

論文

# 類題を用いた演習機能の Moodle への実装

及川 義道<sup>1,2,a)</sup> 松葉 龍一<sup>2</sup> 喜多 敏博<sup>2</sup> 鈴木 克明<sup>2</sup> 中野 裕司<sup>2</sup>

受付日 2015年9月7日, 再受付日 2016年1月18日/2016年5月11日,  
採録日 2016年7月9日

**概要:** 類題を用いた演習は, ピア・ティーチングを活性化するとともに, 学生の自信と学習に対する満足度を高める傾向がある. しかし, この類題演習を活用するには, 事前に多くの問題を準備し, 学生ごとに異なる問題を出題しなければならない. 本研究では, この類題演習実施上の問題を軽減することを目的として, LMS 上で単一のテンプレートから複数の類題を生成するための Moodle 用プラグインを開発した. この拡張機能を利用することで, 類題作成にかかる労力を軽減できるとともに, 問題に応じてフィードバック情報を変化させることができる. また, 生成した問題群は標準の小テストモジュール等でも利用可能である. さらに, グループの全学生個々に異なる問題を表示し, 一定時間後に正解を表示する等の類題演習に特化したプラグインも開発・提供した. これらのプラグインを実際の授業で試用したところ, 期待どおりに機能することを確認した.

**キーワード:** 類題演習, ピア・ティーチング, Moodle, プラグイン

## Implementing Functions of Similar Question Exercise to Moodle

YOSHIMICHI OIKAWA<sup>1,2,a)</sup> RYUICHI MATSUBA<sup>2</sup> TOSHIHIRO KITA<sup>2</sup> KATSUAKI SUZUKI<sup>2</sup>  
HIROSHI NAKANO<sup>2</sup>

Received: September 7, 2015, Revised: January 18, 2016/May 11, 2016,  
Accepted: July 9, 2016

**Abstract:** Exercises used similar questions tend to be more active with the peer teaching, and to enhance the satisfaction and confidence. To leverage exercises using similar questions, a number of quiz questions should be prepared to serve a different question for each student. To assist in preparation of similar questions, we have developed a plugin of Moodle for generating a plurality of similar questions from a single template. By utilizing this plugin, a teacher not only can prepare a huge number of similar questions with less work, but also can use various additional functions as varying a feedback depending on the question. The produced similar questions can also be used in the standard built-in quiz module, and additionally, a new plugin specialized for supporting exercises with similar questions is developed. It provides several specific functions as selecting a different question for each student, showing answers after certain period of time etc. It works as expected in our practical trial use for classes.

**Keywords:** similar question exercise, peer teaching, Moodle, plugin

### 1. はじめに

学生同士が教え合うピア・ティーチングは社会構成主

<sup>1</sup> 東海大学  
Tokai University, Hiratsuka, Kanagawa 259–1292, Japan

<sup>2</sup> 熊本大学大学院教授システム学専攻  
Graduate School of Instructional Systems, Kumamoto University, Kumamoto 860–8555, Japan

a) oikawa@tokai-u.jp

義 [27] に基づく教授法であり, コミュニケーション能力を向上させるとともに, 自立的な学習の促進, 自信の向上に役立つことが報告されている [15]. また Vasay [26] は, ピア・ティーチングが, 学生の様々な概念のより深い理解を促進すること, 物部ら [10] は, この学生同士の教え合いが e ラーニングでも有用であることを報告している.

著者らは, この学生同士の教え合いが, 類題を用いた演習により活発化することを見いだした [2], [3], [22]. なお,

本論文では、問題文の文言や数値、選択肢等が異なるものの、その差は軽微であり、学習者が同じ方法で解くことができると容易に認識できる問題群を類題と称する。

類似の問題を用いた演習をグループで行うと、グループのメンバから有効なフィードバックが得られる点でも有用であるとされている [11]。また、我々の行った先行研究では、学生ごとに異なる類題を与えて問題演習を行うと、ふだん教わる側にしか立てなかった習熟度の低い学生でも、同じ方法で解くことのできる類題では教える側として振舞うことが容易であった。その結果、このような習熟度の低い学生であっても、他者に教える、教えたことが理解されたといった経験を得ることができ、このことが学生の自信や学習に対する満足度を高める傾向があることを見だしている [2], [3], [22]。

問題演習そのものも、学習者に練習の機会を与える重要な教授方略の1つであるが [13]、類題を用いた問題演習は、さらに学生の能動的な学習を引き出し、学生の習熟度によらず、自信の醸成と学習の満足度向上に寄与する点でも有用であるといえる。実際に授業で類題演習を用いると、授業時の学習状況を撮影した動画像の比較や、学生へのアンケート調査の結果から、同一の問題で演習する場合に比べて学生の教え合いが活発になると同時に、自己に対する自信や学習に対する満足度が高くなることが分かった。

しかし、この類題を用いた演習を実際に授業で活用するためには、事前に大量の類題を用意しなければならず、また、出題した問題の記録管理が必要であり、さらには、解答例の提示のタイミングを適切に管理しなければならない等、実質的に教員の手間や労力がかかる点が大きな課題となっていた。そこで本研究では、この実施上の問題点の改善を目的として、従来用いてきた独自に開発したシステムを参考に、機能を検討・改良し、類題演習等の新しい機能とともに、利用者の多い LMS (Learning Management System) の1つである Moodle [21] の拡張機能として新たに実装することを試みた。Moodle は 2016 年 4 月時点で、120 以上の言語に翻訳され、約 7,900 万人のユーザを有するといわれており [19]、Moodle 上で類題演習機能が利用できることは、それだけ多くの利用者に本機能を提供できることになる。また、Moodle への対応は IMS が策定する相互運用規格である LTI (Learning Tools Interoperability) [16] の利用も可能にするため、他の LMS から本研究で述べる類題演習機能を利用できることになる。

