

# 個人進度別教育支援システム MESIA

玉 城 幹 介<sup>†</sup> 桑 原 恒 夫<sup>†</sup> 山 田 光 一<sup>†</sup>  
 中 村 喜 宏<sup>†</sup> 満 永 豊<sup>†</sup>  
 小 西 納 子<sup>††</sup> 天 野 和 哉<sup>††</sup>

CAI と教師が実時間で協調して教育を行うことで、1 人または少数の教師で多数の学習者に対し、従来の集合教育よりもきめの細かい教育を提供する教育支援システムを提案する。本システムでは、課題の説明や演習問題の答え合わせなどほとんどの学習を CAI により自動化し、学習者は教師の存在を意識せず自分のペースで学習を進行させる。ただし、学習中、演習問題を正解できないなど学習を進行できない状態（高原状態）になるとただちに教師から適切な支援を受けることで学習を円滑に進行させることが可能となっている。そのために、MESIA ではネットワークを介して学習者の学習状況をつねに監視しており、学習者が高原状態になるとすぐにシステムがその学習者を抽出し、学習状況を示すいくつかのデータ（演習の解答や質問の履歴）とともに教師へ通知する。教師はそれらのデータをもとに学習者個々の状況を把握して、学習者の理解状況に応じた適切な支援を即座に提供する。このように、MESIA では自動化可能な学習を CAI で提供し、高原状態などで人間の教師の能力を必要とするような場合には、即座に教師にその学習者の情報を渡して学習者を支援する。この結果、教師は教師の支援を必要とする学習者の教育だけに集中することができ、その効率化された分、学習者個々に対しきめの細かい教育を提供することが可能となっている。この教育支援システムの有効性を確かめるために WWW システムを用いて実装し、実教育環境において実験を行った。その結果、1 人の教師で 20 人以上の学習者に対し実時間で学習者個々の学習状況に応じたきめの細かい教育支援を実現できたことを確認した。また、4 人の教師と 40 人の学習者に対して実験後行ったアンケートでは、学習者から従来の集合教育と比較して集中できる、楽しいなど学習効果が高いと評価され、一方、教師からはきめの細かい教育ができたなど教育システムとして高い評価を得た。

## Multimedia Assisted Education System With Individual Student Advance

MOTONORI TAMAKI,<sup>†</sup> TSUNEO KUWABARA,<sup>†</sup> KOUICHI YAMADA,<sup>†</sup>  
 YOSHIHIRO NAKAMURA,<sup>†</sup> YUTAKA MITSUNAGA,<sup>†</sup> NOUKO KONISHI<sup>††</sup>  
 and KAZUYA AMANO<sup>††</sup>

We propose an education system, the multimedia assisted education system with individual student advance (MESIA), which supports teachers working with computer assisted instruction (CAI) in real-time. With MESIA, the teacher does not lecture nor correct students' answers because correction is automated. Students progress with their studies at their own pace with CAI. However, if a student cannot proceed, he or she can be quickly provided with appropriate support by a teacher. For that purpose, MESIA constantly monitors every student via computer networks. If students reach an impasse, MESIA can identify them and refer them to teachers along with their learning data (history of exercise answers and student's questions) in real-time. The teachers examine this to information and can recognize the reasons for the students' mistakes. The teacher can then provide appropriate support. This means that MESIA can support most tasks. When a teacher's ability is needed to support a student, MESIA can immediately provide the teacher with information on that student and convey appropriate support from the teacher to the student. As a result, teachers can concentrate on educating stalled students and can have sufficient time to provide appropriate support. We implemented MESIA with WWW systems and experimented in a real education facility. In the experiment, one teacher was able to provide real-time and appropriate support to 20 or more students. In this case, the teacher's workload was reduced to 29% of the class time. We gave the participating students and teachers a questionnaire that asked them to compare MESIA and conventional classroom teaching. Both teachers and students responded very favorably to the use of MESIA in the classroom.

<sup>†</sup> NTT アクセスサービスシステム研究所

NTT Access Network Service Systems Laboratories

<sup>††</sup> 大阪コンピュータ専門学校

Osaka Computer College

### 1. はじめに

従来の学校や研修などの集合教育では、すべての学習者に対し同一進度で教育を行うため、全員が理解で

きたかどうか学習者個々の状態を確認しながら教育を行うことは困難である。一方、教師が1対1で学習者を指導する個人教授では、理解状態に合わせた教育を行うことが可能であるが、教師数やその稼動が増加してしまい多数の学習者を教育するには効率が悪くなる。

そこで、学習者の理解状態に応じて学習が進行できるように、コンピュータを用いて学習者個々のペースに合わせた教育システムの研究開発が行われてきた。その代表的なものにCAI(Computer Assisted Instruction)がある。CAIでは、学習者がシステムによって提示される教材に従い、学習者の理解速度に合わせて1人で学習を進行させることが可能となっている<sup>1)</sup>。

しかし、学習者だけで学習を進めるため、時には演習をいつまでも正解できないなど学習の進行が困難な状態(高原状態<sup>2)</sup>)に陥ってしまうという問題がある。この高原状態を解消するために、学習者の問題解決過程を監視して、高原状態になった場合に、学習者モデルを用いて適切な教育を行う知的CAI(Intelligent Tutoring System<sup>3)</sup>)に関する研究も行われている。しかし、この方法において学習者の高原状態を解消するためには、学習者の理解状態の正確な把握とそれに基づく適切な支援が必要であるが、現在のCAIではこれを人間の教師ほど適切に行うことは容易ではない<sup>4)</sup>。

一方で近年のネットワークやコンピュータ技術の発展にともなって、教室内または遠隔地の教師や学習者をネットワークで結んで学習や講義を行う教育システムの研究が行われている。これらの教育システムは、学習者が個別に学習を進めるネットワーク型CAIシステムと教師が多数の学習者を同時に教育する講義支援型システムの2種類に大別できる。

ネットワーク型CAIシステムでは、CALAT<sup>5)</sup>に代表されるようにすでにインターネット上で実サービスが始まっているものもある。近年実用化されているネットワーク型CAIシステムでは、学習者は電子メールや掲示板などのコミュニケーション機能を用いて、教師や他の学習者に質問を伝えることができ、その質問に対する回答もオンラインで受け取ることが可能となっている。

