

知的応答システムの比較評価と、新システム WISDOM の開発思想

石田厚子, 神沼二真 (東京都臨床医学総合研究所)

1. 緒言

人間の行動や意志決定に関する情報である知識の集まり(知識ベース)を持ち、その知識に基づいて、できるだけ人間の言語に近い言葉で人間と対話しながら、適当なアドバイスを与えるプログラムを持ち、さらに、人間から対話的にデータ収集もするシステムを、知的応答システムと呼ぶ。我々は、WISDOM と仮称している知的応答システムの研究を、医学を対象にして行っているが、この種のシステムは、究極的には対象分野から独立した汎用のシステムとなるべきものであると考えている。

WISDOM は、段階的に開発されるべきであると思われるが、その試みの第一歩として、既存の医学用知的応答システムについて、その機能、知識の表現や管理方式、さらに、開発ツールやシステム構成を比較、評価し、その結果に基づいて、新しいシステムに要求される機能、知識の表現、管理方式、システム構成を検討することにした。

本報告では、米国及び日本の5つの医学用知的応答システムを、実際の使用経験に基づいて比較、評価した結果を示し、これにより、現在考えられる WISDOM の機能、システム構成について述べる。WISDOM は、できる限り、対象分野からの独立を心がけて汎用システムとなるようにし、また、開発ツールや、開発技法からの独立をおし進めて、これらは、最終段階で決定することとしている。

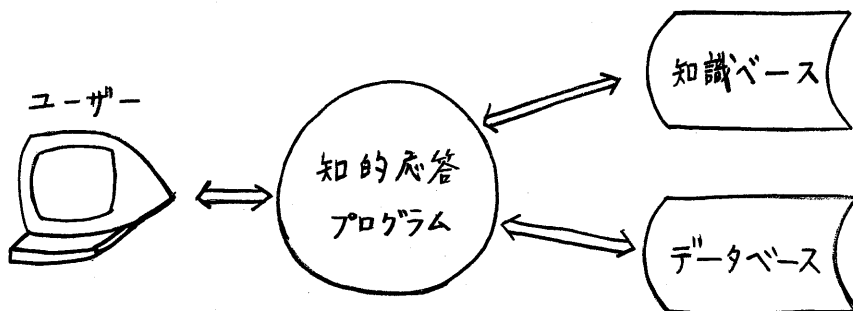


図1 知的応答システムの基本要素

2. 知的応答システムの比較

2.1 比較対象システム

我々が入手し比較したシステムは、半経験的アプローチによる心疾患診断プログラム、Stanford大学のPortlandiffieらが開発した、感染症の

診断, 治療のアドバイスを行うプログラム「MYCIN」, Rutgers大学のKulikowskiらが開発した, 甲状腺疾患, リウマチ(SLE)の診断のアドバイスを行うプログラム「EXPERT」, MITのSzolovitsらが開発した, ジギタリス投与のアドバイスを行うプログラム, として, マンハッタンシステム研究所の若井一朗博士が開発した酸塩基平衡診断プログラム, の5つである。そのうち, MYCIN, EXPERT, ジギタリス投与アドバイザーは, TSSで端末を介して使っており, 酸塩基平衡診断プログラムは, 別機種のMU-MPPS同志のコンバージョンの後, PDP-11/70で使っている。比較の結果は, 表1にまとめてある。以下, 各項目について詳しく説明する。

表1 知的応答システムの比較

システム	心疾患診断プログラム	MYCIN	EXPERT	ジギタリス投与アドバイザー	酸塩基平衡診断プログラム
対象分野	心臓病診断	感染症(髄膜炎, 敗血症)の診断 治療アドバイス	甲状腺疾患, リウマチ(SLE)の 診断	ジギタリス投与 のコントロール	酸塩基平衡 診断
開発者	神沼 (臨床研)	E. H. Shortliffe (Stanford大学)	C. A. Kulikowski (Rutgers大学)	P. Szolovits (MIT)	若井 (マンハッタン研)
知識の表現法	非系統的	非系統的	非系統的	系統的	系統的
知識更新サポート ユーティリティ	decision table generator	rule acquisition system	decision making model compiler	-	-
意志決定論理数	数百	600	甲状腺疾患(200) SLE(65)	-	-
自己説明機能	なし	あり	不十分	あり	なし
自然語対話	なし	あり	なし	計画中	なし
オペレーティング システム	EDOS-MSO	TOPS-10 TOPS-20	TOPS-10 TOPS-20	TOPS-10 TOPS-20	MUMPS/NOVA
言語	FORTTRAN Assembler	INTER-LISP	FORTTRAN	DWL(MAC-LISP)	MUMPS/NOVA
参照文献	[1], [2]	[3], [4]	[5]	[6], [7]	[8]

