

# 情報処理教育における 学習支援に関する一考察

高 橋 律

- 〈目 次〉
1. はじめに
  2. 情報処理教育におけるあいまいさ
  3. 教育方法のあいまいさとファジイ理論
  4. 情報処理のための記号処理
  5. おわりに

## 1. はじめに

平成11年に告示された新学習指導要領では、平成10年7月の教育課程審議会答申を受けて、完全学校週5日制の下でコンピュータ等の情報手段の活用を一層推進し、中学校技術・家庭科で情報に関する内容を必修化、高等学校で教科「情報」を必修化としている。これらは小・中学校では平成14年度から全面实施され、高等学校については平成15年度から学年進行で実施されることとなった。従前から高等学校商業科、工業科、家庭科、数学科等において情報関連科目についての指導が行われていることは周知のとおりである。同様に学校教科目に限定されることなく広範にコンピュータを取り入れた教育活動が盛んに行われており、また学校現場に特定されず社会教育のなかに情報教育が根差しつつある。

情報教育に関する取り組みが増すことにより、情報教育に携わる指導者の必要性も増しており、指導者の育成そのものも急務となっている。本稿ではこれら情報教育、とりわけ情報処理教育と言われる部門にファジィ理論を応用することにより、指導展開に客観性及び具体性を与える諸方法について考察する。これに伴い、情報教育と情報処理教育の差異について明らかにしておく必要があるが、以下の諸点に基づいて本稿では情報処理についての教育方法に限定して論考する。第一に文書処理、表計算、データベース等のアプリケーションソフトについての操作及びその活用法を学ぶという意味での情報処理教育について、その教育方法に関する考察を行う。第二にBASIC、COBOL等のプログラミング言語によるプログラム作成及び活用法を学ぶという側面を含めて、情報処理教育として取り扱う。第三に情報管理、情報倫理、通信制御、マルチメディア、ネットワーク等を第一義的には取り扱わないという意味から、情報教育ではなく情報処理教育に限定してその教育方法に関する考察を行う。

## 2. 情報処理教育におけるあいまいさ

今日行われているコンピュータ教育のうち、実習を多く伴う学習形態に特定し、その指導及び評価方法についてのみが本稿で取り扱う範疇であり、コンピュータを実際に利用し操作する過程に見られる指導上の諸問題について小論の考察対象にする。

### 2.1 学習理解度

このような実習形式の指導形態では、その指導が一斉指導を重視すればよいのか、個別指導の重要性が高いのかについては、指導の経過・内容、学習者の理解度・進度、学習目標の設定レベル等により相違が出てくる。すなわち進度を揃え、学習目標点までの到達度を一定にしようとするれば一斉指導が重視され、学習者の理解度・進度をより重視すれば個々の状況に応じた個別指導が重視される。また一斉形式・個別形式の何れの場合であっても、その学習速度の設定如何でその理解度が変化してくる。

当然、理解に要する時間を十分確保しなければ学習内容の習得が困難になり、必要以上に時間をかけ過ぎれば学習効率が下がる。そこで学習進度の最適化をはかる尺度として、どのような要素に着目すべきかが重要な論点となる。実際の教育現場においてはこれらの判断は指導者の総合的な判断に委ねられることがほとんどで、経験や知識、技術に基づいた最適化を図る努力が日々行われている。これらの判断はその場合に応じて個別的判断、集団的判断に分かれるが、何れにおいても各シチュエーションから得られた情報を統合したかたちで、学習進度及び学習目標が決定される。

これは「学習者が提示された学習内容を理解した」と判断する尺度そのものが、およそあいまいなものであるからに他ならない。例えば、ある事項について40人の学習者を担当する指導者が、だいたい皆が理解したようだ」と判断して次の事項に説明を進める場合、この「だいたい理解した」という判

断は極めて主観的なものであって、40人の学習者の何パーセントが理解した時点をいつ「だいたい理解した」と考えるのかといった尺度や根拠は、先述したように指導者の経験や指導技術、指導者としての知識に照らした上の結論と言わざるを得ない。そして、この判断が早すぎるのか遅すぎるのかといった比較判断が困難であるのが、教育という作業の特徴でもある。

## 2.2 学習理解度の把握

もちろん全く経験や勘を頼りに指導が行われている訳ではなく、ときに指導者は「分かりましたか」といった発問により、理解度を確認しようとする。しかし、この発問は適確に学習者の理解度を測るという意味においては、不確定要素が多すぎる。というのは、この発問に素直に学習者が「分かりました」、「分かりません」という意思表示を行う確率は極めて低いからである。その都度極めて厳密に「分かりません」の意思表示がなされたならば、一般的に円滑な学習指導は成立しがたいほど停滞する。付言すると、このケースで仮に40人中一人でも「分かりません」の意思表示があれば、指導者はその学習者が理解するまでその内容を繰り返し説明しなければならない立場に陥り、極端に多くの時間を指導に要すことになるであろう。そのような事態が容易に予想されるため、多くの場合で、理解できていない学習者も「分かりません」といった意思表示を控え、また指導者も厳密に100%の理解度が得られなくても、次項の説明へと進んでいかざるを得ないことを暗黙裡に了承している。教育者の間で「分かりましたか」の発問は愚問に属すると往々にして言われる所以であろう。その他にも机間巡視や学習者の態度、視線、雰囲気等で理解度を判断することが考えられるが、これらは更に抽象的な判断材料であると言えよう。

