

知的CAIの要素技術についての一考察

- fundamentalsおよび適用ノウハウ蓄積まで -

Thinking about the basic technology to build up Intelligent CAI system

- up to fundamentals and accumulation of operation knowhow -

吉川 成人

Shigeto Yoshikawa

エスシーシー

S C C

あらまし 知的CAIシステムが目指すものは本来非常に深遠で高度なものであり、現状のAIを含めたコンピュータ技術やシステム構築技術をベースとし、適用したのではとてもまともには太刀打ちできない。本質的に必要な機能の洗い出しとその実現を考える必要がある。議論すべき項目として、問題解決と学習と理解がありさらに触れておかなければならない項目として、評価とフレーム問題、そして状況とニューロとメタがある。本報告ではこれらについての議論とこれらを要素技術として確立し、さらにトータルシステムとして本格的な知的CAIを構築するための方法論を考える。そして必然的に以上を可能とする特に技術に関するfundamentalsおよび社会にあるいは教育に根付くための適用ノウハウ蓄積と利用の体系までを報告する。

キーワード CAI 知識工学 問題解決 フレーム問題 常識 ニューロ

1. はじめに

CAIの発想即ちコンピュータを教育に用いるという考えは本来ユニークなものである。どのようなコンピュータをどのような教育に用いるかあるいはその逆について考えるのは意義のあることである。実用型CAIがかなり普及し、また知的CAIの研究もそれなりに進んでいる現状においてCAIの本質的な役割・価値・可能性についてやはり評価・検討し続ける必要があるだろう。

CAI役割の視点として①教材、②教師の代替、③刺激・競争者ないはパートナー、④教室・学習環境、⑤以上の多重化があるだろう。

CAI価値の視点として①自立性・主体性の維持、②客観的・公平な機会、③テーマ限定と広がりのコントロール、④最新の媒体・手法との接触、⑤間接的能力・知識の取得があるだろう。

CAI可能性の観点として、①人間教師以上の問題解決能力の授与、②同じく公平・客観的な対象者個人の能力把握・評価、③同じく合理的な教授能力の学習的向上、④広域・遠隔・リアルタイム・ディレイタイムすべてへの融通性、⑤本質的に技術の発展のあらゆる可能性を生かせる事等があるだろう。

CAI不可能性の観点として、①アドリブ性の欠如、②主体的意志の欠如、③人間的感情の欠如、④システムオープン部分への無関与、⑤本質的な意味での自己組織変化の困難さ等があるだろう。

CAIが教育場面に入る事による変化とは何だろうか。例えばより質の向上した知的な教材や部分的な教師の代替、あるいは学習者同志の情報交換やゲーム・シミュレーションを起点とした疑似

的世界における学習環境の体験などにより本来多様性に富み、豊かな環境と機会が与えられるはずである。またより知的なC A I では徹底的な診断・指導が行われる事で可能な中で最も合理的で無駄のない学習が受けられるはずである。そして以上のC A I を用いる事で得られるノウハウは学習・蓄積されシステムに何らかの形で戻され、これによりシステムは成長して行くべきものである。

実情はここまでいかないとしても傾向としてはこのように言える。そうするとC A I の役割り・領域は広がり、教育の中でのメディア市場占有率は上がり続ける。教育はC A I にかかなりの部分を依存するようになる。そして質的にはより上手にC A I を用いた教育を行える事が戦略的価値を持つようになる。世の中の技術開発の客観的状況はハードウェアや通信分野での単体技術については上記の実現に対してかなり有望であるが、A I 分野の技術および教育分野の情報整理・蓄積・そしてシステム運用のノウハウの蓄積、それ以前のこの種のシステムの標準化・体系化等を見るとかなり難しいという見直しを否定できない。

総体としては以上のように言えるが、そもそも教育とは実験であり、人間の行うものである故に完璧なものなど歴史的にも無かったと考えれば現状のC A I を導入した、現状の教育をより向上させるという積極的な視点に立ち、評価・反省をした後、ここでは特に技術面でのブレークスルーを目指したいと思う。そして主にA I に関連する本質的な部分を中心に取り上げて議論してみたい。

## 2. 問題解決

我々はこの数年E E S (Educational Domain Expert System教育分野用ドメインエキスパートシステム) ということを考えている。この最大の特徴は問題解決型学習ができるということである。

