

知識工学研究の現状

諏訪 基 (電子技術総合研究所)

1. はじめに

知識工学の研究の重要性の認識が高まってきている。2つの理由が挙げられる。第1は、いくつかの応用システムの開発に成功し、人工知能の手法の応用可能性が広く認識されるようになったこと。第2点は、その結果、問題をかかえた応用分野の人々が高い関心を示し始めていることである。

情報科学の側面からも多くの興味ある問題を提起している。第1は、人間の科学的思考のモデル化であり、それによって人間の知的能力を改善、あるいは支援しようとするものである。第2は、非決定論的な問題を計算機にプログラムする手法を提供する技術の開発である。

本報告は、知識工学の研究で開発されてきた応用システムを紹介するとともに、その背景に横たわる情報科学の課題のいくつかを紹介する。

2. 知識工学とは

知識工学[Feigenbaum 1977]は、専門分野の多くの知識を集めて、計算機プログラムにより専門家レベルの性能を達成しようとする人工知能研究である。

知識工学者は、知識を計算機のメモリ内のデータ構造として表現する知識表現法(representation)と、知識から結論を導く記号推論(symbolic inference)の手法からなる問題解決のためのモデル(problem-solving model 又は paradigm)を愛さなければならない。

知識ベース(knowledge base)には、問題領域の専門家達によって広く認められている事実に関する知識(factual knowledge)と、どちらかという経験的で厳密さを欠き、人間の判断を必要

とするような事柄に関する知識(heuristic knowledge 又は heuristics)からできている。このような知識ベースに基づいて問題解決を行うプログラムを知識ベースシステム(knowledge-based systems)と呼ぶ。

3. 応用システムの開発

「情報科学は実験科学である」と知識工学の提唱者であるFeigenbaum教授は定義づけている。多くの「まじめな実用システム」を手掛けつつ、理論的基礎を確立して行く研究スタイルで多くの成果を出しつつある。

応用分野は、科学、医学、工学、数学、教育と広がりつつある。表1に應用を指向した知識ベースシステムの実例を掲げた。

応用システムの中で長い歴史を持つのがDENDRALであり、一部は分子化学研究者の間で実用されている。

T. ShortliffeのMYCINは知識工学の実験的な旗頭としての役割が今なお続いていている。

現在の傾向としては、ONCOCINのように完全に近い実用レベルのシステムの開発、EMYCIN、AGEなどの知識工学の道具の開発に力が注がれている。

4. 知識工学の科学的研究課題

知識ベースシステムの主要な構成要素は図1に示すように知識ベースと推論エンジンである。知識ベースに関する基本問題は、どんな知識をどの様な形式で表現するかという「知識表現法の課題」であり、また推論エンジンに関しては、知識をどのように使うかという「知識利用法」が中心的課題である。さらに、知識をプログラムへ移行さ

