

解説

医療診断エキスパートシステム
における知識表現†

伊藤 昭 治** 稲岡 則 子**
小田 直 人** 木下 恒 男**

1. ま え が き

過去 10 数年間、大学を中心に知識工学あるいは人工知能の技術を利用して、いくつかの医療診断（以下「診断」を用いる）に関するエキスパートシステムが開発された。その代表例として、スタンフォード大学の MYCIN^{1),2)}がある。MYCIN は細菌感染症について、抗細菌物質療法を選択するための助言を与える。

このシステムは診断に関するエキスパートシステムとして最初のものである。診断知識を IF-THEN ルールで表現し、制御プログラムから独立させて、知識ベースとして構築し、管理するところにその特徴がある。すなわち、従来のアプリケーションプログラムの構造と基本的に異なる方式を採用し、診断と治療に関するコンサルテーションを行う方式としてその有効性を示した。

その後、PUFF³⁾は肺機能検査、INTERNIST⁴⁾は内科全般の診断、CASNET⁵⁾は緑内障の診断及び治療、PIP⁶⁾は腎疾患の診断、ONCOCIN^{7),8)}は癌化学療法について、それぞれの分野のコンサルテーションシステムとして開発された。また、EMYCIN⁹⁾、EXPERT¹⁰⁾、MECS-AI^{11),12)}は診断に関するエキスパートシステムの汎用ツールとして開発された。TEIRESIAS¹³⁾は知識獲得に注目して、医師が持っている診断知識をコンピュータに取り込むためのユーザ・インタフェースを提供している。

これらのシステムは、特定の限られた病気について患者を診断する際の病名の推定とその根拠の説明、治療薬のアドバイス及び関連情報の呈示などの機能を有する。また、病名について専門医と同等あるいはそれ以上の精度で正しい診断を行うことができることを目

標としている。この観点から実験システムとしては成功したといえるが、実際の臨床場で有効に使用されているシステムは少ない。その理由はいろいろ考えられるが、(a)コンサルテーション内容、(b)診断知識の信頼性、(c)表現の柔軟性、(d)知識獲得機能、(e)使いやすさなどの観点から検討し、医師が臨床場で使用する各種の診断知識を考慮して、システムを構築する必要がある。実際にこのようなエキスパートシステムを使用する場合の問題点として考慮しなければならない点について述べる。

(1) 必要とする十分に信頼性のある専門知識 ((a), (b))

第一に、医師が真に必要としている知識をコンサルテーションすることが重要である。すなわち医師が臨床場でシステムを使用する際に、病名を推定するだけでなく、重症度の推定、検査手法の選択、治療の選択、予後の予測、参考データ、参考資料などの知識も提供できることが望ましい。特に、病名をコンサルテーションするエキスパートシステムが多く開発されたが、病名は、簡単に推定がつく場合も多い。医師が実際にある診断を下す場合、直接的診断知識（たとえば、診断ルール）ばかりでなく、間接的診断知識を用いることにより、診断を確認することができる。たとえば、「裏づけ」となる医学知識、自分の下した診断を「確認」するための知識、診断する際に「参考」となる知識などである。

また、現在のコンサルテーションシステムが十分に信頼性のある知識を持っているとはいえない点がある。それは扱っている知識が本来不完全性を秘めている面もあるし、技術がまだ及ばない面もある。たとえば、診断精度上十分ではない表面的診断知識を主として扱っているし、コンピュータにのっていない診断知識がある。診断の目的によって、診断精度として全体的の中率ばかりでなく、疑陰性率（見逃し）や疑

† Knowledge Representation in Medical Diagnosis Expert System by Shoji ITO, Noriko INACKA, Naohito ODA and Tsuneo KINOSHITA (Science Institute, IBM Japan Ltd.).

** 日本アイ・ビー・エム(株)サイエンス・インスティテュート

陽性率(読み過ぎ)に評価目標を設定する場合も多い。

(2) 柔軟な診断知識の表現(c)

特に、診断知識が持っている‘あいまいさ’、‘定性的表現’及び‘時間依存性’などに関して知識表現が不十分で取り扱いが困難である。医師が各種の診断をする際、あいまいさや時間依存性などの特殊な面を考慮する必要があり、また、定性的表現で経験的に判断していることも多いし、それらの知識の構造化過程も個人により異なる。知識表現手法としては、従来より、プロダクションルール表現、フレーム表現及び意味ネットワーク表現が提案されているが、これらの手法だけでは、人の持っている柔軟な知識表現は困難である。

(3) 客観的診断知識の評価と獲得機能(d)

従来、獲得機能は外部の確立している知識をコンピュータの内部表現に変換し、転送(Transfer)することであった。しかし、本来個人差、観測誤差のある診断知識は常に不完全性を内部に持っている。したがって、一度作成した知識ベースを修正し、より信頼性のある知識ベースを確立するための努力が必要である。従来のエキスパートシステムにおける知識の評価は、専門医の経験的判断で行われてきたが、知識の獲得段階で臨床データを用いて客観的に評価するなどの機能が知識の精度を高めるだろう。今後の獲得機能は、Transferに限定されず、積極的に知識形成の過程も支援することが重要である。

(4) ユーザ・インタフェース(e)

