

ISM法のインストラクションシステムの構築

江藤 香† 松田 郁夫‡

†日本工業大学 情報技術センター

‡日本工業大学 工学部

本研究の目的はISM法を多人数に教育する方法として、システムズ・アプローチに基づくインストラクションシステムを構築することである。分析手法の習得は知識の獲得であるラーニングの段階とその獲得した知識を基にして、実際にISM法を用いて分析をおこなうトレーニング段階がある。本システムではマルチウインドウの利用でラーニングとトレーニングを同時並行することで、効率よく分析手法の習得ができ、また、学習の対象者を限定することで有用性を高めることができた。知識の獲得を教科書や専門家のみでなく、ユーザからの評価をフィードバックさせることで、ユーザのニーズにより適合させることができた。

Development of Instruction System for ISM Method.

Kaoru ETO† Ikuo MATSUDA‡

† Information Technology Center, Nippon Institute of Technology

‡ Faculty of Engineering, Nippon Institute of Technology

4-1 Gakuidai, Miyashiro, Saitama, 345, Japan

The purpose of this study is to develop a instruction system for ISM method as teaching method for many students with the systems approach. To master method of analysis needs the process of learning for knowledge acquisition and the process of training that analyse using ISM method based on the knowledge acquired. We were able to master ISM method effectively by this system which could learning and training simultaneously through the use of multi-window system. Narrowing user could raise the usefulness of system. We made this system match well with user's requirements by knowledge acquisition form feedback of user's evaluation in addition to textbook and expert.

1. はじめに

近年、認知科学や知識工学に基づいた知的情報処理システムの構築が盛んに行われるようになった。いわゆる知識ベースを利用したエキスパートシステムなどである。しかしながら、開発されたもののほとんどがデモンストレーションやプロトタイプのものであり、実用化の段階まで達したシステムは非常に少ないのが現状である。その理由の一つとして、知識ベースの構築方法論が確立されていないことが指摘されている。¹⁾また、ソフトウェアシステムの開発の上流工程をコンピュータで支援するための新しいアプローチが試みられている。それは知識工学の分野で比較的成熟しつつある計算機による知識獲得の支援技術をソフトウェアシステム開発での要求仕様獲得や設計仕様獲得への適用である。²⁾このようにコンピュータによる情報処理をより知的なものへと発展させると、情報処理システムは、複雑で大規模なシステムを対象として取り扱うことになる。このような複雑で大規模なシステムを取り扱う一つの方法論として、システムズ・アプローチ(systems approach)³⁻⁴⁾がある。われわれは知的情報処理システムを構築する手段として、このシステムズ・アプローチによるISM (Interpretive Structural Modeling)法が有用であると提唱してきた。⁵⁾しかし、ISM法は複雑な問題の構造を分析するのに有効であるが、専門家以外の人々が実際に分析して良好な結果を得ることは必ずしも容易ではない。そこで、ISM法の学習やISM法を用いた分析過程でユーザが必要とする情報・知識等を提供できるインストラクションシステムの構築が望まれる。本研究の目的はISM法などのコンピュータを用いる分析手法を多数に教育する方法として、コンピュータを利用したインストラクションシステムを提案し、システムズ・アプローチによるISM法のインストラクションシステムを構築することである。

以下、2章ではシステムの基本的な枠組みについて述べる、3章ではシステムの概要を示す、4章と5章では3章に対応して、知識ベース、ユー

ザインタフェースについて詳しく述べる、6章では本システムによる利用例を示す。7章はシステムの評価の仕方とその結果を示す。

2. 基本的な枠組み

2.1 学習観

従来の学習観では、学習者は受動的に教師から知識を伝達されるものであり、良い教師とはできるだけ多くの知識を伝達することである。また、教師はテストなどで学習者の理解度を確認するなど、学習を管理する傾向が強いため、学習者の意欲の衰退を招く。新しい学習観では、学習者はその必要性が明白な場合には、教師から知識を伝達されなくても積極的に環境に働きかけ、効果的に学ぶことができ、自ら知識を構成することができる。つまり、欲しているときに欲している知識を提供することが効率的な学習である。本システムはこの新しい学習観⁶⁾に基づいて構築されている。

