

Aroe - Web プログラミングの学習に適した Web 技術統合環境

長 慎也[†], 兼宗 進[†]

一橋大学[†]

東京都国立市中 2-1

{cho,kanemune}@cc.hit-u.ac.jp[†],

概要

Web プログラミングの学習に適したプログラミング言語「Aroe」を提案する。Aroe は、クラスベースのオブジェクト指向言語である。Aroe を用いると、Web プログラミングに必要な言語を統合的に扱うことができる。例えば、Aroe のプログラムには HTML や SQL を直接埋め込むことができ、Web サーバ上の動作と、Web ブラウザ上の動作を、両方とも Aroe で記述することが可能である。このような特徴から、Web ブラウザ上で手軽にプログラムを開発することが可能である。本稿では Aroe の概要を紹介する。また、従来 PHP などの言語で行われてきた Web プログラミングの授業の問題点を Aroe で改善できることの検証を行う。

1 はじめに

インターネットの普及により、大学等におけるプログラミングの授業においても、Web プログラミングの重要性が認識されるようになった。

現在、多くの授業では Java[1] や PHP[2] などの言語が用いられているが、これらの言語では Web 画面を記述する HTML 言語やデータベースへの問い合わせを行う SQL 言語など、意味や構文が異なる言語を書く必要もあり、学生にとって難易度が高いという問題が存在した [3]。

そこで我々は、Web 画面の記述やデータベースへの問い合わせをプログラミング言語から統合的に行えるプログラミング言語とその環境「Aroe」を提案する。

Aroe - Programming Language for Web Programming Learning. Shinya Cho[†], Susumu Kanemune[†]
Hitotsubashi University[†]

2 プログラミング環境 Aroe

2.1 言語仕様

Aroe[4] は、クラスベースのオブジェクト指向言語である。1つのソースファイルは、1つのクラス定義に対応づけられており、メソッドの定義、属性（インスタンス変数）の定義から構成される。Aroe の言語仕様を図 1 に示す。なお、メソッドや属性の定義部分、if 文などの制御文の文法は省略してある。

言語 Aroe の特徴は次のようなものがある。

- オブジェクトを生成するための XML 式がある。XML や HTML に類似した書式をもつ。
- 文字列や要素へ値の埋め込みを「#{式}」という形式で行う。式には変数だけでなく任意の式が書ける。
- データベースに問い合わせを行う select 文が

```

文 := (式 ';' ) | select文 | if文 | while文 |
for文 | return文
式 := 比較式 { '=' 比較式 }
比較式 := 算術式 [ ('<' | '>' | '<=' | '>=' |
'!=' | '==') 算術式 ]
算術式 := 項 { ('+' | '-') 項 }
項 := 素 { ('*' | '/' | '%') 素 }
素 := 素頭 { '.' 呼出 }
素頭 := ('( '式 ') ' | 'this' | 定数 | 呼出
定数 := 文字列 | 数値 | XML式 | ブロック
文字列 := "" 要素 ""
XML式 := '<' 型 { 初期化式 } ( '>' | ('>' 要素 '</' 型 '>' ) )
初期化式 := 識別子 '=' 算術式
要素 = { XML式 | 任意の文字列 | 埋込式 }
埋込式 = '#{ '式 '}'
呼出 = 識別子 [ ('( '実引数 ') ' ) [ ブロック ]
実引数 = [ 式 { ',' 式 } ]
ブロック := '{' [ 仮引数 ] { 文 } '}'
仮引数 = ']' 変数宣言 { ',' 変数宣言 } ']'
型 = 識別子 '□'
変数宣言 = 型 識別子
select文 := 'select' from句 文
from句 := 型 識別子 { ',' 型 識別子 }

```

図 1: Aroe の言語仕様 (一部)

言語レベルで定義されている

Aroe のサンプルプログラムを図 2 に示す。ここでは HTML を出力するために Body クラスのインスタンスを生成し、ローカル変数 x, y に代入された値の合計を出力している。

```

int x=2;
int y=3;
Body b = <Body>#{x} + #{y} = #{x +
y}</Body>;
print (b);
2 + 3 = 5

