

意味ネットワーク構造を応用した情報教育用 CAIシステムの試みとその評価

Development and Evaluation of the CAI system for the
information education applying semantic network structure

(1998年3月31日受理)

福 森 護
Mamoru Fukumori

Key words : CAI, 意味ネットワーク, 知的適応型テスト

ABSTRACT

In this paper, I propose a way in which computers can be utilized in the education of computer science. In order to increase the effectiveness of the computer training, I attempt to introduce an intelligent adaptive testing system which utilizes a semantic network. This system will make it possible to effectively promote the learning of computer science and will assist in the rapid acquisition of computer techniques.

はじめに

ここ数年、小学校から大学に至るまで、情報教育が盛んになり、その内容、方法論などに関する議論が盛んに行われている。しかし、実際の教育現場においては、担当教員数の問題などもあり、理想的な教育が行われているとはいえない。そのような状況の中で、コンピュータ支援による教育システムの役割が重要となっている。コンピュータ支援の教育方法を導入することにより、マンツーマン方式に近い教育効果を上げることが期待される。

コンピュータ支援による教育は、CAI (Computer Assisted Instruction) やITS (Intelligent Tutoring System) という形で実現され、我が国においても、さまざまな議論が展開されている(岡本, 1997など)。一般に、CAIシステムでは、ドリル&チュートリアルが基本となっており、学習者は、Q&A方式で問題を解きながら与えられた解答や解説を検索して学習を進めていく。この方法では、全ての学習者に同じ課題を課すことにより学習が進められるため、学習者の能力レベルに応じた効率の良い教育が行いにくいという欠点がある。また演習形式の実践的なスキルの獲得には大きな効果が期待できないという問題点や、学習効果の評価方法が十分に確立されてい

ないという課題も残っている。これらの問題点を改善するために、最近では、知識処理・人工知能分野を応用した知的C A Iの研究が進められており（岡本，1990，山本，1987など）、ハイパーテキストによる自己評価型システムや環境型C A Iなどさまざまな応用研究が行われている。本研究では、意味ネットワークを学習項目に応用したコンピュータ支援の学習システムを提案し、その評価を行う。

1. 意味ネットワークのC A Iへの応用

意味ネットワークは、元来は、心理学における長期記憶の構造を表現するために考案されたものである。Quillian (1969) は、長期記憶の心理学的な構造モデルとして、T L C (Teachable Language Comprehender) と呼ばれる、言葉の間の意味関係をネットワーク構造で理解する言語理解モデルを考案した。この考え方は、ある概念が属するクラスやその上位概念としての値を記述し、その性質を表す言葉にリンクさせるというものであった。つまり、ある概念対象に対して、クラス、性質、例などといったリンクが定義され、それぞれに対して値を記述するものである。意味ネットワークではそれぞれの概念の構造や関連を重視するため、その応用範囲は広く、さまざまな領域で応用システムが構築されており、近年では知識工学における知識表現手法の重要なものの一つとなっている。意味ネットワークによる知識表現は、単なるデータ構造の表現に過ぎないが、応用システムにどのように組み込まれるか、またどのように運用されるかが極めて重要になる。意味ネットワークを教育分野に応用した代表的なものとして、SCHOLAR (Carbonell, 1970) がある。このシステムでは、意味ネットワークの技法を巧みに応用し、コンピュータと学生とが相互に知的な会話が可能で相互主導を取り合える個人指導形態の教育システムになっている。国内においてもここ数年研究が進められており（永岡他，1992など）、その有効性が確認されている。また、福森ら（1997）は、意味ネットワーク構造を応用した医学部学生へのC A Iシステムを提案している。

このように、意味ネットワーク構造を取り入れることで、より柔軟で効率の良いシステムの構築が可能であり、その応用価値は高いといえる。

2. 本システムの概要

2. 1. 本システムの基本構成と処理の流れ

本システムの基本構成は以下の通りである（図1）。この構成は、藤原ら（1995）の知的適応型テストシステムの構成にならったものである。藤原らのシステムでは、学習者の理解状況を把握するために、難易度以外に教材の構造情報を加えている。この教材の構造情報をもとにして、適切な難易度の項目を出題するが、このとき学習者のモデルを更新するために出題方略を用いている。テストシステムが出題方略を持つことにより異なる項目について出題方略を共有でき、さらに出題方略を更新することにより、テストの条件に応じた出題を行うことが容易になる。テストの条件はテ