## 2. 従来のシステムと授業利用

### 2.1 従来システムの概要

図 1 から従来のシステムの概要を示した。従来のシステムは、類題の雛形となる情報と、それを整形・出力する JavaScript をクライアント PC に送り、クライアント PC 内で個別に処理を行い、問題を表示するものであった。こ

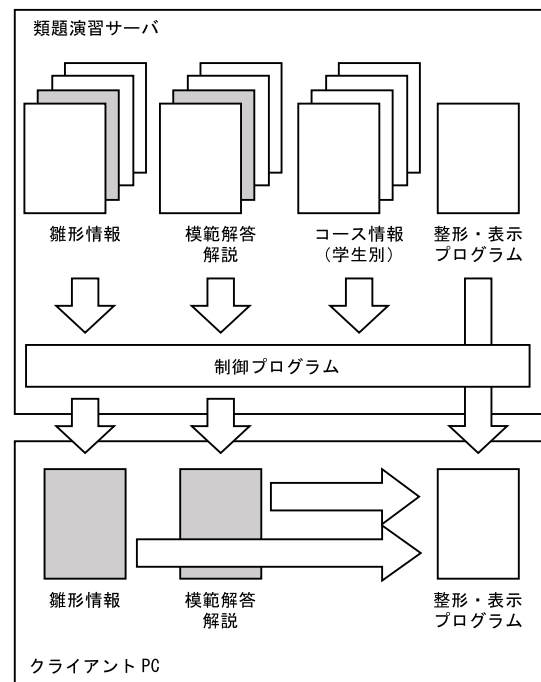


図 1 従来システム概略図

Fig. 1 Schematic block diagram of our previous similar-question exercise system.

のため、どの問題が表示されたのかをクライアント PC 間で共有することはできなかった。

また従来システムでは、1) 採点機能が搭載されていない、2) 模範解答やフィードバックを表示する機能が搭載されてはいるものの、公開設定を変更しないと同機能は動作しない等の制約があった。さらに、この公開設定の変更は、学習者ごとに用意された学習の流れや使用する教材を記述したコース定義ファイルの内容を教員が変更することで対応していた。つまり、授業ごとに受講生全員のコース定義ファイルを、教員が手作業で変更する必要があった。なお、システム全体の管理は、ASP (Active Server Pages) で記述されたスクリプトを用いていた。

### 2.2 従来システムの授業での利用

従来システムは、工学部向けの補習を目的とした化学の基礎を扱う授業で利用されていた。当該授業はコンピュータ実習室で行われる電子教材を利用した授業で、授業の開始時に教員が簡単な内容の解説を行った後、学生は個々の PC を用いて自学自習形式で学習を行っていた。毎回教材の最後には課題の問題が提供され、この際、従来システムを用いた類題演習が行われていた。学生は、相互に教え合いを行いながら課題の問題を解いて、その結果を事前に配布された解答用紙で提出していた。この類題を用いた演習では、類題の正解や解説は一定時間を経過しないと閲覧できないようになっていた。正解や解説が即時に閲覧できる状態であると、学生はいいかげんな解答を入力して正解と解説を表示し、正解だけを解答用紙に書き写す傾向が強

く、また、正解が直に閲覧できることで、学生間の教え合いはほとんど生起せず、教えることによって学ぶという重要な学習が行われない。このような状況を避けるための工夫が、一定期間正解および解説が表示されない仕様とした理由である [2], [22].

### 2.3 従来システムでの問題点

類題を用いた演習で教え合いを活発化するには、できるだけ学生ごとに異なる類題を与えることが望ましい。同一の問題を学生に与えて演習を行うと、正しい解答を提出することに意識が注がれ、誰かの解答を書き写すといった傾向が強まるからである [2], [22]. 個々の学生にできるだけ個別の問題を与えるためには、多くの類題が必要となる。しかし、従来システムでは、雛形ファイル内に教員があらかじめ記述した類題の中から適宜選択・出力することしかできなかった。つまり、学生に提供する類題のほとんどを、教員自身が考えてシステムに登録しておく必要があった。このため、学生ごとに異なる問題を提供するに十分な問題数を準備することができず、学生ごとのコース定義ファイルの内容を細かく設定して、近接して着座する学生間ではできるだけ異なる問題が出題されるようにしていた。

また、従来システムでも数値を動的に変化させて類題を生成する機能や、数値の演算機能を有していたものの、四則演算のみで、複雑な演算に基づいた類題の生成は行えなかった。

さらには、2.1 節で述べたとおり、模範解答や解説の公開設定を手作業で行う必要があり、授業終了ごとに、受講生全員の定義ファイルを編集するという煩雑な作業が必要であった。

以上述べたように、従来システムは簡易的なものであり、その管理、運用には、サーバに関する知識やスキルも必要であった。このため、汎用的に利用することは困難なシステムであったといえる。

## 3. 新しい演習支援機能

### 3.1 改良と拡張

前述の従来システムでの問題点をふまえ、次の改良、拡張を試みた。

#### 1) 管理の簡素化

類題の準備、演習の運用・管理を簡素化し、誰でも利用可能なシステムにする。

#### 2) 類題の自動生成の強化

類題を自動的に生成する機能を拡張することで、教師の負担軽減と、よりバリエーション豊かな問題を準備できるようにする。

#### 3) 演算機能の拡張

様々な関数を用いた演算を内部で処理できるようにする。

#### 4) 類題演習支援の強化

生成された問題の表示、模範解答および解説の公開設定を自動化する。

### 3.2 管理の簡素化

従来システムは簡易的なものであり、サーバやデータベースの管理方法に関する知識が必要であった。類題自体や類題演習の管理を簡素化するため、類題生成機能や演習支援機能を Moodle のプラグインとして実装することで対応した。新たに開発したプラグインは、他の Moodle のプラグインと同様、サーバ内の決められたフォルダ内に保存することで利用することができる。また、後述するとおり、類題の雛形となる情報の編集は、Moodle にあらかじめ用意されている問題編集画面で行うようにし、さらに、演習支援機能に公開日設定を設ける等して、教員の負担軽減を図った。