ユーザがシステムを受け入れるためには、(1)~(3)までの問題点がある程度解決していなければならない。さらに、次の2点に注意する必要がある。一つは、従来より言われているユーザ・インタフェースの問題で、見やすさ、操作しやすさ、言語のサポートなどである。もう一つは、エキスパートシステムにおいて人間の持っている知識を扱うために特に必要と思われることであるが、言葉の選択、納得のできる説明、思考とのなじみなどである。

本稿では、これまでに開発された診断に関するエキスパートシステムを調査し、特に、診断知識の表現の観点から、今後解決すべき技術的問題を考察する。

なお、知識表現の一般的手法の観点からは、すでに、開原らが「医療知識工学」¹⁴⁾及び「医療コンサルテーションシステム」¹⁵⁾と題して報告している。

2. あいまいさの表現

医療診断エキスパートシステムに限らず、知識工学の各応用分野では、「あいまいさ」の表現とその処理が重要である。情報の持つ「あいまいさ」は、不確実性(uncertainty)、フェジィ性(fuzziness)、不完全性(incompleteness)、多義性(polymeanings)、不整合性(inconsistency)、非決定性(nondeterminism)などの側面を持っており、知識工学におけるその知識表現や処理方法が議論されている^{16),17)}。

本章では、医療診断におけるあいまいさの特色の一つである「不確実性」を中心にその知識表現について述べたい。

医療における診断知識のあいまいさはその診断対象と診断過程から生じる。医師は臨床の場の患者管理プロセスにおいて、診断・治療法の選択など、多くの意志決定を実行している。しかしその決定には、患者データのあいまいさ、診断・治療論理のあいまいさ、医師や患者個人の価値判断に伴う評価のあいまいさが本質的にかかわってくる^{18),19)}。

図-1に示すように、データのあいまいさの原因には、医療診断が人体を扱う由に発生する「個体差」の問題ばかりではなく、多くの要因が関連している。患者の臨床像は、性・年齢などの属性、合併症、治療の影響を受けたり、医師自身や検査機器などの観察特性による影響も受ける。

また、ある疾患に対して特定の臨床像が常に対応していれば診断論理は明確に定まるが、現実には不確実な場合が多い。患者の臨床像は通常、時間経過とともに変化していく。診断時期によって診断論理が異なる場合もあり、いくつかの疾病では、経過に伴う病態の推移が特に重視される。

エキスパートシステム構築のためには、真偽の二値で表せない、このような「不確実性」を伴った観察データ・疾患分類・治療行為などの医学概念とその関

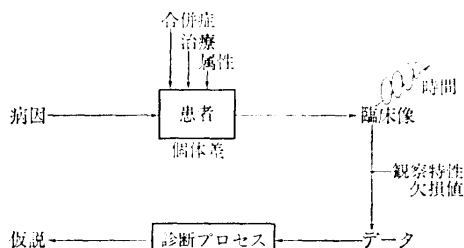


図-1 診断の過程

係、つまり診断知識を、医師の行っている自然な判断の形で形式化して、計算機上に表現する必要がある。

プロダクションシステムにおけるルール表現は、医師によって抽出された IF-THEN 形式の診断知識を記述できる。MYCIN ではこのルールに対して、確信度 (CF: Certainty Factor) を導入することによって、柔軟な推論を可能にしている。CF はデータや診断論理のあいまいさを表す知識の表現法として広く用いられている。EXPERT や MECS-AI などのルール表現に基づく汎用システムでも、同様の CF を用いて不確実性を表現している。

二つ以上のルールによって同一の仮説が導かれた場合、その仮説の CF 値は、MYCIN では結合関数によって生成されるが、EXPERT では、その仮説に対して最大の CF 値を持つルールを選択する。

CF_h は医師が、仮説 h に対して持つ belief MB_h と disbelief MD_h の差 CF_h = MB_h - MD_h と考えられ、 $-1 \leq CF_h \leq 1$ の値をとる。h の否定を $\neg h$ とすると MD $\neg h$ = MB_h であり、CF_h + CF $\neg h$ = 1 となり、確率とは異なる尺度であることがわかる²⁰⁾。不確実性は従来ベイズの規則に従う確率量を基本に表されてきたが、人間の主観にかかわる不確実性を扱うことに対して、ベイズの規則は必ずしも適切ではないという認識があった²¹⁾。MYCIN の CF は人間の直観的な不確実性を扱うための尺度を与えている。

さらに、Dempster-Shafer 理論²²⁾ は、無知量 (ignorance) を表すことができる。たとえば、仮説 h の確率 P(h) が得られたとき、ベイズの規則に従って考えると、 $\neg h$ の信用 (つまり h の disbelief) P($\neg h$) = 1 - P(h) となる。しかし、本来その量は h か $\neg h$ かかわからない無知な部分であるべきであり、Dempster-Shafer は Probability Mass (確率質量) の概念を用いて無知量を扱う基本的枠組を与えている。

この理論は、特別な場合としてベイズ理論を包含しており、また集合の概念を扱っている。一方、ファジィ集合論²³⁾ は、境界の明瞭ではない、あいまい集合を数値的に扱う枠組を提供しており、ファジィ論理やファジィ推論についても多くの研究がある。医学データや診断論理のあいまいさをファジィ論理を応用して処理しているシステムもある²⁴⁾。石塚らは、ルール表現の条件部・結論部の中にファジィ集合が記述できるように Dempster-Shafer 理論を拡張し、エキスパートシステム構築に応用している²⁵⁾。

