

知的C A Iにおける自然言語理解の役割

How does Natural Language Understanding serve
Intelligent Computer-Assisted Instruction ?

渡辺 成良

Shigeyoshi WATANABE

群馬大学工学部

Gumma University

あらまし 知的C A Iシステムと学習者との双方向対話の実現では、インタフェースの機能が学習者とシステムとの情報交換の正確さに大きく影響することが知られている。本文は、A I技法としてよく知られた自然言語理解が機械翻訳の分野などで活発に利用され始めており、その機能が学習者との単なる自然なインタフェースとしての役目だけではなく、学習者の知識状態を診断したり活発に教育支援を行うことができるかを議論する。一般に自然言語理解で用いられる基本的な解析手法は、学習者が知識状態を表層の言語構造で表現した文章に対して適用される。知的C A Iでは、アウトプットである文章を生成した学習者の深層レベル、すなわちメンタルモデルを推論し、正しいメンタルモデルへと学習者を導く教授方略からアウトプットを生成する機能が要求される。この機能は自然言語理解における文脈、状況、談話の解析や機械翻訳における「自然な」文章生成に関係しており、作成した電気回路チュータの例を通してこれらの関連を明らかにし、今後の問題点を指摘する。

キーワード 知的C A I 自然言語理解 自然言語インタフェース メンタルモデル 電気回路チュータ

[1] はじめに

最近、コンピュータとの情報交換の手段として、多様な機能をもたせたインタフェースの利用が活発化してきた。知的C A Iシステムでもマルチメディアの研究が進められており、学習効果を上げるための方法が提案されている^{〔1〕-〔3〕}。自然言語インタフェースは知的C A I研究の初期のころから用いられてきたが^{〔4〕}、そこでの利用は学習者に馴染みのある情報伝達チャンネルを提供するだけではなく、文章による知識表現は学習者が知識状態を具体化する方法として適切であろうという考えに基づいている^{〔5〕}。

さて、人工知能研究の成果の一つとして、機械翻訳が実現に向かって急展開してきた^{〔6〕}。「機械翻訳における文章の生成」^{〔7〕}において辻井氏は、非言語的データという、文章

作成者の言語化すべき対象についての知識状態は

- ・何を言語表現すべきかの決定
- ・文の提示順序の決定
- ・表層の言語的構造の決定

の三段階の処理を経て文に変換されると考えて、機械翻訳の多くの研究はこのいずれかの段階に焦点をおいて行われてきたと報告している。さらに、最初の段階が自然な文章の生成に重要な役割をもつとみなしている。このような考えは与えられた課題に対して学習者が答えを生成する過程に対応しており、提示した答えから学習者の知識構造である学習者モデルを推論する知的C A Iの研究と大きく関わりをもつことが本文で示される。

2章では機械翻訳などで利用されている自然言語理解の知的C A Iでの役割を詳細に説明し、3章では開発した電気回

略コンピュータにおける自然言語処理機能、4章では問題点と今後の課題について議論する。

[2] 知的CAIにおける自然言語理解の役目

知的CAIは学習者とのコンピュータを用いた双方向対話を通じて、標準的な知識状態へと学習者を導く方法と考えられる。このため、知的CAIでは

- ・標準の知識状態の表現形式、または知識状態を生成するモデル
- ・対話のデータからしか推論できない学習者の知識状態の表現形式、または学習者のメンタルモデル
- ・両方の差異を認識できる診断機能
- ・診断結果から標準の知識状態へ導く指導方略

の研究が重要である。

2.1 知識状態：学習者と文章作成者

提示された問題や質問に答えるという学習者の問題解決過程は、学習者の内面のメンタル過程を経て、文章生成などの外面的な行動に変換される。学習者のメンタル過程は、

- ・問題領域のモデル
- ・問題解決に関する方略知識

からなる学習者の知識状態を生成する過程であり、前者に後者を適用して問題の解を導出するという、学習者の認識過程までを含める場合もある。

さて、学習者のメンタル過程を診断するためには、学習者の行動を詳細に観測する必要がある。知的CAIシステムは、これらの観測データを使ってボトムアップにメンタル過程を構築するか、モデルを仮定してトップダウンにデータを検査するか、あるいは両方を組合せながら、行動のもとになった学習者の知識状態を推論する。すなわち、知的CAIは学習者から得られた観測データを評価し、観測可能な行動を理解するための

