

e-learningにおける知的学習支援構造の設計

福 田 真規夫*

The Design for The Intellectual Learning Support System in e-learning

Makio Fukuda*

Abstract

This research addresses the problem of evaluating learner responses in e-learning in an effective and flexible way.

Currently evaluation in e-learning is by giving either a numerical score or a correction and it is proposed to improve on this by synthesizing the results from related units of study using fuzzy inference.

This makes it possible to develop e-learning systems that involve teacher-directed navigation based on the evaluation of learners.

キーワード

e-learning、知的学習支援、CAI、ファジィ推論、学習ナビゲーション

あらまし：本研究は、自習用の学習支援システムの一つであるe-learningにおいて、学習者の課題への解答に対する評価を、ファジィ集合上で行うことで、柔軟かつ確に実現でき、正誤評価か離散的数値による単純な評価になってしまっている現状の改善を行うことを目的としたものである。しかも、一つの單元だけの評価でなく、関係のある單元を総合した評価をファジィ推論によって行い、この評価にもとづいた教授者から学習者への指導メッセージを「学習のナビゲーション」として出力し、知的学習支援機能を備えたe-learningを開発することが可能となる。

1 背景

インターネットを使った学習支援システムとして、そのコンテンツが多方面において増えつつあるe-learningは、Web（ホームページ）上で稼動する一種のCAI(Computer Assisted Instruction)である。パーソナルコンピュータが普及され始めて今日まで、コン

*ふくだ まきお：大阪国際大学人間科学部教授（2005.10.4 受理）

コンピュータによる学習支援システムは、CD-ROMやフレキシブルディスクなどの記憶媒体で供給され、それを使用する都度にコンピュータにセットして稼働させてきた。

これに対しe-learningは、このような媒体上にあったコンテンツをインターネットやLANに接続したサーバーに設置することで、このようなネットワークに接続できるコンピュータがあれば、何処からでも何時でも学習支援コンテンツにアクセスできる。このため、学習者の都合の良い場所、たとえば教室でなくても自宅や深夜など場所や時間の制約がほとんど無い理想的な学習支援システムであると言える。

一方、e-learningのコンテンツのほとんどは伝統的なCAI、つまり「ドリル型」CAIの型を踏襲している。このようなシステムの場合、学習者の学習結果（評価）に対するフォローや理解状況に対するフィードバックがほとんど行われていないと言える。

例えば、コンテンツ中の課題に対する回答の評価は、離散的な数値による評価方法を採用する機会が多いため、きめ細かくかつ柔軟な評価が不可能である。また、コンテンツ中のある単元の学習者の理解度は、以前学習した単元の理解度や関連する単元の理解度などと関連させて、多様な角度からの評価を総合して行なわないと、学習者の本質的な理解状況が把握できないと言える。

しかしながら、このような複雑になる評価方法を持つe-learningは、まだほとんど実現されていないと言える。

本研究は、このような問題に対して、複数の単元の評価からの学習者への評価を、ファジィ推論により柔軟かつ総合的に行え、学習者の評価があいまいな評価領域に存在した場合の学習のアドバイスなどの対応を柔軟に行なうことができる学習支援システムを開発するものである。これによって、教授者と離れた場所や時間で学習する者に対してきめ細かな評価と、それに基づく的確な学習の指導などの知的な学習支援が可能となると考える。

2 学習支援システムの概要

2・1 学習支援システムとは

学習支援システムとは、人間の学習の支援をコンピュータを使うことにより実現するものを指し、直接に学習者の自習学習を支援するもの、教授者の教育行動や教育の管理を支援するものなど、その機能や種類は幅広い。

本研究においては、学習者の自習学習を支援するインターネットを使ったCAIであるe-learningを対象としている。

CAIは、パーソナルコンピュータが普及し始めた約20年前から一般向けに普及してきた。当初は、従来から印刷物の形で使われている数学や国語のドリルなどのコンピュータ化から始まり、現在では、英会話や大学院の講義、資格取得のための学習支援システムまで幅広く普及してきている。また、そのコンテンツが供給される媒体もフレキシブルディスクから始まり、教材が文字中心から音声や画像を多用したマルチメディア化が進むとともにデータ量が多くなりCD-ROMなどを使用するものになってきた。この流れは、インタ