問題解決とは何か、これは要するに問題を解決する能力があることを示す事である。問題解決には通常多くの解、多くのルートがあってよいとされる。open endというものである。勿論、1対1に対応するようなものもあるが、ここでわざわざ問題解決というのはなるべく多くの解、多くのルートがあって学習者あるいは当事者はそれぞれの好みなり、くせなり、能力なり、を生かして解をできれば楽しんで、あるいは苦しんで求めればよい訳である。より多く楽しむ(苦しむ)事が頭を使うわけで学習している事になる。ならばその学習の場を与えて勝手に遊ばせればよいではないかと考えてしまう。しかし客観的評価の情報を得られずに自己満足に終わるのでは教育システムとはやはり言えない。教育システムというからには、教育目標とその評価がシステムの中にインプリメントされていなければならない。勿論そのシステムはコンピュータシステムとは限らずそれを取り囲む運用のシステムでもよい。

ここまでで一応、問題解決器(problem solver、ESとかシミュレーションプログラム、数式処理とか情報検索でもよいだろう)を内蔵又はこれとリンクしたシステムが一つのイメージとして浮かぶ。学習者はこの問題解決器を用いて(用いなくても対応する自分自身の方法でもよい)問題を解くわけである。そしてこの解く過程でシステムは何らかの評価をして指導するなり、突き放すなりするのである。

さて、学習者は問題解決器を与えられ、問題解決をしながら、かつ指導を受けるわけだから、これはすばらしいシステムであるわけだが、ではどうやって教授・指導するか、これが大変な問題である。その前に教える事に関して2つの立場があると思う。

- ①知っていて(問題解決能力を持っていて)教える。
- ②知らずに(問題解決能力を持たずに)教える。

人間教師の場合、たぶん誰でも経験があると思うが、②の知らずに教えるのは大変難しい。今ま

での経験や学習者の能力等から判断して分かったような気にさせることが必要であろう。そのためには非常に高度な類推・飛躍・発想あるいはごまかしや教育心理学の高度利用が必要であろう。一応①の知っていて教えるのは楽である。機械教師即ち知的CAIの場合、知ってるふりをして教える際たるものがESライクの知的CAIであろう。専門家としての人間教師の指導の振舞いをシミュレーションしているわけである。こういう方向だと問題がちょっと変わったり、予想していない質問を受けると答えられない。要するに機械教師も②の知らずに教える事は容易ではないのである。(注意としてこの方式もコーチやアドバイザーという形の知的CAIが存在する)従って④の知っていて教えられなければならない。これは教師(チューター)側も問題解決器を持つ必要があるという事である。こうなってくると知的CAI構築のための必須の技術は問題解決器という事になってくる。これが一つの結論である。人間の場合で言えば人に教えようと思うなら教える事がすべてできたり、知っていなければならないという事である。誇張すれば小手先の教授戦略や教育心理ではなく教師自信の問題解決能力が大切であるということである。

ここまでの問題解決器はかなり粗っぽいものを示してきた。しかし上にも示したように学習者の用いる(頭の中でもかも知れない)問題解決器と機械教師の持つ問題解決器は本質的に対応したものである必要がある。対応したものでないと指導ができないわけである。あるいは学習者の問題解決器のモデルをすぐに同定できるだけの能力をもつ教師側の問題解決器があればよいわけである(スーパーあるいはメタな問題解決器)。そして学習者モデルとは(学習者の)問題解決器(のモデル)そのものであったり、加えてそれを利用する知識であったりするのだろう。そしてバグの種類は①の問題解決器そのものの誤り②その利用の誤りというように区別できるのだろう。注意として学習者の問題解決器が適正である場合、学習者モデルとして必要なはその利用の仕方の知識の部分である事を確認しておく。これが二つめの結論である。もう一度整理すると、学習者モデルは学習者の問題解決器(のモデル)とその使い方(のモデル)に分解できるという事である。

次に人間の認知機能である「わかる」「理解する」との関連を考えてみる。これは従来のAIでは結論の出ないところである。我々は「わかる」は「問題解決できる」と同等であると考えている。ここでいう問題解決の単位は検索するとか、計算するとか、辞書を引くとかの小さな知的動作の単位から始まると考える。知識や能力は階層構造(AND結合という主張が多い)をとっているとされているが、問題解決との関連で言えば、問題解決(単位)が階層構造をとっているという事になる。こうなってくると今までに述べた問題解決器は単純なひとかたまりのものではなくて、コンポーネントから成るシステム化されたもの、即ち問題解決の単位又は構成要素からなる問題解決器なのだということになる。これは回り回って我々の作るプログラム(シミュレーションとか、PrilogによるESなど)ともよく対応してくる。

上で述べた2番目の結論で学習者モデルとは問題解決器とその利用の知識であったが、この後者をプログラムの形に表現して問題解決器のプログラム表現に加えればプログラムの型で学習者モデルを表現できることになる。これが3番目の結論である。