スト実施者が事前に入力するが、これによりテスト実施者の意図をテストに反映させることが可能になっている。

本システムの処理の流れは以下の通りである。

- (1) 学習教材の構造情報, 学習者のモデル, テストの条件などから次に出題する項目の決定。
- (2) 出題項目の項目番号をインターフェース部へ転送
- (3) 該当する項目を項目群から検索
- (4) 項目の出題
- (5) 学習者の回答データを出題方略に転送
- (6) 学習者のデータを学習者のモデルに追加し, モデルの更新
- (7) (1)へ戻る

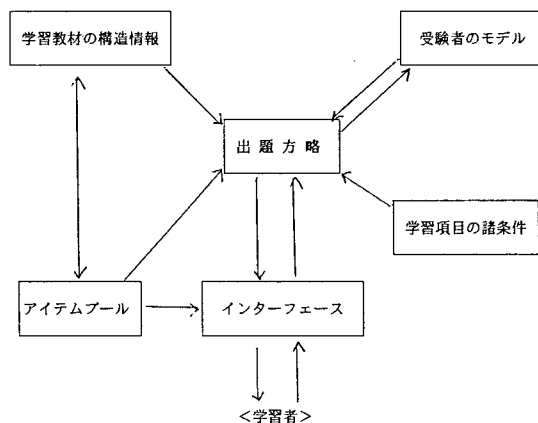


図1. システムの構成

2. 2. 意味ネットワークによる学習教材の構造化

本システムでは、意味ネットワークを用いてアイテムプールの構造化を行った。構造化の方法としては、Bloom (1971) の方法が代表的であるが、この方法は項目間の意味的な関係がとらえにくいいため、本システムでは、藤原ら (1995) の提案した意味ネットワーク表現に準じて構造化を行った。一般に、意味ネットワークはノードとリンクからなるが、ここでは項目群をノードだけでなくリンクにも対応させた。

意味ネットワークのノードには、学習教材の要素が対応し、さらにその要素と項目が対応する。例えば、データベースについての意味ネットワークにおいて、「データモデル」や「リレーショナル」などがノードとなる。また、リンクの種類は分野や内容によって異なるが、ここでは SCHOLAR および藤原らの利用形態を参考に、表1に示す6つを取り上げた。

ここで、1)～5)は縦の関係を示し、6)～8)は横の関係を示すものである。

表1. リンクの種類

リンクの名称	機能
1) Super Concept	上位概念の記述
2) Super Part	その要素を構成する要素 (AND)
3) Super Attribute	その要素を構成する要素 (OR)
5) Super Example	その要素の具体例
6) Equal	同義関係
7) Opposition	対義関係
8) Applied/to	対象の適用範囲

本システムでは、上記のような意味ネットワークを用いてアイテムプールを構造化した。コンピュータ上では、Prolog を用いてプログラムを作成した。ノードとリンクの関数は、次のような形をとった（藤原・永岡，1995）。

```
node (Name,Importance,Code,Difficulty).
```

```
link (Name1,Name2,Function,Importance,Code,Difficulty).
```

ここで、Name、Name1、Name2 はノード名、Importance はノード・リンクの重要度、Code は項目の番号、Difficulty はそれぞれの項目の難易度を示している。なお、Difficulty は、「1. 最もやさしい」から「4. 最も難しい」までの4段階とした。

2. 3. アイテムプールの内容

本システムは、短期大学における情報処理概論科目で運用することを目的としているが、今回開発したシステムでは、情報処理概論の内容の一部である「データベースの基礎」をアイテムプールとした。

データベース教育の最終的な目標は、(1)データベースの構築に必要な基礎的知識を習得することであり、(2)多様なデータに対して、適切なデータベースの構築を行うために必要とされるスキルを獲得することである。(1)に関しては多肢選択方式などによる従来の設問方式で十分な学習効果が期待できるが、(2)についてはさまざまなデータ構造に対応するために試行錯誤を通じた訓練が必要になるため、従来のQ&A形式で、ドリルとチュートリアルが中心のシステムだけでは十分とはいえない。そこで、本システムでは、多肢選択式の項目だけではなく、演習形式の項目を項目群に取り入れた。演習課題は、意味ネットワーク構造に含まれ、与えられた課題について演習を行った後、自己採点により到達度の判断・評価を行わせることとした。