2.2 知識の表現形式

酸塩基平衡診断プログラム以外の4つのプログラムはいずれも、知識、すなわち診断論理を、知識ベースにたくわえている。ただし、知識ベース内の知識の表現形式は、全て異なっている。各プログラムにおける知識の表現形式について、以下に述べることにする。

まず、心疾患診断プログラムにおいては、知識は、図2-aのようなブール代数による表現がされている。これが、システムの内部では、図2-bに示すような論理表による表現、すなわちデジジョンテーブルの形になっていて、その処理プログラムが、知識を処理する。ただし、一部、システム内部でもブール代数表現のままの形で知識がはいっている。いづれにしても、知識は、全く非手続的な表現であると言える。

$$D_1 = S_1 \wedge (S_2 \vee S_3)$$

$$D_2 = S_1 \wedge \neg S_3$$

$$D_3 = \neg S_1$$

S_i : 症状

D_i : 疾患

	S_1	S_2	S_3
D_1	1	1	
D_2	1		1
D_3	1		0
	0		

図2-a ブール代数による表現

図2-b 論理表による表現

MYCINの場合、ユーザーは、知識を図3-aのような形で表現する。これは、ブール代数による表現に変換可能である。知識は、システム内では図3-bの形で表現されている。いづれもdecision ruleと呼ばれ、MYCINは、600近くを有する。これも非手続的な表現である。

IF: 1) THE STAIN OF THE ORGANISM IS GRAMPOS, AND
2) THE MORPHOLOGY OF THE ORGANISM IS COCCUS, AND
3) THE GROWTH CONFORMATION OF THE ORGANISM IS CLUMPS

THEN: THERE IS SUGGESTIVE EVIDENCE (.7) THAT THE IDENTITY OF THE ORGANISM IS STAPHYLOCOCCUS

Fig. 3-a Decision rule of MYCIN³⁾

PREMISE: (\$AND (SAME CNTXT GRAM GRAMPOS)
(SAME CNTXT MORPH COCCUS)
(SAME CNTXT CONFORM CLUMPS))
ACTION: (CONCLUDE CNTXT IDENT STAPHYLOCOCCUS TALLY .7)

Fig. 3-b Internal code of Decision rule³⁾

EXPERTの場合、ユーザーは知識を図4の形で記述する。これを、EXPERTに付随する特別のプログラム、(意思決定モデル コンパイラ)がコンパイルして、rulesのテーブルを作成する。作られたテーブルは、非手続的な表現である。

```

**rules
*fh
/ DNA intermediate hypotheses
f(dnaci, t) -> h(dna, .2)
f(dnal, t) -> h(dna, .3)
f(dnam, t) -> h(dna, .5)
f(dnah, t) -> h(dna, .8)
f(dnan, t) -> h(dna, -.1)

/ CNS intermediate hypotheses
[1: f(obsyn, t), f(coma, t), f(seiz, t), f(psych, t)]
-> h(cns, 1.)

```

f: findings
h: hypotheses

図4 EXPERTの知識の記述例(部分)

以上のシステムに対し、デジタルシステムアドバイザーでは、知識は、図5に示されるような手続で表現されている。本システムでは、これをplanと呼んでおり、知識ベースの中で、このplanが構造的に並んでいる。知識の処理は、planのcallにより行われる。

```

((CHECK (SENSITIVITY (DUE (TO THYROID-FUNCTION))))
PLAN
SUMMARY: (FACTOR REDUCTION-MYXEDEMA)
METHOD: (IF-THEN
(CURRENT-VAL (STATUS MYXEDEMA) UNKNOWN)
(ASK-USER (QUANTA T4)):),
OR
(IF-THEN
(OR:15
(STATUS MYXEDEMA PRESENT)
(AND:10
(STATUS MYXEDEMA UNKNOWN)
(LESS-THAN 2.5 (QUANTA T4))))
(BECOME-ALSO
(CONDITIONS CORRECTABLE-AND-PRESENT MYXEDEMA)):1,
(UNBECOME (CONDITIONS DEGRADEABLE MYXEDEMA)):1,
(BECOME (FACTOR REDUCTION-MYXEDEMA 0.67)):1,
(BECOME-ALSO (REASONS REDUCTION MYXEDEMA)):)
(AND
(BECOME-ALSO
(CONDITIONS DEGRADEABLE MYXEDEMA)):2
(UNBECOME
(CONDITIONS CORRECTABLE-AND-PRESENT MYXEDEMA)):2
(BECOME (FACTOR REDUCTION-MYXEDEMA 1.0)):2
(UNBECOME (REASONS REDUCTION MYXEDEMA)):)))