表1 応用システム一覽

システム プロジェクト	文献	機能概要	特徴	現状等
[科学への応用]				
1-1. DENDRAL, Meta-DENDRAL	Buchanan 1978	分子構造推定	トップダウン, bottom-up	一部実用
1-2. MOLGEN	Friedland 1979 Stefik 1979	分子遺伝学の実験計画助言	UNITS	拡張中
1-3. CRYDALIS	Engelmore 1979	タンパク質の3次元構造推定		
[医学への応用]				
2-1. MYCIN, TEIRESIAS	Schortliffe 1976	血液伝染病, 髄膜炎治療助言	トップダウン, Top-down	EMYCIN: 実動中
2-2. PUFF	Kunz 1978	肺疾患検査データ分析	EMYCINで作成	終了
2-3. CENTAUR	Aikins 1980		トップダウン + UNITS	feedback中
2-4. VM	Fagan 1980	呼吸器疾患補助器使用法助言	Dynamicsの取扱	準備中
2-5. ONCOGIN	Scott 1980	リンパ系癌治療助言	本格的実用システム	開発中
2-6. RX	Blum 1980	慢性疾患病厂分析	トップダウン	
2-7. CLOT	Bennett 1980	血友病診断	EMYCIN性能評価	
2-8. CASNET	Weiss 1978	緑内障診断・治療助言	Fortran	
2-9. INTERNIST	Pople 1975	内科疾患診断		
2-10. PIP	Szolovitz 1978	腎疾患の診断	MAC-LISP	
2-11. DIALOG	Pople 1975			
2-12. HEADMED		向神経薬の投与助言		
2-13. MECS-AI	南原 1979	心不全治療助言	EPICS-LISP, トップダウン	
2-14. MICRORHEUM	Ueno 1980	リウマチ治療助言	マイクプロセッサ EXPERT	
[工学への応用]				
3-1. SACON	Bennett 1979	構造解析プログラム使用法助言	EMYCIN性能評価	社会的要請大
3-2. VLSI	HPP brochure 1980	VLSI設計	新しいワーク. IBM共同	2年目
3-3. DART	"	計算機制御故障診断	Schlumberger共同	
3-4. LDGIN	Nir 1978	石油井試掘データ解析	ローカルネット, OA	始まったばかり
3-5. Intelligent Agents	Feigenbaum 1980	計算機制御構成法		
3-6. PROSPECTOR	Goschnig 1979	探坑		
[数学への応用]				
4-1. MACSYMA	Moses	数式処理		
4-2. AM	Lenat 1976	数学定理発見		
[教育への応用]				
5-1. SCHOLAR	Carbonell 1970	地理学習用	セマンティックネットワーク	
5-2. SOPHIE	Brown 1975	電子工学学習用	モテッドリオン	
5-3. GUIDON	Clancey 1979	知識ベースシステムの内容の教育用	EMYCINで作成されたシステムを対象	LISPマシンにインストール
[知識工学用道具]				
6-1. EMYCIN	van Melle 1979	知識ベースシステム構築用	トップダウンシステム	有償提供 AGE-I版 試用可 開発中
6-2. AGE	Nir 1979		グラフィック・ドモテリ	
6-3. UNIT	Stefik 1979		フレーム構造	
6-4. RLL	Greiner 1980		"	
6-5. EXPERT	Weiss 1979		Interactive Fortran? 書物?	

せるという「知識獲得法」の研究、実用主義的立場から「マン・マシン・インタフェース」の改善の研究がある。

知識工学で目指すのは、真に役に立つ、高性能でかつ使い易いシステムである。この立場から、「思考のモデル化」を追求する研究も、知識工学の枠の中に位置づけられると考えられる。

図1にこれらの課題を、知識ベースシステムの構成との関連において示した。

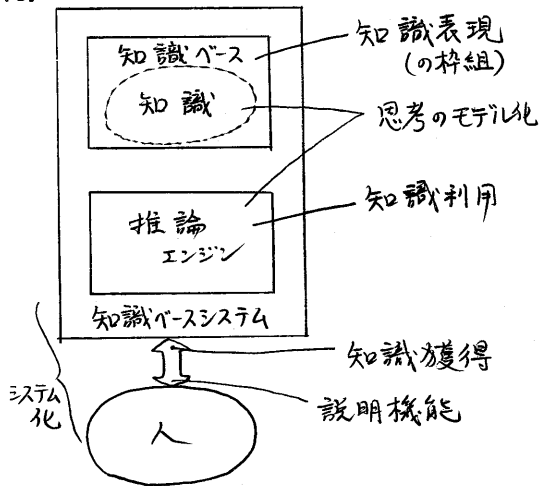


図1 知識ベースシステムのフレームと課題

(i) 知識表現法

知識表現法は知識工学のみなめであり、人工知能と認知科学の共通のテーマでもある。

どの知識表現形式が勝れているかは、向題に依存するので、一概に論ずることは全く不可能である。実際は認識論の実用主義的立場の議論になるので、多くの実例により検討せざるを得ない。

