

〔シンポジウム〕

各科の最近における ME の進歩

医用画像処理 (システムの考察)

東京女子医科大学 医用技術研究施設

講師 飯 沼 武
イイ スマ タケン

(受付 昭和48年11月24日)

Image Processing in Clinical Medicine

—Consideration as a system—

Takeshi A. IINUMA

Lecturer, Institute for Medical Engineering, Tokyo Women's Medical College

Various informations are widely obtained through image in clinical medicine; for examples, X-ray photographs, microscopic images of blood cells, or various tissues, scintigraphic images, ultrasonic images, and so on. The information through image is so important that one could hardly settle diagnosis without them. At the present stage, these images are interpreted by doctors themselves who find characteristic changes in the images and make diagnosis of the specific disease.

However, need for automatic image processing is growing rapidly due to the increase in number of patients and shortage of the specialists. In the automated hospital system, an image processing system should incorporate following three functions as a sub-system: (1) image transformation system, (2) image filing and retrieval system and (3) image transmission system. The first one performs automatic diagnosis from various medical images, the second stores images for all patients and retrieves them when one requires, and the third receives and transmits images from other hospitals.

Much efforts would be necessary to construct the useful image processing system in the not far future.

1. はじめに

診療情報のうちで医用画像情報の占める割合は極めて大きい。それは単にX線写真一つ考えて見ただけで充分である。今日X線写真がなければ殆どの場合、診断が行なえないといつても過言ではあるまい。医用画像とはどのようなものを含むのであろうか。それらを大別すると、(1) 肉眼で観察できる像-視診、内視鏡像など、(2) 拡大、染色などの操作により肉眼で観察できる像-

細胞、染色体、その他の組織像など、(3) 直接肉眼では観察できず、特殊な測定手段により観察可能となる像-X線写真、シンチグラム、超音波像、サーモグラムなどに分類される。

これらの医用画像は患者の特定の疾患に対応した特徴的な変化を示すことから、医師の読影により疾病の診断という情報に変換される。一方、近年各種の画像情報を機械によつて処理し、画像の特徴を自動的に認識しようとする試みが盛んにな

つてきた。その最もドラマティックな例は、米国の宇宙計画でなされた月面写真の伝送・処理であろう。そこでは月面におかれたテレビ・カメラよりビデオ信号を地球に伝送し、デジタル量に変換して大型電子計算機に記憶させる。計算機ではテレビ・カメラの非直線性や感度の不均一性を補正し、更に伝送経路で混入する雑音を除去した後、特殊なデジタル・フィルターを用いて「ぼけ」を修正して再びビデオ信号に変換してテレビ像とすることをこなしている。これらは全てオン・ラインで行なわれている。最近では月面の物体の形状・寸法などを計測したり、色の分析によつてその成分の解析も行なわれているという。このような画像処理技術の進歩が医用画像解析に応用されるのは当然の成行きである。

他方、医師による医用画像処理の限界も認められ始め、機械による処理の必要性が医療供給側からも要求されつつある。本稿では医療のシステム化とそれに関連した医用画像処理システムの必要性を論じ、続いて医用画像システムを機能面から分類して、そのサブ・システムを総論的に説明する。但し、システムの詳細は医用画像の種類によつて異なり、本稿では二、三の例をあげるにとどめる。

2. 医療のシステム化と医用画像処理

医療の質の高度化、多様化および医療需要の急激な増加に伴ない、医療供給側の人的および物的負担が急速に増大し、国家経済における医療費のウェイトを増している。更に人的資源、すなわち医師、看護婦、医療技術者の不足も顕著にあらわれている。このため、医療供給の効率を高めることが絶対に必要であり、医療のシステム化が盛んに論じられている。医療のシステム化とは医療の進歩に対応しつつ、医療供給の人的および物的（情報を含む）資源の効率的運用を計ることであり、その一つは病院内の各部門の効率的運営に関連し、他は広い地域ないしは国家レベルでの医療施設の効率的な組織化に関連する。前者は病院情報システムといわれ、後者は広域医療システムといわれている。医用画像処理システムは主として病院情報システムの1つのサブ・システムとして

