

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

菅沼 明 峯 恒憲 正代 隆義

九州大学 大学院システム情報科学研究所

e-mail : {suga,mine}@is.kyushu-u.ac.jp, shoudai@i.kyushu-u.ac.jp

教育機関へのコンピュータや LAN の導入により、Web のデータを教材として使用する講義も行われている。しかし、教材を電子化するだけでなく、コンピュータ世界の変化に対応した教育方法、教育支援方法が必要とされている。教材に沿った練習問題があり、ブラウザ上で解答できる環境が整っていれば、学生は容易に練習問題にチャレンジすることができる。これにより、学生の理解を深めることが可能になる。本論文では、XML 文書から練習問題を生成するシステム AEGIS(Automatic Exercise Generator based on the Intelligence of Student) について述べる。まず、学生の理解力に応じた練習問題を自動生成するための XML タグの設計を行ない、このタグを埋め込んだ XML 文書から選択形式、穴埋め形式、誤り訂正形式の出題を可能とした。学生の理解度と問題の難易度を推定することは AEGIS にとって非常に重要である。AEGIS はこれらを動的に評価し、学生の理解度に応じた練習問題の自動生成を行う。本稿では、AEGIS で使用しているタグ、学生の理解度と問題の難易度の動的な評価法、およびシミュレータを用いて評価法を評価した結果について述べている。

AEGIS: an Automatic Exercise Generating System That Dynamically Evaluates both Students' and Questions' Levels

Akira SUGANUMA, Tsunenori MINE, and Takayoshi SHOUDAI
Graduate School of Information Science and Electrical Engineering
Kyushu University

Popularization of computers and the Internet enable us to hold lectures using Web contents as a teaching material and even develop new lecture methods using the technologies. Although teachers have prepared a lot of Web contents, most of them are utilized so as only to be browsed by students. If we arrange some exercises according to lecture notes and prepare an answering mechanism for the exercises via the Internet, every student can attempt the exercises any time. This paper proposes an Web-based self teaching system: AEGIS (Automatic Exercise Generator based on the Intelligence of Student) that generates exercises of various difficulty levels according to each student's achievement level, marks his/her answers and returns them to him/her. Once the documents are marked up with tags by teachers to specify the positions of questions, AEGIS can generate three question types: multiple-choice question, fill-the-gap question, and error-correcting question from the same tagged document. It is very important for AEGIS to estimate both an achievement level of each student and an difficulty level of each question. AEGIS dynamically evaluates these levels. In this paper, we discuss the design of the tags for AEGIS, the re-estimation of the levels and generating method of AEGIS.

1. はじめに

教育を取り巻く計算機環境・LAN 環境の変化に対応した教育方法のひとつとして、教材を Web のデータとして用意する方法が多用されている。用意した教材を教師のブラウザで表示し、教師のディスプレイをスクリーンに投影して講義を行う。または、教師が参照している Web ページを学生のディスプレイ上のブラウザに同期表示するようなツール^[1]を使用して講義を行う。さらに講義以外の時間に、学生の予習・復習のために Web 教材を参照する。このような形で講義を進めることが普通に可能になってきている。そのため、Web のデータとして用意された教材も増えている。

これらの教材に沿った練習問題があり、それを Web ブラウザ上に表示し、解答できる環境が整っていれば、学生は容易に練習問題にチャレンジすることができ、講義内容についての理解を深めることが可能になる。練習問題を作成するときには、解答する学生の理解度によって問題の難易度を変えられると、学習効果はさらに高まる。しかし、難易度毎に個別に練習問題を作成するのは教師に対する負荷が大きくなる。そのため、教材として用意している HTML データを利用して、練習問題を生成するシステム AEGIS(Automatic Exercise Generator based on the Intelligence of Student) を構築している^[2]。このシステムは、過去に学生が答えた履歴から学生の理解度を推定し、練習問題の難易度を変更して出題するものである^[3]。