- ・行動レベルの診断

を行って学習者の行動モデルを構築する。さらには学習者の内面的な、観測不可能な行動を推論し、学習者の行動のもとになった知識状態を再構成するための

- ・認識レベルの診断

を実行して、詳細なメンタルモデルを構築する(図1)。

これらのタスクは自然言語理解では^[8]、

- ・言語的状況的構造(構文・意味・文脈構造)の表現
- ・対象世界認識と談話構造の表現

に対応づけできる。また、辻井氏の記述^[7]では

- ・How-to-say
- ・what-to-sayとPlanning

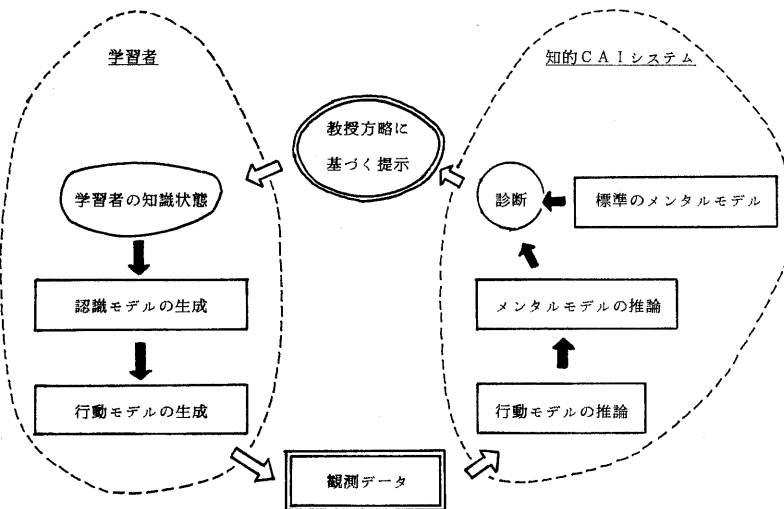


図1 知的CAIにおける学習者モデル構築と診断過程

となる。

ここで機械翻訳の、いわゆる中間表現のタスクは行動レベルのタスクに対応する。中間表現からの文章生成は、自然な目標文章を生成しにくいという、機械翻訳の問題点は、行動モデルをもとにした知的C A Iが、行動の原因を治療しにくいという問題に対応する。

明らかに機械翻訳の目的は、目標文章を原文章と意味的に一致させることにあり、知的C A Iのそれは、学習者の知識状態と標準の知識状態との差異が問題となり、この差異を埋める教授方略を生成することが要求される。このような目的の違いはあるけれども、自然言語インタフェースを使う知的C A Iシステムにおいて、観測された言語データを中間表現に変換する機能は、学習者の行動モデル生成を可能にする。

2. 2 表層の言語構造のもとになる意味構造の決定

対話形式においてはシステムの速やかな応答が望まれる。しかし、あらかじめ用意された幾つかの文を選択したり、文の穴を埋めるような入力方法は、学習者に答えを教えたり、学習者の知識状態を乱してしまう原因となる。また、自然言語でない、特殊な言語表現を採用して、学習者が知識状態を具体化する行為を妨げることがあってはならない。このために、ある程度の省略を認める自然言語表現が望ましく、ワープロキー入力のような入力形式が採用できる。

自然言語で書かれた原文を構成する言語構造の推論には、原文に対して

- ・形態素解析
- ・構文解析
- ・意味解析

が適用される。形態素解析では、原文を辞書を用いて分析して原文の語を表記に同定し、表記の並びを生成する。原文が複雑だったり、辞書内容が豊富であるほど、同定に時間がかかり、表記の並びが複数生成されることがある。知的C A Iは双方向対話方式であるから、未登録語をみつけたならば、学習者にそれを指摘するフィードバックが行える。しかし、形態素解析の省略や処理時間短縮のために、表記のバリエーション、品詞や活用などを制限することは、受入可能な表現

を推定して変換し再入力するという、学習と無関係な余分な負担を学習者にかけてしまう。

知的C A Iでは、原文章の対象世界は既知とみなせることが、機械翻訳と異なっている。これによって辞書をコンパクトに構成できるから、解析時間が短縮できる利点がある。また、分ち書きは特に日本語文では用いないけれども、その部分的な使用は、画面上での読みやすさ、記述誤りの発見しやすさを実現できるという意外な利点をもっており、学習者が抵抗感なく受入れることができ、しかも解析時間が短縮できる。