2.2 インストラクションシステム

このインストラクションシステムでは、いわゆるCAI、ICAI、ISTなどのようにコンピュータを教師の代替物として利用するのではなく、思考の道具⁷⁾として利用することで、ラーニングとトレーニングを同時並行して行い、習得の時間の短縮を計るなど効率よい分析手法の習得をもくろんでいる。また、数学などと違って、一意的にその解が求まらない問題や分野を学習するのに必要なトライ・アンド・エラーの過程をコンピュータを利用して、効果的に実現することも意図している。

本システムではテキストなどのドキュメントをベースに専門家の知識などを組み込んだ知識ベースを構築し、それを効率よく利用するが、目的は教育訓練であり、いわば、ICAIとエキスパートシステムの間位置するものである。

2.3 学習対象者

さまざまなユーザを対象とするシステムにおいては、システムに対する要求が多様多様となりシステムは大規模かつ複雑になり、必ずしも実現可能とは限らない。一方、対象者を限定すればユー

ザの要求が限定されるので、必要な知識を絞り込むことが可能となる。その結果、システムはコンパクトになり、システムとユーザの要求とのマッチングも良くなる。本システムではシステムを利用する学習者の対象領域は技能獲得の5段階モデル⁹⁾における初心者から、ISM法の理論は学んだことはあるが、実際の分析経験が少ない者、つまり、第2段階までを目標にして構築した。実際には本学の学生でISM法の理論を学んだ者やゼミの学生で卒業研究のためISM法を用いて構造分析を行う者を対象とした。

2.4 教材

ISM法は、グラフ理論の基本概念をコンピュータを媒体として、系統的に適用することで、いろいろな要素間の相互関係パターンを階層構造モデルとして図示することにより対象を理解するなど、複雑な問題の分析評価を支援するためのシステムズ・アプローチの一手法である。ISMの特徴は最終的に階層構造モデルが作成されるが、その過程で一度作成された階層構造モデルが、人間の直感や創造力に働きかけるというフィードバックのプロセスがあるため、問題に対する認識・理解がさらに深まることである。⁹⁻¹³⁾

2.5 学習内容

分析手法は例題や問題を解くだけでは十分に理解できない。さらに、ある程度理解できても実際に利用できなければ役に立たない。したがって、分析手法の習得は分析手法の知識の獲得であるラーニングの段階とその獲得した知識を基にして、その手法をどう利用するのか、実際にISM法を用いて分析をおこなうトレーニング段階が考えられる。

分析手法を習得するための学習には手法に関する理論や用語などのいわばWhat's的知識とその手法を実際にはどのように利用するのかのHow to的知識の両方の習得が不可欠である。

(1)What's的知識の学習形態

What's的知識は基礎理論など事実として言葉により表現できる知識である。知識の獲得は本を読んだり教えられるだけでも可能である。したがっ

て、知識が不足しているときや忘れたときなど、知識を提示するだけで十分である。その知識の有無は問題を与えて、その解答で判断できる。分析手法を習得するという目的に対しては、これらの知識のみでは不十分である。How to的知識との関連が不可欠である。上述のような、What's的知識の獲得段階はラーニングの段階である。

(2)How to的知識の学習形態

How to的知識は言葉のみでは表現できない知識である。本のみでは容易に伝達されない知識である。いわば、知識を利用するための知識と言えるものである。この種の知識は実際に自分で分析手法を利用し問題を分析するといった経験を積むことでしか獲得できない。実際に分析を行うときに生じる問題は分析経験により解決されることが多い。トライ・アンド・エラーの繰り返しの中で、What's的知識をタイミングよく補完しながら得られるものである。これがトレーニングの段階である。