このような教師や他学習者とのコミュニケーションの可能性は、スタンドアロン型CAIの問題点であった学習者の高原状態の解消のヒントになりうる。高原状態になった場合に学習者がオンラインで教師や他の学習者からの助けを得て高原状態を解消することが可能となるからである。

しかし、学習者の出す質問の中には自らの状況をつねに適切に表現しているとはいいがたい質問もあり、

また理解状態が悪く質問を発することができない学習者さえ多数いる。また、教師が各学習者の学習状況をつねに把握できる仕組みになっていないので、適時に適切な支援ができないなどの問題がある。

一方で、ネットワークを用いて多数の学習者を教育する講義支援型の教育システムの研究も行われている。ネットワークを用いた講義支援型教育システムには、普段の講義の映像をネットワークを用いて遠隔地に送り講義を行うものや、教師の質問に対する学習者の回答を実時間で処理して講義に役立てるレスポンスアナライザなどがある。特に、近年では、パーソナルコンピュータとインターネットの普及により、教師だけでなく学習者もネットワークに接続された教育環境が実現し、この環境を生かした教育システムの研究がさかんである。それらの研究の中で文献6)~10)は、システム上でまず教師により課題の説明を行い、その説明の後、学習者に演習問題などを出してそれに対する全学習者の反応を常時監視して必要に応じて補足の説明をすることで、学習者個々の理解状況に応じた教育の試みが研究されている。

しかし、これらのシステムにおいて、多数の学習者が同時に学習した場合に、全学習者の理解状態を把握する教師の稼動もそれに比例して増加することが予想される。学習者数が増加すると教師は学習者の理解状態の把握に追われ、その分学習者を教育する時間が削減される。つまり、文献6)~10)のシステムにおいて、学習者数が増加するに従い、個々の学習者の理解状況に合わせた教育を行うことが困難になっていくと考えられる。学習者数の増加に対応しながらも教師の稼動を抑制して、ネットワークの特徴を生かした個々の学習者にきめの細かい教育を提供できる仕組みが必要である。

以上のような問題に対して、著者らはネットワーク型CAIシステムと人間の教師が実時間で協調して教育を行うことで、学習者個々のペースで学習を進行させながら、かつ高原状態になるとただちに教師によりきめの細かい教育を受けられる教育支援システムMESIAを提案する<sup>11)~13)</sup>。MESIAでは定型的な講義をCAIで行うことにより教師稼動を削減する。そして、学習者個々の学習状況をシステムにより常時監視することで、高原状態にある学習者を自動的に抽出し、その学習者の理解状況を示すいくつかのデータとともに教師に提示する。これにより、教師は学習者全員をつねに監視する必要がなく、システムが抽出した高原状態の学習者の監視と教育のみに専念でき、稼動を抑制することができる。また、システムに蓄積され

た学習者の回答などをもとにして、学習者個々の学習状況に応じたきめ細かな教育を行うことができる。

本報告では、まず 2 章において、上述したようにネットワークを用いて多数の学習者に対し 1 人または少数の教師により多数の学習者にきめの細かい教育を行う教育支援システム MESIA のコンセプトについて述べる。

次に 3 章において、提案した教育支援システムを実現するための機能を述べ、4 章においてそのアーキテクチャについて述べる。5 章では、実際に専門学校において行った教育実験について述べる。この実験では、MESIA が当初の目的どおり、教師の稼働を抑制しつつ、学習者個々の理解状態に応じたきめの細かい支援をタイムリーに提供できたことが示された。また、アンケートにより教師と学習者の双方から従来のプログラミング言語の集合教育よりも優れているという高い評価を得た。

## 2. MESIA のコンセプト

MESIA は、1 人または少数の教師により多数の学習者に対し、教師の稼働を従来の集合教育なみに抑えながらも学習者個々の学習状況に応じたきめの細かい教育を実現することを目的としている。

一般に学校や研修などの集合教育においては、まず基本的な知識についてひととおり説明を行う段階と、次にその説明を理解したかどうか演習問題や質問などを通して学習者の反応を見ながら学習者の理解状態に合わせて説明を行う段階の 2 つがある。そして、これらの段階を交互に繰り返しながら学習が進められる。

集合教育において、最初の段階は、全学習者に対し教師がいっせいに説明を行うため、どの学習者に対しても同じ教育を行う。次の段階では各学習者の理解状態を把握しながらその状態に応じて、時には学習者ごとに説明方法を変えたりしながら教育を行う必要がある。したがってこの段階では、学習者の理解状態を把握するための高度な教育的判断とその状態に応じて教育するための経験と能力が必要とされる。現在のところ CAI などの自動化技術を用いて人間の教師なみの質の高い教育を行うことは難しく、人間の教師による柔軟な対応が適している。

このように、通常の集合教育では 1 人の教師がこの 2 つの段階をすべて受け持つ (図 1)。このため、学習者数が増加するに連れ、教師は学習者の理解状態の把握のための時間を十分にとることが難しくなり、実時間で全学習者に対しきめ細かな教育を行うことは困難になると考えられる。

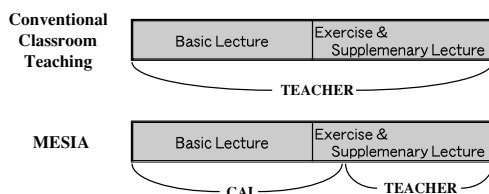


図 1 CAI と教師の協調による教育

Fig. 1 Education tasks shared by teacher and CAI.