ーネットの通信媒体がブロードバンド化するにともない、従来CD-ROMに載っていたものがネットワーク上に載って供給されe-learningの発展・普及を促した。

現在、インターネットの媒体として、光ファイバーが急速に普及しているが、今後はこの高速大容量回線を使った学習支援システムがますます普及してくると思われる。光ファイバーの前の世代にあたるADSLも数年前に高速大容量回線として急速に普及したが、その通信方式は回線の片方向、つまりサーバーからクライアント側へ向かう方向のみに大容量高速の通信が可能であった。しかし、この光ファイバーを使用することにより双方向の高速大容量通信が可能になり、教授者と学習者が対話できるテレビ会議システムを組み込んだe-learningシステムも今後は普及してくるであろう。

2・2 CAI

CAIには、大きく分けて伝統的なCAI (Traditional Computer Assisted Instruction: TCAI) と呼ばれるものと、1970年代から研究が始まった人工知能の技術を使った知的CAI (Intelligent Computer Assisted Instruction: ICAI) と呼ばれるものがある。

一方、TCAIは、ドリル問題をコンピュータ上でするような形式のものが多く、例えば画面上に問題が表示され、学習者はその解答をキーボードやマウスで入力するようになっている。これは学習者が入力した内容と、コンピュータが予めデータとして持っている正解を照合して評価するもので、パターンマッチングによる単純な学習評価機構である。

このTCAIの特徴としては、次のものがある。

- ① ドリル学習の延長。
- ② 単なるページめくり器の役割。
- ③ 教育産業に大きな影響を及ぼした。
- ④ ドリルトレーニング器として役立つ。
- ⑤ コンピュータ支援学習塾のきっかけとなった。

このようなシステムであるが、一度講義を受けた内容についての復習や学習到達目標レベルに達しなかった者の再学習のために使用すると、学習者を一定のレベルまで引き上げるには効果があるとされている。

ICAIは、ITS (Intelligent Tutorial System) とも呼ばれ、1970年代からその研究が始まった。これは人工知能技術を応用し、コンピュータが教授者の知識や問題解決のルールを持ち、コンピュータ自身が問題を解き、学習者の理解に応じてアドバイスしたり教授したりする学習支援システムである。

このシステムは、問題自体をシステムとしてとらえ、次のような機能を持つ。

- ① 学習システム自身が問題の構成要素を抽出できる。
- ② 学習システム自身が要素間の関係を見出し図式化できる。
- ③ 学習システム自身がシステム (問題) を完全なものにする (解答を与える) ことができる。

このような機能は、問題の構成要素を意味ネットワークで結んでいくもので、具体的に

はフレームを作成して、それをつなげていくものである。これをプログラムが実行していく。この技術をさらに発展させていくと、次のようなことが実現できるようになる。

- ① シミュレータ（アニメータ）の実現。
- ② 仮想現実（Virtual Reality）による体験。
- ③ 実体験。
- ④ 問題のシステム分析（分析学習）
- ⑤ 似たような問題の作成（合成学習）

ただし、現段階では自然言語を解釈する部分がまだ困難な状況であり、自然言語によるインターフェイスの実現は、多くの課題を持っている。

また、フレーム指向のシステムを構築するには、教授者が学習者との対話のための詳細かつ複雑なプログラムを作成（設計）する必要がある。このため、教授者への負担が大きく、適用されている分野は限られているのが現状で、システムを開発するための予算や人的資源の大量導入が可能な大規模プロジェクトにおける研修を目的としたものなどに適用が限られている。したがって、大学や学校での一般的な教育の分野ではまだ普及する段階までいっていない。

このような状況から、本研究では、学習支援システムの形式を、教授者の負担が少ないTCAIの形式をプラットフォームにし、ICAIの機能を持った知的学習支援のしくみを考える。