位置づけられるものであり、他の診療情報サブ・システムと共に病歴管理および自動診断サブ・システムへの入力となるものと考えられる。

さて、システム化という観点に立つて医師による医用画像の読影から診断へというプロセスに問題はないであろうか。医師による読影・診断という情報処理は極めて複雑かつ高度なものであつて、今日の情報処理装置の能力をもつてしてはその全てを自動化することは到底不可能であると考えられている。それにも係わらず、人間による処理には（a）診断能力に大きな個人差がある（専門医と一般の医師の間に大きな差がある）、（b）同一人が同じ画像を読影する場合でも、異なつた診断を行なうことがある。（c）処理速度が遅く、量的にも限界があるなどの問題がある。

医用画像処理システムは上記の欠点を補なうのみならず、病院情報システムの1サブ・システムとして機能するためには以下のような目的をもたねばならない。

- (1) 客観的な処理—個人間の差および個人内の差をへらす。
- (2) 大量・高速な処理—多数の画像が処理できること。
- (3) 質的に高度な処理—人間の認識能力よりも高度な処理を行なう。
- (4) 画像のファイルと検索—大量の医用画像の登録・収集とその検索を可能とする。
- (5) 画像の遠隔伝送—各種の医用画像の遠隔地への伝送を可能とする。

上述の目的のうち、(4)と(5)は狭義の画像処理（画像情報より診断へという処理）システムではないが、広義の画像処理システムには含まれなければならないものと考えられる。

3. 医用画像処理システム

前節で述べた目的から明らかなように、広義の画像処理システムは次の3のサブ・システムから構成されよう。(1) 画像情報変換サブ・システム—医用画像の特徴抽出（所見の読影）から診断を行なうシステム。すなわち狭義の画像処理システム、(2) 画像ファイル・検索サブ・システムおよび(3) 画像伝送サブ・システムであり、こ

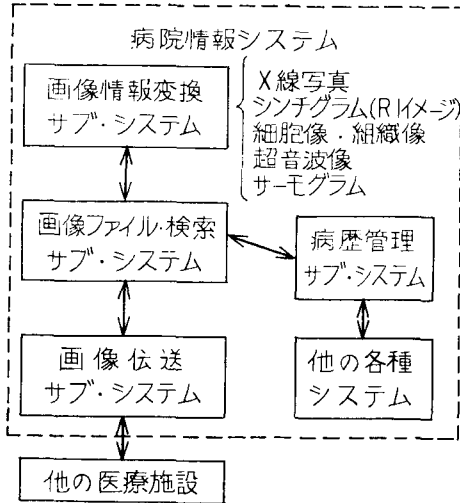


図1 病院情報システムにおける医用画像処理システム

れらは図1のように相互に関連するものとして、病院情報システムのうちに位置づけられる。特に画像情報変換サブ・システムはX線写真、RIイメージ、超音波像などの医用画像の種類によって内容が異なるため、医用画像毎に別々のシステムを設置する必要がある。画像ファイル検索サブ・システムは他の2のサブ・システムより必要な情報を受け取り、ファイルすると共に病歴管理サブ・システムとのデータの授受を行なう。一方、他の2のサブ・システムへの出力として必要な画像を速やかに検索して転送する。画像伝送サブ・システムは他の医療施設との間の画像通信を受けもつことになる。

3-1. 画像情報変換サブ・システム

本システムの機能は前記の通りであるが、システムの構成要素が人間（医師）を主体とするか、機械を主体とするか、または両者の中間であるかによって、処理内容が非常に異なるため、別々に考察し、各々に若干の実例を加えて説明する。

(a) マン・システム

本システムは情報処理の主体が医師である場合で、処理の流れは図2に示す如くなるであろう。先ず各種の医用画像（例えばX線写真）が記録され、医師に表示される。次いで医師による読