これに対して MESIA では、基本事項の説明といった定型的教育を CAI を用いて自動化し、教師が学習者 1 人 1 人の理解状態に応じた教育に専念できるようにする。さらに、ネットワークを用いて高原状態の学習者の自動抽出や、それらの学習者の理解状態を判断するためのデータ (演習問題の解答など) の収集を行い、それらの情報を教師が随時参照できるようにすることで、学習者が高原状態になると教師が即座に学習者個々の理解状態を把握して、きめ細かな教育を行うようにする。このようにして教師の稼働を高原状態の学習者の教育にのみ集中することで、1 人または少数の教師により多数の学習者に対しきめ細かな教育を提供可能とする。

## 3. MESIA の機能

### 3.1 MESIA の学習手順

MESIA における学習の進行過程を図 2 に示す。学習者は、基本的に MESIA の CAI 機能を用いて個人のペースで学習を進行する。MESIA ではこのシステムでの学習の様子をネットワークを介して実時間で常時監視して、高原状態となった学習者を自動的に抽出する。

抽出された学習者は、演習問題単位またはその誤りの原因別にグループ化され、このグループに対し教師が支援を行うことで、各学習者の高原状態を解消する。支援を受けた学習者は再び CAI の学習に復帰するが、まだ十分に学習課題を理解していない場合は再度高原状態になることもあり、この場合には再び抽出され教師の支援を受けることになる。演習問題を正解するまでこのサイクルを繰り返すことで、最終的に学習者は課題を理解して次の課題へ学習を進行する。

### 3.2 MESIA の学習支援機能

前述したような学習を実現するために MESIA では次の機能を用意している。

- (1) 高原状態の学習者の自動抽出
- (2) 高原状態の学習者のグループ化
- (3) 学習状況分析支援
- (4) 学習支援

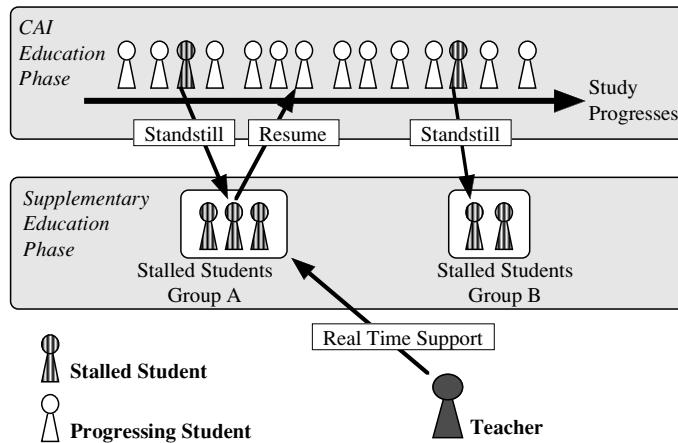


図2 MESIAの教育の進行過程

Fig.2 Education process in MESIA.

#### (5) 複数教師による教育分担

上記各機能について以下で説明する。

##### (1) 高原状態の学習者の自動抽出

学習者の高原状態を自動的に抽出することで、教師は支援の必要な学習者を抽出するために全学習者の学習状況を逐一調べる必要がなくなり、その分学習者個々の理解状態の把握や支援に時間をかけることが可能となる。現在、MESIAでは高原状態の抽出条件を下記の2項目とし、どちらかの条件が成立した場合に抽出を行う。

##### ● 制限時間による抽出

演習問題ごとにその難易度に応じて制限時間を求め、この時間を超えても正解できない学習者は高原状態として抽出される。教師から支援を受けた後、再び制限時間を超えると再度、高原状態として抽出されるが、支援後は最初の制限時間よりも短くてすむと考えられるので、漸減して早めに抽出を行う。

##### ● SOSによる抽出

学習者の中には、制限時間以内でもどのように解答してよいか分からない者もいる。そこで、学習者が問題を解答できないと自ら判断したときには、自らSOSボタンを押して、制限時間前でも強制的に高原状態として抽出する。

制限時間の超過を抽出条件の1つとしているため、MESIAでは演習の問題形式として、数語を空欄に記述する空欄補充型問題を採用している。空欄補充型問題では、数語を正確に入力しなければ正解とならないため、選択式問題のように偶然に正解する可能性は非常に低い。したがって、学習者が高原状態となった場合、自力で問題を正解することができず必然的に制限

時間を超過することとなり、高原状態の学習者を確実に抽出できる。

ただし、このシステムによる高原状態の抽出は予備的なものであり、学習者が高原状態かどうかの最終的な判断は解答内容や解答回数なども考慮して教師が行う。教師は、高原状態であると判断した場合には後述する支援機能を使って学習者の高原状態を解消し、高原状態ではないと判断した場合には学習者に対し支援を行わず、システムの高原状態のリストに学習者を残したまま別の学習者への支援に移行する。

##### (2) 高原状態の学習者のグループ化

教師の稼働を効率化するために高原状態として抽出された学習者を2段階の選別を行って、教師が複数の学習者に対し同時に支援が行えるようグループ化する。まず1段階目の選別は、学習者が現在取り組んでいる演習問題を基準にしてシステムにより自動的に行われる。演習問題を基準にしたのは、教師がその演習問題で必要とされる知識をもとに一律で学習者を分析しやすいためである。

さらに、1段階で分けられたグループに対し、教師が学習者の演習問題の解答や小テストの結果などを参考に、それぞれの学習者の知識の欠如や誤って獲得した知識などの誤りに至った原因を教師が推測して、同じような知識の状態にあると判断した学習者同士をシステム上で選択することで選別が行われる。

ただし、この2段階目の選別を行うかどうかは教師の判断に依存しており、運用によっては、グループ化は1段階目までとし、後はそのグループ内の個々の学習者に対し個別に支援を行うことも考えられる。教師による支援が終了すると、学習者はCAIによる学習へ自動的に復帰し、グループは消滅する。

表 1 学習者の学習支援機能の種類  
Table 1 Student learning support functions.

Type	Performer	Support Function
Hint	CAI	Advice on wrong answer
Help/More	CAI	Guide to correct answer
FAQ	CAI	Help to understand concept
Subtest	CAI	Check to acquire basic knowledge
Online Message	Teacher	One-way message from teacher to student (s)
Meeting/ Video Conference	Teacher	Bidirectional message between teacher and student (s)
Question	Teacher	Answer to student's question

### (3) 学習状況分析支援

下記に示すような学習者の学習状況の情報を検索可能とすることで、教師が即座に学習者の理解状態を把握して、学習者に合わせたきめの細かい教育を行うことが可能となる。

#### ● 学習解答履歴

演習問題の解答を一覧表示し、かつ、時間順で表示したものが解答履歴である。この情報をもとに学習者の解答の変遷を把握することが可能である。

#### ● 質問及び解答履歴

学習者が行った質問やその質問に対する教師の応答の履歴を参照することができる。学習者の質問や応答の履歴を参照することで、教師は学習者がどのようなことを理解できないのか、他の教師からどのような支援を受けているのかといった学習者の理解状態を分析するための情報として利用することができる。