2. 問題の自動生成

2.1 練習問題の出題形式

練習問題の出題形式には、論述式の問題からマークシート方式の問題まで様々なものがある。しかし、コンピュータによる自動採点を可能にしようとすると、出題形式は限られてくる。例えば、論述式の問題であれば、学生が書いた文章を読んで内容を理解しなければ採点できない。文章の内容理解に関しては、自然言語処理の研究でも正確に行えていない分野である。そのため、このような問題を出題形式に選ぶのは妥当ではない。そのため、本研究では、選択問題、穴埋め問題、誤り訂正問題の 3 つの出題形式を

対象として問題の自動作成を行う。

これら 3 種類の出題形式の問題は、正解の文章の一部を空白に置き換える、もしくは誤った表現に置き換えることによって作成できる。説明の都合上、以下では、空白に置き換える箇所もしくは誤った表現に置き換える箇所のことを『出題箇所』と呼ぶことにする。

2.2 出題に必要な情報

一般に教師が教材から練習問題を作成する作業は以下の手順があるであろう。

- (1) 出題箇所の決定：何を練習問題として学生に出題するかを決める。
- (2) 出題文の決定：出題箇所決まっても、出題箇所を含む前後の文脈がなければ問題にならない。
- (3) 選択肢の決定：選択問題では、選択肢を作るために、出題箇所の表現に代わる表現を複数用意しなければならない。選択肢を選定する場合には、出題箇所に入れても不自然でない表現を揃える。

上記 3 つの項目は、全て出題意図に関係している。このような情報を教材から自動的に抽出するのは困難である。そのため、AEGIS を設計する際には、出題者が教材にこれらの情報を書き込むことにした。次の節で述べるタグを使用して出題者が問題作成のための情報を埋め込み、埋め込まれた情報を元に AEGIS が学生の理解度に合わせた出題を行う。AEGIS は、このような作業分担を考えて構築した。

2.3 問題自動生成のためのタグ

練習問題を自動的に作成する場合、上で述べた 3 つの情報を教材に埋め込む必要がある。AEGIS ではタグを定義し、それをを用いて教材から練習問題を自動生成する。これらのタグは XML の枠内で設計した。

- (1) 出題文を示すタグ：教材のどの部分を出題文とするかを示すために、QUESTION タグを使用する。このタグで囲まれた内容が練習問題の出題文になる。出題文には最低 1 つの出題箇所が含まれるので、このタグで

```

<QUESTION SUBJECT="idioms">
Data structures need to be studied
<DEL CAND="an,on,at,by" LEVEL="2 5"> in
</DEL>
order to understand the algorithms.
</QUESTION>

```

図 1: The tagged data to generate examples of three question-types

囲まれた領域には，下に示す「出題箇所を示すタグ」が少なくとも1つは含まれる．

- (2) 出題箇所を示すタグ：出題箇所を指定するために，DEL タグを使用する．このタグで教材中の出題箇所を囲むことで，囲まれたテキストが出題箇所となる．囲まれた部分を空白にすれば，穴埋め問題は容易に作成できる．
- (3) 選択肢を示す属性：選択問題を作成する場合には，選択肢を用意しなければならない．選択肢は出題箇所に依存するので，出題箇所を示すタグの属性として記述できるようにするのが自然である．AEGIS では，DEL タグに属性 CAND を用意してそれに対処した．出題者が正解でない表現を属性 CAND の値として記述する．

ここまでで定義した2つのタグを使用したタグ付きドキュメントの例を図1に示す．DEL タグの内容「in」を空白に置き換えると，空白問題になり，DEL タグの CAND 属性の値を使って選択肢を作れば選択問題になる．CAND 属性の値の1つを DEL タグの内容と置き換えると，誤り訂正問題になる．

2.4 理解力に応じた生成のための XML タグ

問題を出題するだけであれば，上記の2つのタグと1つの属性で自動生成可能である．しかし，学生の理解度に応じた練習問題を出題するには，問題の難易度に関する情報が必要となる．AEGIS のタグでは，DEL タグの属性として LEVEL, GROUP, REF の3つを用意して，出題箇所の難易度を表すようにした．また，出題

