

2B-4

知的CAIにおける解法表明文に基づく
学生の問題解決過程モデルの構築

武田 小夜里¹⁾ 小西 達裕¹⁾ 李 圭建¹⁾ 伊東 幸宏²⁾ 高木 朗³⁾ 小原 啓義¹⁾

¹⁾早稲田大学

²⁾静岡大学

³⁾株式会社CSK

1. はじめに

我々は、現在まで高校化学を題材とした問題演習型知的CAIに関する検討を行ってきた^{[1][2][3]}。本稿では、学生の入力を基に、学生の問題解決過程を表現する学生モデルを構築する手法と利用法について述べる。

2. 学生の入力文の解釈と問題解決過程モデル

問題演習型知的CAIにおいては、学生に解答そのものだけでなく、それを導いた解法について入力させ、これを評価して適切な助言を与える必要がある。解法についての学生の入力文は、一般に、適用された知識、求解のための計画、計算式等の多様な内容を含んでいる。しかし、このような多様な入力文は、学生自身の問題解決過程の一部分を示しているに過ぎない。これに対して効果的な教育支援を実現する為には、この入力文から学生の問題解決過程の全体像を推定する必要がある。そのためには、個々の入力文から少なくとも次のものが把握できなければならない。

- ①入力文が示す問題解決過程の解法全体における位置づけ
- ②入力文で陽に示されていない問題解決過程

そこで、標準的問題解決過程をシステム上に再現し、これに入力文を対応づける。その結果に従い学生の問題解決過程に沿うようにシステム上の問題解決過程を更新して行くことで、①が把握できる。また入力文の示す過程間の関係を解法過程全体の中で捉えることにより、暗黙に利用している知識や前提条件等、②を推定することも可能になる。

このような教育システムの実現には、解法の過程をシステム上に記述するためのモデル表現が必要であると考え、化学の演習問題に対する解法過程をモデル化し、これを用いて学生モデルを構築するための枠組みを提案した。

3. 問題解決過程モデル

このような必要性から、問題解決過程を表すモデル(以後このモデルを「問題解決過程モデル」と呼ぶ)は、学生の発話と対応するような記述法が望ましい。そこでまず、化学の演習問題に対する解答について事例研究を行い、学生の発話を分類整理した。学生は一般に質問・要求・解答等多様な種類の発話を行うが、特に、解法表明タイプの発話を中心に分類を行った。この結果、解法表明タイプの発話には、問題解決の結果や途中結果、行為の目的、用いた知識とその適用の理由、問題解決のための計画とその実行過程等の内容が含まれることが明らかになった。

この結果から、問題解決行為、利用知識、途中結果、知識の利用条件に関する認識等をノードとし、行為間の目的手段関係、行為とその結果の関係、計画の具体化前後の行為間関係等をアークとして定義したネットワークによる問題解決過程モデル表現を提案した。以下ではこの個々のノード、アークを問題解決過程モデルの「構成要素」と呼ぶ。

この記述例を図1に示す。この図では、問題の目的行為(気体の圧力を求める)をルートのノードとし、ここから問題解決のための抽象的な計画(公式を探す、各引数を公

Construction of Students' Problem Resolving Processes Model based on Described Sentences of the Solution in the range of the Intelligent CAI

¹⁾Sayori TAKEDA, ¹⁾Tatsuhiko KONISHI, ¹⁾Kyu keon LEE, ²⁾Yukihiro ITOH, ³⁾Akira TAKAGI, and ¹⁾Hiroyoshi OHARA
¹⁾Waseda University, ²⁾Shizuoka University, ³⁾CSK Corp.

式に代入する等)が接続されている。その抽象的な計画ごとに、更に計画を具体化した行為列(引数を求めるという抽象計画を具体化した、V, n, R, Tを求める等)が連なる。抽象的計画と具体的行為の間には、具体化に使われる情報(求解の途中結果等)が陽に記述される。この具体化に使われる情報を、以下では「参照情報」と呼ぶ。モデル上では具体化された行為の実行により、抽象的計画が達成され、問題に対する解の導かれる過程が表現されている。

4. 問題解決過程モデルを用いた入力文の解釈

4.1 モデル構築の枠組み

システムは初めに与えられた問題を専門知識を用いて解き、標準的な解法過程を問題解決過程モデルの記述法で表現したモデルを作る。以後これを「正解モデル」と呼ぶ。正解モデルを学生の問題解決過程モデル(以後「学生モデル」と呼ぶ)の初期状態とする。システムが問題を与える和学生はその解法を入力する。これを解釈するために、入力文を学生モデルに位置づける。これは4.2で述べる。