#### ● 小テストの解答結果

小テストは基礎的な知識を確認するためのドリル機能である。その小テストの解答結果が、学習者の学習状況を知るための情報の1つとして教師に提供される。この解答結果により、教師は各演習問題において学習者がどの知識が不足しているのかを認識でき、その学習者に対しどのような支援を行うかの指針にすることができる。

### (4) 学習支援

MESIAには、システムによる支援と教師による支援の2種類の学習支援がある。どちらも学習者が演習問題を解答しているときに提供される。システムによる学習支援には、“HELP/MORE”、“ヒント”、“FAQ”、“小テスト”(Subtest)の4種類がある(表1)。一方、教師による支援には、“質問・応答”、“オンラインメッセージ”、“面談/ビデオ会議”の3種類がある。ただし、“オンラインメッセージ”と“面談/ビデオ会議”は学習者が高原状態となってシステムにより抽出されたときのみ提供される。

“HELP/MORE”は問題を解く初期段階での指針を与え、“ヒント”は学習者の解答に対しよくある誤答に対するアドバイスやケアレスミスなどを指摘する機能である。“FAQ”はその問題において学習者からよく質問される問いとその回答を集めたものである。

“小テスト”は、各演習問題で必要とされる基礎知識を獲得するための小問題群である。MESIAでは演習問題を応用力醸成のための問題と位置付け、これを解くには通常複数の基礎知識を組み合わせる必要があるように設計してある。小テストはその基礎知識の1つを身につけるための簡単な問題である。

学習者はこの小テストを解くことで、演習問題を解答するために必要な知識を確認しながら学習することができる。なおこの演習問題と小テストは多対多で関連付けられている(1つの演習問題は通常、複数の小テストに関連付けられ、また1つの小テストも複数の演習問題に関連付けられている)。

一方、教師が主体となる学習支援機能の1つとして“質問・応答”がある。これは、学習者が教師に対しテキストの質問を送ることができる機能で、全教師が質問を読むことができ、教師がただちに学習者へ回答を送ることができる。

また、教師が主体となる学習支援機能としては、“オンラインメッセージ”や“面談/ビデオ会議”などの機能がある。この2つの支援機能は、高原状態の学習者を支援する場合に用いられる。

“オンラインメッセージ”は、教師から学習者への単方向のテキストのメッセージによる支援機能である。

一方、“面談/ビデオ会議”の機能は、オンラインメッセージだけでは高原状態が解消できないと教師が判断した場合に用いられる。面談は教室内で教師卓に学習者を呼び込んで行う支援で、システムとしては学習者を呼び出す機能を提供する。また、ビデオ会議は遠く離れた学習者に対して用いられる支援機能である。

### (5) 複数教師による教育分担

MESIAはネットワークを用いた教育支援システム

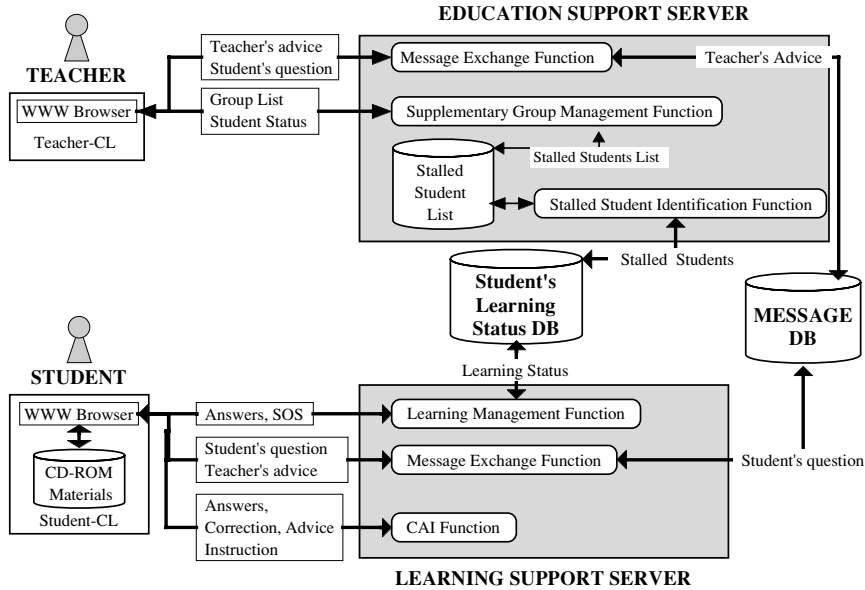


図3 MESIA システム構成  
Fig. 3 MESIA system architecture.

であるため場所の制約がない。このため、従来の集合教育よりも多数の学習者を対象に教育を行うことが可能である。そこで、学習者数の増加に柔軟に対応するため、MESIA では複数の教師が高原状態となった学習者のグループに対し、分担して教育を行うことを可能としている。これは複数の教師が MESIA を同時に利用していても、1つのグループは同時に1人の教師からしか選択できないように排他制御を行うことで実現する。ただし、教師により選択されているグループの支援を中断すると排他制御のロックが解除され別の教師により選択することが可能となる。

#### 4. MESIA のアーキテクチャ

##### 4.1 WWW システムによる MESIA の実現

MESIA では下記の2つのサーバで構成されている(図3)。

- 教育支援サーバ(ESS: Education Support Server)  
高原状態の学習者の自動抽出機能, 教育支援の通信機能
- 学習支援サーバ(LSS: Learning Support Server)  
ネットワーク型 CAI サーバの基本機能, 通信機能

MESIA では、将来的に LSS 以外の CAI サーバと ESS が連携することを考慮して2つのサーバで構

成されている。今回、LSS と ESS は学習履歴データベース(LSDB: Learning Status Database)とメッセージデータベース(MDB: Message Database)を中心に連携しており、その仕組みはお互いのテーブルを相互に定期的に参照するという簡易な方法で実現されている。したがって、他の CAI サーバと ESS を連携させる場合も、同じように DB 参照や少ない修正で連携させることができると考えられる。