箇所と関係する表現に印を付けるためのタグ LABEL を追加した．さらに，出題する練習問題を分野で分類できるように，CONCEPT タグを追加した．本研究で定義した3つのタグの定義を図2と図3に示す．

LEVEL 属性には出題箇所自体の難易度を指定する．この属性は，1～10の数値の対になっており，出題する学生の理解度の範囲を表す．学生の理解度と LEVEL 属性の値を比較して，その DEL タグの箇所を出題するか否かを判断する．

GROUP 属性には出題箇所間の関連を指定する．出題箇所には，他の出題箇所が空白になることによって正解に到達しにくくなるものがある．これを出題箇所の依存関係と考える．複数の出題箇所に同じ GROUP 名を付けることで，依存関係があるとことを明示する．難易度を高くする場合には，同じ GROUP 名が付いている出題箇所をすべて出題する．また，難易度を低くする場合には，一部だけを出題し，出題しなかった箇所を一種のヒントとして示すこともできる．

REF 属性には出題箇所以外の表現との関係を指定する．GROUP 属性は出題箇所同士の依存関係を明示するために導入したが，出題箇所によっては，出題箇所以外の表現と依存するものもあるであろう．この属性は，次に述べる LABEL タグと対をなして，教材中のどの部分と依存関係があるかを明示するために使用する．

ある記述がある出題箇所の正解を得るためのヒントとなる場合もある．そのような箇所をタグで示しておくとし，誤った解答をした場合にヒントとして学生に示すことも可能である．このような処理をするために，AEGIS では LABEL タグを用意している．LABEL タグには NAME 属性があり，どの出題箇所と関係があるのかを指定する．

3. 理解度と難易度の動的評価

3.1 学生の理解度の評価

AEGIS では，学生の理解度に応じて難易度の異なる問題を出題する．そのため，学生の理解度をどのように計算するかは重要である．学生の理解度は問題を解くたびに变化するであろう．そのため，AEGIS では，学生が回答するたびに学生の理解度を評価する．時刻 t における

<code><QUESTION SUBJECT="W_S"> question region </QUESTION></code>	
<code>W_S</code>	::= word or symbol, where a backslash (\) must be added just before the symbol if it is a comma(,), double quotes(""), or a backslash(\).
<code><DEL CAND="CANDIDATE" LEVEL="PAIR" GROUP="ID" REF="ID"> hidden region </code>	
<code>CANDIDATE</code>	::= <code>W_S W_S ', CANDIDATE</code>
<code>W_S</code>	::= word or symbol, where a backslash (\) must be added just before the symbol if it is a comma(,), double quotes(""), or a backslash(\).
<code>PAIR</code>	::= <code>LOW ' ' HIGH</code>
<code>LOW</code>	::= an integer between 1 and 10
<code>HIGH</code>	::= an integer between 1 and 10
<code>ID</code>	::= keyword
<code><LABEL NAME="ID"> sentences </LABEL></code>	
<code>ID</code>	::= keyword
<code><CONCEPT> keyword </CONCEPT></code>	

図 2: Definition of tags for exercise generation

<code><!DOCTYPE EXERCISE</code>	<code>[</code>
<code><!ELEMENT QUESTION</code>	<code>(#PCDATA DEL LABEL CONCEPT)*></code>
<code><!ELEMENT DEL</code>	<code>(#PCDATA)></code>
<code><!ELEMENT LABEL</code>	<code>(#PCDATA)></code>
<code><!ELEMENT CONCEPT</code>	<code>(#PCDATA)></code>
<code><!ATTLIST QUESTION</code>	<code>SUBJECT CDATA #IMPLIED</code>
<code><!ATTLIST DEL</code>	<code>CAND CDATA #IMPLIED</code>
	<code>LEVEL NMTOKENS #REQUIRED</code>
	<code>GROUP NMTOKEN #IMPLIED</code>
	<code>REF IDREF #IMPLIED</code>
<code><!ATTLIST LABEL</code>	<code>NAME ID #IMPLIED</code>
<code>]</code>	<code>></code>

図 3: DTD of the tags defined for AEGIS

学生 i の理解度を下に示した式で計算する .