```

図 2: Aroe のサンプルと実行結果

2.2 HTML の記述

Aroe は、HTML をオブジェクトとして扱う。HTML で標準的に利用可能なすべてのタグと同名の名前をもつクラス群が、クラスライブラリに用意されている。これらのクラスを「HTML クラス群」と呼ぶ。Aroe を用いて HTML を表示させるには、「HTML クラス群のオブジェクトを作成して、そのオブジェクトの内容を出力させる」という手順を踏む。一般に、オブジェクトを記述する場合には、文字列を記述する場合よりも書式が複雑になるため、なるべくオブジェクトを簡便に書ける仕組みを用意した。Aroe は、オブジェクトを作成する式 (XML 式) の文法を、HTML のタグに似せた文法にして、あたかも HTML を直接書いているような感覚をもたせている。次の文は、Body クラスのオブジェクトを新たに作成し、変数 b に代入する文である。

```
b=<Body/>;
```

この文の「<Body/>」の部分が XML 式である。指定されたクラスのオブジェクトを新たに作成し、そのオブジェクトが式の値となる。

すべての Aroe のオブジェクトは、その要素を複数もつことができる。XML 式を記述するとき、要素を Html タグのように囲むと、その要素をもったオブジェクトが作成される。次の式は、Body クラスのオブジェクトに、要素として文字列 "This is a test" を持たせたものを b に代入している。

```
b=<Body>This is test</Body>;
```

要素には文字列だけでなく、他のオブジェクトも含めることができる。次の式は、Body クラスのオブジェクトに、文字列 "This", Strong クラスのオブジェクト、そして文字列 "test" からなる 3 つの要素を持たせたものを b に代入している。Strong クラスのオブジェクトには文字列 "is" という要素が 1 つ含まれている。

```
b=<Body>This <Strong>is</Strong>
test</Body>;
```

XML 式には、そのオブジェクトの属性を初期化するための式 (初期化式) を含めることができる。次の式は、Body クラスのオブジェクトに、文字列 "This"、Font クラスのオブジェクト、そして文字列 "test" からなる3つの要素を持たせたものを b に代入している。ここで、Font クラスのオブジェクトがもつ color という名前の属性を "red" という値に初期化している。

```
b=<Body>This <Font
color="red">is</Font>
test</Body>;
```

初期化式の右辺には、任意の式が記述でき、属性が初期化される時に評価される。次の式は、先ほどの式と同じ値を b に代入するが、Font クラスのオブジェクトの属性 color の値を初期化する時に、c+"d" という式を評価し、評価値である "red" を代入している。

```
c="re"; b=<Body>This <Font
color=c+"d">is</Font>
test</Body>;
```

図3に表を出力するプログラム例を示す。2行目では、変数 t に Table クラスのオブジェクトを代入している。4,5行目では、Table オブジェクトに要素「<Tr> ... </Tr>」を追加している。「#{ }」で囲まれた部分には、その中の式を計算した内容が挿入される。出力は末尾の print 文で1回だけ行っている。このとき t の内容、つまり Table タグの内容を一気に出力する。閉じタグ</Table>も自動的に出力される。

2.3 データベースアクセスの記述

Aroe には、データベースを操作するための select 文が言語レベルで用意されている。また、レコードを取り出した際に、レコードを Aroe のオブジェクトに変換する操作 (Object-Relation mapping) を自動的に行う。

select 文の使用例を図4に示す。これは、後述の図7で示す PHP のプログラムと同じ動作をする。select 文は次の形式が基本である。

```
int[] a=[500,600,700,800];
Table t=<Table/>;
for (int i=0 ; i<a.length ; i++) {
    t += <Tr><Td>#{i+1}</Td>
        <Td>#{a[i]}</Td></Tr>;
}
print (t);
```

図3: Aroe のプログラム (テーブルの表示)

```
Table t=<Table/>;
select Product p {
    if (p.author == CGI.param('author')) {
        t+=<Tr>
            <Td>#{p.name} (#{p.maker})</Td>
            <Td>#{p.price} 円 </Td>
        </Tr>;
    }
}
print (t);
```

図4: Aroe のプログラム (データベースの利用)

select [テーブル名] [変数] [文]

[テーブル名] からレコードを1個取り出して、[変数] に格納し、[文] を実行する。これをすべてのレコードについて繰り返す。[変数] に格納される値は、レコードがもっている値に基づき自動的に生成されたオブジェクトである。