このシステムの概要を、操作の流れで説明すると、次の①から⑧のようになる。

- ① まず、学習する対象の単元単位で説明文（文字、画像、音声による）が掲示される。
- ② 学習者は画面に表示されたものや、それをプリントアウトしたものを読解する。
- ③ その単元の読解が終了すると、理解度を測定するための問題が掲示される。
- ④ 学習者は読解した時に得られた知識や、以前から持っていた知識（関連知識も含めて）をもとに、その問題に対して回答していく。
- ⑤ コンピュータは、学習者の回答を採点する。
- ⑥ 次に、その単元に関連する他の単元の採点結果も関連させて、総合的な評価を算出する。
- ⑦ この評価に基づいた学習上の指導メッセージがコンピュータから掲示される。これは「学習ナビゲーション」とも言える。
- ⑧ 学習者は、そのメッセージ、つまりコンピュータから出力されるナビゲーションに従いさらに学習を進める。この時に、場合によっては、現在学習している単元とは異なる単元へ移ったり戻ったりするナビゲーションもある。

2・3 学習支援システムにおける評価と知的学習支援について

今回の学習支援システムの開発においては、「経営情報学」という分野をまず対象とする。経営情報学は、企業経営において、情報をうまく活用して、いかに適確な意思決定を行なうかを追求する分野である。これは、経営学と情報学という2つの分野が融合されたもので、会計処理手法からシステム設計の手法まで、幅広くかつ多様な要素（単元）から

成り立っており、CAIによる自習システムにて学習した場合の評価や、それに対する学習のナビゲーションは、従来のTCAIの形式のままでは、満足な学習支援が行なえないと考える。そのため、本研究では、あらかじめ教授者が設定した教授戦略にもとづき、複数の評価要素や、あいまいな領域にある評価から、総合的な評価をファジィ推論によって求める学習支援システムを開発することにした。そして、その求められた評価に連動して学習ナビゲーションが提示されることとなる。このことにより、学習者にとって、教授者が身近で指導しているような雰囲気の中で自己学習が実現できることになると考える。

CAIでは一般的に、学習者の理解度を計るため、各單元には問題が設定されており、これに対する回答を、コンピュータが採点して評価とする。

この場合、問題となるのは、例えば、ある100点満点の問題が提示され、学習者の取得点に対して、60点以上80点未満の範囲は、普通の評価として「理解している」と判断し、60点未満の場合、低い評価として「理解していない」と判断する時、59点の場合はどのような判断が適当であるのかということがある。60点未満であるために、単純に「理解していない」と判断してしまうのは、この場合に適当ではないと思われるが、従来型のCAIではこのように処理されてきた。

そこで、このような2つの評価領域の境界部分にある場合や、どちらの評価領域に属するかあいまいな場合は、「低い評価」、「普通の評価」および「高い評価」の3つのファジィ集合のメンバーシップ関数を定義し、ファジィ推論の結果で判断する方法が考えられる。