### 3.3 類題生成機能の強化

個々の学生に異なる類題を与えるには、多くの類題を準備する必要がある。多くの時間と労力が必要である。従来システムでは、類題の多くを手作業で作成しなければならなかった。そこで、本研究では、より多くの類題を生成できる機能の実現を図った。

問題を自動生成する手法には、知識ベースを利用する方法 [5], [6], [9], [25], 事例データの解析結果を用いた問題作成支援を行う方法 [7], 学習者の習熟度に応じて異なる問題形式を生成する方法 [8], [17], タグ情報を用いる方法 [14] 等、様々な手法が報告されている。

我々は、文言の一部や数値を変化させる程度で十分類題としての目的を達成できることから、知識ベース等は用いず、変数の定義情報に基づいて、文中の文字列を置換する方法による類題の生成を検討してきた [2], [3], [4]. 本研究でもこれらの先行研究で得られた知見をもとに、類題生成機能の開発を試みた。開発に際しては、1) 類題生成のもととなる雛形の入力には Moodle の問題編集画面（入力フォーム）を利用する、2) 文言や数値を変数として定義できるようにする、3) 計算等に必要など数も雛形内に定義する、4) 条件付きの類題生成が行えるようにする、という方針とした。また、演習実行時のサーバの負荷低減、問題管理の簡素化、小テスト等他の活動モジュールからの類題の再利用性を考慮し、類題を事前に一括生成することにした。

### 3.4 演算機能の拡張

従来システムでは、四則演算のみ対応していたが、より多様な類題を生成するには、各種の数学関数が利用できると都合がよい。そこで、問題文中の数式の評価には、Moodle の数式評価のためのライブラリを利用することにした。数式評価に Moodle のライブラリを使用することで、Moodle

上で計算問題を記述した経験があれば、本類題演習でも、容易に雛形を記述できると考えた。

### 3.5 演習支援機能の強化

従来システムでは、利用する授業や利用法を絞って開発を行い、類題の表示を主たる目的としていた。また、前述のとおり、類題の選択・表示がクライアント PC 上で処理されていたため、学生にどのような類題が提示されたのかは、学生が提出する解答用紙の記述内容からしか判断できず、学習状況の分析も行えない状況であった。

学生が他人に教える場合、一度解いたことのある、自分が説明可能な問題とその解法を参考にする傾向があり、この傾向は特に習熟度の低い学生に顕著である。しかし、従来システムでは類題の選択が実行時に行われていたため、実行のたびに表示される問題が異なる場合が多く、学生同士の教え合いは、ほとんどの場合、クライアント PC 画面の問題ではなく、教える側の解答用紙の記述内容をもとに行われていた。加えて、模範解答や解説の公開設定も手動であり、作業が煩雑であった。類題を用いた演習を誰でも利用可能とするには、これらの点を改善する必要があると考えた。問題演習を行うには Moodle の小テスト機能を利用することも考えられるが、小テスト機能には、ランダムに問題を出す機能はあっても、学生ごとに異なる問題を出す、同じ問題を再度出題する、一定期間正解の表示を抑制するといった機能はない。

そこで、1) できるだけ異なる類題を学生に与えられる、2) 一度学習した類題を再表示できる、3) 模範解答、解説を公開する日付の設定と自動公開機能を有する演習支援機能を新たに開発することにした。このような類題に特化した演習環境を提供する機能は、調査した範囲では見当たらない。

## 4. 開発したシステムの詳細

### 4.1 概要

図 2 に開発した類題演習機能の概要を示す。本機能は類題生成機能と演習支援機能から構成される。

類題生成機能は、コース上の資料や活動モジュールのインスタンス等のコース内容と独立して利用できるよう、Moodle のブロックとして、演習支援機能はコース内の学習活動で利用することから Moodle の活動モジュールとして開発した。開発した各機能を、Moodle 2.9.2 が稼動する PC サーバにインストールしたところ、期待どおり動作することを確認した。また LTI 1.1 Provider [20] を用いて、Moodle, Sakai [24], Canvas [12] から機能の呼び出しを行い、動作することを確認した。以下各機能の詳細を述べる。

### 4.2 類題生成機能

#### 4.2.1 概要

類題生成機能は、類題のもととなる雛形情報を解釈、類

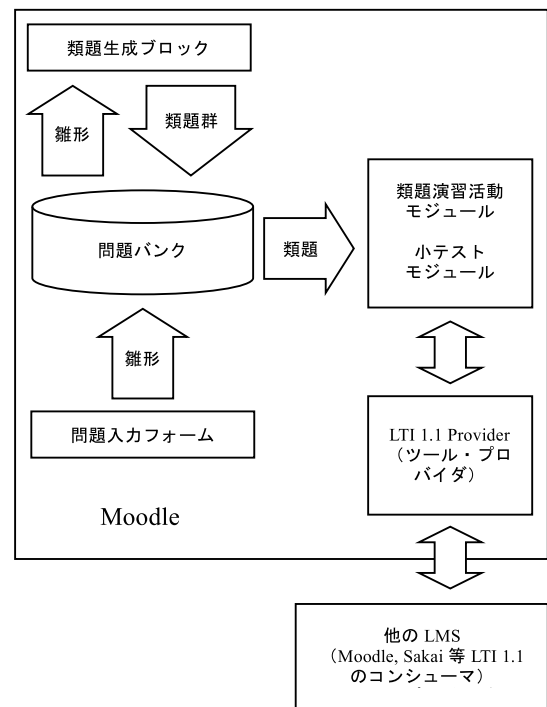


図 2 新システム (類題演習機能) 概略図

Fig. 2 Schematic block diagram of our new similar-question exercise system.