知識表現の枠組については、手続的表現と宣言的表現との間に論争があったが [Winograd 1975] 知識工学の立場に立って作られている知識ベースシステムでは、宣言的要素が強い表現の枠組が用いられる例が大部分である。これが知識ベースと推論エンジンとの分離を可能にしていると言えよう。

[Rule-based 表現—Production Systems]

Production System (以後 PS) は、知識ベースシステムで広く使われている推論メカニズムである。

PS は基本的には (1) Production Rules (PR), (2) Working Memory (WM) (3) Interpreter から構成されている。PR は、IF-THEN の2部分から成り、直接知識を表わす。Interpreter が、recognize-conflict resolution-act のサイクルを実行することにより推論が行われる。

PR は、基本的には手続的知識を表すが、その形態は modularity に富み、むしろ宣言的表現と見做されている。

詳細は他の文献 [Davis et al. 1976], [辻井 1977], [Barr et al. 1980] にゆずる。

図2にPRの例を示す。MAN'S-DIRECTION と AVAILABLE はそれぞれ CROSS と CROSSWALK というパラメータの値が "Yes" だ、たゞ真になる述語論理関数 CONCLUDE は MAN'S-WAY というパラメータに CROSSWALK という値を結びつけるための実行関数である。

この例からも判るとおり、知識表現を行うには、知識を表わす語彙の開発がまず第1歩である。

原ル-11 (道交法12条)

「歩行者は、道路を横断しようとするときは、横断歩道がある場所の附近においては、その横断歩道によって道路を横断しなければならない。」

RULE 012

```
IF: (AND (MAN'S-DIRECTION CROSS)
          (AVAILABLE CROSSWALK))
THEN: (CONCLUDE
        MAN'S-WAY 'CROSSWALK)
```

図2. 道交法とその Production Rule

PSの特徴として、(1) Modularity, (2) Readability, (3) Self-Explanatory. [Davis et al. 1977], 136 (4) Uniformity, (5) Naturalness [Barr 1980] という利点

があり、反面(1)Inefficiency, (2)Opacity という欠点が指摘されている[Barr 1980].

MYCINのルールの例を図3に示す。このシステムでは、(1)~(5)の特徴が全て生かされている。(4)と(5)は、学習や知識獲得の機能を実現するにも有利である。

If:	<ol style="list-style-type: none"> 1) The infection which requires therapy is meningitis, and 2) The type of the infection is fungal, and 3) Organisms were not seen on the stain of the culture, and 4) The patient is not a compromised host, and 5) The patient has been to an area that is endemic for coccidiomycosis, and 6) The race of the patient is one of: black asian indian, and 7) The cryptococcal antigen in the csf was not positive
Then:	There is suggestive evidence that cryptococcus is not one of the organisms which might be causing the infection.

図3 MYCINのPRの例

[Prototype 表現 — UNITS]

UNITSはスタンフォード大学で開発された知識表現用言語で、枠構造を持った意味ネットワーク形式で知識を表現することができる[Stefik 1979]。生成されるネットワークの節をunitと呼び、枝をslotと呼ぶ。MinskyのFRAME[Minsky 1978]とほぼ同様の概念を表わすものと考えてよい。

UNITSはもともと、分子遺伝学の実験計画を助言するMOLGENプロジェクトの知識表現用に開発されたシステムである。

MOLGENでは知識を上のネットワーク、すなわちprototypeとして表現す

Goal:	To determine if the molecule has any nicks (breaks in the backbone phosphodiester bond).
Skeletal plan: NICK-DETECTION	<ol style="list-style-type: none"> 1. SEPARATE SIZE DENATURING 2. SEAL 3. SEPARATE SIZE DENATURING
	The idea is to determine the lengths of fragments that result from separating the sample under denaturing conditions (when the molecule will fragment into smaller pieces if it had nicks), then seal the presumed nicks, and separate the sample again under denaturing conditions.
Refinement of the skeletal plan:	<ol style="list-style-type: none"> 1. SEPARATION ELECTROPHORESIS GEL AGAROSE 2. LIGATION ECOLI-LIGASE 3. SEPARATION ELECTROPHORESIS GEL ACRYLAMIDE/AGAROSE
Final Experiment Design:	<ol style="list-style-type: none"> 1. AGAROSE 2. ECOLI-LIGASE 3. ACRYLAMIDE/AGAROSE