```

図5 デジタルシステムアドバイザーのplanの例⁶⁾

さて次に、知識ベース内の知識の構造について比較してみる。

知識ベースの作成時に、意識的に知識の構造を明確に記述するのは、デジタルス投与アドバイザーである。本システムの知識ベースには、知識を表現する手続の他に、手続が実行された軌跡、英語の文、がはいっているが、いずれも、conceptと呼ばれる、図6の形式で構造が記述されている。generalizerは、より高い階層のconceptへのリンクであり、specializerは、またる特徴概念を示すconcept、あるいは、英単語列へのリンクである。また、reference-itemは、このconceptを、generalizer, specializerとして参照する全てのconceptのリストである。このように、本システムで、知識を記述するという事は、上記のような構造を持ったプログラムを記述することにあたる。

```
[ (generalizer specializer)
  reference-item-1
  reference-item-2
  ⋮
  reference-item-n ]
```

図6 デジタルス投与アドバイザーの知識ベースの構造

デジタルス投与アドバイザーとは逆に、知識を記述する際、構造を全く考えなくしてよるのがMYCINである。しかし知識ベース内の表現に現れるパラメータの、属性の記述の中に、パラメータを参照するruleのリストと、パラメータの値を変えようとするruleのリストがあり、内部的には、rule同志がネットワーク構造をなしていることがわかる。構造の記述されていない知識表現から、ruleのネットワークを作成するのは、MYCINのrule acquisitionシステムと言うサブシステムである。

一方、EXPERTの場合は、F-H (findings-hypotheses) rule, H-H (hypotheses-hypotheses) ruleの2階層に、知識ベースはなっている。知識を記述する際に、この階層構造に従わなければならない。さらに、システムがユーザーとの対話に使う質問も、構造を持っており、これに従って質問の記述も行う。

心疾患診断プログラムの場合には、知識ベースの中で、ルール代替表現のruleと、論理表の両者が、多段階多層の構造をなしている。知識記述の際にも、この構造に従っている。したがって、基本的には、EXPERTと似た知識構造の表現形式を取っている。

以上述べた知識の表現形式の比較から、一体どのような形式が望ましいのか、手続的表現か、非手続的表現か、あるいは、構造の記述を明確に行うか、否か、について考察してみたい。

まず考えなければならないのは、知識を記述するのが必ずしもプログラマーではないという点である。すると、デジタルス投与アドバイザーのような方式では、知識の記述、修正、追加は、非プログラマーにとっては困難と思われる。他の方

式ではどうかと言うと、心疾患診断プログラムの decision table generator, MYCEN の rule acquisition system, EXPERT の model compiler のようなユーティリティが完備していなければ、やはり知識の修正、追加は困難である。したがって、この点に関しては、知識の形態が半統的であるか非半統的であるかは本質的な問題ではなく、知識ベース内の知識を自動生成したり修正したりするためのユーティリティの有無が重要と思われる。

知識ベースと他の処理の分離という点から見ると、知識を非半統的に表現している3つのシステムは、その実現が完全ではないが可能になっている。これは、後述するシステムと問題領域の分離、すなわち、汎用システムの実現へとつながる。デジタルス投字アドバイザーの方式でも、知識ベース生成のためのユーティリティを付加したり、知識ベースを他の処理から独立させる努力をすれば、汎用システム化は可能と思われる。

次に、知識の記述の際、その構造を明確に記述した方がよいかという点を考えてみる。これも、知識を書くのは、非プログラマーである場合が多いということに注意すべきである。知識、すなわち人間の意志決定規則を書く下すのには、やはり枠（フレーム）のようなものがあつた方が、仕事もやり易くなる。しかし、それが複雑すぎると、プログラムのコーディングと同じ作業になってしまう。知識の記述にどの程度の構定を入れるかは、今後の課題である。