題を生成し、Moodle の問題バンクに生成した類題を保存する機能を担う。類題の問題形式は、雛形の入力に用いた Moodle の問題タイプに依存する。ただし、後述の演習支援機能では、カテゴリと呼ばれるフォルダ内の問題を 1 つの類題群として扱うので、複数の問題タイプを問題バンクの同一カテゴリに保存すれば、複数の問題タイプを含む類題演習も可能である。

#### 4.2.2 問題タイプ

開発した類題生成機能は Moodle に標準装備されている問題タイプのうち、「作文問題」、「多肢選択問題 (単一選択を含む)」、「記述問題」、「組合せ問題」の生成に対応している。これ以外の問題タイプでは、入力情報が検査される段階で変数指定部分が書き換えられてしまう等、類題の雛形が意図しない形式に変更されてしまうため、本生成機能を用いることができない。

#### 4.2.3 雛形の入力

雛形の入力は、類題作成者の入力容易になるように、Moodle に準備されている問題エディタを利用する。Moodle 標準の問題エディタはすでに多くの利用者のフィードバックによりユーザインタフェースが洗練されていると同時に、Moodle 利用者にとって、慣れ親しんだ問題エディタを利用することができるという利点がある。ただし、この方法では、どの問題タイプの入力フォームで雛形を作成したかによって、生成される類題の問題タイプが決まり、後から問題タイプを変更するには、別の問題タイプの入力フォームで雛形を定義し直す必要がある。

```
{SET:変数名->要素名=range(開始値-終了値,増分)}
{SET:変数名->要素名=list(値,...)}
{SET:変数名->要素名=値[&要素名=値&要素名=値...]}
```

図 3 変数の定義方法  
Fig. 3 Method of defining variables.

```
{SET:substance->formula=H<sub>2</sub>O&molw=18.0}
{SET:substance->formula=O<sub>2</sub>&molw=32.0}
```

図 4 変数指定例  
Fig. 4 Example of defining variables.

4.2.4 変数定義

類題ごとに变化させる部分は変数として問題入力欄に定義する。図 3 に変数の書式を示した。複数の情報をまとめて扱うことができるように、変数は「変数名->要素名」の組合せで識別する仕様とした。このため、変数名に直接値を代入することはできず、1つの変数名には少なくとも1つの要素名を定義する必要がある。要素名を1つしか持たない変数では、範囲と変化量を指定する range (図 3 の1行目) と変数の候補を列挙する list (同2行目) の2種類の定義を利用できるようにした。

range による指定は、「開始値」から「終了値」まで「増分」にしたがって数値を変化させながら、類題を生成する。ただし、無作為に発生した数値では、問題の難易度を調整できないといった問題点がある。過去に実施した試験の答案の記述内容を分析すると、たとえば剰余が発生する除算いわゆる割り切れない数値計算は、割り切れる数値計算より正答率が低い傾向があった。このような難易度のバラツキを抑えたい、あるいは数値や計算の結果に特別の意味を持たせたい場合には、発生する数値を制御できることが望ましい。また、変数の内容として文字列を扱いたい場合には、range のような範囲指定はそぐわない。list はこのような目的のために利用する。list の実例に関しては、後述の雛形の定義例の中で示す。

複数の要素名を持つ変数 (図 3 の3行目) では、変数の値を図 4 のように列挙して定義する。このとき、列挙する変数の変数名と要素名の組合せは同じでなければならない。複数の要素が扱える変数を定義することは、次のような利点がある。

たとえば、化学教育では物質量の計算がしばしば扱われるが、その計算には、物質名や分子式、分子量、質量等が必要である。このような場合、物質が決まれば分子量は一意に決まる。このため、ある物質が変数の候補として選択された場合、自動的に対応する分子式や分子量が選択される必要がある。このような要求を可能にするため、複数の要素を持つ変数を定義できるようにした。本類題生成機能

表 1 類題生成の生成条件の定義方法 (変数の比較による)  
Table 1 Example of defining generation rules for similar questions (by comparing variables).

定義方法	
{SET:relate(比較演算子, 変数 1, 変数 2 または式)}	
比較演算子	意味
GT	変数 1 が変数 2 もしくは式の値より大きい
GE	変数 1 が変数 2 もしくは式の値と等しいか変数 2 もしくは式の値より大きい
EQ	変数 1 が変数 2 もしくは式の値と等しい
NE	変数 1 が変数 2 もしくは式の値と等しくない
LE	変数 1 が変数 2 もしくは式の値と等しいか変数 2 もしくは式の値より小さい
LT	変数 1 が変数 2 もしくは式の値より小さい

は、すべての変数の組合せを総当りで求め、その組合せを用いて類題を生成する。このため、化学式と分子量を別々の変数に定義すると、対応しない化学式と分子量を組み合わせてしまい、適切な問題を生成できない。このような類題を生成するうえでも、複数の要素を持つ変数を定義できる必要がある。