次にこの位置づけられたモデル上の要素から、推論を行う。これは、学生モデルと入力文との一致・不一致に応じた推論が行われる。推論については、5.で述べる。

更に学生モデルと正解モデルの比較を行い、学生の解法の正誤を評価する。そしてこの学生モデルを質問やアドバイスなどの教育に役立てる。これは6.において述べる。

4.2 文解釈結果と学生モデルの対応関係

入力された文章は、文解釈ルールによってフレーム形式に整理される。次に、これと図1に示した形式で記述される学生モデル内に含まれる各要素との照合を行う。この際、あらかじめ定義したある範囲の同義表現は、等価なものと思なす。例えば $P=nRT/V$ と $PV=nRT$ は同一であると考え、

入力はこのように学生モデルへ位置づけられる。しかし入力が学生モデル上の要素と異なる場合、これを単純に学生モデルと照合しても、一致する要素がない。このような入力は、学生モデルの要素に何らかの変形を加えたものであると考え、入りに相当する学生モデル中の要素を捜す。但しこの学生モデルの変形操作は、学生のモデル中に、入力に対して一定の許容範囲内にある構成要素が存在する場合に限り、これを行う。この許容範囲は、公式、計算式、

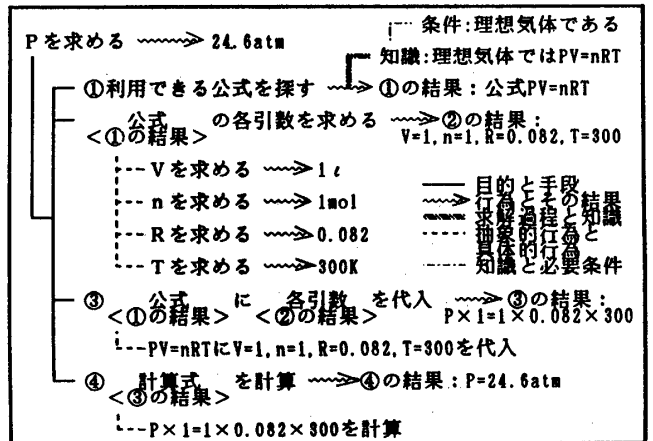


図1: 問題解決過程モデル表現例

属性名詞等の構成要素のタイプごとに定義しておく。

どこにも照合できないならば、学生に、状況に応じて予め定めてあるタイプの質問をして、再びこれを解釈する。

5. 問題解決過程モデルの構築の為の推論

5.1 推定によるモデルの補完

システムは、学生モデルに位置づけられた入力文を基に図1のような問題解決過程に示された各行為、知識、途中結果などの相互関係に基づいて推論を行い、仮説を導き、検証していく。この推定を本稿ではモデルの補完と呼ぶ。

モデルの補完では、学生モデルと、入力文が一致するか否かによって、それぞれA、Bのような推定が行われる。

A 妥当性のある学生モデル上の要素の推定

学生モデルと入力文が一致すれば、このときの学生モデルは忠実に学生の問題解決過程を再現していると考えられる。この学生モデルの要素を構築した推論を「妥当な推論」と呼ぶ。また、この妥当な推論によって構築されたモデルの要素は、学生の問題解決過程を正しく反映していると考えられる。このような要素を「妥当性のある要素」と呼び、これを学生モデルに記録する。初めの求解及び5.3で述べる再求解によって構築された学生モデル上の要素と入力文が一致した場合、その要素を導く前提となる全ての問題解決行為・知識等が妥当性のある要素となる。

B 妥当性のない学生モデル上の要素の推定

一致しないならば、学生はシステムの推定した解法に従っていないことがわかる。すなわち、(a)その差異の原因が存在する、(b)その差異が以降の問題解決過程に影響を与える。これらを推定する推論を、(a)差異原因推論、(b)再求解推論と呼び、以下5.2～3に詳述する。

5.2 差異原因推論

学生モデルの要素と差異のある入力が存在するとき、その差異を次の二種類に分けて考える。

A その差異部分以外の、別の要素での差異が原因となつて、その差異が生じた。(求解結果、途中結果等)

B その差異の原因は、別の要素には表出しない。(知識自体の誤り等)

