

問題解決過程のモデル化のための知識表現法 — 電気磁気学を対象として —

1Q-1

藤原正敏

福井工業高等専門学校 電子情報工学科

1. はじめに

対象世界の諸々の現象、法則、概念等を理解して、それらを新たな問題に適用する能力を養成するために問題演習型の知的CAIシステムの研究が行われている。対象が物理現象のような場合、数学を道具として駆使し解を求めるため、対象世界—数学の関係の理解が重要な鍵になる。すなわち単に問題が解けるだけでなく、対象世界の諸概念や現象や成立原理を定性的かつ定量的に理解し、説明できなければならない。したがって「一般的な概念や成立原理・現象の理解」を支援するため検討事項は、①どのような知識がどのような局面で必要か?という分析、②それら知識の表現法、③問題の解法過程における知識の利用法である。

現在試作中の『電気磁気学の問題を解いて教えるシステム』における、問題の解決支援のために必要な知識体系の基本的な枠組とその表現法について検討を行ったので報告する。

2. 知識の表現

2.1 問題解法の流れ

問題の基本的な解法モデル*を(a)問題が与える前提、(b)解答に用いた知識、(c)問題の解答・結果、の3つの要素で、問題の構造をこの内の(a)、(c)の対で捉える。図1. また問題解法の流れを 1)問題の理解 → 2)解決の計画 → 3)解決の実行 → 4)解の吟味の4つの過程で捉える。

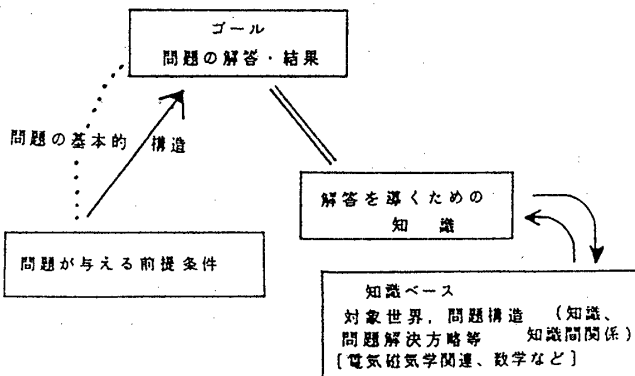


図1. 解法モデル*

①まず問題の構造を捉え、学習者のレベルに応じた基本的な副問題への分解を行う。各々の副問題においては、②対象世界の成立原理を考慮し、定性的に理解を深めながら、数学的知識を活用し、問題の中に現われる種々の物理量(距離、電荷量、位置など)に対応する変数を割り当てて、対象世界を説明できる式を立てる。③式の変形操作などを繰り返し解を求める。④求めた式を対象世界との関係で解釈して定性的に理解をする。さらには⑤具体的な数値(単位も含む)を代入して定量的な理解をする。最後に⑦単位を含めた解のチェック(単位の不整合、対象世界との矛盾など)を行う。

2.2 解法支援に必要な知識 必要となる知識および検討を要する知識表現法を次に示す。1)対象世界の概念(電荷、距離、力など)知識、2)対象世界の原理・現象を表わす知識、3)問題の理解と構造化のための知識、3)問題の構造を表現する知識、4)解法計画立案のための知識、5)解決計画実行のための知識、6)問題の構造を基に対象世界の成立原理を数式で表現したり、逆に数式より現象等を解釈する知識、7)式の変形操作など数学で学ぶ知識、8)問題解法の過程で1)~7)の知識を提示するための知識

2.3 解法の支援 問題文中には解法のための情報が全て明示的に与えられている訳ではないので、学習者は、問題を誤解したり、1)~7)の知識を知らなかったり、適用法を知らないために行き詰まる。演習支援システムでは、学習者の理解状態を推定して、解法途中の種々の局面で知識を提示し、その理由を説明しなければならない。学習者は、このような演習問題の解法を通して、より一般的な定式化された知識を習得していくと考えられる。

2.4 知識の構造 演習支援のための知識は、対象領域の知識のみならず、問題自身も、問題解決方略の知識も、全体—部分、抽象的—具体的、一般性—特殊性、常識—特別な知識といったような尺度で階層的に捉えられる。理解の度合いが知識の階層のレベルに相当し、個々の学習者や問題の解法過程各段階において異なる。また、階層を成す個々の知識の属性を、性質の継承が保つように記述できる。したがって、これらの知識一つ一つをオ

A Knowledge Representation for Modeling of Problem Solving Processes

-A case of Electromagnetics-

Masatoshi FUJIWARA

FUKUI National College Of Technology

*与えられる問題そのものも副問題も分解を重ねた最もプリミティブな基本問題もこのような解法モデルで表現できる。

プロジェクトと見なし、フレーム表現により階層構造で表せる。各オブジェクトは1)概念を表わすオブジェクトの名前、2)学習支援に必要と思われる属性および属性値、3)属性値を求めるためのメソッドで構成する。現在、問題の対象を「複数の電荷が存在する場における電荷に働く力、電界、電位に関するもの」に限定している。