インストラクションシステムはHow to的知識のコアの部分をコンピュータを介して教育することを試みるシステムである。しかしながら、高度なこの種の知識の獲得はコンピュータを介しての教育のみでは不可能と思われる。学習者がその段階に達した場合は人間教師(専門家)が教えることになる。インストラクションシステムは学習者の知識、特に、知識を利用する知識の習得を支援するシステムであるといえる。これらは実際に分析手法を実行させることができる環境でのみ行えるものである。

2.5 機能

インストラクションシステムは学習者が積極的に環境に働きかけ、効果的に学ぼうとするとき、学習者の要求する情報・知識を的確に提供する一つの環境であることが望ましい。新しい学習観に基づく最良の学習環境とは学習者の必要に応じた過不足のない最小限の援助を提示する環境と考える。したがって、本インストラクションシステムでは一般のICAIなどにみられるシステムからの質問に答えながら、必要な知識を獲得するとい

った、冗長性を廃するために、学習者が必要とした時のみ要求された情報や知識をタイミングよく、何度でも適切に提供するシステムとする。これはいわば学習者主導型学習システムである。この機能はHelp機能をより効率的にしたものである。具体的には、ISM法を用いて問題を分析しようとするとき、また、ISM法を習得しようとするとき、コンピュータ上でISM法のプログラムを実行させながら、手法の理解、分析手順、分析結果の解釈などを支援するシステムである。

3. システムの概要

3.1 システムの構成図を図1に示す。

3.2 知識ベース

知識ベースは、1) ISM法の具体的手順、2) ISM法の理論、3) 構造分析手法の理論、4) 主な用語、5) 事例、と大きく5つに分けて、それぞれに独立性を持たせている

(1) ISM法の具体的手順のデータベース

- ①事前処理（問題の設定、要素・関係ステートメント・構造の例、ISM法の問題点）
- ②タームの抽出の仕方

- ③一対比較の仕方
- ④可到達行列の求め方
- ⑤パート分割
- ⑥レベル分割
- ⑦レベル内分割
- ⑧スケルトン行列の抽出の仕方
- ⑨有向グラフの作成
- ⑩有向グラフの評価
- ⑪ISMのアルゴリズムの説明
- ⑫事後処理（ループの取扱い）