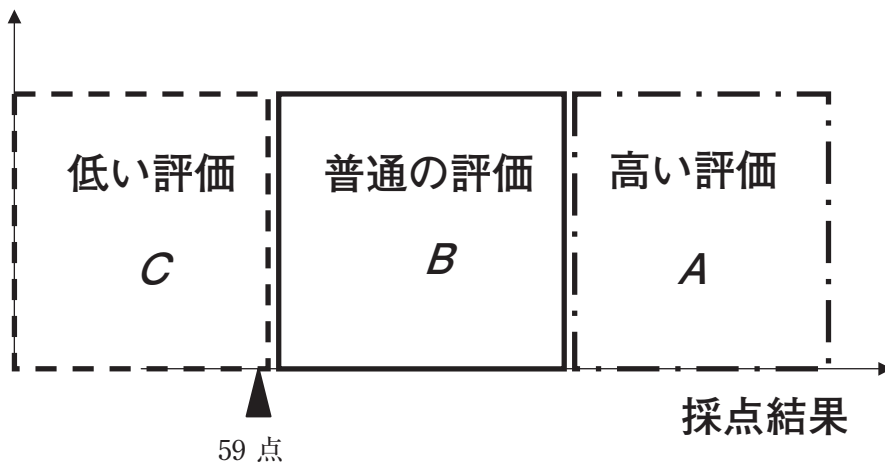


図1. 離散的数値による評価

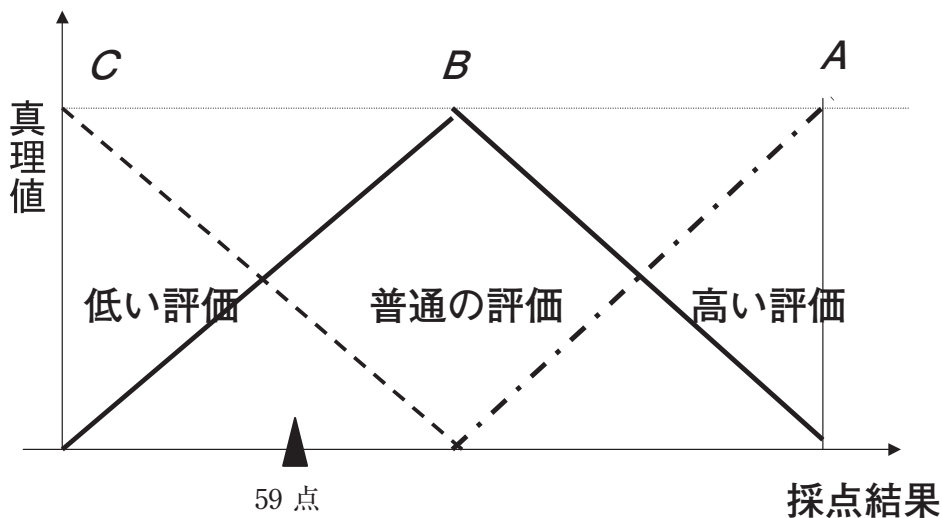


図2. ファジィ集合と評価 (1)

ある単元を学習した場合の評価は、それに関連する他の単元の知識などが基盤となっていたり、それらに影響されたりする。また、ある単元の評価が良くても、関連する単元の評価が良くない場合は、その単元を真に理解しているとは言い難い。

学習者の評価について複数の要素から総合的に判断でき、かつファジィ推論を使うことにより、学習者の問題に対する回答の点数が、あいまいな評価領域に存在した場合の評価を柔軟に行なうことができる学習支援システムが、このような場合必要である。

このようなシステムを導入することにより、教授者と離れた場所や時間で自習する学習者に対して、きめ細やかな評価に基づく学習指導、つまり知的な学習支援をコンピュータにより行なうことができるものである。

例えば、「経営情報学」の分野における各単元の関連は表1. のようになっている。

表1. 学習単元関連表

	企業とは	経営戦略	経営管理	決算	情報システム……
企業とは		◎	○	○	△
経営戦略	◎		○	◎	○
経営管理	○	○		◎	◎
決算	○	◎	◎		○
情報システム	△	○	◎	○	
・					
・					
・					

(ただし、◎は強い関連、○は関連有り、△は弱い関連とする。)

この表では、「企業とは」という企業活動の定義を学習する単元は、企業経営上の戦略について学習する「経営戦略」の単元と強い関連が有り、経営の管理手法について学習する「経営管理」や、決算処理の方法や決算資料の分析方法について学習する「決算」とも、強くはないが関連を持っている。また、企業内の情報処理システムについて、その構造や機能、あるいは設計手法について述べた「情報システム」の単元とは弱い関連度であるとしている。このような関連表は教授者が、その教授方略に従って作成するものである。

2・4 総合評価を求めるアルゴリズム

表1. の関連表から、例えば、強い関連のある「経営管理」と「決算」を取り上げ、これらの総合的な評価を求める評価行列は、教授者により表2. のような形で設定される。

表2. 評価行列

		単元	経営管理		
単元	評価	A	B	C	
決算	A	A	B	C	
	B	A	B	C	
	C	B	C	D	

(A: よく理解している B: 理解している C: 理解していない D: 全然理解していない)