したがって、どの程度の理解度と進度をもってして学習活動を進めていけばよいのかという問題において、その最適化を図るより客観的な尺度なり要素が得られればより理解度の高い授業過程が構築できることになる。

そこで、このように何パーセントとも表現できない「だいたい理解した」、

「よく理解した」、「非常によく理解した」といったあいまいな状況を測定するための拠りどころとして、本稿ではファジィ理論をあげることにする。1965年にファジィ理論が創始されてから既に30余年を経過し、これまで意思決定モデルや工業部門におけるファジィ制御等々の広範に渡った応用がなされている。その意味においては情報処理教育における指導者の意思決定支援ツールとしての応用可能性も極めて高い。さらに、ファジィ制御に必要なセンサー情報を収集する機会が情報処理学習の場面では多いため、より具体的な手法を確立しやすいとも考えられる。

### 3. 教育方法のあいまいさとファジィ理論

本節では、はじめにファジィ集合とこれに対峙するふつうの「集合」との関係について述べることにする。すなわち、どのような集合でも、その集合の要素が確定している必要がある。換言するならば一つひとつの要素がある集合に属するか属さないかが、誰にでもはっきりと判別できる必要がある。

#### 3.1 一般的な集合とファジィ集合

集合要素数の多少は関係しないながらも、背の高い人の集合、美人の集合といったように特定の人とその集合に属しているかどうかは実際にははっきりとはしない。このように、あいまいな言葉で表された集合が「ファジィ集合」と呼ばれる。例示すれば、「身長180cm以上の人」の集合というのは、ふつうの集合であるが、「背の高い人の集合」はファジィ集合である。このようにファジィ集合を考えることにより、あいまいな言葉で表された集合も、一つの集合として取り扱えるようになった。それに対して、ファジィ集合は全体像のどこまでがこの集合なのかが分からず、サイコロを投げたとき「大きい目」が出るという事柄は、ファジィ集合に関した事象である。

ふつうの集合では、その集合の要素はその集合のメンバーであり、その集合以外の要素はメンバーではない。ところが、ファジィ集合になると、一つ

ひとつの要素がその集合のメンバーであるかないかがはっきりしないことになる。ファジィ集合は、そのメンバーシップ関数を定めることにより定義される。ふつうの集合では、どの要素もその集合のメンバーであるか、メンバーでないかのどちらかであり、ふつうの集合のメンバーシップ関数値は1か0かのどちらになる。メンバーシップ関数の値が1である要素は、その集合の要素で、メンバーシップ関数の値が0である要素は、その集合には属さない。

このように、メンバーシップ関数を考えることにより、ふつうの集合は、メンバーシップ関数が0と1の二つしかとらない集合として特徴づけられる。それに対して、ファジィ集合では、メンバーシップ関数が0と1の間の値をとるような要素がある。言うなれば、メンバーシップ関数により、ファジィ集合の特別の場合がふつうの集合になる。つまり、ふつうの集合の自然な拡張がファジィ集合になっているとも考えられる。ファジィ集合を考えるとき、ある要素のメンバーシップ関数の値は、その要素がこのファジィ集合に属する度合いを表している。

### 3.2 情報処理教育における問題解決構造

小論の対象となる情報教育の指導過程自体、ある目的を達成するように適切な判断を加えるための問題解決を行う一連の情報処理であると考えることができる。この情報処理の過程は、人間が学習指導を行うときの意思決定過程の推論から、巨視的には認知・判断・指導方法決定の周期で構成される。すなわち、センサーから受容される実情報により、指導対象者の状態あるいは指導対象者がおかれている状況を認識し、認識された結果と学習目標から何らかの判断処理を行う。そして、その結果に基づいて学習指令を決定し、口頭や板書・画像提示等によって、学習活動を促進する。このようなオープンな情報処理の周期を繰り返すことにより、時々刻々の状態変化に追従しつつ、その状態を目標の状態に到達させ、目標状態を維持するなどの学習目的を達成していくことができる。

これらの知的制御について、実時間制約下における問題解決（実時間問題解決）を実現するための計算処理系<sup>(1)</sup>の基本的な構造について次に考察する。また、認知システム工学の分野で提案されている指導者の認知モデルを基礎にして、知的制御における問題解決タスクの分類と、システム構築へ向けての統合化について述べる。