Bの場合はその差異のみ考慮する。Aの場合は学生の解法を把握するために、その差異の原因を追求する必要がある。

差異原因推論では、その差異に至る問題解決過程での、参照情報の誤り及び各問題解決過程の実行に伴う誤りが仮定される。例えば、図1における計算式“ $P \times 1 = 1 \times 0.082 \times 300$ ”と、入力文“ $P \times 1 = 2 \times 0.082 \times 300$ ”との差異原因推論の結果、この計算式の参照情報から、「公式の誤り」及び「属性値nの誤り」等の仮説を立てることができる。

5.3 再求解推論

学生モデルと入力との差異は、それが原因となつて以降の問題解決過程にその差異を伝搬させていくと考えられる。これをモデル上で再現し、学生の誤りを予測することによって、後続の入力に対する妥当性のある要素の推定やその解釈が容易になる。

この推定は、その差異を出発点として再求解を行うことによって実現できる。モデルに存在しない計画の再求解は、化学の専門知識を用いて推論をする。これから学生が犯しそうな誤りを予測し、学生モデルが更新される。但し再求解推論は、学生の誤りを発見したら直ちに訂正させるような方針で教育を行う場合には必要がない。

6. 学生モデルに基づく質問・アドバイス

学生モデルの補完を行った後、システムは構築された学生モデルを基に次のような基本戦略を用いて指導を行う。

A 質問を行う場合

①原因推論により生成された仮説の検証の為に質問する。

②学生モデル中に妥当性が判定されていない部分があれば、その重要度に応じて、その検証の為に質問する。

B アドバイスを行う場合

学生の誤りが学生モデル上で明らかになっている場合、その事項についてアドバイスを行う。

質問の解答やアドバイスによる解答修正をもとに、システムは学生モデルを更新する。学生モデルが構築されたならば、学生の誤りを修正し、正しい解答まで導いていく。

7. モデル構築の具体例

ここでは、問題例と誤り入力の詳細例を挙げながら、学生モデルへの入力文の位置づけ及び推論過程を説明する。

問題『1リットルの容器に水素2gを封入すると27℃を示した。この水素ガスの圧力を求めなさい。』

入力『1：公式は $PV=nRT$ を用いる。

2： $P \times 1 = 2 \times 0.082 \times 300$ 。

3： $P = 49.2 \text{ atm}$ 。』

システムは問題が与えられると、専門知識を用いて正解モデルを構築する。(この問題ではほぼ図1のようになる)これを学生モデルの初期状態とする。

まず文1を解釈し学生モデルと照合すると、知識「(理想気体では) $PV=nRT$ 」と一致し、ここに位置づけられる。これは学生モデルに存在するので、この過程に至るまでのシステムの推論は妥当である。

次に文2を解釈する。許容性を考慮した照合を適用すると、対応する位置が判明する。ここで差異原因推論により、この入力文は、学生モデル中の要素と右辺第一項(“2”)が異なるので、①「計算式中の引数nの誤り」、②「公式が誤っている($PV=nRT$ ではない)」等の仮説ができる。ところが②の「公式誤り」は、文1で直接的な入力があるので棄却される。このように学生の直接的な入力によって、差異原因推論による仮説が検証される。

文3の解釈では、入力文は学生モデル上に位置づけられるが、答えは正しくない。ここで、学生モデル上の相互関係から、文3は文2の結果を参照する過程であることがわかる。差異原因には①「計算式の誤り」、②「計算ミス」等の仮説が立つが、文2が文3の誤りの原因なので、①が支持される。

このように学生モデルの補完を行いつつ学生の入力を解釈することによって、ここに含まれる誤りの依存関係が明らかになるため、各々の誤りを別個に教示する必要がなくなる。すなわちこの時点で誤りの真の原因は、文2の誤りの原因の「引数nの誤り」である。そこでシステムはnの値の求め方について教示することができる。

8. むすび

今回の報告では、学生の問題解決の状況をシステム上に表現する為に問題解決過程モデルを提案し、その構成と入力文のモデルへの位置づけ、及びモデルの補完について示した。これらは教師の戦略や教育方針との連携により、学生の個性に即した対応ができるように設計されている。現在本稿で述べた問題解決過程モデルを利用したシステムを構築中である。

参考文献

- [1]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”,信学論D-II, J73-D-II,7,pp.1007-1018(平02-07).
- [2]山本,小西,伊東,高木,小原:“化学を題材とした問題演習型知的CA Iにおける対象世界モデルを用いた問題解決過程”,人工知能学会第四回全大,18-15,(平02-07).
- [3]小西,西角,伊東,高木,小原:“知的CA Iにおける対話制御に関する研究”,人工知能学会第三回全大,10-5,(平01-07).