オブジェクトは、問題オブジェクト、対象世界を表わす概念オブジェクト、成立原理を表わす原理オブジェクト、演習支援を行う知識源(ルール)オブジェクトなどからなる。例を図2. に示す。問題オブジェクトには教育の目標や問題の型や副問題を、概念オブジェクトには物理単位や関係法則を現象オブジェクトには現象を表わす数式、その定性的な意味をリストの形で与えている。解法を支援する手続きは、システムの質問に対する学習者の応答により、適応するプロダクションルールを、機能別にまとめた知識源オブジェクトで構成する。解法は、このルールに従い種々のオブジェクトおよびその近辺を参照しながら進行する。

実際のシステム開発をエキスパートシステム構築ツールESHELL/Xで行っており、実際の学習状況は黒板に書き込まれる。学習履歴としては参照した知識オブジェクトがリストの形で記録される。

オブジェクト定義		電界の強さ
システム	レベル	クラス
	上層	XCLASSX
	上位	物理量
属性	種類	SINGLE ベクトル量
	単位	MULTI V/M, N/C
	法則	MULTI クーロンの法則, ガウスの定理
	作用	MULTI 吸引力/反発力
)		
オブジェクト定義		クーロンの法則
システム	レベル	クラス
	上層	XCLASSX
	上位	法則, 電荷と電界
属性	対象	SINGLE 2個の電荷の間に働く力
	定性的説明	MULTI 力は距離の自乗の逆比例する。直線上、力の向きは2個の電荷の場合反発力が働く、異種の電荷の場合は吸引力が働く。力は電荷の積に比例する。
	公式	SINGLE $F = Q_1 \cdot Q_2 / 4 \pi \epsilon_0 \cdot r \cdot r$
)		

図2. 概念オブジェクトの例

2.5 解いて教える解法の基本戦略

教え方はシステム側からの「知らない概念はありますか?」、「問題の構造が分かりますか?」、「…」の質問に応じて、学習者が回答する形態を採る。求めたい物理量に関する法則や関係を表わす関数があれば示し、オブジェクトに記述されている定性的な説明を行う。求め方が分からなければその問題の副問題へ焦点を移す。

2.6 数式による表現と解釈

数式は、原理を式で表わしているだけであるが、その式の意味は多様である。問題により既知量、未知量が異なり、解法が異なる。また、どの物理量を変数と見るかにより定性的な意味も異なる。式そのものや式の誘導にも意味がある。対象世界をどう捉えるかにより式の立て方が変わり、簡単な問題が複雑な問題になったりする。式の立て方や解釈が演習型システムでは大きなウエイトを占めている。

2.7 単位の扱い

電気磁気学のような場合、関係式により幾つかの全く異質の単位をもつものから、全く新しい単位のもので導出される。(例えば、クーロンの法則では、距離、電荷量、力が、電位を求めるには、電界、電荷、仕事量、位置などが関係する。)この知識を利用して、解の吟味が行える。単位も考慮した式の導出、単位間の関係の理解が、対象世界の成立原理を理解する上で重要である。

現在は、単位の関係を説明する形で記述する。

3. 演習支援システムの実現

実際のシステムは、概念や制御をオブジェクトの形で統括できるエキスパートシステム構築ツールESHELL/Xを利用し、「複数の電荷が存在する場の電界、電位を求める問題」の標準的な解法を提示できる。そのために必要な知識をオブジェクトとして登録している。

4. おわりに

演習型知的CAIシステムにおいては、解法過程や結果が対象世界の概念や原理と結び付いていなければならぬ。そのための知識が必要であり、特に数学との結び付きが重要な鍵となる。静電界中の電荷、力、電界、電位の関わりを中心に知識の種類、表現法について述べた。

対象世界を理解するためには、数式表現に加えて、図を利用した解法や説明が不可欠である。また、学習履歴を基にした学習者モデルの生成や学習者主導の対話に関する研究も必要である。これらを今後の課題としたい。

参考文献

- 1)電気学会大学講座 “電気磁気学”
- 2)野口、近藤、竹内、大槻 “指導方略における定性的情報と定量的情報” 情報処理学会 CE4-12 (1989)
- 3)小西、伊東、高木、小原 “ICA Iにおける知識の成立原理の教示と対象世界のシミュレーション” 電子情報通信学会論文誌D-II Vol. J73-11 No. 7
- 4)新津、平嶋、柏原、豊田 “ITSを指向した力学問題の記述法の提案” 人工知能学会第6回全国大会13-2
- 5)Wang, R., Liu, T., Tan, H. "An Intelligent Tutoring System for Electromagnetic Field Theory" Advanced Research Computer in Education IFIP, 1991 NORTH-HOLLAND pp.75-80
- 6)藤原 “マクロレベルの教授・学習支援のための構造化について” 情報処理学会第42回全国大会 2B-2
- 7)藤原 “電気磁気学の演習問題における問題解決のための知識の構造化” 情報処理学会第44回全国大会 2S-8