構文解析と意味解析は、特に言語教育以外の日本語による知的C A Iシステムでは多様である。確かに文法上の誤りは学習者の知識状態の乱れを表明したと考えてもよいが、学習者の不注意やくせのような原因で誤りが生じることもある。このため日本語文を使用する場合は、構文解析にこだわる必要はなく、直接意味構造を決定する格構造解析¹⁸⁾が適切かもしれない。

いずれにしても、原文に現わされた表層の言語構造のもとになる原文の意味構造をどのように表現するかは、知的C A Iと学習者との接点を設計するという、システムの能力と限界を決定する重要な課題である。しかも意味構造は、原文の解析結果であるとともに、学習者の知識状態の言語化される前のデータを間接的にでも表現する構造であることが望ましい。従ってその意味構造は、

- ・語の表記の並びの解析から得られる原文の意味表現
- ・知識状態の言語表現への変換を可能とする知識表現の両方を可能とする構造でなければならない。

知的C A Iの基本的な機能の一つに、学習者の知識構造を表わす学習者モデルの表現がある。学習者モデルの表現形式は明確に決定されていないが、意味構造を間接的にモデルの構成要素にすることは可能である(次章を参照)。この方法の利点は、

- ・自然言語処理機能を知的C A Iシステムのインタフェースとして利用できること
 - ・中間表現を学習者モデル構築のデータに容易に利用できること
- である。

さて、格構造解析で生成される意味構造は、格構造と呼ばれる。格構造には、フレームやセマンティックネットワークがある。格フレームは述語と名詞などの格要素との意味的な関係である格関係を表現する枠組である。このため、格構造解析では、形態素解析で得られる語の表記の並びを、語の意味カテゴリと格関係、さらに助詞である格標識を用いて格フレームに変換する。

専門語の意味カテゴリは専門分野の知識を表現している。この格構造解析過程で使用される意味カテゴリをどの程度詳しく表現するかは、学習者モデルの表層レベルと深層レベルの組分けに関係する。この組分けは行動レベルと認識レベルの診断に対応している。たとえば、専門語の意味の理解を学習者モデルの表層レベルとするならば、原文の意味構造の推論段階でこのレベルの診断が可能となり、双方向対話におけるシステムの速やかな応答が期待できる。

2.3 原文章の中間表現の決定

文章を構成する文の提示順序は、言語表現すべき対象の文章表現への変換が必要であり、文の意味情報の前後関係を決定する。言語表現すべき対象は、機械翻訳ではしばしば中間表現と呼ばれているが、本文でいう知的C A Iにおける中間表現とは、学習者が対話過程で表明する

- ・提示された問題の解決過程
- ・質問や誤り指摘などに対する回答
- ・学習者からの質問などの要求

を構成する文の中間表現の並びを、狭義の文脈理解を適用して再構成した中間表現である。これを学習者の知識構造のスキプト的、あるいは概念ネットワーク的表現であると仮定し、

- ・この中間表現を入力文から生成する行動レベルの診断
- ・この表現を構成する知識（概念）や知識間の関係（概念依存関係）、および構成手順を推論する認識レベルの診断

を実行する。このような中間表現の例として、S c h a n k のスキプトやC O N T R A S T^[9]の木構造がある。

認識レベルの推論結果は学習者のメンタルモデルである。

このモデルと標準のメンタルモデルとの差異から知識の欠落やバグのある知識を発見し、そこを治療する教授方略は構成できる。しかし、観測データに含まれた雑音の影響や、構築されたメンタルモデルは学習者の知識状態の推論モデルにすぎないというあいまい性から、最適な治療法が選択できるかどうかは問題である。

いずれにしても、図1は知的C A Iによる対話モデルを示しており、双方向対話が何度か行きつもどりつする過程が繰り返えられることになる。

[3] 電気回路チュートにおける自然言語処理機能

構築したチュートの自然言語処理機能には、

- ・ローマ字分ち書き入力、漢字かなまじり表示
- ・単文の格フレーム変換
- ・名詞句や文の並列表記された文の処理

などがある。たとえば、

「r1、r2を流れる電流をi1、i2と定義する。」の文は、同一構造の格フレーム

```
[define. [object. [i. [r1. dummy. dummy]]] . [goal. i1]]  
[define. [object. [i. [r2. dummy. dummy]]] . [goal. i2]]
```