### 3.3 実時間問題解決のための計算処理系の構造

学習指導における問題解決のプロセスは、上述したように、学習者をそのなかに循環的に取り込んでおり、継続的に学習者から制約を受ける。このような対象は動的に変化するため、対象から受ける制約は、問題解決に対して何らかの時間的制約を課すことになり、その時間的制約が守れない問題解決は意味をなさなくなる。すなわち、時間をかけて最適な解を得るのではなく、制限時間内に実現可能な解を得ることが要求される。これはたんに問題解決処理の高速化を意味するのではなく、問題解決自体が反応すること、すなわち、状況変化に即応して、その局面に応じた学習指導上の問題が適切に設定され、それが制限時間内に解決されねばならないことを意味する。このため、知的制御には、1回ですべての問題を一挙に解決するという形態ではなく、対象の状態変化<sup>(2)</sup>に応じて部分問題を選択して解決し、これを継続していくことにより全体の問題を解決していくという形態が適している。例えば、次のように学習指導を行う指導者の状況を、実時間問題解決の身近な例として考えることとする。

### 3.4 指導方法の選択問題

学習指導<sup>(3)</sup>を（機械的な）問題解決過程とみると、その目標は、学習内容を理解することにある。通常、まず、学習内容を理解するまでの巨視的な学習段階<sup>(4)</sup>が計画され、適切に第二次目標<sup>(5)</sup>が設定されるであろう。指導者は当面の目標に向かって授業展開をはかる。そこでは、一連の解説、学習状況把握により検出される事象によって惹起される一連の判断から、補足解説を行うと

このような感応的な処理が並行的に実行され、それらが互いに連携をとって<sup>(6)</sup>当面の問題を解決していく。また、設定された第二次目標が実現できないとき<sup>(7)</sup>には、これらの学習指導に加えて、学習目標の修正・変更作業が並行して行われることになる。場合によれば、プランニングを大幅に修正するため、とりあえずの処置をとる<sup>(8)</sup>こともある。これらの情報処理には、すべてに何らかの時間的制約があり、これらを逸脱することは、破局的な結果につながる<sup>(9)</sup>うる。

このような形態の問題解決は、コンピュータ上の計算処理レベルでいえば、並行に動作する複数のタスク（計算主体）の協調による集団的な計算処理系の枠組みにより実現できると考えられる。各タスクの計算処理が、上述の部分的問題解決に対応する。各タスクの計算処理が感応的に実行されることにより、問題解決の応答信号が得られる。ここで各タスクを感応的に実行するというのは、具体的には、ある学習支援プログラムを起動し、対象の状態変化に応じて適切に指導事項を選択し、学習終了時まで<sup>(10)</sup>にその計算処理を完了させることを意味する。ただし、実際に守らなければならないのは、問題解決全体としての時間的制約であり、これを遵守するために、プログラム上の各タスクのデッドライン、計算処理内容、及びその起動タイミング（スケジュール）は、現在の対象の状態、問題解決の局面に依存したかたちで動的に変化しうる。これは、計算処理としての知的制御の特徴といえる。

学習指導の例でいえば、例えば、緊迫した局面では解説に集中し、また、余裕のある状況では解説に並行して次の授業プラン、第二次目標の手順も生成する、というように、理解状況の変化に応じて選択されるタスク、計算処理のモードが次々と適切に切り替わっていく。このような臨機応変の機能を、小論においてはファジイ制御によって実現したいと考える。プログラムを用いた実時間計算処理の技術は、各タスクの限界点や、優先順位などのタスク要因<sup>(10)</sup>が与えられたときに、これらと適合した種々のタスク管理方式<sup>(11)</sup>を提供し、知的制御では、その問題解決のなかで、これらのタスク要因<sup>(12)</sup>自体を制御するレベルのタスク管理の枠組みが必要であり、このような反射的な処理系の枠



組みを活用することにより、上述のような問題解決が可能になると考えられる。

以上のように、実時間制約下での問題解決は、計算処理系という最も基礎的なレベルにおいて、実時間処理性に加えて、上述のような実時間適応性を備えることを要求する。知的制御システムは、このような反応的計算処理系の上に構築されるが、具体的にどのようなタスクを用いてシステムを構成すればよいのかについて次に考察する。

### 3.5 学習指導の認知モデルに基づいたタスクの分類

ここでは、知的制御における問題解決を行うタスクの具体的な情報処理の内容について考察する。知的制御の情報処理のモデルを獲得するには、熟練操作員（学習指導の観点からは例えばベテラン指導者）の意思決定過程（認知プロセス）を分析することが有効であろう。

問題を階層的に把握することによって直面する複雑性に対処することは、複雑なシステムを取り扱うときに有効な一般的方法である。認知システム工学の立場から、操作員の認知挙動に関する階層構造モデルもまた提唱されている。プロセスやプラントの操作員の運転時における認知的挙動はさまざまな観点から分析されており、情報処理教育にそれらの手法をあてはめていく場合においても、その応用性が認められる。そのなかで、知的制御を考えていく上で重要な視点として、熟練操作員の認知的挙動が目的指向的であり、大きく三つの階層に分類できる。すなわち、操作員の認知的な能力のレベルをスキルベース、ルールベース、及び知識ベースの三つに区別することができる。この場合の熟練プラント操作員を熟練教師に見立てて考えていくことにする。