(2) ISM法の理論のデータベース

- ①ISM法の基本的な考え方
- ②ISM法の特徴
- ③ISM法の使用目的

(3) 構造分析手法の理論のデータベース

- ①構造分析の基本的な考え方
- ②構造分析の特徴
- ③構造分析の必要性
- ④構造分析の適用範囲

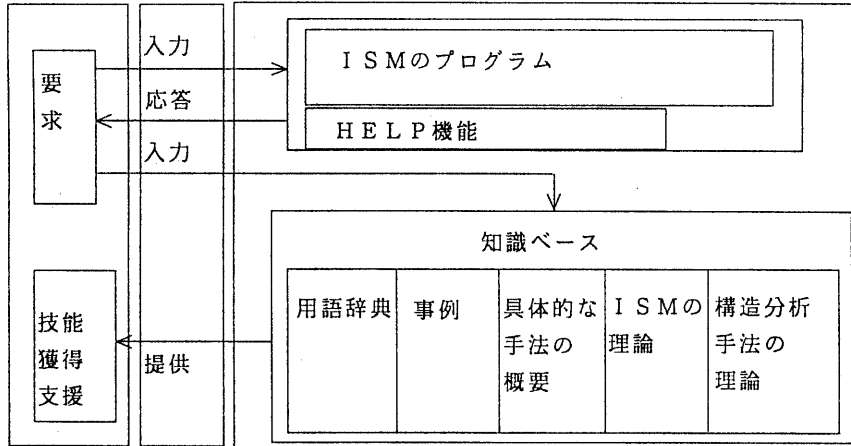


図1 システム構成図

(4)用語のデータベース

基本的な用語である40項目に絞り作成(表1)。

表1 基本用語

1) K J 法	21) I S M
2) フレック・ストリング法	22) クラムの抽出
3) ナム	23) 2項関係
4) 一対比較	24) 正方向列
5) 推移性	25) ハート分割
6) 対角要素	26) レベル分割
7) 可到達行列	27) レベル内分割
8) 隣接行列	28) スパルス行列の抽出
9) 単位行列	39) ネットワーク
10) ハート演算則	30) 構造モデル
11) 最長パス	31) マン・マシン系
12) 有向グラフ	32) 問題複合体
13) フレック対角化	33) 階層構造図
14) 到達可能集合	34) DEMATEL
15) 先行集合	35) 社会システム
16) フレック下三角化	36) 問題の明瞭化
17) 普遍行列	37) 分析の段階
18) 強連結	38) 予測の段階
19) 縮約行列	39) 計画の段階
20) 対角フレック	40) 評価の段階

(5)事例のデータベース

- ①テキストから転載したもの
- ②研究室で実際に利用したもの

3.3 インタフェース

ビットマップ・ディスプレイとマウスを利用することでグラフィック・マン・マシン・インタフェースを実現することができた。具体的にはマルチウインドウ・システムを利用する。

3.4 I S M法のプログラム

I S M法の利用目的は複雑なシステムを構成している多数の要素の間に存在する何らかの因果関係を、コンピュータとの対話によって明確化していくことである。したがって、I S M法のプログラムの開発ではユーザとの対話形式に重点を置き、インストラクションシステムに対応できるように改良してある。さらに、How to的知識を獲得するための中心となる環境でもある。そのためトライ・アンド・エラーの繰り返しが無難に行えるよう次の点を主に考慮した。

(1)可到達行列を作成する際には対話型で全ての要

素を一対比較する。しかし、ユーザが望むならば2項関係の推移性が仮定できるときは、推移性を利用して推定できる行列の要素は一対比較を行わず全て自動的に推定値を設定するというI S M法の方式を利用して、コンピュータとの対話の回数を減らすとともに、その推論過程を提示することができる。

- (2) I S M法の各段階を理解しやすいように、各段階の実行結果は自動的にファイルに保存され、DISPLAY機能を利用して、結果を自由に画面で見ることができる。
- (3) I S Mプログラムを実行するためのHELP機能も付加してある。また、インストラクションシステムはHow to的知識のコアの部分をコンピュータを介して教育することを試みるシステムである。このようなフィードバック操作に対応できるように、エディタ機能を利用して、一度入力したデータを試行錯誤しながら加工して、繰り返し何度でも分析できるようにしている。プログラムはC言語を用いて開発した。

3.5 開発環境

本システムの開発環境は以下の通りである。

機種はVAX STATION 2000

使用言語はLISP, C言語

ウインドウ・システムはUISウインドウである。

4. システムの構築

システムはシステムズ・アプローチにより、構築した。その構築手順は図2に示されている。

4.1 知識獲得

学習者によく適応するシステムを作成するためには、知識獲得が重要となる。どのような知識を、どこから、どのように獲得するかがこのシステムのポイントである。

(1)知識源

知識源は専門家の知識、教科書や論文などのドキュメントと学生が実際に利用した事例の双方から獲得した。

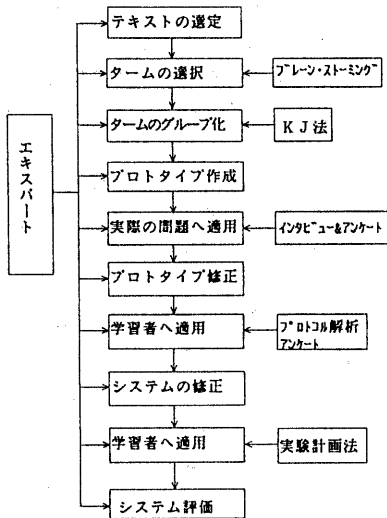


図2 知識獲得とシステムの構築方法

特に、事例に関しては、これまで4年間にISMインストラクションシステムの構築と同時並行で以下のような分野に応用しながら、システムズ・アプローチによりそれぞれの評価結果をフィードバックさせるという反復過程を通して、応用分野に対する認識や理解を深め、このシステムに必要な知識を蓄積し、改良を行ってきた。

