シンポジウム 診断学の変遷と展望

（2）情報工学の立場からみた診断過程

大阪府立成人病センター医用工学開発室

高橋 隆

SYMPOSIUM ON HISTORICAL ASPECT OF DIAGNOSTICS AND ITS FUTURE

(2) MEDICAL DIAGNOSIS FROM A VIEW POINT OF INFORMATION ENGINEERING

Takashi TAKAHASHI, Ph.D.

The Center for Adult Diseases, Osaka

I. 情報科学のあゆみと医学

今日の情報科学の発展はめざましいが、その歴史をふり返るとウィーナの提唱したサイバネティクスに端を発する。彼は、通信・制御・統計学の三つを中心とした一連の諸問題が、対象が機械であつても生体であつても、本質的な面は共通の概念と方法とで統一的に記述され、説明されうるものであることに気づき、1945年に生物学と工学の境界領域の学問として、ギリシャ語の船の操舵手という意味からとつたサイバネティクスなるものを提唱した。これは、「情報」と「制御」の立場から生物学と工学の両分野を見直し、総合的な科学思想を与えることになつた。彼はまたサイバネティックス提唱以前に、今日の電子計算機についての設計の基本方針をも示し、1946年にはペンシルバニア大学で世界最初の電子計算機ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer)が誕生した。これには真空管が約 18000本使用されていたという。そして1948年にはシャノンにより確率的な概念を基礎とした情報理論が完成、以後、加速度的に図1に示すような理論が展開され、今日の情報科学が形成された。

情報科学は、機械・生体および人間社会におけ

	基礎理論	応用理論	応用技術 (医学分野)
サイバネティクス	制御理論 情報理論 人工知能 オートマトン 統計理論	パターン認識 学習理論 バイオニクス 生体工学 人間工学	自動診断 情報検索 データ通信 画像伝送 情報処理技術
電子計算機	論理数学 言語理論	機械翻訳 OR システム工学	数値計算

図1. 情報科学

る情報の生成・伝達・改造・蓄積・利用についての一般原理を考究する基幹科学であり、図1の右欄にも示したように、医学との関連もきわめて深い。それは、サイバネティックスの本質が医学との関連が深いことも大きな理由のひとつであるが、さらに、最近の医学におけるセンサー類の飛躍的發展により、医学情報が爆発的に増大し、旧来の医学的態勢では対処しきれなくなつた必然の帰結であるとも考えられる。

II. 診断過程の客観化

阪大・古川によると、診断とは特定の患者についての最適の医療行為を決定するための論理過程であるという。東大・高橋によると、その論理過程は主訴を背景とした解析計画に始まり、情報収

集、次いで得られた情報をもとに学識と経験によって打立てられた論理に照らした病気の推定、および病気の分離度、見逃しの危険、存在頻度などを考慮した上で、最終的に病名決定を行なう一連の過程であるという。そして、分離度が、得た情報の範囲内で不十分なときには決定を保留し、新たな解析計画に基づく情報収集にもどる。そして、満足のゆく分離度が得られるまで、このフィードバックループを辿って病気の推定を行なう。

また、日本医師会の藤沢は、診断の論理は、フィードバックループを含む、情報収集、処理、仮説設立、および診断決定に到る主過程から成り立つとして、診断過程を、直観診断法、パターン診断法、系統診断法、症候診断法、消去診断法、マトリックス診断法、および治療診断法の七つに分類している。

このような診断過程を工学的見地より考察すると、一種のパターン認識過程であるとみることができる。ここで、パターンとはひとつの概念であり、多次元情報空間において確率分布する集合の抽象と考える。狭義には空間的な物理量を伴ういわゆる図形であり、広義には病気などのようなストカスティックな変量で表わされる事象をさす。また、パターン認識とは、与えられた信号パターンを見て、それが属すべきカテゴリに対応づけること、またはどのカテゴリにも属さなければ棄却することである。したがって、パターンそのものは外界に生起する様々な事象一般であり、時間および情報を含む空間上に広がりをもつ多変量で表現される互に異質な事象であるが、認識はそれらを情報処理という側面からとらえることにより等質に取扱おうとするものである。

パターン認識の過程

パターン認識の一般的過程は特徴抽出と識別とに分けられる。一般にパターン空間 D の次元数は非常に高く、パターン信号そのものをとり扱って、それが属す集合全体についてパラメータの全てを比較照合することは困難である。そこで、そのような網羅的方法を避けるため、各カテゴリを