図4 実験の戦略のunit

る。たとえばDNA構造、実験で得られる試料、実験方法、高いレベルでの実験の戦略などの記述が、種々のslotsを持つunitsとして表現される。最後のは対応するunitの例を図4に示す。

MOLGENの場合のように、知識の構造がある程度自明で、各々の知識の実体を表わすslotとして何を用意すればよいか(たとえ前者でその値が判っていないくても)を知っているような知識を表現するのにこの方式は向いている。

UNITS表現で推論の制御を導こうという試みもある。(知識利用の項参照) [メタ知識の表現]

メタ知識には、(1)何を知っているかについての知識と(2)自分の推論能力についての知識とがある。

TEIRESIAS[Devis 1978]では、4種類のメタ知識が表2に示すようにそれぞれ別の形式で表現されており、使われ方も違っている。知識獲得のためのものである。

メタ知識の対象	記述法
1. inference rules	rule models
2. representation of objects	schemata
3. representation of functions	function templates
4. reasoning strategies	meta-rules

表2 4種類のメタ知識

(ii) 知識利用法

知識ベースの知識利用の仕方、すなわち問題解決の範疇(paradigm)に何をを使うべきかは、知識表現法と同様、問題に非常に依存する。

[推論の向き]

2つの向きがある。第1は入力データに基づき、目標へ向って行う推論。同義語にdata-driven, event-driven, bottom-up, forward chaining(PSの場合)などが使われる。第2はgoalから推論を開始し、データへ戻る推論。同義語として、goal-driven, expectation driven, top-down, backward chaining(PS)などがある。

MYCINでは、「診断」と「治療」が goalであり、backward-chainingで推論が行われる。DENDRALでは逆にforward-chainingが使われている。(次項参照)。
[Plan - Generate - and - Test]

この範疇が使われている知識ベースシステムにDENDRAL(Buchanan et al. 1978)がある。実験データと分子式が与えられると、可能性のある分子の配列と、逆にあり得ない構造を抽出し(constraints)とし(Plan)、それに基づき分子構造として考えられる候補を機械的に発生させ(Generate)、その候補の構造と実際のデータと比べて 尤もしいものを選択する(Test)という手順を踏む。

Planの段階で生成されるconstraintsが、後の段階での探索の範囲を狭くすることになり、効率性が向上する。

[hypothesize - and - match]

肺疾患診断のための測定データを解析するCENTAUR[Aikins 1980]システムは、まずいくつかの入力データから対応する疾患の種類を推定(hypothesize)し、それに基づいて詳しく入力データを求めながら診断を確定(match)するという推論手順を採用している。

このメカニズムは、知識をrule-based表現とprototype表現の両方を用いて表現して実現している。

それぞれ個別の病気に肉する知識がprototype表現で表わされており、コンサルテーションの手順を制御するのに使われる。

CENTAURで用いられている2つの形式の知識表現を図5, 6に示す。

このようなprototype directed な制御方式は、(1) production ruleのみで表わされている場合より効率が改善される、(2) goalに直接関係する箇所だけが、しかも正しい順序で問われる。

[Conflict Resolution]