ところで、医師の用いる診断論理の中には、主症状

表-1 小児急性熱性皮膚粘膜リンパ節症候群 (略称 MCLS) 診断の手びき

下記の6つの主要症状のうち、5つ以上の症状を伴うものを本症として取り扱う。
A 主要症状
1. 原因不明の5日以上続く発熱。
2. 四肢末端の変化: [急性期] 手足の硬性浮腫、掌蹠ないしは指趾先端の紅斑。 [回復期] 爪皮膚移行部からの膜様落屑。
3. 水疱、痂皮を形成しない不定形発疹 (体幹に多い)。
4. 両側眼球結膜の充血 (一過性のことがある)。
5. 口唇、口腔所見: 口唇の紅潮、莓舌、口腔咽頭粘膜のびまん性発赤。
6. 急性期にかかる非化膿性頸部リンパ節腫脹 (一過性のことがある)。

と副症状の組み合わせで表現する形式のものがある。

たとえば、厚生省研究班が作成した川崎病の診断の手びき (表-1) などは、この形式を用いている。一方、EXPERT のルール表現の中では、条件部の結合関数として AND, OR 以外に「症状群リスト S₁……S_m の m 個のうち n 個以上が満足された場合に真とする」という表現 (カウント表現とよぶ) が用いられており、医師の自然な表現を表すことができる。

[n: S₁, S₂, ……S_m]

MECS-AI でも同様の機能を持つ \$COUNT\$ 表現がある。また、リウマチの診断システム RHEUM/AI²⁶⁾ でもフレーム型知識表現の中で診断基準の表現として同様の方式である「クライテリア・テーブル」を組み込んでいる。

疾病に関連する症状間の関係は必ずしも独立ではなく、従属性が高い。特に重要な従属関係の強い症状の集合と、その診断に対する寄与の大きさを表現するのに、このカウント表現は有効である。しかし、カウント表現中の症状間の関係は不明確であり、m の個数、n の個数、S₁……S_m の症状の選択、CF の設定などの組み合わせによって多くの場合が生じる。また、S₁……S_m の症状は必ずしも従属性の高い症状群を記述する必要はない。そのため、いくつかの症状の集合が、ある疾患の診断にかかわっている強さを漠然と表現することができ、知識が十分体系化されていない知識獲得初期段階には、診断論理のあいまいさを表現する知識表現として位置づけることもできる。

ここまでルール型知識表現をとるシステムにおける不確実性の導入の方式について述べてきた。知識表現としては、ルール型知識表現のほかにフレーム型知識表現やネットワーク型知識表現をとるシステムに分類

することが可能であり、ルール型知識表現以外の表現をとるシステムにおける不確実性の表現について見てみよう。

PIP では特定の診断名に対する概念モデル「Hypothesis」はいわゆるフレーム型知識表現で表されている。その中には、当該フレームを活性化するための条件や、診断名を決定する条件、鑑別すべきほかの診断名の条件に加えて、診断の確からしさを計算するための条件式がスコアという不確実性を表現するパラメータつきで表現されている。このスコアつき条件式は CF つきルールの条件部に対応し、観察データと診断名の間関係の強さを表現している。

ネットワーク型知識表現では、医学的概念を表すノードと、それらの間の関係のリンクで知識が表現される。このネットワークはルール表現に分解することが可能である。

CASNET は因果ネットワークを知識表現として用いている。ノードは、患者データ・病理学的状態・診断名の三つのレベルに分けられ、それらの間関係である Association Link, Causal Link には、Frequency (頻度) とよばれるリンクの結合の強さを表すパラメータがついている。患者データのノードに割りあてられた重みは、次々とリンクをたどって伝わり、最終的に診断名ノードの重みが決定される。

また、INTERNIST は意味ネットワーク型知識表現の中で症状 S と診断名 D の間の双方向の関連の強さを Evoking Strength (0~5) と Frequency (0~5) の二つのパラメータで表している。Evoking

$$\textcircled{S} \frac{P(D|S)}{P(S|D)} \textcircled{D}$$

Strength は、症状の特異性に関する確率 $P(D|S)$ を代表し、Frequency は症状の感受性に関する $P(S|D)$ を代表している。Evoking Strength を用いて診断名を選択し、Frequency を用いて診断名の確からしさを計算している。

以上のさまざまなあいまいさを代表するパラメータ (CF も含めて) は主観的にその値が与えられている。そのため知識獲得上、その決定方法が問題となる場合がある。さらに複数のエキスパートによって構築された知識ベースを結合する問題は、今後大きな知識ベースシステムを構築する上で重要になると考えられる。それに関して複数の知識ベース上に表現された同一仮説に対する CF の決定方法に関するアプローチが、エキスパート間の「Co-operative process」として研究されている²⁷⁾。

また、あいまいさの扱いに対して「論理」を基盤として知識表現・利用を総括的に扱う方法がいくつか示されている。ファジィ論理を基盤としたファジィ Prolog²⁸⁾ の開発や、複数の可能世界の確率的存在を表すことのできる Probabilistic Logic²⁹⁾ の研究がある。実用化のための今後の発展が望まれる。