次はプログラムの形はいかにあるべきか、その同定、差異分析はいかにあるべきかが課題となるが、ここではこれはおいておき、ここまでで一応問題解決と知的CAIの実現可能性の裏付けを示せたと思う。

さて、ここまでの準備の後に根本的な課題である問題解決器を与えられ、問題解決をしている学習者をどうやって教授・指導するかを考える。教師ないしはシステム側も学習者と同一・対応又は包含する問題解決器を持つわけであるが、その指導する範囲は問題解決領域近傍に限るという考え

方をとりたい。問題解決領域近傍とは問題（テーマ）があり、問題解決器があり、学習者（問題解決当事者）がある場合、多数の実行の結果はおのずとそのほとんどがある領域の近傍に入るだろうからその範囲に限って教授・指導する方略を考えれば実用的であり従って実現が可能だろうというものである。

この方式はシステム又はその運用者が教授経験（使用経験）を積みにつれて賢くなるあるいはノウハウが増していくという学習（機能）の対象のモデルとしてもふさわしいと思われる。

さて、問題解決領域近傍の決定およびそこでの特に問題解決器利用の知識はプログラムの形で実現されていくわけだが、この記述の境界範囲と内容がcircumscriptionと対応すると我々は考えている。なお、これらの詳細な検討は今後の課題である。

### 3. フレーム問題と評価

教育において学習者の能力・知識を完璧に把握することはできない。現状の能力についても将来の能力（その成長）についても同じである。

これは教育に限らず、我々が持っている能力を全ては記述する事ができない事、すなわち特に潜在的能力などは記述できない事および我々が持っていない能力も全ては記述できない事とよく似ている。後者は情報や知識の部分性という事が原因となり、一意に対象・事象を限定したり、断定することができないという事が起こりうるというフレーム問題を表す。そしてフレーム問題はメタを持つことができれば解決できると考えてもよい。しかしこのメタは完全なものを持つことができない。従ってフレーム問題は解けないと解釈できる。なおここでのメタは「神」のようなものである。

さて、現実の教育において評価は必要であり行われている。上述の如く教育がフレーム問題であるならば、それをクリアする考え方が必要である。2章で問題解決領域近傍という概念を述べたが、評価においてもこの考え方が適用できるだろう。すなわちある限定した問題と条件である能力を示すならば類似した問題、条件でも同様の能力を示すと予測できる。

しかしこれだけでは実用上不十分であり、能力（知識）の構造（そのパターンが重要なポイントか）を何らかの形で把握し、評価に使用しなければならないだろう。この能力の構造は能力や知識が単に1本のスペクトル上に分布したものではなくて特徴部分（キー部分）のみをピックアップしたり、多段・多重のスペクトル上に分布したものとなるだろう。

以上は教育一般あるいはすべての層の学習者を対象に議論したが、我々が特にまとをあてて評価・指導（自主的も含む）したいのはどちらかと言えば最もよくできる層ではなくてその次の層以下である。そして指導の方略として例えば長所あるいは一芸を延ばすか欠点を克服するか、総合・全般の能力向上を目指すか等があり、その方略に添うように上述の能力の構造およびスペクトルをもとにした技術を生かす必要がある。そして一つの解り易い方法は対象とする層よりも上の層の能力の構造およびスペクトルとの差を測定しそれを縮めるというものがあるだろう。

また、ここでの構造やスペクトルにはニューロによるモデリングが大変有望であろう。フレーム問題と問題解決領域近傍の関連を含めてこれらの詳細な検討も今後の課題である。

### 4. 知的CAI fundamentals および適用ノウハウ蓄積

はじめにでCAIの役割・価値・可能性を述べた。そしてAI技術および教育情報の蓄積、ノウハウの蓄積、この種のシステムの標準化・体系化が難しいが重要な課題であると述べた。

従来、AIベースのシステムはアプリケーションに始まった場合にもアプリケーションから関心

が離れて、本質的な理論や要素技術へと関心が移る傾向がある。その根本的な理由として、①対象・目標が難しすぎる、②方法論が誤っている、③研究者の数が全く足りないあるいは、④本質的理論の方がより興味ある分野である、のいずれかと考えられる。この分析は主題ではないのでひとまず置いてもう一つの検討課題に入る。

知的CAIの構築方法論について考えてみるとシステムの下位から、②理論（インプリメント可能な理論）、④要素（上位から見た時の構築の要素の単位となるもの）、②単体パイロット（上から見た時の一応のシステムとしての機能）、④メタ的システム（巨大常識、マルチメディアDBあるいはそのサブセットを用い、研究レベルでは完成したシステム）、④商品としてのシステムとなり、よりインプリメントレベルに近いプログラミングを主とした構築手順・単位としては、(イ)プログラミング言語、(ロ)基本的な機能単位、(リ)モジュール、(ニ)