$$s_{i,t} = \begin{cases} s_{i,t-1} + \frac{\sum_{j \in Q} (q_{j,t} - s_{i,t-1}) \delta_{i,j}}{\sum_{j \in Q} \delta_{i,j}} & \left[\text{if } \sum_{j \in Q} \delta_{i,j} \neq 0 \right] \\ s_{i,t-1} & \left[\text{otherwise} \right] \end{cases}$$

ここで, Q は学生が回答した問題の集合 (最近の 30 回の回答) を表し, $q_{j,t}$ は, 時刻 t における問題 j の難易度を表す . また, $\delta_{i,j}$ は, 学生 i が自分の理解度 $s_{i,t-1}$ よりも高い難易度の問題に正解した場合と, 学生 i が自分の理解度 $s_{i,t-1}$ よりも低い難易度の問題を間違えた場合に値 1 となり, それ以外は 0 となる定数である . 学生の理解度は, 問題に回答するたびに以前の理解

度を基に再計算される . 学生が初めて練習問題に回答する時には, 学生の理解度は 1 で初期化される .

ある学生が自分の理解度よりも低い難易度の問題を正解することは極めて自然である . また逆に, 自分の理解度よりも高い難易度の問題を間違えることも自然である . そのため, AEGIS では, 学生の理解度の再評価において, そのような試行のデータを使用しない . 上の式において定数 $\delta_{i,j}$ が 0 となり, 再評価に影響を与えない . 自分の理解度よりも低い難易度の問題を学生が不正解した場合, AEGIS は学生の理解度が過大評価されていると判断し, 理解度を下げようとする . この場合, 上の式の $(q_{j,t} - s_{i,t-1})$ が負の値となり, $s_{i,t}$ を小さくする . 反対に, 自分の理解度よりも高い難易度の問題を学生が正解した場合, AEGIS は学生の理解度が過小評

価されていると判断し、理解度を上げようとする。この場合、上の式の $(q_{j,t} - s_{i,t-1})$ が正の値となり、 $s_{i,t}$ を大きくする。学生の理解度は、学生が問題を解いた時のその問題の難易度を用いて計算されるのではなく、理解度を計算する時点での問題の難易度を用いて計算される。次節に示すように、問題の難易度も動的に評価されるので、AEGIS が評価する学生の理解度は、彼が問題を解かなくてもも他の学生の解答の結果によって上下する。

AEGIS は、出題時の学生の理解度にある程度近い難易度の問題を出題する。そのため、AEGIS が評価している学生の理解度よりも高い難易度の問題や低い問題が出題される。出題されたほとんどの問題に正解した学生は、計算される理解度が大きくなり、それに伴い出題される問題の難易度も高くなる。この難易度の高い問題に正解すれば、さらに理解度は高くなる。逆に不正解が多い学生の場合には、理解度は低い値となる。そのため、比較的易しい問題が多く出題されることになる。この易しい問題に正解していくと、計算される理解度は高くなっていき、次第に難易度の高い問題に挑戦できることになる。

3.2 問題の難易度の評価

前節のように問題の難易度を基にして学生の理解度を計算しているので、問題の難易度は十分注意して与えなければならない。AEGIS では、教師が問題の難易度を DEL タグの LEVEL 属性で上限と下限を与える。しかし、教師が見積もっていた問題の難易度と、学生が実際に解く時の難易度とは差があると思われる。そのため、AEGIS では、LEVEL 属性に指定された値は問題の難易度の初期値として利用し、その後は下の式に従って問題の難易度を動的に変更する。

$$q_{j,t} = \begin{cases} q_{j,t-1} + \frac{\sum_{i \in S} (s_{i,t} - q_{j,t-1}) \xi_{i,j}}{\sum_{i \in S} \xi_{i,j}} & \left[\sum_{i \in S} \xi_{i,j} \neq 0 \right] \\ q_{j,t-1} & \left[\text{otherwise} \right] \end{cases}$$