なお、それぞれの項目の難易度は、藤原ら（1993）に準じ、項目の正答率（到達度）、平均所要時間などに基づき、1～4の4段階で評価した。

2. 4. 学習者のモデル

従来の適応型テストでは、一般に学習者の理解状態を一次元上で表現するため、学習者が理解している部分と理解していない部分の具体的なフィードバックが困難である。そこで本システムでは、学習者の理解状態を意味ネットワーク表現された教材構造へのオーバーレイモデルで表現した。本システムのオーバーレイモデルでは、学習者の理解状態を、「1. 全く理解していない」から「4. 完全に理解している」までの4段階で表現した。これは、学習効果の評価の評価値に対応するものである。

2. 5. テストの条件

本システムでは、出題方略の制御を行うために、テスト実施者の要求や意図をシステムにインプットすることができる。インプットする条件は、評価の種類や項目数、テストの時間などのテスト形

式と出発点のノードや出題範囲といったテストの内容である。これらを事前にインプットすることにより、システムの柔軟性を高めており、より汎用的なシステムとなっている。

2. 6. 出題アルゴリズム

本システムの出題アルゴリズムの概略としては、テスト条件の決定、意味ネットワークにおける範囲の決定、項目の選択・出題の3つに大別できる。アルゴリズムの流れは以下の通りである。

- (1) 出発点となるノードの決定
- (2) 教材構造およびテスト条件から出題方略の初期値を決定
- (3) 出題方略に基づいて出題範囲を決定
- (4) 出題
- (5) 必要に応じて出題方略の変更
- (6) (3)に戻る

このアルゴリズムでは、出発点となるノードが決定したらまず出題方略を決定する。また、この出題方略は出題後に必要に応じて変更される。出題方略の変更は、ノードの周辺のノードをいくつかの部分に分割することにより行われる。出題後は、出題範囲の評価値を測定する。評価値は、「1. 全く理解していない」から「4. 完全に理解している」までの4段階で行う。ここで、出題範囲の中から、出題範囲内のリンク・ノードについて、その重要度に応じた出題数で、また学習者に適切な難易度の項目で出題を行う。

3. システムの運用と評価

3. 1. システムの実施

短期大学の学生37名に対して本システムを運用した。学生のほとんどはデータベースに関する知識がなく、データベース構築の訓練も受けていなかった。全ての学生はパソコン使用歴があったため、操作方法などに関しては特別な練習はせず、各自のディスプレイに表示される指示に従って学習を進めていった。学習時間は70分とした。今回使用したシステムは、総項目数が100程度であったため、個人差はあるものの、70分の時間内で全内容の約3分の1程度を終了することが可能であった。本システムでは、演習課題が含まれているため、多肢選択項目だけで構成されているシステムよりも学習時間は多くなる。

運用中、操作方法などに関する質問は皆無であり、本システムのインターフェースは実用に十分耐えうるものと判断された。

運用結果の動作例として、ある学生の運用結果の一部を表2に示す。

表 2. 運用結果の動作例

出 題 範 囲	難 易 度	所要時間 (分)	評 価 値
ファイルの基礎概念 1	1	1	4
ファイルの基礎概念 2	2	3	4
ファイルの基礎概念 3	4	4	3
データモデル 1	2	2	1
データモデル 2	3	2	1
分散データベース 1	2	3	2
分散データベース 2	3	6	1
リレーショナルデータベース 1	2	5	4
リレーショナルデータベース 2	3	3	3
リレーショナルデータベース 3	4	15	3
データベース管理システム 1	3	3	3
データベース管理システム 2	4	4	3
データ通信 1	2	5	4
データ通信 2	3	6	3
データ通信 3	4	5	3

表 2 より、この学生の場合は、15 の出題範囲中で評価値 1 が、「データモデル 1」、「データモデル 2」、「分散データベース 2」の 3 つであり、また評価値 2 が「分散データベース 1」の一つであったため、データモデルと分散データベースがこの学生の苦手な範囲であると解釈される。また、データモデルと分散データベースの理解度が低いため、出題範囲として含まれるべきマルチメディアデータベースや知識ベースに関してはスキップし、学習の指示を行っていない。また、難易度 4 の出題範囲も出題されていない。これに対して、他の出題範囲では、難易度 4 まで出題されていることがわかる。ただし、ファイルに関しては、十分な理解ができていると判断されて、難易度 3 をスキップして難易度 4 の出題範囲を提示していることがわかる。

このように、ある特定の学生の結果だけであったが、本システムの学習者に対する出題範囲や出題範囲の難易度の選択が効果的かつ適切に機能しているものと考えられる。

以下に、学習後に行った、4 項目の簡単なアンケート調査の結果を示しておく。

- ・本システムの使用方法は容易であったか？

Yes (100%)

