見てよいだろう。ここから、今川のアイデンティティが、断片2で表示された「非・コンピュータ・オタク」から「コンピュータ・マニア」へと変容していることが観察可能である。

(4) とともに実践の歴史を語り合う

次に見るのは、最終日(第12日目)に交わされた会話である。この日は4人グループになって全員参加の相撲団体戦を行った。大村と今川は同じグループにいて、大村の力士はすべて引き分けに終わるのに対して、今川の力士は勝ち続ける。今川のそのプログラムは、以前の単純なものではなくIFELSEなどの制御文を多用した複雑なものである。このプログラムの強さについて大村と今川は次のように話している。

断片4 2月13日

今川:「全勝、おれだけやんけ」(4-1)

大村:「ははは、全勝なんけ」(4-2)

今川:「全勝」(4-3)

大村:「すげえな」(4-4)

今川:「だって、大村ちゃんがいいひん間に、俺の内容、思いっきり変わってんな。IFELSEとか、ぶわあ、思いっきり。俺、(聞き取り不能)」(4-5)

ここで、今川は自分の力士の強さの根拠を、IFELSEなどのコマンドが多く使われていること、すなわち「プログラムの内容」にしている。そして、それが理由の説明として成立していることから、2人の間に「IFELSEなどの制御文が多く使われたプログラムは強い」という理解があることが分かる。ここから今川が対戦をプログラムの視点からとらえ、その視点を大村と共有するようになっていくことが分かる。第2日目の断片1と比較すると、彼らの力士についての語りが、「力」を使って勝つ「相撲」という視点から「IFELSE」を使って勝つ「プログラム」という視点に変化しているといえる。

ここに至って、大村と今川の関係は、断片2のこの非対称な関係ではなく、プログラミング実践者としての対等な関係を獲得しているように見える。それは、次に示す断片5からも分かる。

断片5 2月13日

大村:「たぶん、俺勝つで。あははは。」(5-1)

今川:「ず、頭にのりすぎ。(間)おらあ、ストレートに言われちゃあ何が何でも俺も」(5-2)

大村:「そうやな。うん」(5-3)

今川:「でも俺のよお、よるつくの時代はよお(笑)」(5-4)

大村:「(笑)よるつく」(5-5)

今川:「だいぶん強よおなったやろ」(5-6)

大村:「あれよりはな」(5-7)

今川は以前の自分のプログラムスタイルを「よるつくの時代」(5-4)と呼んで振り返っている。このような言明によって、制御文を使わず「よる、つく」などの力士動作コマンドを連ねたプログラムは過去のものとして位置付けられ、同時に、現在はそれとは違うということが示されている。その過去を大村と一緒に笑い合う(5-5)ことで、2人は、現在同じ位置にいることを確認し合うことになる。つまり、今川は自分の歴史を語ることで、自分のアイデンティティの変容を大村と確認し合っているといえる。

実は「今の力士の方が『よるつくの時代』のものよ

りも強い」(5-6), (5-7) という両者の共通認識は必ずしも真実ではない。それは7日目から8日目にかけて今川の「よるつく」流プログラムが大村の IFELSE を用いたプログラムに全勝したエピソード²⁰⁾があったからである。それにもかかわらず、このようなやりとりが可能となるのは、彼らが力士の強さを語る独特な視点を共有しているからであると考えられる。すなわち、彼らにとっての「強さ」とは、どんなプログラムでもよいからただ勝てることではなく、「プログラムテクニックで勝つ」ことなのである。このような共通の視点に立てばこそ、過去に無敗を誇った今川の「よるつくプログラム」よりも、今の力士、すなわち「IFELSE とかぶわあ、思いっきり」(5-5) と語られるようなプログラムの方が「だいぶん強い」(5-6) といえるのである。これはプログラマの視点と呼ぶにふさわしい。