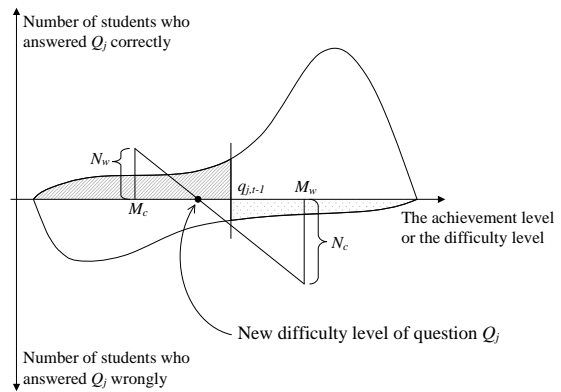


図 4: Renewing the difficulty level of a question based on students' achievement level

ここで、 S は時刻 $(t-1)$ から t の間に問題 j を解答した学生の集合を表し、 $s_{i,\tau}$ は時刻 τ ($t-1 \leq \tau \leq t$) における学生の理解度を表す。また、 $\xi_{i,j}$ は、出題時の問題 j の難易度 $q_{j,t-1}$ よりも低い理解度の学生 i がその問題に正解した場合と、問題 j の難易度 $q_{j,t-1}$ よりも高い理解度の学生 i がその問題を間違えた場合に値 1 となり、それ以外は 0 となる定数である。

AEGIS で行っている動的な難易度変更方式の考え方を図 4 に示す。グラフの横軸は学生の理解度を表し、縦軸は学生の数を正解した者(上方向)と不正解した者(下方向)とを区別して表す。AEGIS は学生の理解度に近い難易度の問題をその学生に出題するので、ある問題が出題される学生は、その問題の難易度を中心にして上下にある幅をもって分布する。仮にある時間間隔に回答した学生に対して、正解者・不正解者の数がグラフに示した曲線のようにとする。問題の難易度より低い理解度の学生が正解したのは、その問題が過大評価されていたためと仮定し、問題の難易度を下げる方向に動かす要因とする。また、問題の難易度より高い理解度の学生が不正解したのは、その問題が過小評価されていたためと仮定し、問題の難易度を上げる方向に動かす要因とする。

グラフ中の点 $(q_{j,t-1}, 0)$ を通る縦軸に平行な直線を境としグラフを左右に 2 分する。ここで、 $q_{j,t-1}$ は時刻 $(t-1)$ における問題 j の難易度であるので、この直線より左にはこの問題の難易度より低い理解度の学生が分布し、右にはこの

問題の難易度より高い理解度の学生が分布する．そのため、新しい難易度に影響を与えるデータは図中の斜線の領域と点付きの領域とに入る．斜線の領域の学生の理解度の平均と学生数を求め、それぞれ M_c, N_c とする．同様に点付きの領域でも M_w と N_w を求める．この4つの値で決まる2つの点 (M_c, N_w) と $(M_w, -N_c)$ とを結ぶ線分が横軸と交わる点の座標を新しい難易度とする．こうして求めた点は、 $(M_c, 0)$ から $(M_w, 0)$ までの線分を N_w 対 N_c に内分する点となる．この方法で、ある時間間隔に解答した学生の理解度を基に、問題の難易度を動的に変更する．

ここで計算した問題の難易度は、ある出題箇所がある出題形式で出題する場合の難易度である．この計算で新しくした難易度を用いて、誤り訂正形式の難易度をその出題箇所の難易度の上限とし、選択形式の難易度をその出題箇所の難易度の下限とする．これにより、出題箇所の新しい難易度の範囲が計算される．

3.3 シミュレータを用いた評価実験

AEGIS は学生の理解度と問題の難易度の両方を動的に評価する．前節で提案した手法でうまくそれらを実験できるかを確かめるために、シミュレータを使用してシミュレーション実験を行った．この実験においては、下のような仮定をたててシミュレーションを行った．