また、select 文には where 句がなく、代わりに [文] の中で if 文を使ってレコードの抽出を行う¹。

2.4 実行環境

Aroe には、開発環境が標準で用意されている。動作画面を図5に示す。この開発環境自身が Aroe で書かれており、Aroe を設置した Web サーバから Web ブラウザ上にダウンロードされて実行される。つまり、Web ブラウザ上でプログラムの開発、実行が可能である。プログラムを書くと自動

¹実装上は、select 文から SQL を生成して DBMS 問い合わせを行う。このとき、if 文の条件を自動的に where 句に変換している。

的にコンパイルを行い、コンパイルエラーの起きた箇所を指摘する機能をもつ。

Aroe のシステム構成を図 6 に示す。Aroe で書かれたプログラムはサーバ上でコンパイルされ、クライアント側のプログラムとサーバ側のプログラムが同時に生成される。クライアント側のプログラムは JavaScript として生成され、実行時に HTML に含まれる形で Web ブラウザにダウンロードされ実行が行われる。サーバ側のプログラムは Perl の CGI プログラムとして生成される。例えば、図 6 においては A,B,C の 3 つのプログラム (クラス) を作成している。A はクライアント側、C はサーバ側、B は両方で実行されることを想定しているが、どのクラスも Perl と JavaScript が生成されている。図中の灰色で示したプログラムも、実際に使われるかどうかには関係なく生成が行われる。

サーバ側のプログラムは、クライアントプログラムからのイベントを非同期的に実行する。クライアント側との通信は http プロトコルで行う。結果として、Ajax²に相当する非同期的実行環境を実現している。

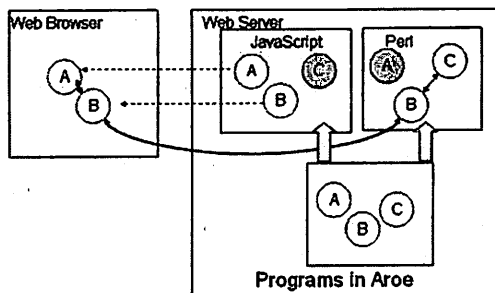


図 6: Aroe のシステム構成

3 Aroe による授業改善

3.1 2005 年度に行ったプログラミング授業

インターネットの普及により、インターネットを利用したオンラインでの商取引である e コマースの重要性が認識されるようになった。一橋大学ではこのような背景から、商学部において各種の e コマース関係の授業を行っている。「e コマースプログラミング論」は、e コマースサイトを構築するプログラミング体験を通して、実際の e コマースシステムの仕組みを学ぶことを目的とした授業である。

2005 年度の授業 [3] では、学生は PHP, SQL, HTML という 3 種類の言語を扱った。個々の言語の難易度は高くないが、ひとつのプログラムファイルに 3 種類の言語を混在して記述する必要があるため、プログラミングの経験が浅い学生 (初学者) には混乱を招いた。

調査の結果、混乱の原因は大きく 2 つの点にあることが判明した。ひとつは HTML と PHP の混在に関する混乱であり、もうひとつは PHP に SQL の問い合わせ文を埋め込む記述に関する混乱である。

実際、授業終了後に受講者に授業の感想を聞いたところ、「Table タグによる表を PHP のプログラムを使って表示させるプログラムに苦労した。Table タグの概念自体が難しい上に、表の要素を print 文で表示させるという手順はなかなか理解できなかった」「SQL からデータを取り出し、そ

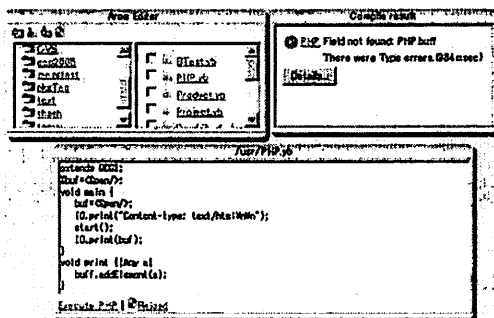


図 5: Aroe の開発環境

² Asynchronous JavaScript + XML の略称。

のデータを参照しながら表を構築していく、というプログラムはさらに難しさが増した」という意見があった。

そこで、以下ではこの授業に Aroe を用いた場合に改善されることが期待される効果を考察する。

3.2 Aroe による改善効果

本節では 2005 年度の授業で学生が書いたプログラムを分析し、仮に Aroe で実習していたとすれば、その間違いを防ぐことができたかどうかを検討する。

3.2.1 「PHP と HTML の混同」の改善

PHP のプログラムは HTML の中に、「<?php>」と「?>」で囲んで記述できる。その中に含まれる PHP のプログラムは、個々の文を特別な記号で囲む必要はない。

```
<html><body>
<?php
  print "こんにちは。";
  print "これは PHP のプログラムです";
?>
</body></html>
```