代表する標準パターンを記述する最少限の特徴パラメータを選び出す。これを特徴抽出という。すなわち、パターン空間 D の特徴空間 S への写像が特徴抽出である。一方、識別とは、観測された特徴パラメータから、それがどの標準パターンに最も類似度が高いか、すなわちパターン空間 D のどのカテゴリに属すべきかを推定する過程である。したがって、一般には、識別それ自体パターンの本質とは無関係にとり扱えるが、疾病を対象とする場合には、特別な留意が必要となろう。

診断の工学的モデル

パターン認識の概念を用い診断をモデル化すると図2に示すようになる。

実際の診断は、主訴に含まれる症候の取得に端を発して、先に示した七つの分類に従って進行するわけであるが、これらをまとめてモデル化すると同図のようになる。このモデルの特徴は識別過程に連想機能を有していることである。すなわち、まず患者の主訴は特徴抽出過程を経て識別過程に入り、ここの連想機能によって想定される標準パターン(典型的な疾病; ひとつは限らない)が描かれる。これによって規定されるいくつかの特徴空間を満たすための情報が次に収集される。このようにしてでき上った特徴空間 S をもとに、医師の学識と経験によって得たアルゴリズムに従って識別が行なわれる。識別が満足すべき分離度を与えないときは、新たな症候の追加に努力をほらう。すなわちフィードバックがかけられ、満足

図2. 診断の工学的モデル

すべき分離度を得るまで抽出，識別の過程をくり返す。直観診断法やパターン診断も，識別過程に連想機能をもたせることにより，このモデルで統一的に取り扱うことが可能である。

医学情報の特性

診断を電子計算機を用いて行なおうとすると，用いる医学情報の特性が問題となる。診断への有効性から備えるべき条件は，

妥当性—対象とする疾病の情報が，それに必要かつ十分含まれていること。象全体を知る目的に対し，尻尾や足だけ触れていたのではだめ。

信頼性—それが客観性に富み，かつ再現性を有すること。主観的，文学的表現による病歴や，品質管理の不充分な検査データ等はだめ。

感度—病状がある範囲で少し変動したとき，これに応じて情報に鋭敏に変化がでること。一方，実際に得られている医学情報の特性は，多重性—情報の形態が，医師の主観に基づく記述的なもの，形態学的なもの，計量的なもの，アナログ波形等，種々雑多。

冗長性—いくつかの症候を集めると，同一原因に基づくと思われるものがある。つまり情報の意味が似かよっているものを取りそろえている。たとえばGOTとGPTなど。これは診断の信頼性を保つ意味ではある程度は必要だが，計算機診断の立場からは，意味の重複はなるべく少なくしたい。

不確定性—ひとつの症候がひとつの疾病に対応しない。たとえば発熱や白血球数上昇など。不完全性—種々な事情により必要な情報がそろっていないことがある。すなわち情報の欠損のもとで診断を下さねばならないことがある（連想記憶に依存）。

経時的無定態性—計量的データにしる，アナログ波形にしる，定常状態において計測しても，一定値あるいは一定波形を示さず確率的変動を伴っている。

goodness measure
(相互エントロピー)

$$G_i(i) = \sum_k P(D_k, x_i) \log \frac{P(D_k, x_i)}{P(D_k)P(x_i)}$$

誤認率

$$E(S) = \sum_i P(x_i) |1 - P(D_{k^*} | x_i)|$$

情報係数
(相互情報量)

$$ad_k x_i = \log \frac{P(D_k, x_i)}{P(D_k)}$$

因子分析

図3. 特徴の標価

階層性—種々な側面からの階層性がある。などである。

このような医学情報をもとに，診断過程を電子計算機によつて行なう場合には，先に示したように，やはり特徴抽出と識別とに分けて行なわれる。

特徴の評価

一般に，識別過程がパターンの性格にはほとんど左右されない部分であり，パターン一般に対して共通に論ずることができるのに対し，特徴抽出過程は，識別のための素材を個々の具体的な現象から抽出してくる部分であるから，パターン空間の特徴を十分反映するものでなければならない。換言すれば，症候群の中からどれとどれを選べば能率よく疾患を分離できるかということである。あるいは，ある症候を観測したときに，それが分離されるべき疾病についての情報をどの程度含んでいるかということ定量的に標価しておく必要があるということである。