図 4 はこの例を表したものである。変数「substance->formula」には2つの値が定義されており、類題生成機能は、この値を1つずつ取り出しながら、生成処理を進める。類題生成中に分子量を参照する箇所があれば、取り出した「substance->formula」に対応した「substance->molw」を用いて処理する。たとえば、生成された類題中で substance->formula が H<sub>2</sub>O となる場合、substance->molw は必ず 18.0 となる。

なお、複数の要素名を持つ変数では、range や list による値の指定はできない。また、Moodle 自体のソースを解析した結果、表示フィルタの一部に、def, item, name, special 等の使用禁止語が定義されている場合があり、本類題生成機能も、変数名の定義にはこの制約を受けることになる。

4.2.5 類題生成条件の定義

2つ以上の変数を含む問題では、変数間の関係を制御する必要がある。たとえば、気体の状態に関する問題において、2つの異なる状態を比較し、その関係性から解を導く場合、2つの状態が同一であると問題が成立しない。このような場合は、状態を変数で記述したうえで、各々の状態を表す変数が等しくならないように変数を制御する必要がある。また、溶液の濃度に関する計算問題を生成する場合、変数の演算結果が溶解度によって導かれる濃度の上限値を超過しないような変数の組合せを選択するといった変数の制御が必要となる。そこで本類題生成機能では、表 1 に示すような、変数間の相互関係を定義し、類題生成時に不成立問題を排除できる機能を設けた。

現在の仕様では、生成条件として2変数間もしくは1変

```
{GET:変数名->要素名[,出力形式]}
{GET:calc(計算式)[,出力形式]}
```

図 5 変数の呼び出し

Fig. 5 Method of accessing variables.

数と 1 数式の関係指定できる。1 つの雛形内に複数の生成条件を指定することもできるが、その場合、複数の生成条件は論理積として処理される。

#### 4.2.6 変数の呼び出し

雛形から生成された変数の値を利用するには、利用したい箇所に図 5 で示すような定義を記述する。なお、このような定義が解説や模範解答等のフィードバック情報としても利用できるよう、Moodle の各問題タイプの入力フォームにおいて、文字の入力が可能なすべての箇所を利用できるようにした。

たとえば、記述問題の場合、問題テキスト欄、答え欄、フィードバック欄で利用することができ、どの欄でも数式を用いた変数間の演算結果が使用できる。この機能を活用すれば、数値計算を含む問題の場合、フィードバック欄で変数の内容に合致した演算途中の式を示すこともでき、より学習者に分かりやすい解説等を提供できる。

#### 4.2.7 数式評価と演算

本類題生成機能では、変数や定数を用いた演算結果を用いることができる。この機能を用いて、たとえば選択型の問題では、正解の選択肢だけではなく、誤った計算方法に基づく誤答の選択肢を作成することができる。

たとえば反比例に基づく計算問題では、学生答案の分析から比例計算によって導出された誤答が多い。したがって、このような反比例の計算問題を選択型で解答させる場合、誤答の選択肢として比例計算による値を示せば、選んだ選択肢から、当該学生の誤りの原因を予測することに役立つと考えられる。このような誤答も、従来であれば教員があらかじめ記述する必要があったのに対し、本類題生成機能を用いれば、問題入力フォームの選択肢欄に、変数名を用いた誤答を計算する数式を記述することで、システムが自動的に意味のある誤答を作成してくれることになる。

なお、数式の評価には、Moodle の計算問題タイプ [18] で使用されている evalmath.class というクラスライブラリを利用することにした。このクラスライブラリを利用することにより、Moodle の計算問題タイプで利用可能な数学関数を、本類題生成機能でも利用できる。ただし、このクラスライブラリでは、変数名として「-」、「.」、「>」が使用できなかったため、雛形内で定義された独自の変数名のルールを evalmath.class で利用可能な変数名に変換する処理を内部的に行っている。

#### 4.2.8 雛形の定義例

図 6 に雛形の定義例を示す。問題作成者は、各問題の入力フォームを用いて、所定の欄に情報を入力する。この例

```
圧力 {GET:p1->v} atm で {GET:v1->v} L を占める
{GET:gas->n} がある。この {GET:gas->n} の圧力を、
温度を変えずに {GET:p2->v} atm にすると、体積は何
L になりますか。

{SET:gas->n=酸素}
{SET:gas->n=窒素}
{SET:gas->n=ヘリウム}
{SET:p1->v=list(0.1,0.2,0.5,1.0,2.0,4.0)}
{SET:p2->v=list(0.1,0.2,0.5,1.0,2.0,4.0)}
{SET:v1->v=list(1,2,5,10,20)}
{SET:relate(NE,p1->v, p2->v)}
```

図 6 雛形の定義例 (問題入力欄)

Fig. 6 Example of defining a template (question text).

### 類題生成:問題バンク



図 7 類題生成機能起動画面例

Fig. 7 Example screen shot of starting the similar-question generator module.

は化学の気体の法則に関する 4 つの変数からなる問題の雛形に関して、問題入力欄のみ示したものである。

図 6 の物質名の定義は list によっても定義できるが、この例のように、同一の変数名を複数回定義することでも list での定義と同等の変数の定義が可能である。この仕様は、変数の定義方法に柔軟性を持たせるためのものである。

#### 4.2.9 類題の生成

類題生成機能を起動すると、図 7 で示したような画面が表示される。ここで、雛形となる問題および生成された類題の保存先を指定する。なお、本類題生成機能では、類題を Moodle の問題バンクで用いられているカテゴリを単位として管理している。これと関連して、後述の演習支援機能は、同一カテゴリ内の問題を同一の類題と判断する仕様となっている。

生成の実行が指示されると、本類題生成機能は、すべての変数の組合せを求め、類題生成条件が定義されていれば、その条件に応じて組合せを取捨選択する。最終的な変数の組合せをもとに類題を生成したのち、問題バンクに類題を一括保存する。

図 8 は図 6 に示した雛形から実際に類題を生成した結果を示したものである。この問題では、変数の組合せは 450

### 類題生成:問題バンク



図 8 類題生成例

Fig. 8 Example screen shot of the generated similar questions.