スキルベースレベルの行動は、入力されてくる連続的な信号に対して、前もって定められた応答パターンを実行するものであり、状況変化に応じて無意識に対処するルーチンワーク的なものである。学習指導の過程においては、テキストに沿った説明を述べる等の行動をこのスキルレベルの行動としてと

らえることができよう。

ルールベースレベルでは、対象の状態の認識結果（ラベル化されている）と照合する知識（ルール）の連鎖をたどって、目標状態や操作手順を決定する。これは説明に続いて実際にコンピュータ操作等の実習過程に指導の段階が推移した状況を想定することができる。

最後に、知識ベースのレベルでは、対象に関する深い知識に基づいて推論する。通常は、スキルベース、ルールベースのレベルで対処できるが、これまでに経験のないような状況に遭遇したときに、このレベルの行動をとる。

次に、各階層（スキルベース／ルールベース／知識ベース）における認知挙動を、問題解決のための情報処理機能ととらえ、これを実現するタスクモデルについて考察する。

### 3.5.1 スキルベースレベルのタスク

学習指導にあてはめて考えると、ある事象に関する説明を口頭で行っている際に、必要に応じて図示したり、板書を行ったり、ときには視聴覚教材を取り入れて説明を具体化する作業がこのレベルにあたる。このとき、指導者は意識的に学習者の反応に注目し、例えば学習者の目線、頷き方、雰囲気等を一定の情報源としている。そして、あらかじめ想定した学習理解度に照らして意図的にその説明方法を選択することとなる。このレベルのタスクは、通常のフィードバック制御の繰り返し処理と同様な考え方から、周期的な形態が適していると考えられ、対象の連続的な挙動に追従し、状況の素早い（低レベルの）認識に基づいて、即座に行動を決定できる制御機能が要求される。また、この周期タスクは、「状況の分類」と「手続き的知識処理」が直列に結合された構成になる。

「状況の分類」は、例えば、操作員が検出値からプロセスの状態を巨視的に把握するように、連続的な信号から何らかの特徴を抽出し、大まかにパターンを分類する処理に代表される。すなわち、このタスクには連続的なプロセス信号が直接入力され、その分類処理の結果が、次の「手続き的知識処理」

に渡される。「状況の分類」のための情報処理の形態として、ファジイ推論の手法が適していると考えられる。

「手続きの知識処理」は、機能的知識（スキル）をモデル化するために導入した、あいまいさを含まない確定的な構造のアルゴリズムで実現される低レベルの計算処理のことである。

### 3.5.2 ルールベースレベルのタスク

学習指導においては、未熟練教師が最初は意図的に一連の解説方法を選択していたのに対して、徐々に経験を積むことによって、スキルベースレベルの無意識的な学習指導に移行していくレベルがこのルールベースレベルのタスクと考えられる。

このレベルでは、あらかじめ特定の状況を想定して用意された多くの知識（ルール）のなかから、現在の状況に適合したものが連鎖的に選択され、それに従って目標状態や操作手順が決定される。したがって、このレベルのタスクは、事象駆動の形態になる。タスクの構成としては、「状況の識別」と「連想型情報検索」の結合が考えられる。ここでいう「状況の識別」とは、連続量であるプロセス信号を、トレンド処理や閾値処理によって、あらかじめ登録されている離散事象に対応づける（ラベル付け）タスクであり、この部分は常時周期的に実行される。

### 3.5.3 知識ベースレベルのタスク

知識ベースレベルのタスクは、学習指導では、学習目標を変更するときに、指導者ではなく、学習者が一定の要望（例えば、もう一度説明する・実例をあげる・サンプルを提示する・個別指導に切り替える等々）を出し、説明方法を選択するような状況に相当する。

ルールベース及びスキルベースのレベルでは、あらかじめ想定された特定の状況における問題解決だけが実行されうのに対し、本レベルでは問題に応じた適切な抽象度の対象モデルを利用することにより、より多様な状況に

対応できる適応的な問題解決を行う。

このレベルのタスクは、スキルベースやルールベースのように、形式的に情報処理のモデルを設定することが難しいが、あえて設定するとすれば、対象モデルを用いた定性的推論処理ということになるだろう。この場合、タスクは、「状況のシンボル化」と「モデルベース型定性推論処理」の結合という構成になる。まず、対象の定性モデルがあらかじめ用意されており、「状況のシンボル化」によって、プロセス信号がモデルの定性的状態に計画配置される。「モデルベース型定性推論処理」は、対象の定性モデル上での定性的なシミュレーションや、試行錯誤的処理（仮説生成から実証まで）を伴う推論・探索処理であり、原因追求のための深い診断やプラント運転計画立案など、熟慮を要する情報処理に用いられる。