この標価法としては図3に示すように，症候Sと疾病Dの間の情報量にかんする相互エントロピーや情報係数，あるいは誤認率などが用いられている。たとえば，goodness measureは，症候 X_i の生起確率が個々に固定されているときに，相互情報量の最大値を与える症候 i が症候空間Sを最もよく反映するパラメータとして選択されるべきことを示している。

また，症候Sの冗長性を少なくするために因子分析法が用いられる。したがって，因子分析法でまず症候を分類しておき，その後，先の測度で標価すべきと考えられる。

識別過程
 多変量解析
 ゆう度
 Mahalanobisのはん距離
 判別関数
 ベイズ確率
 枝分れ
 プール代数
 逐次解析
 マトリックス法
 連想法

図4. 識別過程

識別過程

識別は、それ自体パターンの本質とは無関係にとり扱えるわけであるが、医師の診断のアルゴリズムが明確でないために体系だった理論構成はなされていない。個々の研究者が、場合にに応じて各種の数学理論や工学的手法を導入し、アルゴリズムの形成に努力をはらっている。その代表的なものを示すと図4のようになる。

III. 診断への新しい工学応用 (TV技術を用いた遠隔医療)

従来の医療はman to manつまりDr. to Patientの関係の維持を大原則として、医療の場を病院・医院等に限定し、物理的空間に束縛された形で進められてきた。しかしながら社会的諸情勢は、医療の「場」の限定を望まず、広く情報化社会システムの中に融合することを求めている。その具体的な例のひとつはいわゆるAMHTSであり、いまひとつは遠隔医療である。

医療における物理的空間の超越を求める遠隔医療の対象となるものは現在のところ僻地、救急、船舶などであり、さらに将来は航空機、ロケット、あるいは人工衛星、惑星等に広がる可能性がある。

これらに対して、情報工学の成果である画像伝送技術やデータ通信技術を応用すれば、医療における空間の制約を打破り、かつ、最少限のman to manを維持しつつ、医療の「場」を病院、医院等から遠方に伝送することが可能であると考えられる。すなわち、CATV等のTVによる画像通信を中心とした情報システムが遠隔医療に有効で

Experimental System in Wakayama Prefecture

図5. 僻地における遠隔医療の実験システム

あることが期待される。

筆者らは、この期待に基づき、和歌山県の僻地におもむいて2度にわたり実験を行なった。実験システムは、図5に示すように、僻地の保健機関としての端末検診所（保健婦により地域住民の健康管理を行なう）、僻地の最寄りの医療機関としてのサブセンター（医師により地域住民の健康管理を行なう）、およびデータセンター（地域の医療情報センターで、データバンクの機能を持つ）から成り立つ。これらの相互間を、図に示すように、2本のTVケーブルと電話回線を設置し、互に離れている医師と患者の間に双方向の画像伝送と、ECG伝送を行なった。この実験によつて、理学所見の一部を除いて、診断に必要な情報の大部分は伝送可能であるとの見通しを得、かつ、TVを

基本的要因
 空間の超越
 man to manの維持
 通信の双方向化
 映像通信の重要性
 画像の即時性
 環境的要因
 地域情報化社会の発達
 情報の映像化
 BCNの発達 { CATV, CCTV
 TV電話
 医療におけるIUシステムの発達
 家庭用
 医師用 { 卒後教育用
 データバンク

図6. 医療における画像通信発展の要因

通じてサブセンター側から端末検診所側への種々な技術指導をも可能であり、最新の技術を僻地に持込み可の見通しを得た。

このように、TVを利用した画像伝送は医療に導入されて遠隔診断に大いに寄与することが期待される。その基本的要因と環境的要因とを図6に示す。

おわりに

電子計算機を医学に利用することの利益のひとつに、医師がひとつの判断を下すに際して、従来は医師が自分の経験を脳内で検索していた過程を機械におきかえ、客観性のある大量の病歴を正確に検索し、医師に必要な情報をリアルタイムで

提示して、その判断を助けることをあげることができる。この観点にたてば、患者の限られた情報から、従来の病理学的診断名にはそれほどこだわらず、その時点で医師のとるべき戦略を提示するような診断システムが考えられてよいように思う。つまり、類似した症候をもつ疾病を過去の病歴ファイルを検索し、その時施した何種類かの手とその経緯について、治癒率、生存率等の形で表示して、今、どの手を選ぶべきかを医師に判断させるようなシステムである。すなわち、専門医と適中率を競うcomputer diagnosisではなく、医師と協調するcomputer aided diagnosisが必要なのではなかろうか。