通りある。生成された類題は Moodle 標準の問題バンクに Moodle の仕様に従った形式で保存されるため、Moodle の小テストモジュールを用いて、ランダム出題、自動採点も可能である。

#### 4.2.10 生成機能の適用範囲

ここでは、本類題生成機能により生成可能な類題の適用可能範囲を示すため、雛形中で定義することができない、または困難と思われる場合をあげる。

本類題生成機能は、文字列を操作することで類題を構成している。このため、図形を利用するような類題の生成はできない。たとえば、グラフを扱う問題で、生成された変数の値に応じたグラフを自動生成して問題画面内に反映させるといったことはできない。

物理のベクトルの向きや大きさ等を与える問題、化学の構造式を扱う問題のような、変数の値に応じて図や式を描き直す必要がある問題は生成できない。ただし、化学式等の上付き、下付きのように HTML のタグレベルで実現可能なものは生成できる。

数値の指数表記には対応しているものの、演算の有効桁を指定する機能がないため、有効数字の処理が要求される問題には基本的に対応していない。正解をすべて list で与えるか、round 関数等を利用して出題者側で有効数字に対応した式を用意する必要がある。

生成条件の指定に関しては、複数の生成条件が指定された場合、内部では論理積演算を行うため、論理和を使わなければ不可能な複数の生成条件の組合せは指定できない。



図 9 演習支援機能のインスタンスの設定画面

Fig. 9 Example screen shot of setting an instance of the similar question exercise module.

### 4.3 演習支援機能

#### 4.3.1 概要

演習支援機能は、生成した類題数が学生数より多い限り、学生別にランダムな順で異なる問題を表示する、指定期日が来るまで正解やフィードバックを表示しない等、類題による、学生同士の教え合いを意識した演習を支援する機能を担う。他の活動モジュールと同様に、活動状況の記録（ログ）や LTI による外部の LMS からの利用も可能である。

#### 4.3.2 類題の選択

図 9 に、開発した演習支援機能のインスタンスの設定画面例を示した。本演習支援機能は、同じ雛形から生成されたか否かによらず、単一の問題カテゴリ内の問題を類題として処理する。各類題には生成された順に内部番号が振られており、最初の学生が類題演習を実行すると、本演習支援機能は、この内部番号をランダムにシャッフルしたものを 0 から順に番号（ポイント）を付してデータベースに保存した上で最初の類題を出題し、ポイントを 1 つ進めてデータベースにその値を保存する。2 番目の学生以降はシャッフルは行わず、ポイントが示す内部番号の類題を出題し、ポイントを 1 つ進めて保存する。学生数が類題数より少ない場合は、この繰り返しで、全学生にランダムかつ異なる類題を出題することができる。なお、出題数が類題数を超える場合には、ポイントを先頭に戻して出題するため、最初の出題順を繰り返すことになるが、類題数が極端に少ない場合を除いて出題順を繰り返すことの実害はあまり考えられないため、このような実装とした。

図 10 に演習支援機能の表示例を示した。また、正解公開日以降になると、図 11 に示したような正解とフィードバック情報が表示される。

## 課題 1

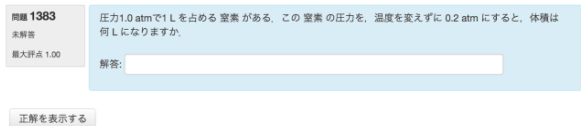


図 10 演習支援機能の類題表示例

Fig. 10 Example screen shot of showing a similar question using the similar question exercise module.

## 物質と質量



図 11 演習支援機能の正解・解説表示例

Fig. 11 Example screen shot of showing the answer and explanation using the similar question exercise module.

## 4.4 期待される効果

類題を用いた演習は教え合いを誘発し、自信や学習に対する満足度が高くなるといった教育効果が期待されるが、事前に大量の類題を用意しなければならない。本システムを用いることで、様々なタイプの類題を容易かつ大量に作成することが可能になると同時に、学生ごとに異なる類題を与え、期限になると個々の類題に対応した解答とフィードバックを与えることが可能になる。これにより、教員が様々なタイプの類題を用いた演習を手軽に行えるようになることが期待できる。

また、作成した類題は Moodle の標準形式で保存されるため、Moodle の小テスト等の他の機能からも利用可能であることや、Moodle の持つ LTI Provider 機能を用いて他の LMS 等から利用できるため、類題の利用の幅が拡大することが期待できる。

## 4.5 実装

類題生成機能は Moodle 標準の問題バンクの問題編集機能を手本に、また演習支援機能は小テストモジュールのレビュー機能を手本に、できる限り Moodle の標準 API を利用し、PHP を用いて開発した。

動作確認には、Apache 2.4.4, MySQL 5.5.42, PHP 5.6.10 で構築された PC サーバ上に Moodle 2.9.2 をインストールし、これに開発した類題生成機能、演習支援機能を Moodle の定める方法により登録、設定したシステムを用いた。

## 4.6 テストデータによる動作確認

## 4.6.1 類題生成における変数の展開に関する動作確認

以下に示す各々の場合について、50 個以上の異なる雛形

を作成し、すべて期待どおり類題が生成されることを確認した。

- range で定義した変数を持つ類題。ただし、生成される値が 2 から 10 個の範囲になるように開始値、終了値、増分を適当に選んだ。なお、開始値が終了値より小さく、増分が 0 以下の場合、値は生成されない。
- list で定義された変数を持つ類題。ただし、list 中には、2 から 10 個の数値もしくは文字列を適当に与えた。
- 複数の要素を持つ変数を定義した類題。ただし、要素は 2 から 10 個までの範囲で適当に選んだ。
- 複数の変数を組み合わせた類題。ただし、変数は 2 から 10 個までの範囲で適当に選んだ。