PSにおいて、各recognize-actサイクルで適用可能なルールは複数個存在

PROTOTYPE	Obstructive Airways Disease
GENERAL SLOTS --Bookkeeping Information --Pointers to other prototypes (link prototype) --English phrases	Author: Aikins Date: 27-OCT-78 Source: Dr. Fallat Pointers: (degree MILD-OAD) ... (subtype ASTHMA) ... Hypothesis: "There is an interpretation of OAD."
CONTROL SLOTS Control If-Confirmed If-Disproved Action	If-Confirmed: Deduce degree of OAD Deduce subtype of OAD Action: Deduce OAD findings Print OAD findings
COMPONENTS Plausible Values Default Value Possible Error Values Rules Importance of value to this prototype	TOTAL LUNG CAPACITY Plausible Values: >100 Importance: 4 REVERSIBILITY Rules: 19, 21, 22, 25 Importance: 1

図5 CENTAURの prototype.

If: 1) A: The mmf/mmf-pred is less than 20, and
 B: The fvc/fvc-pred is greater than 80, or
 2) A: The mmf/mmf-pred is less than 15, and
 B: The fvc/fvc-pred is less than 80
 Then: 1) There is evidence that the degree of OAD is severe, and
 2) One of the OAD findings is:
 Low mid-expiratory flow is consistent with severe airway obstruction.

図6 CENTAURの production rule.

在し得る(conflict set)。その中から実際に適用するルールを選ぶ操作を、conflict-resolutionと呼ぶ。いくつかの手法が提案されている。

- (1) the first rule: conflict set 中の最初のルールを選ぶ(例: ONCOCIN)。
 - (2) data order: conflict set 中にあるルールが係りを持つデータの中で、最も(優先)順位が高いデータに関係するルールを選ぶ。
 - (3) generality order: 最も詳細に条件の記述のあるルールを選ぶ。
 - (4) rule precedent: 予め決められたルール間の優先順位に基づいてルールを選ぶ(例: DENDRAL)。
 - (5) recency order: 最も新しく書換えられたデータに関係するルールを選ぶ。
- 尚MYCINではconflict resolutionを行わない。

メタ知識を使うと、conflict resolutionをinterpreter 組込みの手順で行うのではなく、explicitに定義できるので都合がよくなる。

(iii) 知識獲得

多くの知識ベースシステムにおいて知識獲得は人手で行われている。その場合にEMYCINやAGEなどの道具が威力を発揮する。SACONやCLOTはそうして作られたシステムである。

知識獲得の自動化の試みもある。TEIRESIAS [Davis 1978]では、インタラクティブなディバグの過程で、ユーザの指摘したバグに対して、ルールの修正あるいは追加等をシステムが先導しつつ行なうというやり方で、知識獲得の手法を提案している。そのためメタ知識の一つが図7に示すようなrule modelである。

```

MODEL FOR RULES CONCLUDING AFFIRMATIVELY ABOUT INVESTMENT AREA
EXAMPLES (RULE116 33)
          (RULE280 70)
          (RULE337 30)
          (RULE395 30)
          (RULE152 150)
          (RULE140 150)
DESCRIPTION
PREMISE (RETURNSRATE SAME NOTSAME 2.83)
        (TIMESCALE SAME NOTSAME 3.83)
        (TREND SAME 2.83)
        (RETURNSRATE SAME) (TIMESCALE SAME) 3.83
        (TIMESCALE SAME) (RETURNSRATE SAME) 2.83
        (WAGKEY SAME) (FOLLOWS NOTSAME SAME) (DEPENDENCE SAME) 1.50(1)
ACTION (INVESTMENT-AREA CONCLUDE 4.73)
        (RISK CONCLUDE 4.05)
        (INVESTMENT-AREA CONCLUDE) (RISK CONCLUDE) 4.73(1)
MORE-GENL (INVESTMENT-AREA)
    
```

図7 TEIRESIASのrule model

知識ベースシステムのルールが所題領域を十分に覆っているかを自動的に調べ、足りないルールを専門家に問合せながら知識の獲得をする方式の提案もある [Suwa et al. 1980]。その他、Model-drivenで自動的にルールを見つける Meta-DENDRAL, 過去の病歴を分析しようとしている RX [Blum 1980] などがある。