3. 定性的表現

定性的表現は診断知識を表すのに重要である。医師が患者の状態を特定するためのパラメータの正確な数値を知らないこともあるし、計測することが困難なパラメータもある。このような状況下においても、医師が、医学の常識や専門の知識を応用して、定性的表現モデルを正しく評価することによって、患者の状態を予測できる場合も多い。

一般に、ある診断対象に対していくつかの知識表現方法が可能であり、同一の診断の目的に定性的表現を用いる場合と定量的表現を用いる場合がある。たとえば、検査値は通常定量的に正確に表現するが、ある判断をする場合、定性的表現に変換して行うことも多い。定量的表現と定性的表現の間の変換ルールは性・年齢などの属性が関係することもあるが、一つの定性的表現で属性と独立して簡単に表現することができる場合もある。また、症状に関する表現は本来定性的であることが多い。この問題に対して、ファジィ論理の定式化と決定過程を応用してアプローチする試みもある³⁰⁾。

診断に関するエキスパートシステムにおいて、定性的・定量的表現の両者が扱えるようにすることが望ましく、知識獲得の過程においても、そのことを考慮しなければならない。

Kuiper ら³¹⁾ は知識獲得の過程で、医師の定性的説明モデルから、知識ベースを構築することの重要性を指摘している。彼らは少人数の医師に対して、問題解決のために行っている観察・思考・行動を詳しく報告してもらい、それを分析するという方法を用いている。そして、そこから対象領域における定性的知識表現の構造を見出ししている。また、医師より得た知識だけではなく、教科書的制約条件やコンピュータシミュレーションモデルなどを用い、知識獲得の方法としている。これは、知識の内容だけではなく、知識表現そのものの構造を決めるために有効な知識獲得方法であろう。

以下に具体的に論文中の例について説明する。ここ

表-2 ネフローゼ症候群に関する医師の説明 (一部)

L162	A: When there is a very low <u>albumin</u> in the serum.
L163	there are two forces which cause edema in my thinking.....
L164	the hydrostatic and oncotic forces,
L165	and we have actually opposed forces
L166	forces [...break...] formation is secondary to
L167	the hydrostatic force of the blood going through the capillaries
L168	and causing the transudation of <u>fluid</u>
L169	as well as the osmotic force within the blood vessels,
L170	that is secondary to the <u>proteins</u> in the plasma
L171	which tend to draw <u>fluid</u>
L172	from the interstitial spaces into the blood vessels
L173	and also there is the forces in the extracellular space.
L174	There are certain <u>proteins</u> which tend to pull <u>water</u>
L175	out of the blood vessels
L176	and there is a hydrostatic force I believe also in the interstitial spaces
L177	which can counteract the force of the fluid coming out from within the vessels
L178	and if you have a very low <u>albumin</u> in the serum,
L180	there will be a decreased osmotic pressure
L181	and make it easier for the <u>fluid</u> to go out into the interstitial spaces.

では腎障害の一つであるネフローゼ症候群を題材にしている。この疾患では生体内の水分と塩分の平衡維持機能がぐずれ、浮腫などの症状が現れる。Kuiperらの方法では、最初にその特定領域を記述するための知識表現に関する概念的枠組を見つける。そのために、医師からこの病気のメカニズムに関して考えていることをできるだけ詳しく報告を受け、それを表-2に示すように短文に分割する。その中から基本的用語や分類、メカニズムの構造や動作などの量的関係を系統立てて形式化する。たとえば、蛋白・液体は物質、血漿成分(P)や間質成分(I)は位置というように基本的用語とその分類が対応づけられる。そのほか、メカニズムの記述に必要な語として、量(amt)、濃度(C)、静水圧(HP)、膠質浸透圧(Onc P)などがある。さらに、それらのパラメータ間の関係についての制約条件には、関数型拘束(M^+ , M_z^*)や導関数型拘束(d/dt)などがある。それらを積み重ねて領域モデルを作成する(図-2)。定性的表現では‘より大きい’や‘より小さい’のような二つの値の間の順序関係を記述する言語と、‘増加’や‘減少’などの一つの物質の時間に伴う

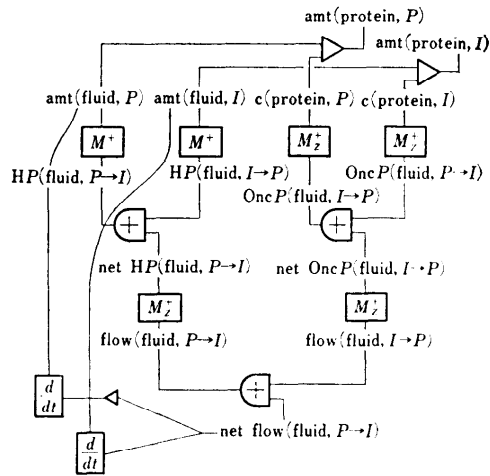


図-2 領域モデルの図式化

変化の方向を記述する言語を明確に区別して使っている。

一方、物理的システムの分野において、定性的表現だけを用いた推論モデルの研究が進んでいる。このモデルの目標は、システムの定性的動作を制御している法則を見つけ出し、定量的方法に頼らずにシステムの動きを予測し、説明することである。定性的解析は定量的情報に欠けているが、システムとしてのいろいろな機能の特徴を予測することができる。