に変換される。このフレームは、格構造と概念構造を組合せた表現になっており、対象格中の記号iが素子に流れる電流名を定義する概念を示し、下位概念としての素子名のインスタンスr1、r2、および電流の向きの未定義インスタンス(dummyで示されている)、目標格に定義された電流名のインスタンスi1、i2が埋められている。電流の向きが未定義であるという判定は、この文が入力される前に定義済みかそうでないかの、狭義の文脈理解によって下される。

これらの行動モデル生成には、対象世界である素子を含む回路の情報は使われていない。それは、電流を定義しなければならぬ素子は回路に含まれるという知識は、認識レベルの診断に関係するからである。したがって、r1やr2が回路中にあるかどうかは、行動レベルでは問題にしない。

この定義文の認識レベルの診断では、

- ・r1やr2が回路中にあること
- ・電流名がすでに定義されていないこと

が確かめられる。正しいならば、これらの知識をもっており、知識の適用も正しく行える知識状態にあると診断できる。診断結果は定義の場面にスクリプトのフィラーとして埋められる。図2は電気回路チュートの機能を示している^{〔10〕〔11〕}。

3.1 統括部

学習者のメンタルモデルを生成するモジュールを統括する。意味動作は、行動レベルと認識レベルの診断結果を生成し、出力する過程である。

助言処理部は、学習者が解答過程を継続できないときの助言要求文を解析する。その結果は、次の行動を示唆するアドバイス、専門知識の説明、アドバイスの根拠の説明、および次の行動の直接指示である。

回路解析部は、回路知識とその適用法に関する知識、回路データの記録などの専門知識と対象世界モデルからなり、行動モデルから認識モデルを構築する。

数式処理部は、回路方程式導出、観測データとの比較、答えの生成などを行い、学習者の解析行動モデルを構築する。解析の多様性から、解析認識モデルは複雑である。

認識モデルはスクリプトに表現される。学習者が解答を終了させない限り、フィラーにはその間に行われた診断の全部の結果が順番に埋められる。

3.2 ガイダンスの設定

学習者モデルとしてスクリプトに表現された問題解答過程は、

- ・誤りの記録がない
- ・助言の要求をしていない
- ・正しい答えを導出できている

ときに、標準の学習者モデルと等しくなる。この解析は診断結果の処理部と解析部で行われる。誤りの記録には、行動レベルと認識レ

ベルの診断結果が、誤りの分類記号で表現されている。また、助言の要求は、help、what、how、whyの記号で、助言の種類にしたがって分類される。

一般的には、学習者の解答過程は自由奔放であるために、スクリプトに誤りと助言要求が混ざりあって埋められている。解析結果評価部は、これら誤りや助言に関する知識間の関係を推論し、あらかじめ用意された教授方略の中から適切な治療法を選びだし、課題趣旨を決定する。

課題主旨は、学習者のメンタルモデルと標準のモデルとの差異を埋めるために用いる。たとえば、ループを定義できないとか、拘束条件式を導出できないなどでは、ループを定義させる課題、式を導出させる課題などである。課題の提示順序も考慮される。課題主旨にしたがって新たな問題が生成される。