一方、PHP のプログラムから HTML を出力するときは、HTML を文字列として引用符で囲んで記述する必要がある。

```
<html><body>
<?php
  print "<b>";
  print "HTML で太字にしてみます";
  print "</b>";
?>
</body></html>
```

PHP から出力する HTML を、PHP を記述する部分にそのまま記述することはできない。次の文は下線部分が構文エラーになりコンパイルは失敗する。

```
<html><body>
<?php
```

```
<b>
print "HTML で太字にしてみます";
</b>
?>
</body></html>
```

実習履歴中に、このような「PHP と HTML の混同」に起因するとみられる間違い³は 201 件見つまり、実習履歴中に含まれていたエラー全体の 14% を占めていた。このように PHP の中に HTML を書いた学習者は、プログラムの途中でその HTML を画面に表示したかったものだと推測される。実際、PHP のプログラムは HTML に、「<?php ... ?>」という特殊なタグを使って埋め込む形式になっており、このタグで囲まれた部分の外側においては、HTML を記述するだけでその内容がそのまま表示される。だから PHP の内側でも HTML を書けば同様に表示されるはずだ、という発想をするのは不思議ではない。PHP の内側で HTML を表示したい場合は、print 文などの出力命令を用いて、HTML を文字列として表記しなければならない。このように状況によって HTML の表示方法が変わるのは望ましくない。また、ページ全体の HTML を PHP で表示しようとすると、出力命令を大量に書く必要があり、プログラミング煩雑になってしまう。

Aroe は、HTML に埋め込まれる言語ではない。プログラム上に HTML を書いても、それだけで画面に表示されることは決してなく、明示的に出力命令を用いる必要がある。このルールは Aroe で書いている限り一貫しており、PHP のように状況によって書き方が変化することがなく、学習者の混乱が少なくなると考えられる。また、Aroe は、出力命令を大量に書く必要もない。HTML をオブジェクトとして捉えているため、オブジェクトを構築してから、最後に出力命令を 1 回実行するだけでよい。例えば図 3 においては、Table オブジェクトを作成し、ループの中で Table オブジェクトに列を追加し、最後にできあがった Table オブジェクトを print 文で出力している。

³ 「Parse error: parse error, unexpected '<」という PHP のエラーが発生したプログラム。

3.2.2 「変数の埋め込み失敗」の改善

PHP からデータベースに問い合わせを行う場合には、文字列に格納した SQL 文を DBMS に送信する。

図 8 は授業で使用したプログラム例である。書籍商品テーブル (product) の著者フィールド (author) を指定した条件で検索し、結果として書名 (name)、出版社 (maker)、価格 (price) を出力している。このプログラムでは、1 行目で Web ブラウザから送信されたパラメタである author 項目の値を変数 \$author に格納し、それを 2,3 行目の SQL 文で参照している。

```
$author=$_POST["author"];
$result = mysql_query("select * from
product where author = '$author'");
$rows=mysql_num_rows($result);
print "<Table>";
for ($i = 0; $i < $rows; $i++) {
    $name=mysql_result($result,$i,"name");
    $maker=mysql_result($result,$i,"maker");
    $price=mysql_result($result,$i,"price");
    print "<Tr>";
    print "<Td>$name ($maker) </Td>";
    print "<Td>$price 円 </Td>";
    print "</Tr>";
}
print "</Table>";
```

図 7: PHP のプログラム (データベースの利用)

一方、1 行目の \$author 変数を使わずに、SQL 文に直接 \$_POST["author"] の値を埋める場合には注意が必要である。

次のように書くと、\$_POST["author"] に含まれる引用符「"」の場所で文字列が終了したとみなされ、コンパイルは失敗する。

```
$result = mysql_query("select
* from product where author =
'$_POST["author"]");
```