システム、があり必要な知識・ノウハウとしては、④教授すべき知識単位、⑥問題解決の単位、③生成されるモデル的な知識、⑩利用ノウハウの知識（学習されるものも含むが記号ベース）、⑤ニューロ的（パターン）知識（同じだがパターンベース）、⑥巨大（常識）知識ベースの知識、⑥巨大マルチメディアベースの情報・知識、などがあるだろう。

知的CAIが実用レベルとなり、社会で本格的に役に立つためには学習者ターミナル又はウィンドウの背後に巨大なfundamentalsを備えなければならない。これはAIの観点からは学習機能と常識推論等柔軟な推論機構を持ち、同じく柔軟で巨大な知識（常識を含む）とその成長も可能とする仕組みである。

fundamentalsで知識（教材・戦略）の整理、体系化、学習的進化、更新、一般的な学習者モデルの構築・評価等を行い必要な分量を学習者ウィンドウ（ターミナル）に送る。またこの構成は分散AI的イメージとメタ的システム構成をもつだろう。よりわかり易く具体的に表現すれば巨大（常識）知識ベースや巨大マルチメディアベース、同じく巨大教材ベース、巨大学習者モデル、さらに我々が考えるものでは状況ベースや述語（又は知識表現単位）ベース、そしてニューロパターンベース等のデータ（知識）型リソースと問題解決単位、学習機能、ニューロ処理、柔軟な推論、知識の抽象化、再構築機能およびメタ処理的機能等のプログラム（知識）型リソースをもつだろう。そしてこのfundamentalsが社会的に機能するための制度・政策的仕組みが一方で必須となってくる。またこのfundamentalsは衛星通信や未来型の図書館等、社会教育システム、そして個人情報の機密・プライバシーと一方で情報の公開等運用、経営の観点からも検討すべき項目があるだろう。

## 5. 知的CAIの要素技術

ここまでに述べた内容・文脈から知的CAIの要素技術あるいは基本技術と我々が考えているものはごく自然に推論できるだろう。それは、

- ①複数計算機構成：分散協調や分散AIにも類似
- ②システムメタの実現
- ③問題解決機能の実現：問題解決単位の実現
- ④学習・変化できる新しい知識表現
- ⑤対象モデル等の表現・記述
- ⑥ニューロや学習の指定・メタ機能まで記述できる新言語
- ⑦従来型CAIや他の様々な教授法までを包含できる体系
- ⑧常識ベースやマルチメディア（インタフェース・ベース）やそれと整合する体系

◎状況ベース、述語（又は知識表現単位）ベース、ニューロパターンベース  
などである。なおこの詳細な説明はここでは省略する。

## 6. まとめ

知的C A I が本来必要とする機能を考えると、これはA I ベースで考えるほとんどのシステムが本質的に必要とする機能と重なると思われる。だから本格的なものはそう簡単には実現できない程難しいのだという観点と逆にかなり見通しが立ってきたという観点が両立すると思う。ここで取り上げた要素技術について考えると何れも実現は可能である。特にプログラム型リソースについては確実に見通しが立つだろう。

一方、知識型リソースについては社会的・経営的な支持が必要だろう。

## 参考文献

- [1] Barwise, J. and Perry, J., Situations and Attitudes, MIT Press, 1983
- [2] Fauconnier, G., Mental Space, MIT Press (1985), 坂原他訳、メンタルスペース 白水社 (1987).
- [3] Schank, R. C., Inside Computer Understanding, Lawrence Erlbaum (1981). 石崎俊他訳 自然言語理解入門 総研出版 1986 (1981),
- [4] Schank, R. C., Dynamic Memory, Cambridge University Press (1982), 黒川利明 他訳、ダイナミックメモリ、近代科学社 (1988)
- [5] 橋田浩一：A I とは何でないか—情報の部分性について、bit, vol. 20, No. 8. (1988)
- [6] 白井賢一郎：「形式意味論入門」産業図書 1987
- [7] 甘利俊一他：「人工ニューラルシステム」bit vol 21, No. 11, 1989年9月号臨時増刊 共立出版
- [8] 西田豊明：「自然言語処理入門」オーム社 (1988)
- [9] 堂坂浩二：対話参加者の心的状態に関する制約に基づく発話解釈モデル コンピュータソフトウェア、vol. 6, No. 4 (1989). PP42-54
- [10] 吉川：教育用エキスパートシステム実現に必要な機能の検討 電子情報通信学会 技術研究報告 ET89-10 (1989)
- [11] 吉川：超論理推論実現の試み 情報処理学会第39回全国大会論文集 (1989)