- ・本システムを使用することによりデータベースに関する知識・技術は向上したと思うか？

Yes (81.1%) No (18.9%)

- ・本システムを今後も継続して使用したいと思うか？

Yes (89.2%) No (10.8%)

- ・本システムを授業に取り入れることは賛成か？

Yes (100%)

4. ま と め

本システムではいくつかの新しい提案を行っているが、その主な特徴は以下に示す通りである。

- 1) 本システムでは、テスト方式として、学習者の解答反応に応じて問題を提示する意味ネットワーク構造のアイテムプールを利用した知的適応型テスト方式を導入した。
- 2) 知識の獲得だけでなく、実践的なスキルの獲得を目指し、データベース演習問題を取り入れた。これにより、さまざまなデータに対応するデータベース構築の訓練を体験することを可能にした。本研究では、パソコンベースのデータベースアプリケーションを利用することで、より柔軟で、応用範囲が広く、また高度な学習を行うことを目標とした。
- 3) 教育評価部では、自己評価項目を取り入れ、課題到達レベルを自己管理できるような工夫を行った。

知的適応型テストは、学習者の解答反応に応じて次のテスト項目を決める方式である。この方式を用いることにより、適切な難易度のテスト項目によって学習が進められ、また、精度を落とすことなく学習者一人あたりの項目数を減らすことができる。本研究では、項目間の意味的關係に基づいて適切な項目を出題できるようにするために、意味ネットワークを用いてアイテムプールの構造化を行った。アイテムプールの構造化に関しては、永岡、藤原の項目間の関係を重視した意味ネットワーク表現を用いた。この方法を用いることにより、項目間のつながりを考慮した適応型テストの実施のほか、テスト構成の場面ではそれぞれの項目間の関係を考慮したテスト構成の支援、さらには項目間の関係を考慮したテスト構成の支援、さらには自動テスト構成など、より複雑なテスト構成の支援が可能となった。

学習効果の評価方法については、現在検討中であるが、問題への正答率だけでなく、自己満足度などの自己評価項目を意味ネットワークに取り込み、自己評価項目の反応も加味した上で、次の課題を決定するシステムにすることを。自己評価項目の具体的な内容に関しては、現在検討中である。

一方、問題点としては、学習者一人に対して1台ずつのコンピュータ環境が必要となることや、データベース訓練部で使用するツールの操作方法にかなりの時間を割く必要があることなどがあげられる。また、残された課題としては、学習効果の評価方法がある。正答率や達成度評価だけでなく、自己満足度などの自己評価による評価システムを考案する必要があると考えている。また、意味ネットワークに自己評価項目を取り込み、自己評価の反応も加えた上で次の課題を決定する出題アルゴリズムの開発を目指したいと考えている。さらに、意味ネットワークの構造の再検討やアイテムプールの内容の再検討など、残された課題も多い。これらの課題を検討し、本システムの実現に向けて早急に取り組みたいと考えている。

最後に、本システムを有効に利用することで、データベースの基礎知識と実際のデータベース構築技術だけでなく、問診・診断の進め方などに関する思考過程の形成にも意義あるものとなることを期待している。

<参 考 文 献>

- 藤原康宏・永岡慶三 (1993). 受験者モデルに基づく出題を行う適応型テストシステムの開発, 電子情報通信学会技術研究報告, ET93-5, 27-34.
- 藤原康宏, 永岡慶三 (1995). 意味ネットワーク構造のアイテムプールを持つ知的適応型テストシステムの開発, 日本教育工学雑誌, 19, 73-83.
- 福森護・盛政忠臣 (1997). 医療情報教育におけるデータベース教育用C A I の応用. 第17回医療情報学連合大会論文集, 886-887.
- 永岡慶三・藤原康宏 (1992). 意味ネットワークを用いたアイテムプールの構造化, C A I 学会研究報告, 92, 41-44.
- 岡本俊雄 (1990). 知的C A I システム, オーム社.
- 岡本敏雄 (1997). 知識処理技術と教育工学, 日本教育工学雑誌, 207-226.
- Quillian, M.R. (1969). The teachable language comprehender, Commun, ACM, 12, 8, pp.459-476.
- Wainer, H. (1990). Computerized Adaptive Testing. : Lawrence Erlbaum Associates Publishers, New Jersey.
- Weiss, S.M., Kulikowski, C.A., Amarel, S. and Safir, A. (1978). A model-based method for computer-aided medical decision-making, Artificial Intelligence, 11, pp.145-172.
- 山本米雄 (1987). 人工知能と知的C A I システム, 講談社.