\$_POST[author] のように引用符を省略することでエラーを避けることも可能であるが、[] の内部が英数字およびアンダースコア _ でなければならぬという制約がある。

このような「変数の埋め込み失敗」に起因するとみられる間違い⁴は 81 件見つかり、全体の 5.6% を占めていた。PHP で書かれた図 7 のプログラムを、Aroe で書くと図 4 のようになる。SQL を文字列で書いたり、変数を埋め込んだりする必要がないので、変数の埋め込みに関する間違いをすることはほとんどなくなる。また、図 7 中の mysql_result を含む 3 行は図 4 では不要になっている。

4 関連研究

HTML 中に言語を埋め込む形態としては、PHP[2]、JavaScript[5]、eRuby[6] など、いくつかのスクリプト言語が知られている。これらの言語では、HTML の構文と区別するために、スクリプト言語の構文を特別な記号で囲み記述する。プログラムを記述する際には、常に HTML とスクリプト言語のどちらを記述しているかを意識しながら記述する必要がある。

一方、Aroe では HTML は Aroe のオブジェクトとして扱われる。プログラム全体が Aroe の構文で統一されるため、複数の言語の違いを意識して記述する必要がないことが大きな利点である。

プログラミング言語からデータベースに問い合わせを行う方式としては、プログラミング言語に問い合わせ文を埋め込む方式 (埋め込み SQL)、問い合わせ文を文字列として記述する方式 (動的 SQL)、問い合わせ文を API として送信する方式 (ODBC) が知られている [7]。これらの方式にはそれぞれの特徴が存在するが、いずれの場合にもプログラミング言語と問い合わせ言語である SQL 言語には意味的、構文的な差異があり、両者の違いを意識して記述することが求められる。

一方、Aroe ではデータベースへの問い合わせが Aroe の言語仕様に統合されているため、構文的な差異がない。複数の言語の違いを意識して記述する必要がないことが利点である。

⁴ 「Parse error: parse error, unexpected ''' , expecting T.STRING or T.VARIABLE or T.NUM.STRING」という PHP のエラーが発生したプログラム。

5 授業活用の可能性

Aroe を利用してどのような授業が実践できるかを、対象となる学習者別に考察し、カリキュラムを提案する。

5.1 HTML 学習での利用

Aroe を使うためには、HTML の知識が前提となる。Aroe のプログラミングを始める前に、Aroe の環境を用いて HTML の学習を行うことは有効である。通常の HTML の授業では、Web ブラウザが HTML の構文エラーを出力しないため、正しい構文を学ぶことが難しい。Aroe の環境で HTML を記述することで、生徒が正しい構文を学ぶことが可能である。

5.2 プログラミング入門科目での利用

Aroe は構文が簡潔であり、オンラインの開発環境が整備されていることから、高校の情報教育や大学の一般情報処理教育での利用に適している。

導入部においては、図 8 のような簡単な算術計算を、GUI 利用して行うプログラムを作成する。GUI 部品の実行値（テキストの内容など）を変更、参照する操作を通じて、変数の概念を体得させることができる。

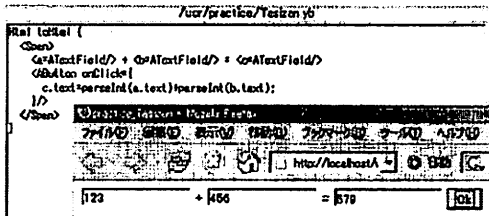


図 8: 最初のプログラム

次の段階では、配列について学習する。配列の内容を Web ブラウザに表示したり、配列の操作（要素の追加、編集など）に応じて画面の内容を動的に変化させたりするようなプログラムも、HTML

に用意されている表やリストの機能を利用して簡単に作る事ができる。

最後に、ファイルの読み書きを利用した簡単なアプリケーションを作る。ファイルは Web サーバに保存されるため、他の学習者とデータを共有することが可能である。この特徴を利用して、図 9 のようなチャットや掲示板、日記などの実用的なアプリケーションを作成することも可能である。

現状の高校の教科書では、BASIC や JavaScript を用いたサンプルが用いられることが多い [8] が、Aroe を用いることで、GUI の構築や、サーバや他のクライアントとの通信が JavaScript や BASIC より容易になり、学習者に興味ある作品を作らせることができるし、GUI やネットワークの仕組みも一緒に学ばせることができる。