ドキュメント：教科書，専門書，論文からはISMそのものの知識を抽出した。

事例：学生が実際に利用した際の知識，特にISM法のプログラムの使い勝手やその必要な機能を抽出した。具体的には以下のようなものである。

- 1年目：情報処理受験講座「ハードウェアの知識」の本からの知識を構造分析して、階層化した。
- 2年目：Common Lispのテキストの知識を構造分析して、対象知識領域の規準モデルを作成した。
- 3年目：AHP (Analytic Hierarchy Process) の評価項目の階層構造の決定。
- 4年目：PERT (Program Evaluation and Review

Technique)法の作業リストの階層化。

これらは事例集として、その他の教科書や論文などのものと一緒にシステムに組み込まれ、いつでも参照することができる。

その間、本システムもバージョン①から⑤と機能を段階的に発展させた。

①ユーザとの対話によりユーザの技能に合わせてコースを決定するもであった。しかし、3コースしか設定してないため、コースにあてはまらないユーザへの対応が不備であった。ISM法のプログラムがBASICで記述されていたため、計算に時間がかかり過ぎた。

②ユーザのレベルを初心者に限定し、CAI的機能も付加した。ISM法のプログラムをFORTRANで書くことにより計算時間を短縮した。

③ユーザが説明文中の理解できない用語をマウスでクリックするだけでその用語に関する情報を別のウィンドウに表示する機能を付加した。FORTRANで書かれたISMのプログラムはグラフィック機能が弱いため、C言語で書き直した。

④ユーザとシステムとの対話をシステムの質問に対して、キーワードを表示してその中から選択させるなどの入力方法と説明文の改善を行った。

⑤オブジェクト指向プログラミングの考え方を取り入れて、全ての操作をマウスでクリックするだけで行えるようにした。

エキスパート：上述した知識を補足するもの、主に事後処理に関する知識

学習者：実際に使用したときに出される質問

(2)知識抽出の方法

具体的な方法論としては、まずブレイン・ストーミング法やKJ法により必要と思われるタームを教科書や論文から抽出し、そのタームをまとめる段階で専門家の意見を取り入れて、抽出したタームを階層化した。また、ISM法を実際に用いて問題を分析している過程でどのような情報・知識が必要とされるかをユーザにインタビューしながら獲得し、専門家と検討して必要と思われるものは順次追加した。

a. プレーン・ストーミング法とKJ法

まずプレーン・ストーミング法により数人の学生と一緒に教科書、専門書や論文から必要と思われる要素を抽出して、KJ法を用いて適当と思われる数のグループに分類した。

b. インタビュー

学生に実際に問題を分析してもらった直後にインタビューして、必要な知識を獲得した。ここでは分析手法のプログラムの使い勝手を中心に、その知識を獲得することを意図した。

c. プロトコル解析

学生に問題を与えて、熟練者と初心者がペアとなって分析してもらう。その際、二人の会話をすべてテープレコーダに録音し、その録音を解析した。ここでは、分析の過程で出される質問や追加してほしい機能などの要望を抽出した。

d. エキスパートとの検討

最初からエキスパートにインタビューをするなどして知識を獲得する方法ではなく、上の各段階での結果をエキスパートに提示して、欠落部分や追加の必要がある知識を討議しながら明確にした。その際、学習者のレベルを念頭に置いて討議することに注意した。

このように専門家の知識、教科書的事実と利用者の実際に使用してみた結果を組み合わせることで利用者にとってより利便性の高いシステムを構築することができた。

上述したように、従来から行われている“はじめにエキスパートもしくはエキスパートの知識ありき”といった方法とは少し異なった知識の抽出・獲得方法を用いた。このことは本システムがエキスパートシステムとCAIの中間に位置する教育システムであることから考えて適切なものと思われる。