以上、知的制御における問題解決タスクの類型化を試みたが、ここで重要なことは、知的制御システムにおいては、スキルベース／ルールベース／知識ベースの各階層の問題解決タスクがスムーズに協調することによって、初めて環境の変化に適応し、実時間制約及び資源制約下における問題解決を実行していくことができるということである。すなわち、各階層の学習指導方法が状況に応じてタイミングよく出現し、それが他の階層の指導過程に適切につながっていき、これが繰り返されることによって、環境変化に村して臨機応変的な問題解決を実行していく。

それでは、どのようにして各階層のタスク群を協調させればよいのか。また、そのためにはどのような処理系の枠組みが必要になるのか。ここには、問題解決システムの機能としての階層性と、先に述べた計算処理系としてのリアクティブかつリフレクティブな構造が密接に関係してくる。階層間のタスクの協調にはさまざまな方法が考えられるが、最も単純なのは、上位層から下位層に一方向的に指令を与える方法である。ただし、これだけでは環境変化に適応するための、リアクティブな問題解決機能は得られない。環境変化（対象の状態変化）に追従するためには、環境・対象との界面となるスキルベースレベルの学習活動に優先順位を与えなければならない。そこで、階層間

における協調の一方法として、上位層から下位層への指令系統において、下位層のタスクがより高い優先順位で処理される枠組みが考えられる。この枠組みによると、時々刻々の状況変化には低レベルで対応しつつ、徐々に上位の意思決定が行動に反映されていくことが可能になる。

### 3.6 知識ベース型モデリング

学習指導プロセスにおいては、学習者の理解度を示すプロセス信号は極めてあいまいな諸相によって構成されている。前述したように、表情・視線・頷き・雰囲気等々のプロセス信号を経験的にとらえて一定の理解度をうかがい知ると同時に、次の指導過程への段階的な進行速度を決定することになる。したがって、指導者の熟練度や指導者自身の能力的な振幅によって学習の効率が左右されることとなる。この振幅の程度を最小化する技術を、プロセス信号の有効な取り出しと、解説方法及び解説速度の送出によって可能とするためのモデリングによって次に考察する。

工業プロセスにおいては、熱交換器などの熱流動システムなどの相変化や化学変化を伴ったプロセスのような、機能や構造はある程度は知られているが、分布定数構造や非線形性のために、数式による記述が困難であるようなプロセス特性が数多く見受けられる。このような数式記述が困難なプロセスの多くにおいては、非線形性や実験式使用に伴う解析処理の複雑さが、モデリングや制御系設計を難しいものにしていく。ここで取り扱う知識ベース型モデリングは、局所的知識を総合することによって、プロセス特性を導出することを目的としたものであり、プロセスの部分特性を記述する知識ベース型モデルと、モデルを評価してプロセス状態量を導出するための知識（解釈知識）から構成される。知識ベース型モデルは、プロセスの内部構造に対応して、特性をモジュール的に記述するものである。対象機器に応じた表現形式を使い分けることによって、幅広いプロセス特性に対応することが可能となる。

プロセス特性を評価する際、時間的な非線形挙動を定量的に処理すること

は、代数的手法においても数値解析的手法においても非常に困難である。これに対して、知識ベース型モデリングでは、対象の記述とその解釈を分けて取り扱うため、目的とする処理に応じて解析処理の入出力変数を設定でき、多様なプロセス状態量の評価が可能となる。この制御特性を折れ点近似するようなファジィ推論ルールを導出することにより、ファジィ変数に対する適切な記号化を通じて、制御特性に物理的な意味づけを行うことができる。

#### 4. 情報処理のための記号処理

本節では、上述した合意構造モデルを構成するための方法を学習支援ソフトの選定に応用することにより、その有効性について検討することにする。

##### 4.1 学習支援ソフト導入への適用例

以下は合意構造モデルを構成するための方法を考察した大東文化大学の天笠美知夫教授の実証過程及びファジィ推論におけるアルゴリズムを適用することによって、「ある授業で、ある教材を採用する場合、いかなる問題が発生し、それをどのような順序で解決すべきであろうか」といった事例にこれをあてはめることにする。天笠教授はその著書『システム構成論——ファジィ理論を基礎として』のなかで駐車場問題を取り上げているが、小論では、この問題は学校側を代表する2名の管理者、2名の教員ならびに学生を代表する3名の委員によって審議されるものと仮定する。このとき、これら7名の審議委員全体の合意構造モデルは以下に示すプロセスで構成される。

(1) まず初めに合意構造モデルを作成するために、その対象問題に内在する問題(項目)を上述したアルゴリズムに基づいて抽出し整理する。

具体的には、次に示す12項目が抽出された。

(システムの構造化法に基づく合意構造モデルの構成)

抽出, 整理された問題 (項目)