2.3 説明機能と自然語対話

ユーザー側からのシステムの使い勝手を示す要素として、自己説明機能の有無、自然語による対話の可能性がある。

自己説明機能、すなわち、システムが行、ている意志決定のプロセスを、ユーザーに対して説明する機能が、現在最も充実しているシステムはMYCENである。このシステムは、ユーザーに対して質問を返し、それに対する回答に従って、コンサルテーションをするモードと、ユーザーからシステムに出された質問に答えるQ-Aモードを持つが、いずれのモードでも自己説明機能を起動することができる。機能の中には、システムから発せられた質問の発せられた理由を問う、WHYというコマンド、意志決定された要素の決定経過を問う、HOWというコマンドがあり、プロセスを知るのが最も有効である。また、Q-Aモードでは、英語の文の形で、意志決定プロセスや、診断を下した理由を問うことができる。MYCENは、実行時に、Context tree というものを作成しており、これをたどれば、意志決定プロセスがわかるようになっている。したがって、説明が明確に示せる。

デジタルス投字アドバイザーも、自己説明機能が充実している。このシステムでは、知識ベースの中に、知識やその実行の軌跡が、Conceptの形で構造的に格納されているので、やはり明解な説明が示せる。ただし残念なことに、本システムは開発中であり、その機能を十分に確かめることができない。

自然語、すなわち英語による対話の機能もMYCENが最も進んでいる。ただし、1行以内におさまる長さで、システムが実行時に設定した名称を使いなければならぬ。スペルチェックミスは修正してくれる。しかし、ユーザーからの意見

では、もっと自由な英文の解釈をしてもらいたくところである。

2.4 開発ツール

5つのシステムの開発言語は、FORTRAN, LISP, MUMPSに分けられる。各々につき、知的応答システムの開発ツールとしての特徴を述べる。

FORTRANの長所は、ポータビリティの高いシステムがであること、TSで使っても、ユーザーがそれほど遅いと感じないだけの処理スピードがあるということ、であろう。一方、人間の意志決定のプロセスの実現に適しているのかは、検討の余地がある。

LISPの長所は、人工知能の研究によって蓄積された技術や、ツールを有し、人間の意志決定のプロセスの実現がしやすいこと、であろう。したがって、今日では、知的応答システムの実現に、LISPを使うことが当然のように思われている。しかし、TSで使ったとき処理スピードが遅すぎる、メモリやファイルを多く必要とし、他のユーザーに迷惑をかけること、等の使いづらい点も見られる。また、少なくとも現在の日本では、LISPのユーザーや、LISPの使える計算機が少なく、システムの普及が困難ということも問題であり、将来において、よいツールであるかどうかは、検討の必要がある。

MUMPSの長所は、データベースシステムであるから、知識ベースやユーザーのデータの管理が容易であるという点である。また、とくに医療の分野では、よく普及しており、標準化も進んでいるので、ポータビリティの高いシステムの実現が可能である。ただし、厳格な平衡プログラムの場合は、知識ベースの形で診断論理が存在しないので、前者の長所は確かめられていない。また、人間の意志決定プロセスの実現に適しているかどうかの検討も必要である。

2.5 知的応答システムの進化

最後に、知的応答システムの発展の歴史をながめ、将来のシステムの特徴を予測してみたい。

図7で示すように、2つの大学の研究の流れを見ても、Stanford大学のMYCIN, Rutgers大学のCASNETと言ったシステムは、問題領域、すなわち知識ベースの内容と、その処理プロセスを一体化している。これらを第1世代のシステムとすると、これらに続くシステム、Stanford大学のEMYCIN⁴⁾(MYCINから知識ベースを除いた部分を独立させ多目的化したもの)、Rutgers大学のEXPERT⁵⁾は、問題領域と処理プロセスの分離が行われている。しかし、まだ完全ではないので、これらのシステムが、どの疾患にも適用できるかと言うと、疑問である。これらを第2世代と界する。

さて、第3世代のシステムは、さらに抽象化をすすめる、問題領域と処理プロセスの完全な分離、すなわち汎用システムの実現の方向に行くと思われる。その1つの理由として、医学の分野を例にとれば、1つの疾患の診断でも、知識ベースの知識の量が、システムの処理能力を越えるほど大きくなる可能性があるため、将来は分散処理をする必要があること、そのために、いくつものシステムを別々に作るのではなく、知識ベースだけが違うシステムを作成し、ネットワーク化す