## 4.6.2 類題生成における生成条件に関する動作確認

生成条件を 1 つ、および 2 つ含む場合について、各々 10 通り以上の異なる雛形を作成し、すべて期待どおりの類題が生成されることを確認した。ただし、生成条件を 2 つ含む場合は、4.2.5 項に述べたとおり論理積となる。

## 4.6.3 演習支援機能の動作確認

100 題の類題を生成し、Moodle 上に 100 名の仮想の学習者を登録して演習支援機能を利用したところ、ランダムな順で全員に異なる問題が出題されていることを確認した。同様の検証を 10 回以上行い、すべて期待どおり動作していることを確認した。

## 4.7 実授業を対象とした動作確認

## 4.7.1 実授業の概要

ここでは、実授業を対象とした試用を通じて、本類題演習機能により、事前に大量の類題を用意せずとも自動生成された類題を提示でき、また、出題した問題を記録、管理することで、生成された類題数が十分な場合には異なる学習者に異なる問題が出題され、かつ事前に設定した公開日に正解や解説が自動で公開され、これにより教員の手間や労力の削減につながることを確認する。そのために、本試用では、工学部の基礎化学を受講する 32 名の 2 年次生に、本研究で開発した類題演習機能を利用した演習を行った。なお、一般教室での利用であったため、学生各自に iPad を配布し、無線 LAN 経由で Moodle に接続させた。またあらかじめ雛形情報から類題を生成し、公開日を授業の翌日に設定した類題演習を Moodle のコース上に準備しておいた。

## 4.7.2 結果

試用時に生成された類題数は全 50 問であり、32 名すべてに異なる類題が表示され、事前に大量の類題を用意せずに類題の準備が可能であり、また、類題数が学習者数に比べて多い場合には、学習者ごとに異なる問題が出題させることができ、手作業で個人別のコース定義ファイルの作成を行っていた従来システムと同様の演習が可能であることを確認した。



また、各学生の類題演習画面において、正解および解説が事前に設定した公開日に自動で公開されることを確認し、従来システムのような模範解答や解説の公開設定を手作業で行う手間が軽減された。

## 5. まとめ

類題を用いた演習における、多数の問題の準備、問題の管理、正解提示等運用に係る労力等の諸問題の改善を目的として、類題生成機能および演習支援機能を Moodle の拡張機能として開発した。その結果、従来手作業で行っていた類題の準備、類題演習の運用と同様の演習の実施が可能であり、本類題演習機能により作業の自動化による労力の低減が可能となった。

今後、実際の授業での利用を通して本システムをさらに改善していきたい。本研究は対面の授業における類題演習を対象として行った。しかし、ピア・ティーチングの有効性は e ラーニング上でも示唆されており [23]、より広範囲に本類題演習手法を拡張するには、学生の組合せ方法 [1], [10] 等も含めたネットワークを介した類題演習環境の検討も必要と思われる。また、現在のところ化学の講義のみを対象としているが、多様な科目での適用試験の実施が不可欠であると考えている。なお、本論文で述べた類題演習機能に係るプログラムは、現在機能の向上、改良を継続中で一般公開を行っていないが、個別には提供しており、必要があれば筆頭著者まで連絡いただきたい。