また、本システムでは WWW アーキテクチャを採用して、マルチメディア教材の多い CAI に対応しやすくしたり、どこでも学習できる環境を構築しやすくしている。

図4に教師用のインタフェース(Teacher-CL)を示す。Teacher-CL は5つのフレームで構成されている。

- (1) システムメニューフレーム … 学習者リストの更新時間の変更, ログアウトなど ESS のシステムメニューを提供
- (2) 高原状態グループリストフレーム … 高原状態の学習者のグループリストを表示
- (3) 学習者リストフレーム … (2) で選択されたグループの学習者リストを表示
- (4) 詳細情報フレーム … 各学習者の詳細な学習状況を表示
- (5) メッセージ送信フレーム … 支援メッセージの送信

図5に学習者用のインタフェース(Student-CL)

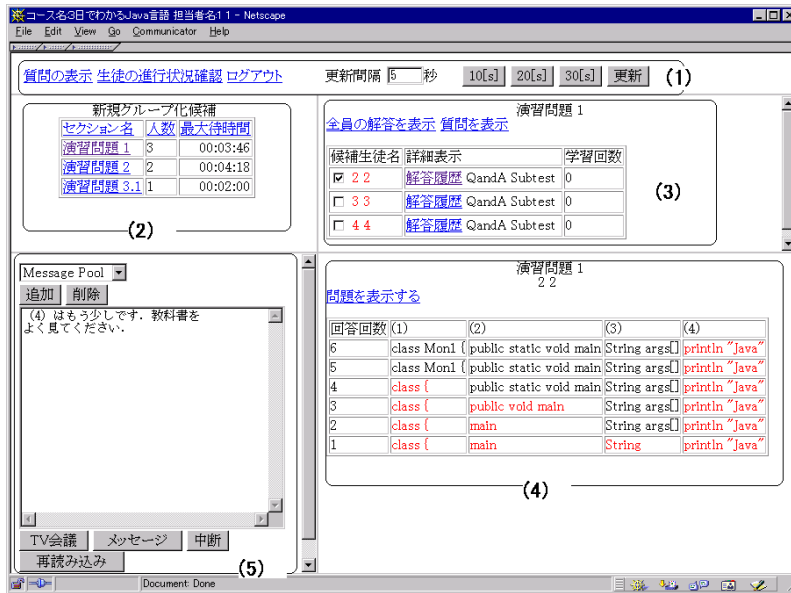


図4 教師用ユーザインタフェース  
Fig. 4 Teacher's client user interface.

を示す。Student-CLは2つのウィンドウを用い、1つはメインウィンドウで3つのフレームで構成されている。もう1つはメッセージウィンドウで1つのフレームで構成されている。

#### (i) メインウィンドウ

- (1) メッセージ履歴フレーム・・・教師の支援メッセージや質問の回答などを保持し一覧で表示
- (2) システムメニューフレーム・・・学習の進行、FAQ、質問などのシステムメニューを提供
- (3) CAIフレーム・・・課題の解説の表示、演習問題の解答入力などの学習機能を提供

#### (ii) メッセージウィンドウ

- (4) メッセージフレーム・・・新しいメッセージが到着するとメインウィンドウに優先して表示

### 4.2 各機能の実装

#### 4.2.1 学習状況の監視

MESIAでは、学習者の学習の進行状況や演習問題の解答内容など学習にかかわる情報は、Studnet-CLからLSSに通知して、学習者単位でLSDBにその情報を保存することで各学習者の学習状況を監視している。

#### 4.2.2 高原状態になった学習者の自動抽出

学習者の学習状況は実時間でLSDBに保存され、制限時間を越えた学習者は高原状態学習者抽出機能

(SSIF: Stalled Student Identification Function)により、高原状態として抽出する。

一方、MESIAでは学習が進行できないと学習者自身が判断したときには、学習者がSOSを発信することで、Student-CLからLSSを介してLSDBにSOSを記録し、この記録をもとにSSIFが学習者を高原状態として抽出する。上述のように抽出された学習者は、さらに演習問題を基準として追加されるグループが決定されて、高原状態学習者DB(SSDB: Stalled Student Database)に保存される。Teacher-CLはこのSSDBから高原状態の学習者のリストを検索して、高原状態グループリストフレームに表示する。

#### 4.2.3 学習者の状態の把握

高原状態グループリストフレーム(2)のグループリストからグループを1つ選択すると学習者リストフレーム(3)にそのグループの学習者全員が表示される。さらにその各学習者を選択すると、詳細情報フレーム(4)に学習者の解答結果や質問などが時間順にすべて表示される。

#### 4.2.4 オンラインメッセージによる高原状態の解消

Teacher-CLで、各学習者の理解状態を把握した教師は、メッセージ送信フレーム(5)からMESIAのメッセージ送信機能を用いてリアルタイムで高原状態の学習者を支援する。

送信されたメッセージは、MDBにすべて蓄積される。MDBはMESIAから自由に参照できるので、教

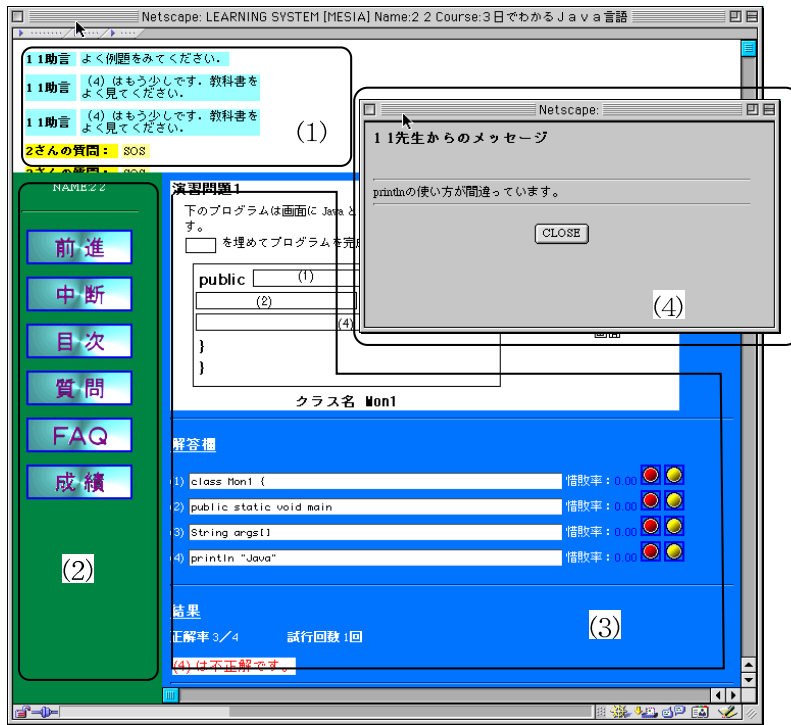


図5 学習者用ユーザインタフェース

Fig. 5 Student's client user interface.