(iv) 時間経過を考慮したコンサルテーション

呼吸機能障害者の人工呼吸機使用をモニタし、装置の操作をコンサルトする VM [Fagan 1980] システムでは、時間経過に基づくデータの分析を行う。2~10分毎に測定して得る30種類のデータを分析し、定期的に患者の状態の概要を出力し、同時に予測も行う。結果の出力の例を図8に示す。

測定値が正常か異常かは、手術直後と数時間後とでは解釈の仕方が違って

Current conclusions:
 HYPOTENSION PRESENT for 41 MINUTES
 HYPERVENTILATION PRESENT for 33 MINUTES
 SYSTOLIC BLOOD PRESSURE LOW for 46 MINUTES
 [etc.]

Conclusions: [time of day]	13	14	15	16
[Physiological states]				
HEMODYNAMICS - STABLE				
HYPERVENTILATION - PRESENT		----	----	----
HYPOTENSION - PRESENT		----	----	----
TACHYCARDIA - PRESENT		----	----	
[patient context]				
Patient is ASSIST			----	----
Patient is CONTROLLED			----	----
Patient is VOLUME		----		
Patient is NOT-MONITORED	----			
[therapeutic goals]				
Goal is CONTROLLED			-----	-----
Goal is VOLUME				

図8 VMの出力の例

くるので、あらゆる場合のルールを用意しなければならなくなってしまう。VMでは患者の処置の段階によって、各測定データの正常・異常の値の範囲を決めるルールを知識として持つ。(図9)。これにより、測定データを解釈するルールを処置の段階と関係なく記述でき、数を減らすことができている。

INITIALIZING RULE: INITIALIZE-CONTROLLED
 DEFINITION: Initializes expectations for patients on CONTROLLED
 APPLIES to all patients on CONTROLLED
 IF ONE OF:
 PATIENT TRANSITIONED FROM VOLUME TO CONTROLLED
 PATIENT TRANSITIONED FROM ASSIST TO CONTROLLED
 THEN EXPECT THE FOLLOWING

	[acceptable range]					
	very low	low	min	max	high	very high
MEAN PRESSURE	60	75	80	95	110	120
HEART RATE	60	60	60	110	110	110
EXPIRED CO2	22	28	30	35	42	50

図9 VMの測定値解釈

ONCOCIN [Scott et al. 1980] システムは、リンパ系癌を治療する目的で、ほとんどの医者によって確立された手順で治療の助言を行う。X線療法などを念のため、新たな治療を施す場合に過去の経過を考慮する必要がある。たとえば図10に示すONCOCINのルールの中で、「NTHAFTER」という変数は、過去の経過を記録している「EVENTリスト」にアクセスするためのものである。

```

RULE102
-----
To determine the current attenuated dose for patients with all lymphomas for all drugs:
If:
1) The current chemotherapy cycle number is 2,
2) This is the start of the second cycle after significant radiation, and
3) The blood counts do not warrant dose attenuation
Then: Conclude that the current attenuated dose is the dose specified by protocol
CONDITION: (AND (SIS CYCLE# 2)
              (NTHAFTER SIGRT 2)
              (SIS NORMALCOUNTS))
ACTION: (CONCLUDEVALUE ATTENDDOSE CHEMODOSE)
CONTEXTS: ({ALLLYMPHOMAS DRUG})
CLASSIFICATION: UPDATE
FACTORS: ({ACTION 3})
    
```

図10 ONCOCINのルール

(V) 受入れられるシステムの技術

前述の ONCOCIN プロジェクトでは、
 (1)従来の臨床システムと互換性を保ち、
 (2)十分速い応答が保障され、(3)使い易く見易いディスプレイを備えたシステムの構築という、どちらかというところ泥臭いと思われがちな部分へも十分注意を払っている。速度を確保するために、InterLISPの他に PASCAL や BCPL など が混在する形になっている。