る方が便利, ということがあげられるだろう。

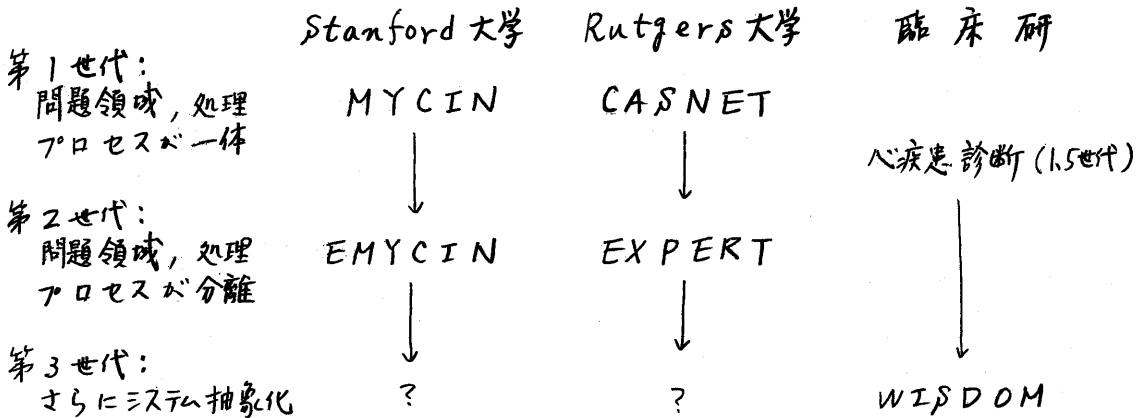


図7 知的応答システムの研究の流れ

3 WISDOMの開発思想

3.1 要求される機能

我々が開発を計画しているWISDOMは, 2.5で述べた第3世代のシステムを目指している。ここで第3世代の特色と思われる項目をあげてみる。

- (1) システムの抽象化をさらにおしすすめ, 知識ベース, ユーザーのデータのデータベース, 処理プロセスの完全な分離を行う。
- (2) ユーザーからの強い要望である自然語応答, 音声応答, 自己説明機能を持ち, さらに, 知識ベースの自動生成のためのユーティリティなどを充実させる。
- (3) 知識ベースの内容と, ユーザーのデータのデータベースの内容をモニタリングすることにより, 知識ベースの内容を進化させる。

さて, 上記の特色を含めた, WISDOMに要求される機能を, 具体的形式で列挙してみる。

- (1) 知識ベースの生成: 知識を教理モデル化して入力させ, 自動的に知識ベース内に格納する。
- (2) 時間に関するデータの処理
- (3) 自然語による対話処理
- (4) 音声データの入力処理
- (5) ユーザーデータのデータベース管理: 他システムによる統計処理も可能にする。
- (6) 知識ベースの進化

3.2 システム構成

3.1で述べたWISDOMの要求機能を実現するために、図8のようなシステム構成を考えている。

まず処理プロセスを、大きく2つのフェーズに分ける。1つは、対話処理をしながら意志決定を行うフェーズ、もう1つは、知識ベースの生成、進化を行うフェーズである。両者を制御するプログラムが中央に存在する。

ユーザーとの対話処理、音声入出力処理、等は、ユーザーインタフェースとして別にする。これは、使用デバイスに依存する部分で、将来の技術の進歩、ユーザーの要求に柔軟に対処したいからである。

さらに、自然語による対話を支援したり、意志決定プロセス自己説明したり、といったより細かい処理を行うユーティリティプログラム群が存在する。これらも将来のユーザーのニーズに合わせて拡大していくものである。

次に知識ベースであるが、ここには、意志決定規則、おなめち知識そのものと、知識の構造、知識の制御情報、質問応答に必要な言葉の辞書、等がある。これらの情報を知識ベース内でのような形でしておくか、は今後の研究課題である。

ユーザーデータのデータベースは、例えば日々増加していく個人の病歴などを格納する一時的なデータベースと、統計処理に使う統合されたデータベースに分かれる。後者が知識ベースの進化に利用される。