- S1 : 使用PCの問題
- S2 : カスタマイズするか否かの問題
- S3 : 教室の問題
- S4 : 教材費の問題
- S5 : 教材利用期間の問題
- S6 : 教材利用手続きの問題
- S7 : 学生一人あたりの教材利用率の問題
- S8 : ソフトのインストールの問題
- S9 : 利用者の条件の問題
- S10 : 購入費の問題
- S11 : 利用開始日の問題
- S12 : 教室周辺の環境の問題

(2) 参加者全員に対して, ファジィ従属行列を決定するためにワークシートを配布し, 項目間の従属関係をプロットさせた. その結果, 7人のファジィ従属行列が次のように得られた.

$$A = [a_{ij}^l]_{12 \times 12} \quad (l = 1, 2, \dots, 7)$$

ただし,  $l = 1, 2, 3$  : 学生 (No. 1, No. 2, No. 3),  $l = 4, 5$  : 教員 (No. 4, No. 5),  $l = 6, 7$  : 管理者 (No. 6, No. 7) である.

	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10	S11	S12
S01	0.00	0.35	0.30	0.45	0.55	0.30	0.58	0.55	0.40	0.60	0.55	0.60
S02	0.70	8.09	0.50	0.55	8.70	0.69	0.60	0.65	0.50	0.70	0.65	0.65
S03	0.70	0.50	0.00	0.55	0.65	0.45	0.60	0.60	0.50	0.65	0.65	0.65
S04	0.65	0.45	0.45	9.00	0.60	0.35	0.55	0.60	0.45	0.60	0.60	0.60
S05	0.49	0.35	0.25	0.35	0.09	0.25	0.45	0.56	0.35	0.55	0.50	0.55
S06	0.89	0.45	0.55	9.50	0.80	0.09	0.70	0.75	0.55	0.80	0.75	0.80
S07	0.50	0.30	0.40	0.45	0.55	0.35	0.00	0.55	0.45	0.55	0.55	0.60

S08 0.45 0.20 0.05 0.35 0.40 0.30 0.45 0.00 0.35 0.55 0.50 0.55  
 S09 0.70 0.50 0.55 0.50 0.70 0.30 0.35 0.60 0.00 0.70 0.65 0.70  
 S10 0.30 0.00 0.00 0.30 0.45 0.20 0.40 0.45 0.30 0.00 0.50 0.50  
 S11 0.49 0.40 0.05 0.30 0.50 0.30 0.45 0.50 0.35 0.60 0.00 0.55  
 S12 0.35 0.05 0.20 0.39 0.45 0.05 0.35 0.45 0.30 0.50 0.45 0.90

【1回目の試行におけるNo. 1の行列】

なお、Aの要素、 $a_{ij}$  は参加者No.1 ( $i=1, 2, \dots, 7$ ) にとって、 $s_i$  が  $s_j$  より重要である度合いが  $a_{ij}$  であることを示している。

さらに、天笠教授はそれらを次のように統合している。

$$A = [a_{ij}]_{12 \times 12}$$

$$= \left[ \sum_{i=1}^7 a_{ij/7} \right]_{12 \times 12} \quad (i=1, 2, \dots, 12)$$

以上のように設定された7人を代表するファジィ従属行列に対してFSM (Fuzzy Structured Modeling) 法を適用すると、以下のような構造モデルを得ることができる。

【1回目の試行での個人構造モデルと代表的構造モデル】

試行	寄与度	置 換	従属関係	離反係数
No. 1	(重要度) $V_I$	$V_{II}$	$V_{III}$	$V_{IV}$
1	0.127	0.485	0.465	0.359
2	0.120	0.333	0.278	0.244
3	0.093	0.273	0.243	0.203
4	0.084	0.200	0.201	0.162
5	0.083	0.258	0.271	0.204
6	0.101	0.228	0.431	0.254
7	0.145	0.152	0.236	0.178



これより、個人構造モデルと代表的構造モデルとの間に差があり、また個人構造モデル間にも大きな隔りがあることをうかがい知ることができる。特に、No. 1, No. 2とNo. 6の個人構造モデルは代表的構造モデルとかなり離反している。これに対して、参加者No. 4とNo. 7の構造モデルは代表的構造モデルとかなり一致していることが分かる。

この段階では、参加者間に合意を得ることができなかった。そこで、再度項目に関する意味を明確にし、共通の理解を得ることを心掛けた。そして、さらに参加者に代表的構造モデルと本人の構造モデルとの違いについて考慮させながら必要に応じてファジィ従属行列を修正させた。