師は以前作成したメッセージを再利用することが可能である。

教師から送信されたメッセージは LSS を介して、Student-CL のメッセージウィンド (図 5 の (4)) に、メインウィンドウよりも優先して表示される。また、送信されたメッセージは Student-CL のメッセージフレームに保持されるので、学習者はいつでも教師のメッセージを参照することができる。

## 5. 教育実験

### 5.1 実験条件

MESIA の有用性を確認するため、実際の教育環境である専門学校においてプログラミング言語 Java を題材として教育実験を行った。

#### (1) 教材の内容

市販されている教科書<sup>14)</sup>をもとに音声付きの動画などのマルチメディア化した教材を作成した。その教科書はクラス、インスタンス、継承、制御文、パッケージ、インタフェース、スレッド、アプレットなど Java 言語の基礎的文法を網羅した本であり、複数の大学や専門学校で採用されている標準的な難易度の教材である。実際に用いた教材の演習問題の例を図 6 に示す。

#### (2) 被験者の知識と実験の規模

今回の実験の被験者は、コンピュータ専門学校入学初年度の学習者 45 人とその学校でプログラミング教育を専門とする教師 4 人である。学習者は全員 Java 言語の知識をまったく持たない。実験では 45 人の学習者を重複しないように午前と午後の 2 クラスに分割し、3 人の教師を 1 日ずつ、1 人の教師に残り 3 日を割り当てて、全部で 6 日間の実験を行った。

#### (3) 実験の形態

同じ教室内に学習者と教師を集め、LAN で接続されたコンピュータを 1 人に 1 台ずつ割り当てて実験を行った。

#### (4) 教師の支援方法

学習者は MESIA を用いてのみ学習を行うこととし、演習問題は必ず正解するまで継続することとした。教師による学習者への支援方法としては、1 つの教室内で実験を行ったため支援方法の 1 つであるビデオ会議による支援は行わず、オンラインメッセージや面談形式での支援を教師の判断により行った。

### 5.2 実験結果

実際の教育環境下で MESIA による教育は全体的にスムーズに進行した。全実験時間は 1 日 6 時間の 6 日間で延べ 36 時間 (ただし学習者は 1 日 3 時間なので



## 演習問題 3.2(1)

下のプログラムは画面に 5.2 引く 3.1 の結果を表示するためのプログラムですが、 部分が未完成です。 を埋めてプログラムを完成させなさい。

```
public class AskQ {
    public static void main(String args[]){
        double x,z;
        x=5.2;
         ①
        System.out.println("kotae =" +z);
    }
}
```

クラス AskQ

```
public class KakQ {
    public  ② crs( ③) {
        double b,c;
        b=3.1;
        c=a-b;
         ④
    }
}
```

クラス KakQ

```
> kotae =2.1
```

画面

## 解答

- ① z=KakQ.crs(x);
- ② static double
- ③ double a
- ④ return c;

図 6 演習問題サンプル

Fig. 6 Example exercise.

延べ 18 時間)であった。6 日の間に学習者の能力に応じて各学習者の進度が分散し、最終的に 45 人中 9 人の学習者が全項目の学習(教材と演習問題の総項目数 105)を終了し、学習者の平均では 70 項目を終了した。

学習者が高原状態になった後に教師から支援を受けるまでの時間、教師の稼働率および教師の支援方法について計測を行った。また、実験終了後、教師と学習者それぞれに対し 5 段階評価のアンケートを実施した。

## (1) 学習者の支援待ち時間

MESIA では、学習者が高原状態になるとすぐに教師から支援があるわけではない。教師が他のグループの支援を行っていたり、同じグループでも他の学習者の支援を行ったりしている場合、もしくはその学習者の演習問題に対する解答などを参照しながらメッセージの内容を考えている間などは、学習者は支援が受けられるまで待っていないかにならない。そこで、高原状態になってから学習者が支援を受けるまでの待ち時間を計測した。

学習者が高原状態として抽出された回数は全部で 374 回、このうち SOS での抽出が 22 回、制限時間を超過してシステムにより抽出された回数が 352 回、そして実際に教師が支援を行ったのは 336 回であった。高原状態として抽出されてから支援を受けるまでを待ち時間とし、その全学習者の総待ち時間を抽出された回数で除すると、学習者の平均待ち時間は 3 分 56 秒であった。この待ち時間に対する学習者の評価は、“長い” 8.1%、“やや長い” 48.7%、“ちょうど良い” 35.1%、“やや短い” 8.1%、“短い” 0%であり、“やや長い”、“ちょうど

良い”、“やや短い”の 3 つを合わせると、91.9%となる。実際の待ち時間が平均 3 分 56 秒で、91.9%の学習者がそれほど長い待ち時間と考えなかったことから、待ち時間としては許容範囲であったと考える。

## (2) 教師の稼働率

教師が高原状態にある学習者のグループを選択した時間を支援の開始時間、このグループの全学習者に対し支援を行ってグループを解消した時間を支援の終了時間とし、この開始と終了の間を教師の稼働時間と定義する。実際に、この支援作業を行った回数は 336 回であり、その延べ作業時間は 10 時間 21 分であった。総実験時間が 36 時間であるから、教師の稼働時間の割合は総実験時間の 29%であった。このことから MESIA を用いることで、1 人の教師で 20 人またはそれ以上の学習者に対し、理解状態に応じたきめ細かな教育を行ったり、空いた時間を他の作業に割り当てたりするための時間的余裕ができたと考えられる。

## (3) 教師の支援方法

教師の支援方法として、オンラインメッセージのほかに面談方式を教師は選択することができたが、実験全体を通して選択された支援方法は、オンラインメッセージのみであった。同じ教室に学習者もいて簡単に呼び出すことが可能であったにもかかわらず、オンラインメッセージだけを選択したことや、学習者のアンケートによる評価では、“メッセージが有効” 48.7%、“やや有効” 21.6%、“普通” 18.9%、“やや無効” 2.7%、“無効” 2.7%であったことから、テキストだけの支援だけで十分な支援効果があったと考えられる。また、この学習者のメッセージに対する評価から、人間の教