## 参考文献

- [1] 井上久祥, 埴生加奈子: 学習者の思考特性に着目したグループ形成支援の方法, 協同作業を有効にするグループ形成支援システムのための基礎的研究, 情報処理学会研究報告, GN, Vol.2004, No.94, pp.19-24 (2004).
- [2] 及川義道, 中野裕司, 松葉龍一, 喜多敏博, 鈴木克明: 問題生成システムの開発と授業における学習活動に与える影響について, 教育システム情報学会第 36 回全国大会講演論文集, pp.36-37 (2011).
- [3] 及川義道, 松葉龍一, 喜多敏博, 鈴木克明, 中野裕司: Moodle に対応した類題生成サーバの開発, 日本教育工学会第 27 回全国大会講演論文集, pp.236-237 (2011).
- [4] 及川義道, 松葉龍一, 喜多敏博, 鈴木克明, 中野裕司: Moodle に対応した類題生成ブロックおよび類題演習モジュールの開発, 日本教育工学会第 28 回全国大会講演論文集, pp.233-234 (2012).
- [5] 金西計英, 林賢太郎, 光原弘幸, 矢野米雄: 教材知識に基づき WBT 上で演習問題を生成する機能の実現, 教育システム情報学会誌, Vol.20, No.2, pp.71-82 (2003).
- [6] 北岡大輔, 松田憲幸, 平嶋 宗, 瀧 寛和: 補助教材のための選択問題と誤答解説の自動生成の構想, 電子情報通信学会技術研究報告, ET 教育工学, Vol.103, No.320, pp.55-58 (2003).
- [7] 小島一晃, 三輪和久: 作問事例を用いて数学文章題を生成するシステムの実現と評価, 人工知能学会論文誌, Vol.21, No.4, pp.361-370 (2006).
- [8] 菅沼 明, 峯 恒憲, 正代隆義: 学生の理解度と問題の難易度を動的に評価する練習問題自動生成システム AEGIS, 情報処理学会研究報告, Vol.2003, No.11, pp.25-32 (2003).
- [9] 高橋敦子, 橋本 淳: 知識ベースに基づいた学習者個別演習問題生成手法について, 情報処理学会自然言語処理研究会報告, DD, Vol.2004, No.23, pp.23-28 (2004).
- [10] 物部寛太郎, 田中成典, 鳥形由希: e-Learning における教え合い支援に関する研究, 第 70 回情報処理学会全国大会講演論文集, Vol.2008, No.4, pp.423-424 (2008).
- [11] Angelo, T.A.: A "Teacher's dozen", *AAHE Bulletin*, April 1993, pp.3-13 (online), available from <http://www.csuchico.edu/~lstederberg/ceeoc/teachers.dozen.pdf> (accessed 2016-04-30).
- [12] Canvas: Canvas, available from <http://www.canvaslms.com/> (accessed 2016-04-30).
- [13] Gagné, R.M., Wager, W.W., Golas, K.C. and Keller, J.M.: *Principles of Instructional Design (5th ed.)*, Wadsworth Publishing, California (2005).
- [14] Gangur, M.: Automatic Generation of Mathematical Tasks, *Proc. 7th WSEAS/IASME International Conference on Educational Technologies*, pp.129-134 (2011).
- [15] Kahn, P. and Kyle, J. (Eds.): *Effective Teaching and Learning in Mathematics and its Applications*, Beevers, C. and Paterson, J.: *Assessment in mathematics*, pp.49-61, Kogan Page, London (2002).
- [16] Learning Tools Interoperability, IMS Global (online), available from <http://www.imsglobal.org/toolsinteroperability2.cfm> (accessed 2016-04-30).
- [17] Mine, T., Suganuma, A. and Shoudai, T.: The design and implementation of automatic exercise generator with tagged documents based on the intelligence of students: AEGIS, *Proc. International Conference on Computers in Education*, pp.651-658 (2000).
- [18] Moodle Pty Ltd: 計算問題タイプ, Moodle (オンライン), 入手先 <https://docs.moodle.org/2x/ja/%E8%A8%88%E7%AE%97%E5%95%8F%E9%A1%8C%E3%82%BF%E3%82%A4%E3%83%97> (参照 2016-07-24).
- [19] Moodle Pty Ltd: About Moodle, Moodle (online), available from [https://docs.moodle.org/29/en/About\\_Moodle](https://docs.moodle.org/29/en/About_Moodle) (accessed 2016-04-02).
- [20] Moodle Pty Ltd: General plugins (Local): LTI Provider, Moodle (online), available from [https://moodle.org/plugins/view.php?plugin=local\\_ltiprovider](https://moodle.org/plugins/view.php?plugin=local_ltiprovider) (accessed 2016-04-30).
- [21] Moodle Pty Ltd: Moodle, Moodle (online), available from <https://moodle.org> (accessed 2016-04-30).
- [22] Oikawa, Y., Matsuba, R., Kita, T., Suzuki, K. and Nakano, H.: Development of a Similar-question Generator to Support Peer Teaching, *International Journal for Educational Media and Technology*, Vol.7, No.1, pp.38-49 (2013).
- [23] Rourke, L. and Anderson, T.: Using Peer Teams to Lead Online Discussions, *JIME*, Vol.2002, No.1, pp.1-21 (2002).
- [24] The Sakai Foundation: Sakai CLE について, The Sakai Foundation (オンライン), 入手先 <https://oss-lms.com/portal/site/!gateway/page/!gateway-200> (参照 2016-04-30).
- [25] Sung, L.C., Lin, Y.C. and Chen, M.C.: The Design of Automatic Quiz Generation for Ubiquitous English E-Learning System, *Technology Enhanced Learning Conference (TELearn 2007)*, pp.161-168 (2007).
- [26] Vasay, E.T.: The effects of peer teaching in the performance of students in mathematics, *E-International Scientific Research Journal*, Vol.2, No.2, pp.161-171 (2010).
- [27] Vygotsky, L.S.: *Mind in Society: The Development*

*of Higher Psychological Processes*, Harvard University Press, Cambridge (1978).



及川 義道 (正会員)

1986年東海大学理学部化学科卒業。1988年同大学大学院修士課程修了。1989年同大学理学部助手、講師を経て現在同大学理学部准教授。修士(理学)。化学教育に関する研究に従事。日本化学会、日本コンピュータ化学会、日本教育工学会、教育システム情報学会、日本科学教育学会、日本メディア教育学会各会員。



中野 裕司 (正会員)

熊本大学総合情報統括センター・大学院社会文化科学研究科教授システム学専攻教授。理学博士(九州大学, 1987年)。名古屋大学教養部、同大学情報文化学部助教授を経て2002年より熊本大学教授。電子情報通信学会、日本教育工学会、教育システム情報学会各会員。



松葉 龍一

2007年熊本大学総合情報基盤センター助教を経て、現在同大学eラーニング推進機構准教授。博士(理学)。現在の研究分野は情報教育、教育工学。日本教育工学会会員。



喜多 敏博 (正会員)

1967年に奈良に生まれる。京都大学大学院工学研究科博士後期課程研究指導認定退学。熊本大学工学部助手、総合情報基盤センター准教授、eラーニング推進機構教授、現在に至る。工学博士(名古屋大学, 2005年)。eラーニングシステム、LMS/VLE、非線形システム、電子音楽に興味を持つ。



鈴木 克明

熊本大学大学院社会文化科学研究科教授システム学専攻教授。Ph.D.(フロリダ州立大学, 1987年)。東北学院大学教養学部助教授、岩手県立大学ソフトウェア情報学部教授等を経て2006年より現職。日本教育工学会、教育システム情報学会、日本教育メディア学会、日本医療教授システム学会各会員。