定性的表現には固有のあいまいさがあり、効果的な法則を導き出すのは困難とされていたが、Kleer及びBobrow³²⁾は、流体の圧力調節計を例にとり、定性的情報だけを用いて、システムの動きを制御している基本的法則を提案した。まず、システムの構造と動作を定性的モデルで表現する。この場合の動作は、定性的方程式で表現される。このシミュレーションは時間に対するシステムの動作解析過程である。初期状態から到達可能なすべての状態と、それらの間のすべての可能な遷移を候補としてあげる。次にこのすべての遷移の候補をチェックし、次の時点の状態に移り、同様の作業を繰り返す。通常、定性的推論モデルにおいて、多くの遷移可能性が存在する。ここに定性的あいまいさが生じる。ここでのあいまいさは一対一に定まらないことを意味する。そこで、彼らはすべての高次の導関数に値の連続性と瞬間的なゼロから変化が起こるといった法則など6つの法則を提案した。この法則を適用することにより、すべての候補から不可能な遷移を取り除くことができることを示した。

一般に定性的表現を用いて、システム構造と動作を

記述し、推論するには、MYCIN や INTERNIST などを用いられている経験的推論と比較して、いくつかの有利な点がある。第一に、最初の原理から推論する方法は対象から独立して構築ができること。第二に、システムの構造と動作の記述から始まり、それらの記述に関する仮説が正しいか修正が必要か明確にすることができる。

また、R. Davis³³⁾ は、ルール表現と比較して、その特徴を説明している。ルール表現はコンピュータに移植しやすいし、知識を症状と病気の関係のレベルで記述すると、対象が変わっても移植しやすい。しかし、まったく新しい機械を診断するとなると、まったく新しい知識ベースを作らなければならない。一方、システムの構造と動作に関する知識は体系的に列挙することができる利点がある。経験的知識を確立するのは非常に難しい。その知識は一つ一つの症例からルールを検出する必要があるからである。代表的症例を収集し、各症例についてのルールをエキスパートに聞く必要があり、時間と労力のかかる仕事である。

これらの推論モデルは生理学上のモデルや因果モデルなど、深い診断知識の表現に応用できる可能性がある。

4. 時間依存性

患者の病態は時間の経過とともに変化していく。また、その疾患特有の病態変化パターンが存在し、発病からなん日目に診断するかという診断時期によってもその診断論理は異なる。いくつかの疾患は、疾病の経過に伴う症状の推移が特に重視される。医師の診断過程は、患者データに基づいて診断仮説を設定し評価していく、時間経過に沿った動的判断過程である。

医師は、疾患ごとの病態変化の過程を知識として持っており、ある患者を診断する際には、現時点において患者が持っている病態ばかりでなく、それまでの経過・病態変化を見て診断している。また、診断のみならず治療においても、治療のためのパラメータ（薬の量など）の変更は、現時点の患者状態とそれまでの病態変化、治療経過、患者属性などに左右される。さらに実際には、患者データは一定時間を経て入手されるものがあり、その時点で過去に行った診断を評価しながら診断を進める。

このように、患者の過去についてなんらかのモデルを持たなければ、現在利用可能なデータの真の意味を理解することはできない。

時間依存性のある診断知識をその対象及びレベルにより便宜上下記のごとく分類する。

- (1) 時制に関係した表現を含んでいる診断知識
- (2) 経過観察データ（非連続データ）を対象としている診断知識
 - イベント、インターバル、前後関係などを扱う診断知識
 - 経過パターンを扱う診断知識
- (3) リアルタイムの時系列データ（連続データ）を対象としている診断知識

時制に関係する表現を含んでいる診断知識は、通常のエキスパートシステムで用いられているものである。たとえば、「発熱期間が5日間以上続く」とか「薬をのんだ後1時間以内に熱が下がる」などの記述の真偽を調べることによって機能する。

経過観察データを対象としている診断知識を取り入れることを試みた汎用コンサルテーションシステムとしては、MECS-AI があげられる。このシステムでは、患者の来診・回診を一つの時間的代表的イベント(Event)として、その時点で収集された患者のデータの集合を、一つのタイム・チャンク(Time-Chunk) (図-3) という概念を導入することによって取り扱っている。したがって、収集された患者の病態情報はイベントの発生時刻を基準に、時間経過概念を持つことが可能になる。このことによって、患者の現在の状態だけでなく同じ患者の過去の状態との関連を持たせた時間的経過をふくむ診断ルールを適用することを可能にしている。

この概念をさらに拡張して、ある特定の分野でより自由な時間概念を用いた診断推論を試みたものとして時制ネットワーク(Temporal Network) (図-4) を導入した ONCOCIN があげられる。このシステムは、癌の化学・放射線治療に関するコンサルテーションを