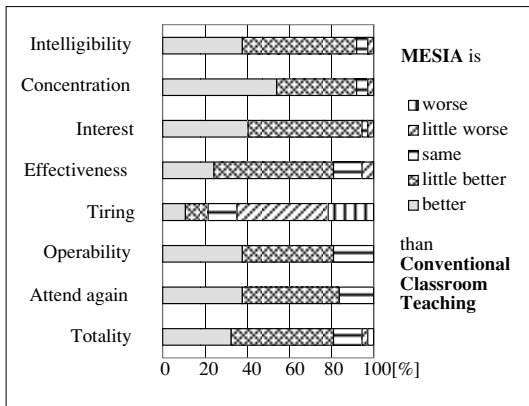


図7 MESIAに関する学習者のアンケート結果  
Fig. 7 Questionnaire for students.

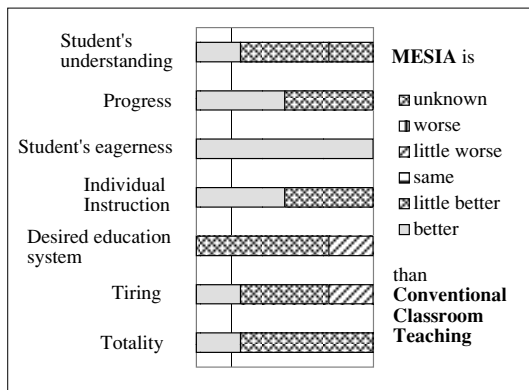


図8 MESIAに関する教師のアンケート結果  
Fig. 8 Questionnaire for teachers.

師による支援が非常に求められていることが分かる。

#### (4) 教師や学習者へのアンケート結果

学習者と教師に、MESIA と従来の集合教育を 5 段階で評価し比較するアンケートを行った。その結果を図 7、図 8 に示す。学習者は、“学習が分かりやすいか (Intelligibility) ”、“集中できるか (Concentration) ”、“学習が面白い (Interest) ”、“学習の効果があるか (Effectiveness) ”、“操作性は良いか (Operability) ”、“また学習したいか (Attend again) ”のすべての設問において 80.0%以上が従来の初歩的なプログラミング言語学習の集合教育に比較して優れていると答えた。

一方、教師は、“学習者の理解度は高いか (Student's understanding) ”、“学習者の学習進度は早い (Progress) ”、“学習者は熱心に学習するか (Student's eagerness) ”、“望むような教育ができたか (Desired education system) ”の設問において、4 人中 3 人以上が通常の集合教育に比べ、“優れている”、“やや優れている”と評価した。個人別にきめ細かく支援できたか

という設問に対しても、教師全員が、“できた”、“ややできた”と回答し、MESIA で 1 人の教師により多数の学習者に対しきめの細かい教育が実現できたことが示された。

“システムの総合評価 (Totality) ”では、学習者は 81.1%が“良い”または“やや良い”と答え、教師は 4 人全員が有効またはやや有効と評価し、MESIA が実際の教育支援環境において、従来の初歩的なプログラミング言語学習の集合教育よりも有効であることが示された。

また、システムに対しての自由形式のアンケートでは、教師から空欄補充形式の問題だけでなく、長文記述式問題にも対応できるようにとか、学習者側から教材の説明画面や専門用語などを簡単に参照できるようにして、復習しやすくして欲しいなどのシステム改善要望があり、今後の検討課題としてあげられた。

#### 5.3 高原状態の抽出方法に関する他の研究との比較

Hayashi<sup>15)</sup>らの研究において、高原状態時にシステムから送られるアドバイスに対する評価を、その抽出のタイミングにフィードバックさせることで、その抽出のタイミングを学習者個々に適応させることが提案されている。

しかし、この方法において学習者の入力が必要と期待されることが前提となっており、学習意欲のない学習者や、熟考するタイプでなかなか入力しないタイプの学習者である場合、高原状態の抽出が困難になることも考えられる。

一方、MESIA では全学習者に対し同じ制限時間を適用して高原状態の抽出を行っている。この方法では、全員に対し一律に同じ条件で抽出を行うため、ときには抽出が早すぎたり、遅すぎたりといった抽出時期の問題が考えられる。しかし、高原状態の学習者は必ず制限時間を超えるため、システムに対し何ら入力を行わない場合でも抽出することが可能である。また、本システムでは SOS 機能により、遅すぎる抽出に対しては抽出のタイミングを学習者の意思で早めることができる。逆に、早すぎる抽出に対しては解答の回数や解答内容なども参考に支援メッセージの送信を教師の判断によって高原状態ではないとして、先送りすることが可能である。

これは特に教師が学習者の個性 (性格) を熟知しているような教育環境 (学校など) では、特に有効であろう。このような学習者の個性まで考慮した教育を、現在の AI 技術だけで実現することは困難である。このように、MESIA においては、その抽出のタイミングを学習者と教師という教育の当事者同士によって調

節することができる。

## 6. ま と め

本稿では、従来の集合教育では難しかった学習者個々の理解状態に応じたきめの細かい教育を実現することを目的として、CAIと教師が協調して教育を行うことができる教育支援システム MESIA を提案した。

MESIA では、学習課題の解説や問題の答え合わせなど定型的で自動化が容易な作業をシステムの CAI 機能で処理し、従来の CAI システムでは自動化の難しい学習者の高原状態の解消や個々の学習者の理解状態の把握などの高度な教育的判断を必要とする作業を人間の教師が行う。このように、教師が定型的な作業から解放されることで、教師はシステムが自動的に抽出する学習者の理解状態の把握や高原状態の解消のための教育だけに集中することができ、その結果、従来の集合教育よりも個々の学習者に対してきめの細かい教育を行うことが可能となっている。