ONCOCIN システムは向もなくスタンフォード大学の病院で試用開始することになっている。

5. 知識工学用道具の構築

今迄に構築されている UNIT, EMYCN, AGE について、それぞれが作り出すシステムのアーキテクチャとの関係を見ると、図11に示すようになる。

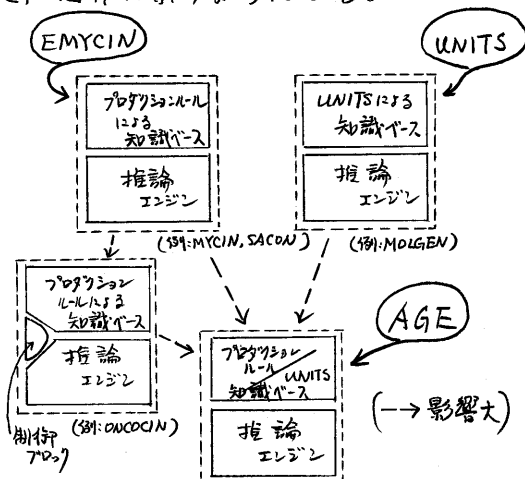


図11 道具から生れたシステムのアーキテクチャ

参考文献

Aikins, J.S. ; Prototypes and production rules: A knowledge representation for computer consultations, Doctoral dissertation, Computer Science Department, Stanford University (1980).
 Barr, A., et al. ; Representation of knowledge, STAN-CS-80-793 (1980).
 Bennett, J.S., et al. ; SACON: A knowledge-based consultant for structural analysis, Proc. of IJCAI (1979).
 Bennett, J.S., et al. ; CLOT: A knowledge-based consultant for Diagnosis of Bleeding Disorders, HPP-80-7 (1980).
 Blum, R.L. ; Automating the study of clinical hypotheses on a time-oriented data base: The RX Project, MEDINFO Proc. (1980).
 Brown, J.S., et al. ; SOPHE: A step towards a reactive learning environment, IJ of Man-Machine Studies (1975).
 Buchanan, B.G., et al. ; DENDRAL and Meta-DENDRAL: Their application dimensions, J. of AI (1978).
 Carbonell, J.R. ; AI in CAI: An artificial intelligence approach to computer-aided instruction, IEEE Trans. on Man-Machine Systems, 1970, MMS-11, 190-202 (1970).

6. 研究体制について

知識工学は、特に医学の分野への応用を核として著しい進歩を示してきた。その背景には、SUMEX-AIM (Stanford Univ. Medical Experimental Computer for AI in Medicine) という全国ネットの共同計算機施設と、それを中心とした研究グループの活動がある。アメリカの知識工学の研究は国家的規模で展開しつつある。

7. おわりに

知識表現、知識利用、知識獲得の3つの重要な観点から応用システムにおける研究の現状を概観した。

中心的手法は Production System であるが、PSの持つ modularity や flexibility という利点とは裏腹に、システムが大きくなるにつれ、制御手順の記述を取込む努力がなされる。CENTAUR はその典形であろう。