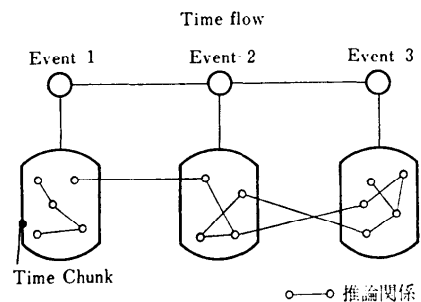


図-3 Time-Chunk による時間経過の表現

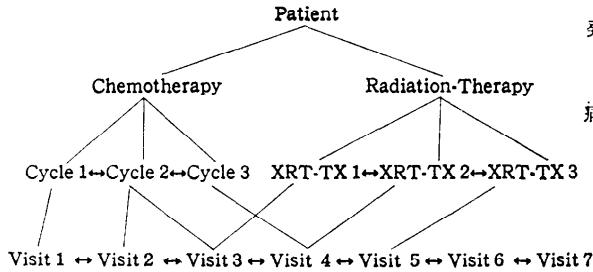


図-4 時制ネットワークの例

行うことを目的としている。この治療において、時間経過の概念に関連して、患者の来診、化学療法、及び放射線療法の実施の3点に焦点を絞っている。これらのイベント間の時間的関係をネットワークによって表現することによって、治療の前後関係から時間経過を含む診断・治療推論を行うことを可能にしている。

また、各種の経過パターンを取り扱う汎用的モデルは、まだ開発されていないが、その有効性について、一例をあげて考察する。

一般的な疾病の診断システムにおいて、仮にその疾病が単一の病因から生じたものであっても、そのメカニズムは複数の生体反応系の複合結果として症状が現れる場合が多い。この場合、個々の反応系ごとに、個々の患者の持つ固有の反応遅れ時間、反応量のばらつきが存在することになる。その結果、同一病因を持つ患者において、発病から一定期間を経た時点での症状を観察すると、そこには、数多くの症状の組み合わせが存在することになる。発病の時期が明確でかつ、発病初期の症状の出現状態を基にした診断知識を構築する場合は、上記の時間遅れ、反応量の固体差は、あまり大きな問題とはならない。ところが、成人病・慢性疾患などの発病時期が明らかではなく、病態の経過に長い時間を要するようなものに対して、正確な診断知識を構築することは難しくなる。

この問題を解決する方法としては、図-5に示すような経過観察を基にした診断知識の表現方法が考えられる。すなわち、同じ病因Aを持つ可能性のある患者でも、個体の反応遅れ時間によって観察される症状は{患者1: C, E, F} {患者2: B, E, D} となる。もし、症状 C, E, F が病因Aによる疾病の診断基準であるとする、患者2を判定する確信度が低くなる。ところが、病因Aの経過診断知識として {A-B-C, A-D-E, A-D-F} を持っていたとすると、患者2の経過は、{?-B, ?-

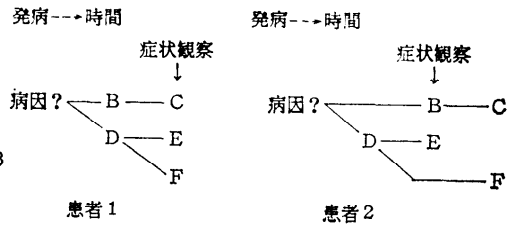


図-5 経過観察を基にした診断知識

D-E, ?-D} となっていることから、その病因がAであると言える確信度が高くなる。つまり、複数の反応系ごとに、その反応系が活性化した場合に出現すると考えられる症状を、時間的経過に従ってならべたものを診断知識として表現する。診断は、その患者の症状の経過観察より、現在活性化していると思われる反応系を特定することによって、行うことができる。

リアルタイムの時系列データを対象としている診断知識を積極的に取り入れたシステムとして VM³⁴⁾ が良く知られている。

VM は集中治療室 (ICU) における術後患者の呼吸器管理支援システムである。このシステムは、ICU において患者から一定時間間隔で自動的に計測される約 30 種類の呼吸状態に関するデータを基に、医師に対して次のような支援を行う。

- (1) 患者の生理状態の概要を周期的に医師に対して提示する (図-6)。
- (2) 治療機器の調整状態、あるいは治療目標設定値がその患者にとって適切な値かを推論し判断する。不適切な場合は、この修正を助言する。

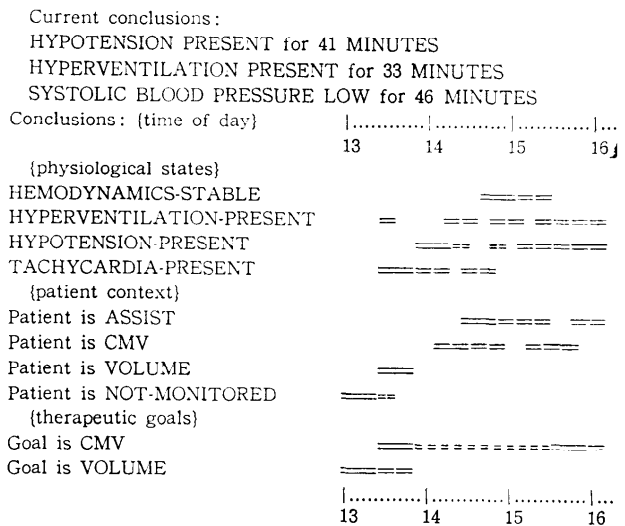


図-6 ICU 内の患者情報サマリ

(3) 計測された値より、その計測装置自体が故障していないかをチェックする。

これらの支援はまず、患者より得られた臨床データから推論できる将来の時点における生理状態の予想許容範囲を求める。次に、この許容範囲に対して、時間経過に伴った実測値のトレンドがどう推移しているかを評価する。もし、患者の生理状態が治療目標設定値に近づく傾向が見られなければ、システムは自動的にこれまでにを行った診断・治療目標設定値の変更を検討する。あるいは、実測値が予想許容範囲を大きく外れる場合は、計測装置自体の故障を警告する。このシステムにおける推論・判断は EMYCIN を拡張したプロダクション・ルールの集合を用いることによって行われている。主な拡張点としては、診断における計測値に関する知識表現が、'Acceptable' 'Ideal' などの定性的表現を用いている。また、経過に関する知識表現において、絶対時間だけでなく、特定の臨床状態の持続する期間、特定の計測値の変化の立ち上がりから立ち下がりまでの期間なども用いている。