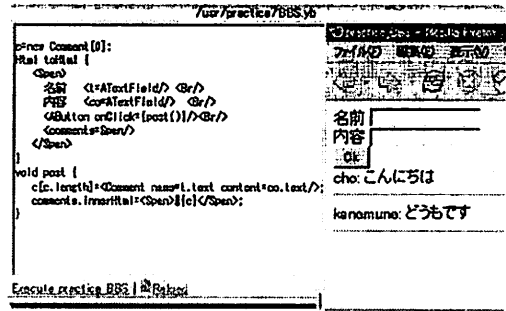


図 9: チャットプログラム

5.3 情報専門教育での利用

大学での専門教育（情報科学だけでなく、3.1 で示したような商学・経済学も含む）や、企業教育においては、Web プログラミングを体験させる手段として Aroe は有用である。Aroe は、HTML、オブジェクト指向、データベースなどの実用的なプログラムに必要な要素を網羅しており、手軽に Web プログラミングを体験できる環境といえる。

2005 年度実施の e コマースプログラミングにおいては、PHP とデータベースを連携させる部分が難しかったため、一度 PHP の演習を中断し

て、データベースの演習を別途行う必要があった。Aroeでは、データベースをPHPと比べて簡単に扱えるため、最初からAroeを使ってデータベースを利用させることができる。

また、PHPを使っている場合には、すべての処理をサーバサイドで行う必要があったが、Aroeはサーバサイドとクライアントサイドの両方のプログラムを記述できるため、Ajaxを駆使したアプリケーションも作成することが可能である。

5.4 IT人材育成での利用

プログラミングに興味のある若者に高度な学習の機会を積極的に提供することを通して、才能のある人材を発掘する試み [9] が行われている。このような授業においても、Aroeを教材として利用することができる。Aroeは、HTMLによる画面の表現、動的な画面の制御、Ajaxを用いたリアルタイムな通信などをもち、ネットワーク対戦ゲームなどの高度な作品を作成することも可能である。

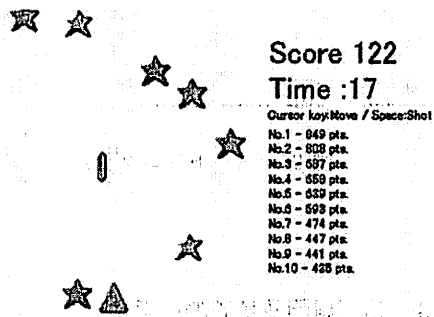


図 10: ネットワークゲーム

6 まとめ

Webプログラミングの授業において、SQLやHTMLなどの周辺技術を簡単に扱うためのプログラミング言語と環境Aroeを提案した。

本稿ではAroeの概要を紹介し、Aroeを用いる

ことで従来PHPなどの言語で行われてきたWebプログラミングの授業での改善について検証を行った。

今後は実際にAroeを用いた授業を施行し、2005年度の授業と比べて、学習者の間違いを減らせたかどうか、また、学習者が制作するWebアプリケーションの質が向上したかどうかを調べ、Aroeの有用性を実証していきたい。

参考文献

- [1] Java.
<http://www.sun.com/java/>.
- [2] PHP. <http://www.php.net/>.
- [3] 兼宗進, 長慎也. 文科系大学におけるサーバサイドプログラミング授業の試み. 情報処理学会研究報告「コンピュータと教育」CE83, 2006.
- [4] Aroe - AJaX-like Rapid Operating Environment. <http://aroe.jp/>.
- [5] ECMAScript Language Specification.
<http://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-262.htm>.
- [6] オブジェクト指向スクリプト言語 Ruby.
<http://www.ruby-lang.org/ja/>.
- [7] International Organization for Standardization. <http://www.iso.org/>.
- [8] 長慎也, 兼宗進, 並木美太郎, 西田知博, 小井土政範, 中野由章, 和田勉. 「情報B」の平成19年度版教科書比較 - 「手順的な自動処理」の観点から. 情報処理学会研究報告「コンピュータと教育」CE85, 2006.
- [9] 並木美太郎 (東京農工大学), 長慎也 (早稲田大学). Squeak と Smalltalk を用いた高度IT人材育成のためのITスクールの実施報告 (2005年度). 情報処理学会研究報告「コンピュータと教育」CE82, 2005.