問題には、その問題が本来持っている難易度 ($q^{(TRUE)}$) があり、この難易度はシミュレーション中には動かない．学生にも、この学生が本来持っている理解度 ($s^{(TRUE)}$) があり、この理解度はシミュレーション中には動かない．ある学生がある問題に正解するか否かは、 $s^{(TRUE)}$ と $q^{(TRUE)}$ で決まり、 $s^{(TRUE)}$ が $q^{(TRUE)}$ よりかなり大きい場合は正解、かなり小さい場合は不正解とした． $s^{(TRUE)}$ と $q^{(TRUE)}$ の差がある閾値以内であれば、理解度と難易度が一致している時を正解率 50% とし、それら2つの値の関数として正解率が決まるとした．問題の本来の難易度と学生の本来の理解度は、シミュレータで採点をするときだけに使用し、AEGIS 本体には伝えられない．AEGIS はシミュレータから送られる採点結果を基にして学生の理解度と問題の難易度を推定する．以下、AEGIS

によって推定された理解度と難易度をそれぞれ $s^{(AEGIS)}$ 、 $q^{(AEGIS)}$ と表す．

問題は 100 題用意し、その本来の難易度を 0 から 10 までに 0.1 刻で分布するものとした．また、ダミーの学生も 100 人用意し、その本来の理解度を 0 から 10 まで、均等に分布するものとした．

3.3.1 AEGIS が評価する学生の理解度

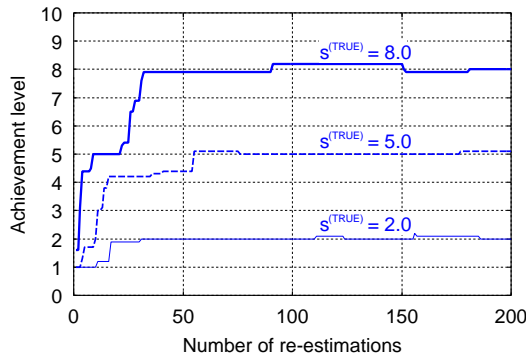
100 人の学生から本来の理解度が高い、中くらい、低い3人の学生 ($s^{(TRUE)} = 8.0, 5.0, 2.0$) を選んで、AEGIS が評価するその学生の理解度の変化を観測した．図 5-(a) にその結果を示す．各学生の理解度 $s^{(AEGIS)}$ は 1.0 で初期化されるので、図中の3つの折れ線は全て 1.0 からスタートする．それらは、練習問題の回答が進むにつれて離れていき、約 50 回の再評価で各学生の本来の理解度 $s^{(TRUE)}$ の値に近付くことが分かる．

3.3.2 AEGIS が出題する問題の難易度

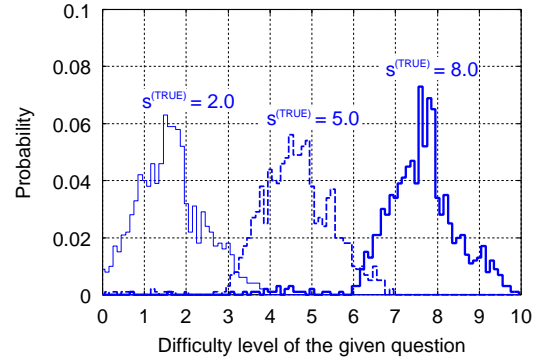
上の試行において、各学生にどんな難易度の問題が出題されたかを調べた．AEGIS が各学生に 1,000 回の練習問題を出題する際に出題される問題の難易度の分布を図 5-(b) に示す．理解度が高い学生 ($s^{(TRUE)} = 8.0$) には高い難易度の問題が出題され、理解度が低い学生 ($s^{(TRUE)} = 2.0$) には低い難易度の問題が出題されている．各学生への出題分布の(平均, 分散)を求めると、 $s^{(TRUE)} = 2.0$ の学生への出題分布は $(1.7, 0.82)$ となり、 $s^{(TRUE)} = 5.0$ の学生では $(4.6, 1.02)$ 、 $s^{(TRUE)} = 8.0$ の学生では $(7.5, 1.19)$ となった．このことから、AEGIS は学生の本来の理解度 $s^{(TRUE)}$ に応じた出題が行えることが分かる．