その結果、No. 1からNo. 6までの参加者は、各自のファジィ従属行列の一部の要素を修正したが、参加者No. 7は全く修正しなかった。

ここでは、参考までに第2回目の試行において用いられるNo. 1のファジィ従属行列及びNo. 1からNo. 7までの代表的ファジィ従属行列を示す。

	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10	S11	S12
S01	0.00	0.35	0.30	0.45	0.55	0.30	0.50	0.55	0.40	0.642	0.50	0.64
S02	0.70	0.00	0.54	0.55	0.70	0.45	0.60	0.65	0.50	0.70	0.65	0.65
S03	0.70	0.50	0.00	0.50	0.65	0.45	0.45	0.15	0.50	0.65	0.40	0.65
S04	0.65	0.45	0.55	0.00	0.60	0.35	9.55	0.60	0.45	0.60	0.60	0.60
S05	0.40	0.35	0.25	0.35	0.00	0.05	0.45	0.50	0.35	0.55	0.50	0.55
S06	0.89	0.60	0.55	0.60	0.80	0.00	0.70	0.75	0.55	0.80	0.75	0.80
S07	0.59	0.39	0.60	0.45	0.55	0.35	0.00	0.55	0.45	0.55	0.55	0.60
S08	0.45	0.20	0.55	0.35	0.40	0.30	0.45	0.00	0.35	0.55	0.50	0.55
S09	0.70	0.54	0.55	0.50	0.70	0.30	0.35	0.60	0.00	0.70	0.65	0.70
S10	0.30	0.20	0.20	0.30	0.45	0.00	0.40	0.45	0.30	0.00	0.50	0.50
S11	0.55	0.40	0.55	0.30	0.50	0.30	0.45	0.50	0.35	0.60	0.00	0.55
S12	0.35	0.25	0.20	0.30	0.45	0.25	0.35	0.45	0.30	0.50	0.45	0.00

## 【2回目の試行におけるNo. 1の行列】

	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10	S11	S12
S01	0.00	0.31	0.59	0.49	0.33	0.46	0.39	0.33	0.46	0.57	0.23	0.54
S02	0.69	0.00	0.64	0.58	0.6	0.56	0.41	0.46	0.56	0.72	0.39	0.67
S03	0.48	0.35	0.00	0.48	0.3	0.44	0.28	0.29	0.41	0.56	0.24	0.52
S04	0.41	0.38	0.59	0.00	0.48	0.50	0.34	0.35	0.56	0.56	0.28	0.49
S05	0.60	0.57	0.66	0.61	0.08	0.56	0.37	0.39	0.59	0.69	0.33	0.62
S06	0.69	0.51	0.61	0.51	0.45	0.00	0.35	0.37	0.51	0.64	0.36	0.55
S07	0.64	0.57	0.77	0.68	0.64	0.64	0.00	0.51	0.66	0.77	0.47	0.72
S08	0.74	0.60	0.76	0.66	0.59	0.64	0.50	0.00	0.61	0.77	0.44	0.68
S09	0.69	0.49	0.63	0.49	0.46	0.49	0.36	0.36	0.00	0.65	0.30	0.56
S10	0.41	0.29	0.37	0.39	0.28	0.28	0.20	0.21	0.34	0.00	0.01	0.41
S11	0.76	0.60	0.81	0.71	0.70	0.72	0.55	0.60	0.67	0.82	0.00	0.70
S12	0.51	0.37	0.46	0.46	0.36	0.46	0.28	0.33	0.46	0.64	0.09	0.00

## 【2回目の試行におけるNo. 0の行列（代表的ファジィ従属行列）】

すなわち、

最上層レベル集合 = {購入費の問題}

第2レベル集合 = {教室の問題, 周辺の問題}

第3レベル集合 = {使用PCの問題}

第4レベル集合 = {利用手続きの問題, 利用者の条件の問題}

第5レベル集合 = {教材費の問題}

第6レベル集合 = {カスタマイズするか否かの問題}

第7レベル集合 = {利用期間の問題}

第8レベル集合 = {ソフトのインストールの問題, 学生一人あたりの教

## 材利用率の問題}

最下層レベル集合 = {開始日の問題}

となっている。

この結果は必然的な結果といえ、本手法の特徴を簡潔に言い表しているといえよう。

一方、個人構造モデルと代表的構造モデルとの間の構造上の相違を示す値は、

$$\max \varepsilon_i = 0.293$$

となった。

したがって、この問題に対する関係者間に合意を得るためには、離反係数  $\varepsilon$  を 0.293 の範囲内におさえれば良いことが検証された。

逆に、このことは合意構造モデルを得るための離反係数  $\varepsilon$  を推測することが可能となることを示唆している。

実際にこれを実現するためには、このような問題に関する数多くのケーススタディを積み重ねることが必要となろう。この例における経験を通してではあるが、比較的効率よく合意構造を得ることができた。したがって、ここで述べた方法を用いることにより、対象となる問題にも依存するが、比較的短時間で合意構造モデルを構成することが期待できると天竺教授は指摘している。

学習支援ソフト選定のレベルは、前述した認知モデルにおける知識モデル段階の延長線上に位置するものと考えられる。したがって、実時間中に上述したアルゴリズムを具現化した合意構造モデルを構築し、離反係数を計測することによって知識ベースレベルの授業展開の指標を得ることができよう。このタスク展開は学習支援ソフトの選定にとどまらず、指導体制の編成替え、指導スタッフの増員、教材の選定、指導機材の選定等々に応用可能な範囲を包括している。