4.2 知識表現

Lisp言語を用いて一つの知識を一つの関数として定義することで、知識の利用の仕方を中心にしたモジュール化を行った。一つの例題を最初のステップから最後の分析結果の解釈までその手順を追って説明する。

例えば、現代の企業が経営戦略を行うにはどのようなことを考慮しなければならないかを考える。この例で用いるタームとして抽出される事柄は、以下のようなものである。

- 1)安定成長下における利益確保
- 2)新規市場の開拓
- 3)市場ニーズの多様化への対応
- 4)国際情勢への対応
- 5)情報システムの強化
- 6)海外拠点の拡充

このように6つの課題について、お互いの要素間の関係を明かにするため、ISM法の分析手順にしたがって、各ステップを説明する方式を採用している。

5. ユーザインタフェース

インストラクションシステムはラーニングとトレーニングを同時並行させることで効率よく分析手法を習得することができるシステムのため、この機能を実現するにはユーザインタフェースは非常に重要な要素である。本システムではオブジェクト指向プログラミングの考え方を取り入れてこれを構築した。つまり、マルチウインドウ・システムを利用し、メニューの項目をマウスでクリックすることで目的の知識が獲得される。(図3)

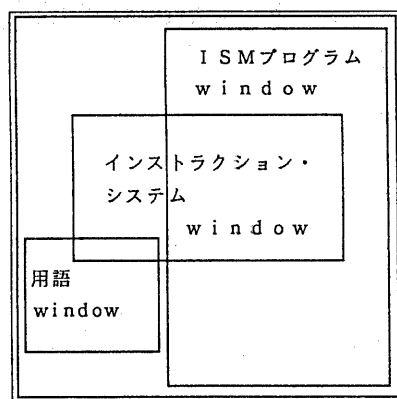


図3 画面表示の割付

5.1 マルチウィンドウ・システム

ユーザは一つのウィンドウでISM法のプログラムを利用して問題を分析しながら、ISM法についてわからないことが生じたときに別のウィンドウを開いて、必要な知識を獲得できる。このようにしてラーニングとトレーニングを同時並行することで学習効果を上げることを試みた。

5.2 メニュー方式

分析の各段階でユーザにどのような情報を望むかを質問する。ユーザは表示されたキーワードの中から対象を選択する。この方法は入力操作を簡単にするにとともにユーザが何を入力すべきか迷うことを回避できる。

5.3 マウス

メニューから項目を選択するのに利用する。また、システムが提供する説明文の中で理解できない用語がある場合は、その用語の部分をクリックすると、その用語に関する情報・知識を別のウィンドウに表示することができる。