3.3.3 AEGIS が評価する問題の難易度

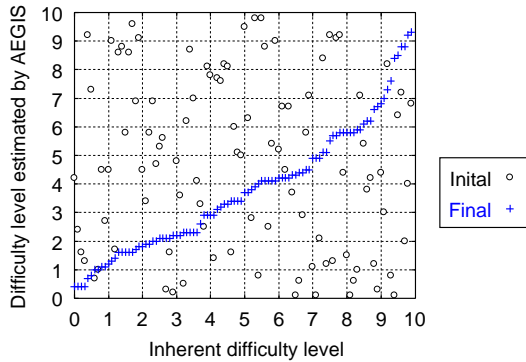
AEGIS で採用している問題の難易度の動的な変更がうまく働くかどうかを調べるために、AEGIS にランダムな値を問題の難易度の初期値として与えてシミュレーションを行った．その結果を図 5-(c) に示す．グラフにおいて、横軸は問題の本来の難易度 $q^{(TRUE)}$ を表し、縦軸は AEGIS が評価する問題の難易度 $q^{(AEGIS)}$ を表している．グラフ中に「 \square 」で示した点は AEGIS に与えた初期値を表す．この状態からシミュレーションを初めて、問題の難易度の評価を



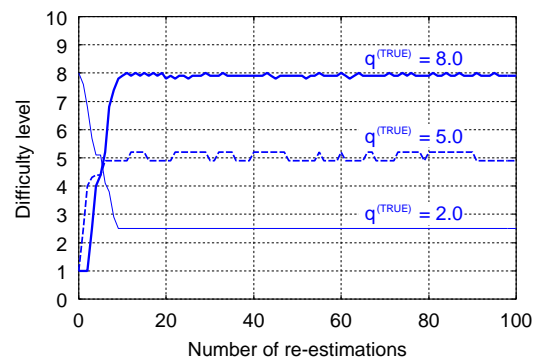
(a) Variance of the achievement level



(b) Distribution of the given questions



(c) Distribution of the difficulty level estimated by AEGIS



(d) Variance of the difficulty level estimated by AEGIS

図 5: Results of the evaluation of AEGIS

繰り返すことで、 $q^{(AEGIS)}$ が変化しある値に近付いていく。評価が繰り返された後の $q^{(AEGIS)}$ をグラフ中に「+」で示す。グラフから明らかなように、 $q^{(AEGIS)}$ は問題の本来の難易度を反映した値になっている。グラフに「+」印で示した点を結ぶと単調増加の折れ線となる。このことから、AEGIS は、たとえ与えられる問題の難易度が本来の難易度から大きく離れた値であっても、難易度の評価を繰り返すことで、その問題をほぼ正当な難易度で扱えるようになることが分かる。

全ての問題にランダムな難易度を与えた場合、本来の難易度を反映した値に収束するまでには相当な時間がかかってしまう。しかし実際は、問題の難易度から大きく離れて初期化されることはまれであろうし、大きく離れている問題があっても数が少ないだろう。100 題中から 3 題 ($q^{(TRUE)} = 2.0, 5.0, 8.0$) を選び、それらの問題が大きく離れた値で初期化されたとして、難易度の評価値 $q^{(AEGIS)}$ の変化を観測した。その結果を図 5-(d) に示す。この実験では、実際の

クラスの学生のテストの点を基にして学生の本来の理解度を分布させた。グラフは初期値から出発し、問題の本来の難易度に近付いていく。また、別のクラスの理解度分布でも、同様のシミュレーション結果を得た。

4. AEGIS の概要

AEGIS は Perl を用いて作成され、Web ブラウザから CGI (Common Gateway Interface) として起動される。AEGIS はデータベースコンパイラとレベルマネージャ、問題生成部、採点部とから成っている。AEGIS の処理の流れを図 6 に示す。

既存の教材に問題作成用のタグを埋め込んだ XML 形式の教材を出題者が用意する。AEGIS では、データベースコンパイラ部がその教材を解析し、難易度データベース (LMDB) と問題データベース (EDB) に登録する。この際に、提供された XML 文書が設計したタグの要求を満たしているかをチェックする。一方、学生が AEGIS をひとたび使用すれば、その学生のユーザプロフィール (UPDB) を作成する。これには、