さらに、教授者は評価行列に対応する学習ナビゲーションを表3. のように設定する。

表3. 学習の単元毎の評価と学習ナビゲーション

		単元	経営管理		
単元	評価	A	B	C	
決算	A	次の単元へ進め	経営管理の単元の説明を再度読んで理解せよ。	経営管理の説明を読み、問題を再度回答せよ。	
	B	次の単元へ進め。	経営管理と決算の説明を再度読んで理解せよ。	経営管理の説明を読み、問題を再度回答せよ。決算の説明を再度読め。	
	C	決算の説明を読み、再度問題について回答せよ。	経営管理と決算について再度説明を読み、決算の問題に回答せよ。	教師のカウンセリングを受けよ。	

つまり、これらの単元相互の評価の関連から評価行列が作成され、それをもとにした学習のナビゲーションが教師により設定されるわけである。

ここで、例えば決算についての評価が B^+ 、経営管理についての評価が A だった場合の総合評価をファジィ推論で行なう。

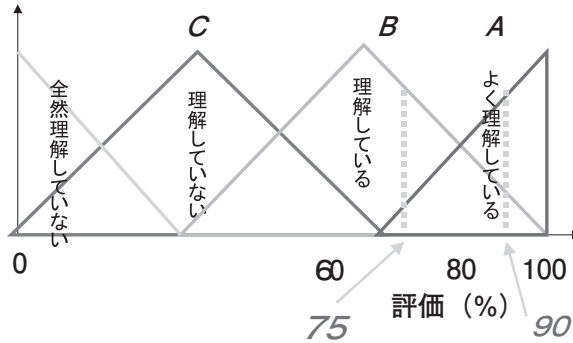


図3. ファジィ集合と評価 (2)

表2. の評価行列を規則化すると、次のようになる。

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| 規則1: $A, A \Rightarrow A$ | 規則6: $B, C \Rightarrow C$ |
| 規則2: $A, B \Rightarrow B$ | 規則7: $C, A \Rightarrow B$ |
| 規則3: $A, C \Rightarrow C$ | 規則8: $C, B \Rightarrow C$ |
| 規則4: $B, A \Rightarrow A$ | 規則9: $C, C \Rightarrow D$ |
| 規則5: $B, B \Rightarrow B$ | |