6. 利用例

6.1 ISM法のプログラムの操作例

図4ではISM法のプログラムのメニューとDISPLAY機能を用いて、スケルトン行列を確認している。

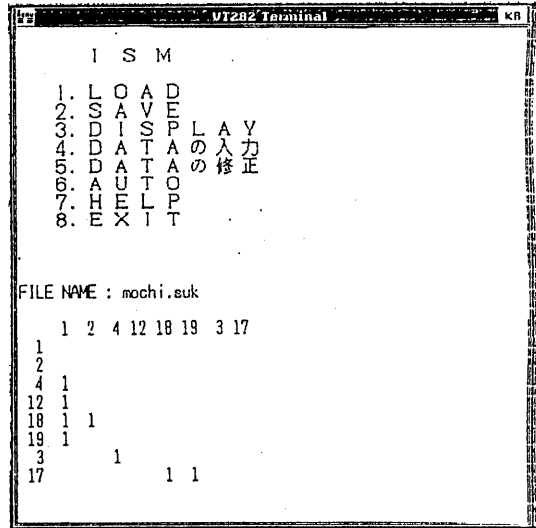


図4 利用例1

6.2 経営戦略

図5では前述した現代の企業の経営戦略で抽出した6個のタームの相互の関係を有向グラフに表している。

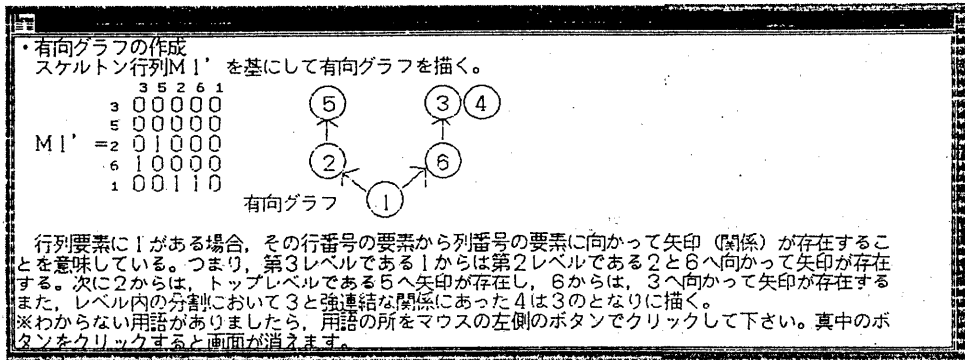


図5 利用例2

7. システムの評価

インストラクションシステムのような技能習得のためのシステムを評価するのは非常に困難である。

I S M法は複雑な問題の構造を有向グラフを用いて明らかにするものであり、一つの問題を分析して、その結果を明らかにするのに多くの時間を必要とする。そのため、実験を容易に行うことができず、何度も繰り返すことが困難である。そこで、我々は効率よく実験を行うため、実験計画法を用いて、その評価を行った。

7-1 評価の方法

実験計画法における、目的はインストラクションシステムの各支援機能の評価、特性値はI S M法のプログラムを用いて問題を構造化するまでに要した時間、因子はa) I S M法のプログラムのHEL P機能、b) I S M法の分析手順を支援する機能、c) I S M法の事例の参照、水準は機能がある、ないの2水準、交互作用はaとb、bとcがあると仮定、とそれぞれ設定した。

実験のわりつけは2水準の直交表L₈(2⁷)を用いて、表2のようになった。

表2 実験のわりつけ

(1)	HEL P + 手順 + 事例
(2)	HEL P + 手順
(3)	HEL P + 事例
(4)	HEL P
(5)	手順 + 事例
(6)	手順
(7)	事例
(8)	支援機能なし

実際には 課題は人手不足が社会に与える影響、関係は促進する、または、抑制する、抽出された項目は以下の20、とそれぞれ、あらかじめ与えて行った。

- 1)人材難 2)人の移動 3)残業増加

4)生産遅延 5)賃金上昇 6)技術力の低下

7)機械化 8)疲労増加 9)品不足

10)生産拠点の移動 11)品質・サービスの低下

12)技術の進歩 13)病気・傷害の増加

14)商品価格の上昇 15)生活水準の低下 16)休業

17)就労観の変化 18)転職の増加

19)女性の社会進出 20)外国人労働者の増加

実験の結果

I S M法の講義を一度は受けたことがある16人の学生を使って実験を行った。実験データの解析の結果からは期待した各機能別の効果や最適水準の組み合わせは得られなかった。それは機能が多いと興味本意にその機能を使うため、時間がかかったり、意欲のある学生は機能の多少に関係なく、スムーズに分析を行えたり、学生の個人差が大きかったためと思われる。全般的には分析の手順の機能を使用したケースの学生は結果を出すのが速いという傾向がみられた。今後は学生の個人差を解消するためにもう少し実験の人数を増やして行うようにしたい。

また、分析で用いた因子の各機能は、かなり多くの事項を含んでいるので、今後さらに、その各部分についての検討も必要となろう。

7-2 評価の結果

実験の結果は期待通りのものではなかったが、I S M法の講義を受けただけの初心者全員が、本システムを用いて構造分析ができたことは、本システムの目的であるラーニングとトレーニングを同時並行して行うことで、技能を習得することは達成できたものと考えられる。