以上、ここで観察されたことをまとめると、大村は初期からプログラムの活動に没頭しており、比較的順調にプログラマ的なアイデンティティを発達させていった。一方、今川は初めはプログラミングからは一歩引いていたが、途中から急速にプログラマらしさを表示するようになった。プログラマとしてのアイデンティティが発達するにつれて、彼らはただ勝つのではなく「優れたプログラムによって勝つ」ことを共通の価値観とするようになった。すなわち、彼らはゲームの楽しみに加えて、プログラミングそれ自体の楽しみも理解するようになったと考えられる。このようにして彼らが最終的に身につけたプログラミング技能は、彼らが「IFELSE とか思いっきり」と語っているとおり、制御構造を駆使できるレベルに達していた。

5. おわりに

ゲームという社会的状況設定を利用して、プログラミングを必然的に含むような実践を行う学習者のコミュニティを構築するための学習ツール「アルゴアリーナ」とそれを利用した学習環境のデザインについて述べた。アルゴアリーナを用いた学習活動では、学習者は意欲的にプログラミングの基礎を学ぶことができる。2つの公立中学校で実践を行い、アルゴリズムの基本的制御構造の学習に一定の効果があったことを確認した。さらに参与観察では、単に勝つことを目標とするのではなく、プログラムの技巧で勝つことをよしとするような価値観が発生し、それを共有する生徒がプログラマ的なアイデンティティを編成していく過程も観察できた。

しかし、4.1.1 項で述べたように、アルゴアリーナは女子生徒にはあまり好まれないという問題が明らか

になった。これは単にゲームのデザインの問題なのか、それともほかにもっと深い理由があるのか、現時点では不明である。今後、この原因を明らかにし、それに応じてゲームのデザインや状況設定を変えるなどの改善を講じたい。さらに今後、ゲームの状況設定を利用して学習のコミュニティを構築するというコンセプトを他の学習分野の学習ツールにも展開していきたい。

謝辞 実験にあたり、多大なご協力をいただいた京都教育大学の佐々木真理先生、武蔵野市立第五中学校の小岩寿之先生、NEC ユニバーシティの安藤正樹取締役、萩原健次主任、荒明和子先生につつしんで感謝の意を表します。

参考文献

- 1) ASCII: Core Wars コア戦争への招待, ASCII, Vol.11, No.7, pp.217-224, アスキー出版 (1987).
- 2) Bellamy, R.K.E.: Designing Educational Technology: Computer-Mediated Change, *Context and Consciousness - Activity Theory and Human-Computer Interaction*, Nardi, B.A. (Ed.), pp.123-146, MIT Press (1996).
- 3) Coulon, A.: *L'ethnométhodologie*, 4e Edition corrigée, Presses Universitaires de France. (1996). 山田富秋, 水川喜文 (訳): 入門エスノメソロジー, せりか書房 (1996).
- 4) 井出有紀子, 加藤 浩: ソフトウェア教育システム「アルゴアリーナ」の構想 (2) — システムデザイン, 電子情報通信学会春季大会, pp.1-477-1-478 (1993).
- 5) 井出有紀子, 鈴木栄幸, 小岩寿之, 加藤 浩: アルゴリズム協同学習システム「アルゴアリーナ」の実践評価, 日本教育工学会大会論文集, pp.581-582 (1998).
- 6) 加藤 浩, 井出有紀子: ソフトウェア教育システム「アルゴアリーナ」の構想 (1) — 設計思想, 電子情報通信学会春季大会, pp.1-475-1-476 (1993).
- 7) 加藤 浩: 状況論的アプローチによる教育システムのデザイン, 計測と制御, Vol.34, No.2, pp.122-130 (1995).
- 8) Kato, H. and Ide, A.: Using a game for social setting in a learning environment: Algo-Arena - A tool for learning software design, *Proc. CSCL'95*, pp.195-199 (1995).
- 9) 加藤 浩, 鈴木栄幸: 協同学習環境のための社会的デザイン, 認知的道具のデザイン, 加藤 浩, 有元典文 (編), 金子書房 (1999 秋発行予定).
- 10) Koschmann, T.: Paradigm Shifts and Instructional Technology: An Introduction, *CSCL: The Theory and Practice of an Emerging Paradigm*, Koschmann, T. (Ed.), pp.1-23, Lawrence Erlbaum Associates (1996).
- 11) Lave, J. and Wenger, E.: *Situated Learn-*