この場合、規則1と規則4が一番近い規則になるので、求めたい総合評価 E_0 は、

$$\text{規則1: } A, A \Rightarrow A$$

$$\text{規則4: } B, A \Rightarrow A$$

$$\text{事実: } B^+, A \Rightarrow ?$$

$$E_0 = \phi(B^+, A)$$

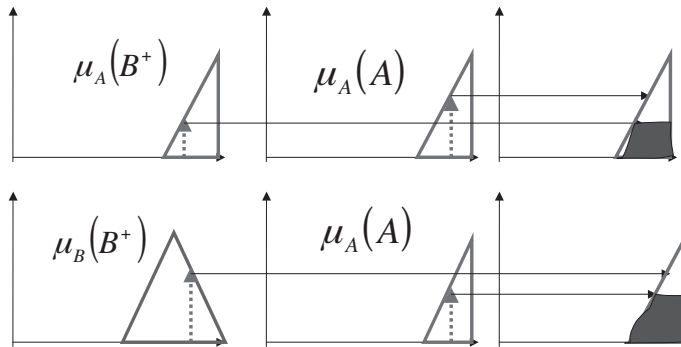


図4. 前件部の適合度

ここで、規則1と規則4を使い、それらの前件部の適合度を r_1 、 r_4 とすると、

$$r_1 = \mu_A(B^+) \wedge \mu_A(A)$$

$$r_4 = \mu_B(B^+) \wedge \mu_A(A)$$

実際の値を入れてみると、 r_1 、 r_4 は以下のようになる。

よって、

$$r_1 = \mu_A(0.75) \wedge \mu_A(0.90) = 0.75 \wedge 0.25 = 0.25$$

$$r_4 = \mu_B(0.75) \wedge \mu_A(0.90) = 0.75 \wedge 0.70 = 0.70$$

次に、前件部の r_1 、 r_4 で切った後件部を z_1 、 z_4 とする。

$$r_1 = \mu_A(z_1) = 0.25 = 3z_1 - 2$$

$$r_4 = \mu_A(z_4) = 0.70 = 3z_4 - 2$$

よって、

$$z_1 = 0.75$$

$$z_4 = 0.90$$

ファジィシングルトン推論法で重みを1とした簡略化推論法（水本）にあてはめると、

$$h_1 = \mu_A(0.75) \mu_A(0.9) = 0.25 \times 0.70 = 0.18$$

$$h_4 = \mu_B(0.75) \mu_A(0.9) = 0.75 \times 0.75 = 0.53$$

となり、

$$r_0 = \frac{h_1 z_1 + h_4 z_4}{h_1 + h_4} = \frac{0.18 \times 0.75 + 0.53 \times 0.90}{0.18 + 0.53} = 0.86$$

となる。非ファジィ化された実数値は0.86となる。

$$z_0 \doteq A^-$$

すなわち

$$E_0 = \phi(B^+, A) \doteq A^-$$

よって、経営管理と決算の2単元の総合された評価は A^- と求められる。総合評価としては、 A の「高い評価」つまり「よく理解している」の集合に入り、学習のナビゲーションとしては、表3より「次の単元へ進め」がCAIの画面に表示され、学習者に次の学習課題を実施するよう促す。

3. まとめ

ここでは、学習者が学習している際に、どのような形で学習のナビゲーションが表示されるかを、画面のハードコピーを用いて示す。

図5の上段は、問題が表示されている状態、下の図は回答した結果、コンピュータから掲示される学習のナビゲーションの例である。ここでは、「この単元について、あまり理解されていないようです。決算の単元を再度読み、もう一度問題に取り組んでください。」と掲示されている。

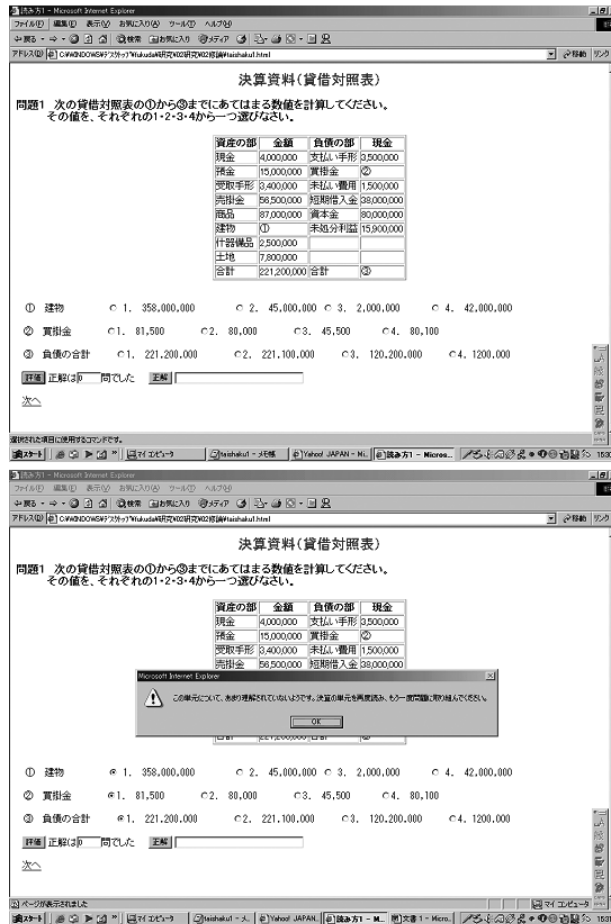


図5. システムの画面例

2. の「学習支援システム」で述べたように、学習者の学習過程を認知科学のアプローチで解析し、人工知能技術を使うICAIという学習支援システムの考え方があるが、そのコンテンツの開発は、学習者の認知状況に個々に対応できるようなプログラミングが要求されるため、非常に煩雑になり、教授者側の開発負担も大きい。このようなことが、今日ICAIが特殊な用途でしか使われていない理由の一つである。

本システムでは、プログラム部分は科目内容に依存しないよう汎用性を高くしてあり、教授者は評価行列である表2.や、学習のナビゲーションである表3.を用意しておくだけで良いため、コンテンツの開発負担が大幅に軽減させることが可能である。