実際に WWW システムを用いて MESIA を実装し、その有用性を確かめるために専門学校の実教育環境においてプログラミング言語を教材として評価実験を行った。その結果、教師の稼働率はわずか 29% となり、今回用いたプログラミング言語の基礎的教育において、MESIA を用いることで 1 人の教師により同時に学習者 20 人にまたはそれ以上の学習者に対しきめの細かい教育が実時間で提供可能であることが示された。

また、学習者に対するアンケートでは、従来のプログラミング言語の集合教育と比較して、学習者の熱心さや集中度、分かりやすさ、学習効果などの点で優れていると評価された。一方、教師に対するアンケートでは学習者個々に応じた教育が可能であるという評価を得、当初の目的どおりに従来の集合教育よりきめの細かい教育が実現できたと考えられる。以上のように、実際のプログラミング言語の教育現場でも MESIA が有効な教育が行えることが実証された。

今後の検討課題としては、MESIA の適用範囲の明確化や教師から要望のあった自由記述式問題への対応、空欄補充型問題以外の選択式問題やシミュレーション型問題などにおける高原状態抽出方法、使いやすい参照機能の追加などがあげられる。

## 参 考 文 献

- 1) 木村捨雄：センタ方式による CAI，電子情報通信学会論文誌，Vol.71, No.4, pp.372-379 (1988).
- 2) 大須賀節雄，有川節夫，波多野誼余夫ほか：知識科学の展開，オーム社 (1996).

- 3) 溝口理一郎：知的教育システム，情報処理，Vol.36, No.2, pp.177-187 (1995).
- 4) 清水康敬，赤堀侃司，市川真一，中山 実，伊藤鉦二，永岡慶三，岡本敏雄，吉崎静夫，近藤勲，永野和男，菅井勝雄：教育工学の現状と今後の展開，日本教育工学学会論文誌，Vol.22, No.4, pp.201-214 (1999).
- 5) 仲林 清，小池義昌，丸山美奈，東平洋史，福原美三：WWW を用いた知的 CAI システム CA-LAT，電子情報通信学会論文誌 (D-II)，Vol.80, No.4, pp.906-914 (1997).
- 6) 片山 薫，上林弥彦：能動データベースを利用した遠隔講義のための講義支援，電子情報通信学会論文誌 (D-I)，Vol.82, No.1, pp.247-255 (1999).
- 7) 石内秀和，林 俊浩，林田行雄，江藤博文：情報処理演習のための統合支援環境の開発，電子情報通信学会技術研究報告 (ET96 114-136)，Vol.96, No.578, pp.25-32 (1997).
- 8) 下条真司，宮原秀夫，松本範久：分散処理環境における教育支援通信システムの設計・開発，電子情報通信学会論文誌 (D-I)，Vol.73, No.8, pp.693-701 (1990).
- 9) 岡本敏雄，稲葉晶子，榎場泰孝：分散環境におけるグループ学習支援のための汎用フレームワークの研究，日本教育工学雑誌，Vol.20, No.2, pp.109-122 (1996).
- 10) 藤原祥隆，松西年春，岡田信一郎，大鎌 広，後藤寛幸，黒丸鉄男：プログラミング演習のための階層分散処理システムの設計と評価，電子情報通信学会論文誌 (D-II)，Vol.78, No.11, pp.1701-1709 (1995).
- 11) 桑原恒夫，玉城幹介：マルチメディアを用いた個人進度別教育支援システムの提案，1996 年電子情報通信学会総合大会，D-724 (1996).
- 12) Tamaki, M., Kuwabara, T. Yamada, K. and Nakamura, Y.: Network-based Education System Designed to Allow Individual Student Progress and Teacher Efficiency, *Asia Pacific Computer Human Interaction '98*, pp.89-94 (1998).
- 13) 玉城幹介，山田光一，桑原恒夫，中村善宏：個人進度別教育支援システム (MESIA) の基本構成，1999 年電子情報通信学会総合大会，d-15-4 (1999).
- 14) 桑原恒夫：3 日で解る Java，共立出版 (1997).
- 15) Hayashi, T. and Yano, Y.: Kanji Learning: An Environment ICAI System for Kanji Learning, *Trans. IEICE*, Vol.77, No.1, pp.80-88 (1994).

(平成 11 年 9 月 30 日受付)

(平成 12 年 6 月 1 日採録)



玉城 幹介

平成 4 年琉球大学電子情報工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。現在、同社アクセスサービスシステム研究所勤務。コンピュータとネットワークを用いた教育支援システム、知識交流支援システムの研究開発に従事。著書「1日で解る HTML」。電子情報通信学会会員。



中村 喜宏(正会員)

平成 3 年徳島大学工学部電気工学科修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。現在、同社アクセスサービスシステム研究所勤務。知的インタフェース、知的教育システムの研究に従事。電子情報通信学会会員。



桑原 恒夫

昭和 51 年東北大学工学部電気工学科卒業。同年日本電信電話公社入社。現在、同社アクセスサービスシステム研究所勤務。コンピュータとネットワークを用いた教育支援システム、知識交流支援システムの研究に従事。著書「1日で解る C 言語」、「3日で解る Java」、「1日で解る HTML」、「1日で解る Visual Basic」。工学博士(東北大学)。電子情報通信学会、日本教育工学会、日本認知科学会、感性工学会各会員。



満永 豊(正会員)

昭和 52 年東京工業大学理工学研究科機械工学専攻博士前期課程修了。同年日本電信電話公社入社。現在、同社アクセスサービスシステム研究所勤務。光ファイバケーブル設計法と信頼性、通信システム保守エキスパートシステムの研究を経て、オブジェクト指向エンドユーザコンピューティングプラットフォームの研究に従事。工学博士(東京工業大学)。電子情報通信学会会員。



山田 光一

平成 6 年横浜国立大学大学院博士前期課程修了。同年日本電信電話(株)入社。現在、同社アクセスサービスシステム研究所勤務。コンピュータとネットワークを用いた遠隔教育支援システム、知識交流支援システムの研究に従事。電子情報通信学会会員。



小西 納子

昭和 57 年大阪コンピュータ専門学校卒業。同年学校法人西沢学園大阪コンピュータ専門学校入社。現在、同学校においてコンピュータ関連の教育に従事。



天野 和哉

昭和 60 年大阪コンピュータ専門学校卒業。同年学校法人西沢学園大阪コンピュータ専門学校入社。現在、同学校においてコンピュータ関連の教育に従事。