- ing: *Legitimate Peripheral Participation*, Cambridge University Press (1991). 佐伯胖 (訳): 状況に埋め込まれた学習, 産業図書 (1993).
- 12) 茂呂雄二: 言語と思考—Vygotsky 理論の立場から, 信学技報, TL94-6, pp.1-8 (1994)
 - 13) Norman, D.A. and Spohrer, J.C.: Learner-Centered Education, *Comm. ACM*, Vol.39, No.4, pp.24-27 (1996).
 - 14) 岡本敏雄, 西之園晴夫: 初等中等教育での情報教育の取り組みと現状, 情報処理, Vol.38, No.7, pp.594-599 (1997).
 - 15) Sacks, H.: An initial investigation of the usability of conversational data for doing sociology, *Studies in Social Interaction*, Sudnow, D. (Ed.), pp.31-73, The Free Press (1972). 北澤裕, 西坂 仰 (編訳): 会話データの利用法—会話分析事始め, 日常性の解剖学, マルジュ社 (1995).
 - 16) Sacks, H.: Hotrodder: A Revolutionary Category, *Everyday Language: Studies in Ethnomethodology*, Psathas, G. (Ed.), Irvington Publisher (1979). 山田富秋, 好井裕明, 山崎敬一 (編訳): ホットロッダー, エスノメソドロジー, せりか書房 (1987).
 - 17) Scardamalia, M. and Bereiter, C.: Technologies for knowledge-building discourse, *Comm. ACM*, Vol.36, No.5, pp.37-41 (1993).
 - 18) Scardamalia, M. and Bereiter, C.: Computer Support for Knowledge-Building Communities, *CSCL: Theory and Practice of an Emerging Paradigm*, Koschmann, T. (Ed.), pp.249-268, Lawrence Erlbaum Associates (1996).
 - 19) 菅井勝雄: 教育工学—構成主義の「学習論」に出会う, 教育学研究, Vol.60, No.3, pp.27-37 (1993).
 - 20) 鈴木栄幸, 加藤 浩: 協同学習における学習の過程としてのアイデンティティの変容, 情報処理学会コンピュータと教育研究会, 41-5, pp.33-40 (1996).
 - 21) 山田富秋: エスノメソドロジーの現在, エスノメソドロジーの想像力, 山田富秋, 好井裕明 (編), せりか書房 (1998).

(平成 10 年 3 月 25 日受付)

(平成 11 年 2 月 8 日採録)



加藤 浩 (正会員)

昭和 34 年生. 昭和 58 年慶應義塾大学大学院工学研究科修士課程修了, 同年日本電気 (株) に入社. 平成元~2 年スタンフォード大学 CSLI 訪問研究員. 平成 11 年東京工業大学大学院社会理工学研究科博士課程修了. 現在 NEC C&C メディア研究所主任研究員. 教育システムの研究開発に従事. 博士 (工学). 平成 5 年, 平成 9 年日本認知科学会研究分科会発表賞, 平成 10 年日本教育工学会論文賞受賞. 電子情報通信学会, 日本認知科学会, 人工知能学会, 日本教育工学会, AERA, AACE 各会員.



井出有紀子

昭和 42 年生. 平成 3 年青山学院大学大学院理工学研究科修士課程修了, 同年日本電気 (株) に入社. 現在 NEC C&C メディア研究所勤務. 教育システムの研究開発に従事. 平成 10 年日本教育工学会論文賞受賞. 電子情報通信学会, 日本認知科学会, 日本教育工学会各会員.



鈴木 栄幸 (正会員)

昭和 38 年生. 昭和 63 年慶應義塾大学大学院社会学研究科修士課程修了, 同年日本電気 (株) に入社. 平成 6~7 年米国 IRL (Institute for Research on learning) 訪問研究員を経て, 現在 NEC C&C メディア研究所勤務. 教育システムの研究開発に従事. 平成 5 年, 平成 9 年日本認知科学会研究分科会発表賞, 平成 10 年日本教育工学会論文賞受賞. 電子情報通信学会, 日本認知科学会, 日本心理学会, 日本教育工学会, AERA, AACE 各会員.