また、教材の提示や問題の提示の部分も、雛型のようなものを作成しておき、教授者は雛型の空いている部分に、自身が持っている教育コンテンツから埋めていくような形にすることも可能である。

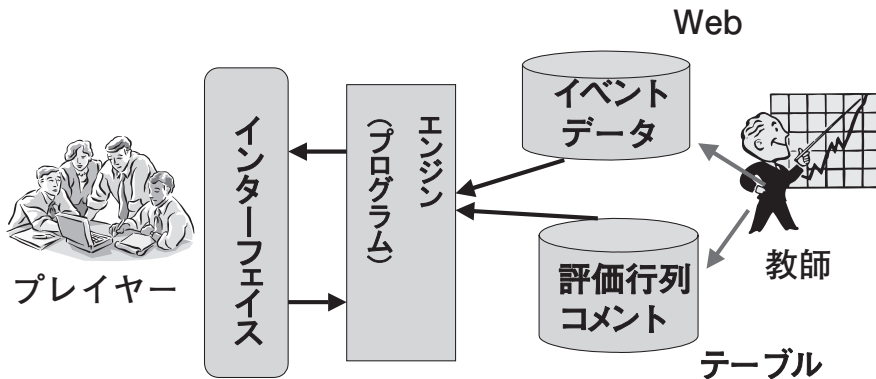


図6. システムの運用イメージ

今回の研究においては、ファジィ推論による知的な学習ナビゲーションが行なえるしくみについての考察を行なったのみで、実際にプログラミングし、コンテンツを埋め込み、学習支援システムを完成させたわけではない。ただ、学習時の画面や、学習のナビゲーションが表示されているイメージをつかむため、HTMLとJava Scriptを使って試作版の製作を行なった。この試作版は、著者が以前から開発してきたドリル型CAIである日本語学習システムのモジュールをそのまま使ったものである。現在は経営情報学を対象にシステムの開発を進めているが、将来は経営情報学と同様に、漢字や文法などの多種類の単元が関連し合う日本語学習にも有効であると考えている。

最後に、ファジィ推論による総合評価を、特に関連が強い2つの単元で行なったが、現実にはさらに多くの単元が関連しており、その関連度も多段階となる。評価についても、各単元A、B、Cの3段階としたが、今後はもう少し段階を多くすることがより現実的であろう。このあたりは、あくまでも教授にあたる者の要求に応じてシステムを開発していかなければならないが、これらの段階を増やすことにより、今度は教授者側の評価行列や学習ナビゲーションの設定が複雑になり、収受できなくなる恐れもある。今後、システムの開発にあたっては、教授者側の要求とデータ管理の負担度合いを調整する必要があるだろう。

<参考文献>

- 1) 山下元他、ファジィ数学入門、森北出版、1997年3月
- 2) 奥川峻史、ベトリネットの基礎、共立出版、1995年5月
- 3) 矢鳴虎夫、CAIとファジィ推論「ファジィ教育情報科学」、早稲田大学出版部、1995年
- 4) 水本雅晴他、日本ファジィ学会編、ファジィとソフトコンピューティングハンドブック、共立出版、2000年9月
- 5) 福田真規夫・矢鳴虎夫、CAIにおける知的学習ナビゲーションの研究(1)、平成14年バイオメディカル・ファジィシステム学会全国大会後援論文集、2002年10月
- 6) 福田真規夫・矢鳴虎夫、CAIにおける知的学習ナビゲーションの研究(2)、平成15年バイオメディカル・ファジィシステム学会全国大会後援論文集、2003年10月
- 7) 福田真規夫・矢鳴虎夫、教育用ビジネスゲームにおける意思決定の総合評価を求める方法の研究

国際研究論叢

- (1)、平成16年教育システム情報学会全国大会後援論文集、2004年8月
- 8) 福田真規夫・矢鳴虎夫、教育用ビジネスゲームにおける意思決定の総合評価を求める方法の研究
- (2)、平成17年教育システム情報学会全国大会後援論文集、2005年8月