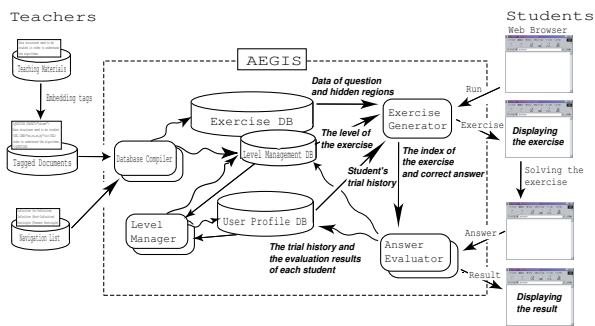


図 6: Overview of AEGIS

出題した出題箇所と出題形式，正解 / 不正解の情報が記録される．この UPDB に記録された情報を用いて，レベルマネージャが前節で説明した方法で，学生の理解度と問題の難易度を計算する．

問題生成部は，UPDB の情報と LMDB の情報を比較して出題箇所を決定し，EDB から出題文・出題箇所のデータを取り出す．次に，3 つの出題形式のうちどの形式を選択するかを決定する．学生の理解度が出題箇所の難易度の範囲の下限に近い場合には，選択問題として出題する確率を高くし，学生の理解度が出題箇所の難易度の範囲の上限に近い場合には誤り訂正問題として出題する確率を高くする．この様にして，同じ出題箇所でも出題形式を変化させることで，問題の難易度を変化させる．

採点に関しては，DEL タグで囲まれた内容がその出題箇所の正解であることを利用して，学生の解答を採点する．選択問題と穴埋め問題では，出題時に出題箇所と出題形式，正解を採点部に伝え，学生が記入した解答と正解をマッチングすることによって採点する．誤り訂正問題では，採点部に伝えられた出題箇所と正解を学生の解答の「誤りの場所」と「訂正内容」とそれぞれ比較し，マッチングした場合を正解とする．採点が終了すると，出題箇所と出題形式，採点結果を UPDB に追記する．

5. おわりに

学生の練習問題挑戦への要求に応え，自動的に出題するシステム AEGIS を構築した．出題用のタグを埋め込んだ XML 文書を教師が作成し，それを使用して AEGIS が練習問題を自動生成する．システムが評価した学生の理解度に

応じて難易度を変化させて練習問題を出題することが可能である．

現在，AEGIS 用の XML タグは出題者がテキストエディタで入力している．タグの埋め込み作業は負荷がかかるので，これを支援するツールが必要である．また，DEL タグで囲む出題箇所は，解答として曖昧さがないようにタグ付けされなければならない．現在の AEGIS では，曖昧さが無いことを出題者が保証することを前提にしている．曖昧さがある場合への対応は今後の課題である．練習問題をその内容で分類し，分野ごとに問題順を操作できる仕組みを組み込めるように CONCEPT タグを用意している．このタグを使用して効率的に分類する手法の構築も今後の課題である．また，AEGIS は開発段階であり，講義等での実使用には至っていない．九州大学では，コンピュータリテラシーの教育を全学部の全学生に対して行っている．この講義で使用する資料は Web で見れる形式になっているので，これを利用して XML 教材を準備し，AEGIS をこの講義で使用する計画である．

謝辞

この研究の一部は科学研究費特定領域研究 (2) 課題番号 14022239 の補助を受けた．

参考文献

- [1] A.Suganuma, R.Fujimoto, and Y.Tsutsumi, "An WWW-based Supporting System Realizing Cooperative Environment for Classroom Teaching," Proc. World Conference on the WWW and Internet, pp.830-831, 2000.
- [2] T.Mine, A.Suganuma, and T.Shoudai, "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.
- [3] A.Suganuma, T.Mine, and T.Shoudai, "Automatic Generating Appropriate Exercises Based on Dynamic Evaluating both Students' and Questions' Levels," Proc. of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications, CD-ROM, 2002.