現在構築が進められている"道具類"も知識表現の枠組み提供するが、制御に用いては結局 LISP へ戻らなければならない。すなわちプログラム言語には切り得ない。

最近の PROLOG は代表される成語型言語で、知識の表現のためのサポート機能を備えたような "Inter-PROLOG" なるものの出現が待望される。

最後に、阪大小川均氏には文献リストに関して、電総研白井良明室長には原稿の草橋段階で有益なコメントを頂いた点でそれぞれお世辞にならずに記す。

- Clancey, W. J.; Dialogue management for rule-based tutorials, *Proc. of IJCAI-79*, 1979, 155-161 (1979).
- Davis, R., et al.; An overview of production systems, In *Machine Intelligence, Vol. 8*, Wiley, New York, 1976, 300-332 (1976).
- Davis, R.; Knowledge acquisition in rule-based systems - Knowledge about representation as a basis for system construction and maintenance, in *Pattern-Directed Inference Systems*, (eds. Waterman and Hayes-Roth), Academic Press, (1978).
- Engelmore, R., et al.; Structure and function of the CRYSTALIS system, *Proc. of IJCAI-79*, (1979).
- Fagan, L. M.; VM: Representing time-dependent relations in a medical setting. Doctoral dissertation, Computer Science Department, Stanford University (1980).
- Feigenbaum, E. A.; The art of artificial intelligence: I. Themes and case studies of Knowledge Engineering, *Proc. of 5th IJCAI* (1977).
- Friedland, P.; Knowledge-based hierarchical planning in molecular genetics, Doctoral dissertation, Computer Science Department, Stanford University (1979).
- Gaschnig, J.; Preliminary performance analysis of the PROSPECTOR consultant system for mineral exploration, *Proc. of IJCAI-79* (1979).
- Greiner, R., et al.; A representation language, *Proc. of the First AAAI Conf.* (1980).
- 開原成光他; 人工知能の手法を用いた診断治療, *コンピュータと医学*, 17: 73-77 (1979).
- Kunz, J. C., et al.; A physiological rule-based system for interpreting pulmonary function test rules, *HPP Memo HPP-78-19* (1978).
- Lenat, D. B.; AM: An artificial intelligence approach to discovery in mathematics as heuristic search, Doctoral dissertation, Computer Science Department, Stanford University (1976).
- Nii, H. P. et al.; AGE: A knowledge-based program for building knowledge-based programs, *Proc. of IJCAI-79*, 1979, 645-655 (1979).
- Nii, H. P. et al.; A rule-based understanding of signals. In *Pattern-directed inference systems*, Academic Press (1978).
- Popple, H. E., Jr.; Artificial intelligence approach to computer based medical consultation, *IEEE Intenon Conf.* (1975).
- Popple, H. E., Jr., et al.; DIAGDQ: A model of diagnostic logic for internal medicine, *Proc. of IJCAI-79*, 1979, 848-855 (1979).
- Scott, A. C., et al.; Oncology protocol management using the ONCOCIN system: A preliminary report, *HPP Memo HPP-80-15* (1980).
- Shortliffe, E. H.; *Computer-based medical consultation: MYCIN*, New York: American Elsevier (1976).
- Stefik, M.; An examination of a frame-structured representation system, *Proc. of IJCAI-79* (1979).
- Stefik, M.; Orthogonal planning with constraints: A program that plans synthesis experiments in molecular genetics, Doctoral dissertation, Computer Science Department, Stanford Univ. (1979).
- Suwa, M., et al.; An approach to verifying completeness and consistency in a rule-based expert system, working paper Computer Science Department, Stanford University (1980).
- Szolovitz, P., et al.; Categorical and probabilistic reasoning in medical diagnosis, *J. of AI* 11 (1978).
- 田中幸吉; 知識ベースとその応用, *情報処理*, 21, 12, 1980, 1231-1241 (1980).
- 辻井潤一; 720973 コンストラクタとその応用, *情報処理*, 20, 8, 1979, 735-743 (1979).
- Ueno, H., et al.; Design of a criteria-based rheumatology consulting system for a microcomputer, *MEDINFO80*, 1316-1320 (1980).
- Van Melle, W.; A domain-independent production rule system for consultation programs, *Proc. of IJCAI-79* (1979).
- Winograd, T.; Frame representation and the declarative/procedural controversy, in *Representation & understanding - Studies in Cognitive Science*, 145-210, Academic Press, New York (1975).
- Weiss, S. M., et al.; A model-based method for computer-aided medical decision-making, *J of AI*, 11, 1978, 145-172 (1978).
- Weiss, S. M., et al.; EXPERT, A system for developing consultation models, *Proc. of IJCAI-79* (1979).