8. おわりに

本論文で、I S M法などのコンピュータを用いる分析手法を多人数に教育する方法として、ラーニングとトレーニングの同時並行を重視したコンピュータを利用したシステムを提案し、システムズ・アプローチにより構築したI S M法のインストラクションシステムについて述べた。本論文で記述した内容を具体的にあげると、つぎようになる。

(1)インストラクションシステムの定義と特徴およびその機能分析を行った。

定義：知識を利用するための知識を獲得するコンピュータを用いた教育システム。

機能：ラーニングとトレーニングを同時並行して行う。

(2)学習の対象者を技能獲得の5段階モデルにおける第2段階までと限定することで、特にHow toの知識に関して必要とされる知識を絞り込むことができ、知識ベースの構築を容易にし、かつ、学習者の要求とのマッチングを速めたり、全体として、システムの有用性を高めることができた。

(3)システムズ・アプローチにより、知識ベース作成における知識獲得の方法を提案し、作成することができた。具体的にはシステムを実際に応用した結果を評価してフィードバックさせる反復過程を経ることで、専門家の知識や教科書からの事実としての知識とこれまでの4年間の利用実績から知識の双方を組み合わせることにより、実際にISM法を利用するときの支援内容を充実させることができた。これにより、ユーザの要求により適合したシステムとなり、使いやすいシステムの構築が可能となった。

(4)ウインドウシステムをうまく利用することで、ラーニングとトレーニングを同時並行できるというインストラクションシステムの特徴を活かしたシステムを実現した。このことにより分析手法の習得が効率良く行えるようになった。

(5)システムの評価の方法として、実験計画法を用いた。その結果、本システムがISM法に関する技能獲得に有効であることが確認できた。

最後にISMを実際の問題に適用する前に関係者は手法の効果や良さを理解する必要があり、そのためには、ISM法を適用して、経験を積むと良いとされているが、本システムはその目的には十分に応えられるものと思われる。

今後の課題

異なる場所にいるプロジェクトの構成員とネット

ワークを介して、電子メールやホン（phone）機能を駆使してISM法での分析を行うことを試みたい。

参考文献

- 1)小林重信：知識システム技術の現状と将来、計測と制御, Vol. 27, No. 10, pp. 1-10(1988)
- 2)中内直志編：「仕様獲得と知識獲得—ソフトウェアシステムの視点から」、情報処理, Vol. 33, No. 6, pp. 606-640(1992)
- 3)中野文平：システムズ・アプローチとは何か、オペレーションズ・リサーチ, Vol. 7, pp. 5-8(1988)
- 4)Peter Checkland(高原康彦・中野文平監訳)：新しいシステムアプローチ, オーム社, 東京(1985)
- 5)江藤 香, 松田郁夫：Common Lispインストラクションシステム, 第8回シミュレーション・テクノロジーコンファレンス発表論文集, pp. 181-184(1989)
- 6)稲垣佳世子, 波多野誼余夫：人はいかに学ぶか, 中央公論社, 東京(1989)
- 7)佐伯 胖：コンピュータと教育, 岩波書店, 東京(1986)
- 8)H. L. Dreyfus & S. E. Dreyfus (椋田 直子)：純粋人工知能批判, アスキー出版局, 東京(1987)
- 9)田村担之：ISM構造モデル—理論とアルゴリズムを中心に—, 計測と制御, Vol. 18, No. 2, pp. 170-179(1979)
- 10)榎木義一, 河村和彦編：参加型システムズ・アプローチ, 日刊工業新聞社, 東京(1981)
- 11)J. N. Warfield: Toward Interpretation of Complex Structural Models, IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., Vol. SMC-4, No. 9, pp. 405-417, (1974)
- 12)J. N. Warfield: Societal Systems, planning, and Complexity., Wiley, New York(1976)
- 13)G. G. Lendaris: Structural Modeling—A Tutorial Guide, IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., Vol. SMC-10, No. 12, pp. 807-840(1980)