5. おわりに

医療診断に関するエキスパートシステムは、主として、医師が個々の患者を診断する際に必要な知識を与えるコンサルテーションを目的として開発された。したがって、コンピュータに必要な基本的機能としては、特定の分野の専門医の知識をコンピュータに理解できる形式で適切に表現し、知識ベースにその知識を獲得し、そして、患者の診断及び治療に際して、適時、これを利用してアドバイスを与えることにある。これらのシステムが記憶している知識は、すでに公にされている知識や個人が経験的に持っている知識を集めたものであった。対象とする知識ばかりでなく、その知識の適用条件に関する知識がより重要な意味を持つことも多い。また、これらの診断知識は、ある時点の断面でとらえた静的判断を行うものが多かったが、本来、患者の臨床像は時間の経過とともに変化していくことを考えれば、その診断知識は「時間依存性」があることは当然と考えられる。したがって医療診断システムにおいて、単に診断時点の病態ばかりでなく、それまでの経過パターンや時間変化を評価する必要がある。しかし、時間に関連した診断知識は多種多様の表現がされ、特定の領域における特定の知識でパターンが定まる。したがって、時制に関する汎用推論モデルについては、まだ開発されていないが、今後の研究

課題となるだろう。

また、一つ一つの診断知識は、時間をかけ試行錯誤を繰り返しながら経験的に確立していくものであるから、特に、その初期段階の知識は不完全性や断片性の特徴を持っている。これが、診断知識の「あいまいさ」の原因となっている。

ところが、このような状況下で、「定性的に表現」された知識は、汎用性を持っており、使用しやすい。したがって、定性的推論モデルは医学の分野における因果関係や予測動作の解析などにも応用できる可能性がある。

本稿では、医師の持っている診断知識を、「あいまいさ」、「定性的表現」及び「時間依存性」の表現の観点から考察したが、知識獲得に際しても、同様の観点から検討する必要がある。TEIRESIAS³⁹⁾などでは、知識獲得は外部の知識をコンピュータ内に取り込む際のユーザ・インタフェースとしてとらえてきた。また、知識獲得の際、知識の評価は主として専門医の主観的判断で決められてきたが、客観的な評価や知識の発展性を考慮してシステムを設計することが重要である³⁶⁾。

さらに、今後の研究課題として重要と思われることは、これらの各種表現を含んだ知識とその構造を体系的に獲得する機能及びより積極的に知識を形成する過程を支援する機能の研究も重要である³⁷⁾。一つの例として、スタンフォード大学の R. Blum の RX プロジェクトの研究³⁸⁾は参考になる。このシステムは、時系列データを含んだ大規模の臨床データベースから、診断知識を有効に導出するために、因果関係に関する仮説の生成及び探的な確認の過程を支援することが試みられている。

参考文献

- 1) Shortliffe, E. H.: Computer-based Medical Consultations: MYCIN, Elsevier, New York (1976).
- 2) Davis, R., Buchman, B. and Shortliffe, E.: Production Rules as a Representation for a Knowledge-based Consultation Program, Artificial Intelligence, Vol. 8, pp. 15-45 (1977).
- 3) Akins, J. S., Kunz, J. C. and Shortliffe, E. H.: PUFF: An Expert System for Interpretation of Pulmonary Function Data, Computers and Biomedical Research, pp. 199-208 (1983).
- 4) Pople, H. E.: The Formation of Composite Hypothesis in Diagnostic Problem Solving an Expertise in Synthetic, the 5th IJCAI, pp. 1030-1037 (1977).
- 5) Weiss, S. M., Kulikowski, C. A., Amarel, S.