学習者

システム

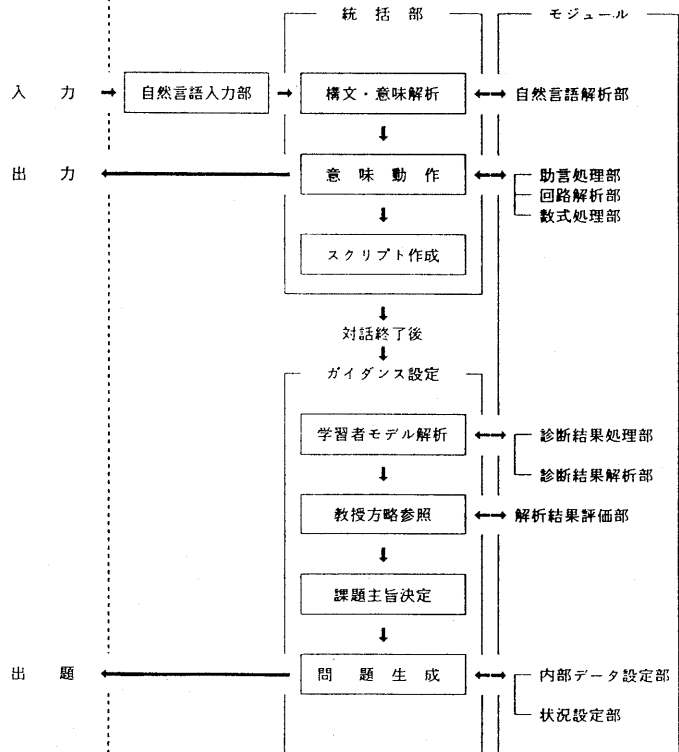


図2 システム構成図

決定された課題の主旨にしたがって、図3に示した問題生成部が学習者に次の課題を提示する。このような過程を繰り返しながら、知識の定着を促進させる。

4. 問題点と今後の課題

自然言語処理を知的CAIの言語入力インタフェースにした場合、解析結果の中間表現が従来の知的CAIの行動モデルとして利用できることを説明した。文章を解析データとする知的CAIの中間表現構築と、機械翻訳におけるそれとの違いは、対象世界知識や学習者の観測できない行動に関する情報の点である。知的CAIでは

- ・標準の対象世界を設定できるが、学習者の行動には不完全性やバグが含まれる。

これに反して、機械翻訳では

- ・書き手の行動の完全性を仮定できるが、対象世界知識を完全には把握できない。

このため、中間表現の生成で対象世界の知識をもちいるか、もちいないかの違いが知的CAIと機械翻訳との間にある。

さらに、知的CAIでは、中間表現は学習者の表層レベルの

学習者

出題

システム

教授者

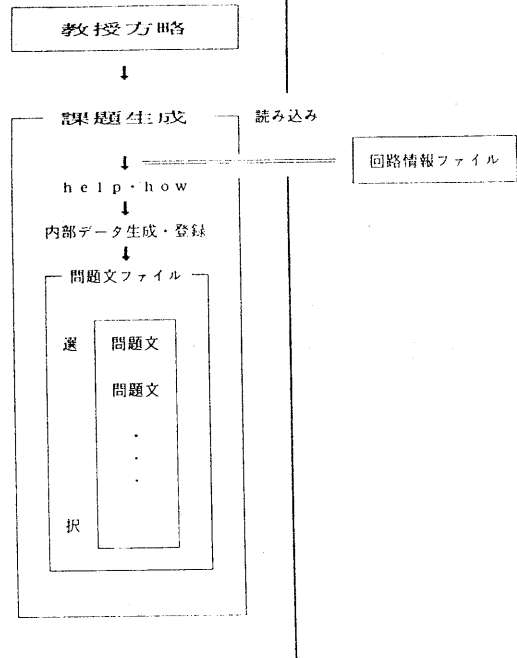


図3 問題生成部

知識状態を表わしており、深層レベルの推論という問題が生じる。これに加えて、推論結果を教授方略に用いて、学習者の理解レベルに適合した問題を生成するという方法を確立しなければならない。

参考文献

- [1] 酒井、海尻:HyperCardに基づくプログラミング言語用知的CAIシステム、情処シンポジウム論文集、Vol. 89. No. 9. 1989
- [2] 森、竹内、大槻:論理思考・推論能力を育む知的シミュレーションに関する研究、同上
- [3] 明神、井谷、寺氏、大槻:ハイパーメディアとPrologによる知的CAIシステム、同上
- [4] Brown, J. S.: Burton, R. R.: and Bell, A. G.: SOPHIE: a sophisticated instructional environment for teaching electronic troubleshooting. BBN Report 2790. Bolt Beranek and Newman Inc. Cambridge, Massachusetts 1974
- [5] Wenger, E.: Artificial Intelligence and Tutoring Systems. Morgan Kaufmann Publishers, Inc. California 1987
- [6] 田中穂積:特集「機械翻訳」にあたって、人工知能学会誌、Vol. 4. No. 6 1989
- [7] 辻井潤一:機械翻訳における文章の生成、人工知能学会誌、Vol. 4. No. 6 1989
- [8] 野村浩郷:自然言語解析、人工知能学会誌、Vol. 4. No. 6 1989
- [9] 石崎、井佐原、徳永、田中:文脈と対象世界モデルを利用した機械翻訳に向けて、人工知能学会誌、Vol. 4. No. 6 1989
- [10] 渡辺、石井、水田:電気回路の知的CAIのための自然言語理解による解答診断機能、電気学会論誌、Vol. 108-C. No. 4 1988
- [11] 渡辺、尾池、宮道:Script-Based Monitor for Mixed-Initiative ITS. Trans. of IEICE. Vol. E73. No. 3 1990