## 5. おわりに

第4章で明らかにしたとおり，ファジィ従属行列の設定法及び合意構造過程における変更がファジィ構造パラメータの効果的な設定に結びつく．複雑な学習支援システムに対する合意構造を得るための経営工学的アプローチの一つとして，学習者対指導者の構造を統合した代表的構造モデルとそのときの構造モデルとの相違を求め，それをより合意構造に近い代表的構造モデルを導出するファジィ従属行列に反映する方法について検討した．

これによって，学習プロセス信号をセンサーから入力し，実時間処理によって学習者及び指導者の双方にとって有効なタスクの選択レベルを出力することが可能であることが認められた．すなわち，学習理解度を試験等の評価尺度に照合して算出することが容易ではない学習そのものの進行中にも，プロセス信号の入力が可能であれば，一定の合意水準を満たしながら学習指導が展開できることになる．そこで，プロセス信号の検出についての具体的方法を検討しておく必要がある．

小論がその考察範囲を情報処理教育に限定した点もまた，このプロセス信号の検出の問題によるものである．換言するならば，情報処理教育における実習的学習形態では，知識ベースレベルの反動的なプロセスを検出することができる．例えば，プログラミング学習の過程では以下の四つの行程に大きく分類される．

- (1) 問題分析
- (2) フローチャートの作図
- (3) プログラムの入力・修正・翻訳
- (4) プログラムの実行

これらの行程を更に細分化し，各プロセスに達した時点を検出することは，ネットワークコンピュータを利用した専用教室による学習体制においては比較的容易である．すなわち，各プロセスを通過した時点で学習者がプロセス

信号を送信するタイミングを設定することが可能であるため、最も簡素なシステムとしてはメール情報の発信が考えられる。無論、信号の情報品質を均等化しておく必要があるため、GUI (Graphical User Interface) 部品による情報送出を基準にするなどの制御システムが考えられよう。

第3章で述べたように、知的制御システムにおいては、スキルベース／ルールベース／知識ベースの各階層の問題解決タスクが円滑に協調することによって環境の変化に適応し、実時間制約及び資源制約下における問題を解決できる。この知的制御における問題解決タスクの類型化で重要なことは、各階層の学習指導方法が状況に応じてタイミングよく出現し、それが次の（他の階層の）指導過程に適切につながり、このサイクルが繰り返されることによって、環境変化に対して臨機応変な問題解決を実行していく点である。

#### 〔注〕

- (1) 計算処理系とはOSあるいはシステムソフトウェアのレベルを表す。
- (2) 対象の状態変化に応じて比較的小さな部分問題を選択する。
- (3) 学習指導を機械的な問題解決過程とみることにする。
- (4) 学習内容を理解することを最終ゴールとする。
- (5) 第二次目標とはすなわち途中目標である。
- (6) 互いに連携をとる処理を協調処理という。
- (7) 例えば、予想外に理解度が低く目標地点に到達できないときなど。
- (8) 例えば、発問や小テストを実施する。
- (9) 例えば、あらかじめ設定された授業時間を大幅に越えて指導を続けるようなこと。
- (10) 計算処理系の制御におけるリアルタイムコンピューティング。
- (11) 計算処理系の制御におけるスケジューリング。
- (12) プログラム中で呼びだされる関数に与えられる引数。
- (13) 天笠美知夫『システム構成論——ファジィ理論を基礎として』（森山書店、1986年）、日本ファジィ学会『講座 ファジィ <7>/知識情報処理とファジィ』（日刊工業新聞社、1993年）pp.65-84引用。

#### 〔引用・参考文献〕

- (1) 井上洋，天笠美知夫『ファジィ理論の基礎』（朝倉書店，1997年）

- (2) 西田俊夫『おはなしファジィ——あいまいさを科学する』（日本規格協会，1990年）
- (3) 天笠美知夫『システム構成論——ファジィ理論を基礎として』（森山書店，1986年）  
日本ファジィ学会『講座 ファジィ<7>/知識情報処理とファジィ』（日刊工業新聞社，1993年）
- (4) 文部省『高等学校学習指導要領解説 情報編』（開隆館出版販売，2000年）
- (5) 山崎初夫，磯本征雄，吉根勝美，野崎浩成『試行錯誤型学習を想定した教授方略のCAI化』（日本ファジィ学会 第12回ファジィシステムシンポジウム講演論文集，pp.423-426，1996年）
- (6) 安田浩明，秋山孝正『学習過程に着目したファジィ経路選択モデルの検討』（日本ファジィ学会 第16回ファジィシステムシンポジウム講演論文集，pp.423-426，2000年）
- (7) 今崎直樹，関根智，愛須英之，加納誠，牧野恭子，石塚晃『学習システムの一構築法』（日本ファジィ学会 第12回ファジィシステムシンポジウム講演論文集，pp.637-638，1996年）