- and Safer, A.: A Model-based Method for Computer-aided Medical Decision-Making, *Artificial Intelligence*, Vol. 11, pp. 145-172 (1978).
- 6) Szolovits, P. and Pauker, S.G.: Categorical and Probabilistic Reasoning in Medical Diagnosis, *Artificial Intelligence*, 11, pp. 115-144 (1978).
 - 7) Shortliffe, E.H., Scott, A.C., Bischoff, M., Campbell, A.B., van Melle, W. and Jacobs, C.: ONCOCIN: An Expert System for Oncology Protocol Management, the 7th IJCAI, pp. 876-881 (1981).
 - 8) Kahn, M.G., Ferguson, J.C., Shortliffe, E.H. and Fagan, L.M.: Representation and Use of Temporal Information in ONCOCIN, 9th Annual Symposium on Computer Applications in Medical Care, IEEE, pp. 172-176 (1985).
 - 9) Van Melle, W.: A Domain-Independent System That Aids in Construction Knowledge Based Consultation Program, Rep. No. 820, Computer Science Dept., Stanford University, Doctoral Dissertation (1980).
 - 10) Weis, S.M., Kern, K.B. and Kulikowski, C.A.: A Guide to the Use of the EXPERT Consultation System, Technical Report, Department of Computer Science, Hill Center of the Mathematical Sciences, Busch Campus, Rutgers University (1978).
 - 11) 開原成允他: 人工知能 (AI) の手法を用いた診断治療のコンサルテーション, 医用電子と生体工学, Vol. 17, No. 1, pp. 73-77 (1979).
 - 12) 小山照夫, 開原成允: 時間経過の概念を含む汎用医療コンサルテーションシステム, 情報処理, Vol. 23, No. 4, pp. 414-420 (Apr. 1982).
 - 13) Davis, R. and Lenat, D.B.: Knowledge-Based Systems in Artificial Intelligence, Mc-Graw-Hill, New York (1982).
 - 14) 開原成允, 神沼二真, 溝口文雄: 医療知識工学 (医療コンサルテーションシステムをめざして), 情報処理, Vol. 20, No. 11, pp. 991-1000 (Nov. 1979).
 - 15) 小山照夫, 開原成允: 医療コンサルテーションシステム, 電子通信, Vol. 65, No. 4, pp. 392-398 (1982).
 - 16) 石塚 満: 曖昧な知識の表現と利用, 情報処理, Vol. 26, No. 12, pp. 1481-1486 (Dec. 1985).
 - 17) 岩井杜介, 片井 修: あいまい情報の処理と知識工学, システムと制御, Vol. 28, No. 10, pp. 557-561 (1984).
 - 18) 小山照夫, 高杉成一, 溝口文雄, 開原成允: 人工知能の臨床応用, 医学のあゆみ, Vol. 110, No. 13, pp. 813-820 (1979).
 - 19) 三嶋博昭, 野村 裕: 臨床診断におけるあいまいさ, システムと制御, Vol. 28, No. 10, pp. 562-566 (1984).
 - 20) Buchanan, B.G. and Shortliffe, E.H.: Rule-Based Expert Systems, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts (1984).
 - 21) 石塚 満: 不確かな知識の取扱い, 計測と制御, Vol. 22, No. 9, pp. 774-779 (1980).
 - 22) Shafer, G.: A Mathematical Theory of Evidence, Princeton University Press, New Jersey (1976).
 - 23) Zadeh, L.A.: Fuzzy Logic and Approximate Reasoning, *Synthese*, Vol. 30, pp. 407-428 (1978).
 - 24) Nomura, Y., Nakamura, M., Mishima, H. and Kato, N.: An Application of Fuzzy Decision Analysis to the Management of Pancreatic Cancer, *Automedica*, Vol. 3, pp. 131-139 (1980).
 - 25) Ishizuka, M., Fu, K.S. and Yao, T.P.: Inexact Inference for Rule-Based Damage Assessment of Existing Structures, the 7th IJCAI, pp. 837-842 (1981).
 - 26) Ueno, H., Lindberg, A.B., Kingsland, L.C. and Ester, J.H.: Design of a Criteria-Based Rheumatology Consulting System for a Microcomputer, MEDINFO 80, North-Holland Publishing Co., pp. 1316-1320 (1980).
 - 27) Khan, N.A. and Jain, R.: Uncertainty Management in a Distributed Knowledge Base System, the 9th IJCAI, pp. 318-320 (1985).
 - 28) Ishizuka, M. and Kanai, N.: Prolog-ELF Incorporating Fuzzy Logic, the 9th IJCAI, pp. 701-703 (1985).
 - 29) Nilsson, N.J.: Probabilistic Logic, *Artificial Intelligence*, Vol. 28, pp. 71-87 (1986).
 - 30) Wechsler, H.: A Fuzzy Approach to Medical Diagnosis, *Int. J. Bio-Medical Computing*, Vol. 7, pp. 191-203 (1976).
 - 31) Kuiper, B. and Kassier, J.: How to Discover a Knowledge Representation for Causal Reasoning by Studying an Expert Physician, the 8th IJCAI, pp. 49-56 (1983).
 - 32) Kleer, J. and Bobrow D.G.: Qualitative Reasoning with Higher-Order Derivatives, AAAI 84 (1984).
 - 33) Davis, R.: Diagnostic Reasoning Based on Structure and Behavior, *Artificial Intelligence* 24 (1984).
 - 34) Fagan, L.M., Kunz, J.C., Feigenbaum, E.A. and Osborn, J.J.: Representation of Dynamic Clinical Knowledge: Measurement Interpretation in the Intensive Care Unit, the 6th IJCAI, pp. 260-262 (1979).
 - 35) Davis, R. and Lenat, D.B.: Knowledge-Based Systems in Artificial Intelligence, McGraw-Hill (1982).
 - 36) 木下恒男, 稲岡則子, 伊藤昭治: 医療診断論理の解析と評価, 第28回情報処理学会全国大会 (1984).
 - 37) 稲岡則子, 伊藤昭治: 診断知識獲得過程における知識の整理・体系化, 医療コンサルテーションシステム国際シンポジウム, 日本医療情報学会 (1986).
 - 38) Blum, R.L.: Discovery and Representation of Causal Relationships from a Large Time-Oriented Clinical Database: The RX Project, Ph. D. Thesis, Dept. of Computer Science, Stanford University (1982).

(昭和60年4月30日受付)