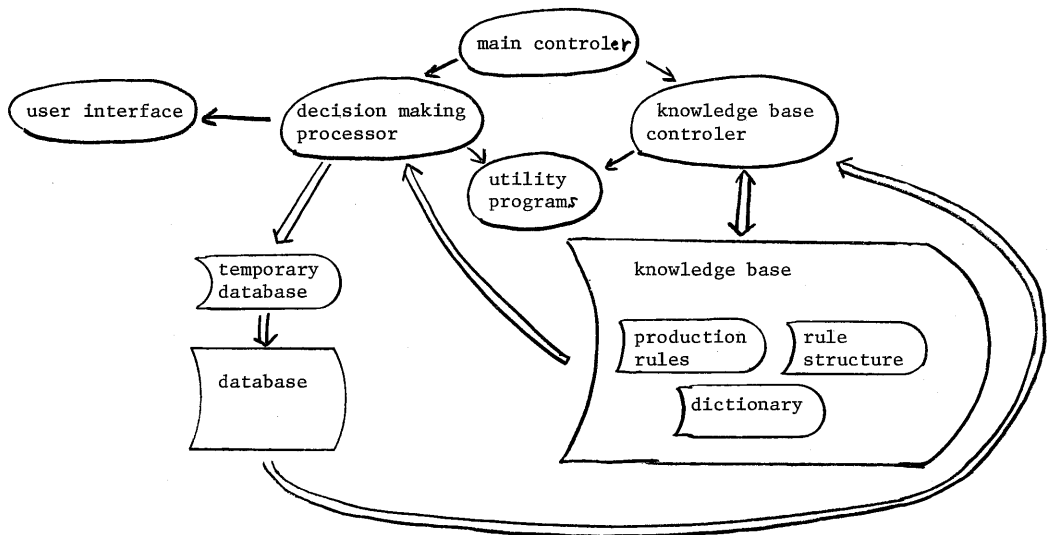


図8 WISDOMのシステム構成

3.3 開発ツールの選取

開発ツール，すなわちハードウェア，オペレーティングシステム(OS)，言語の選取にあたって，我々が考慮すべきことは，次の点である。

- (1) 要求される機能の実現が可能か
- (2) ホータビリティの高いシステムができるか
- (3) ユーザーが耐えられるだけの処理スピードが常に出せるか
- (4) ユーザーの求める利用形態に合っているか。

我々は，WISDOMの完成を数年先と考えている。その時点のユーザーのニーズと計算機の普及度を予測して，開発を進めなければならない。したがって，現時点では，できるだけ開発ツールに依存しないシステムの設計を心がけている。

4. 結語

知識ベース，データベース，そしてユーザーとの対話により意志決定をするプログラムを持つ知的応答システムの開発に先立って，既存の医学用知的応答システムを比較，評価し，その結果に基づいて，新しいシステムWISDOMの開発思想を述べた。

我々は，あくまでユーザーのニーズからシステムの設計をかしすすめる，というアプローチをとっている。もう一方で，知識ベースやデータベースの形態，管理方式，アクセス法，等の技法からの研究アプローチもある。いずれは両者が協力して研究を進めなければならないだろう。

最後に，医学用知的応答システムを早く提供して下り，ディスカッションに応じて下さった，Stanford大学のDr. Shortliffe, Rutgers大学のDr. KulikowskiとDr. Weiss, MITのDr. Szolovits, マンパスシステム研究所の若井一朗博士に感謝の意を表す。

5 参考文献

- [1] Kaminuma, T. and Machii, K., Computer Diagnosis of Heart Diseases, Int. Symp. on Med. Inf. System, (1978) 197-200
- [2] Kaminuma, T. and Machii, K., Semiempirical Approach to Computer Diagnosis, Proc. 4th Int. Joint Conf. on Pattern Recognition, (1978) 889.
- [3] Shortliffe, E.H., Computer-Based Medical Consultations:MYCIN, (Elsevier/North Holland 1976).
- [4] van Melle, W., A Domain-Independent Production-Rule System for Consultation Programs, Proc. 6th Intl. Joint Conf. on Artif. Intelligence, (1979) 923-925.
- [5] Weiss, S.M., Kern, K.B. and Kulikowski, C.A., Guide to the Use of the EXPERT Consultation System, CBM-TR-94, November (1978).
- [6] Swartout, W.R., Digitalis Therapy Advisor with Explanations, MIT/LCS/TR-176, February (1977).
- [7] Silverman, H., A Digitalis Therapy Advisor, MAC-TR-143, December (1974).
- [8] 若井一朗, 電解質 酸塩基平衡診断プログラム (Bleich) と 酸塩基平衡診断プログラム (白井, 若井) の比較, マンパスソフトウェア研究会資料 17-2 (S54-12-16)。