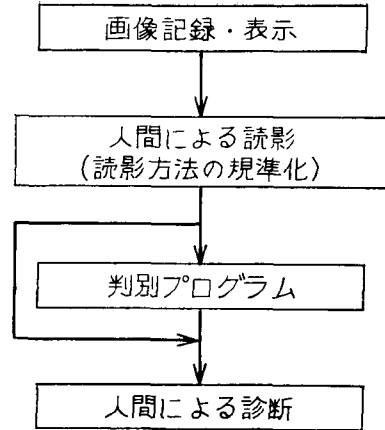


図2 マン・システムにおける処理の流れ

影がなされるが、その読影手順が基準化およびコード化されている。すなわち、読影を決められた手順に従って行なっていく。そこで得られた所見に基づいて判別プログラムによつて自動診断がなされ、その結果を参考として医師が最終的診断を行なうというものである。本システムでは、診断の客観性を高め、個人差を減らすことが可能であるが、処理速度を高めることは困難であろう。

マン・システムの1例として、大阪府立成人病センター放射線部の上部消化管X線診断情報処理を説明する¹⁾。このシステムでは上部消化管X線診断用紙という光学マーク・シートを用いて、上部消化管の集検で得られたX線写真を読影する。診断用紙にはカルテ番号、使用装置、診断医番号などの一般的事項、次に食道に関する所見と診断についての項目および胃・十二指腸に関する所見と診断の項目などが前もつて印刷されており、必要な項目に黒くマークすればよい。マークされたシートは光学マーク読取機によつて計算機に読みこまれ登録される。このシステムでは、すでに5万症例以上の登録が行なわれ、X線所見と診断結果の分析から自動診断プログラムの作成が試みられている。この例のように、読影の方法を基準化することによつて見落しの危険を減らし診断の確かさを向上させると共に、医師の診断を補助する自動診断プログラムを作成するための材料を得ることができる。

(b) マン・マシン・システム

本システムでは、機械が人間を補助して画像処理を実行するもので、画像の読影と診断は医師が行なうことを前提とするが、機械によつて医師が見やすいように画像を表示し、更に画像の簡単な特徴を算出して医師の診断能を高めようとするものである。本システムの流れを図3に示す。先づ画像情報を何らかの機械によつて数値として読みとる。この画像入力装置は医用画像の種類によつて異なり、X線写真では通常、フィルムに撮影し

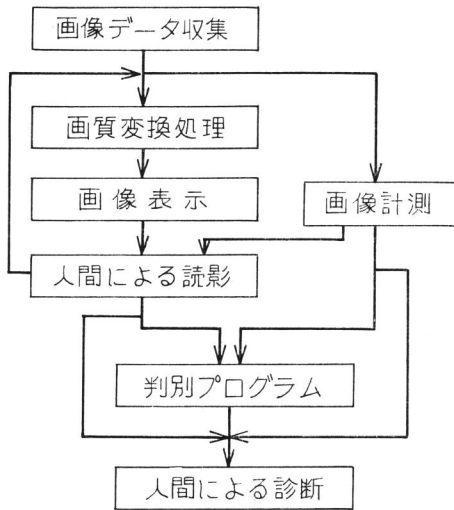


図3 マン・マシン・システムにおける処理の流れ

た像をフライング・スポットで走査して読みとることが多く、RIイメージではシンチ・スキャナやガンマ・カメラからの情報を直接電子計算機の記憶装置に入力し、記憶装置内に画像を形成させることが多い。

次に数値の配列となつた画像に対し画質変換処理を施し、処理後の像を適当な方法で表示し医師の読影に供する。画質変換処理とは人間の眼が見易いように画質を変化させる処理であり、光学写真で行なうフィルタをかけることに対応している。処理の内容は画像の種類によつて異なるが、一般に画像中の雑音を低減する平滑化、「ぼけ」を補償する処理や輪廓線の増強など像中の高周波成分を増巾する処理などがよく行なわれている。

画像の表示は今まではフィルムの黑白写真としてなされていたが、電子計算機と結合した表示装置の利用によつて極めて多様化してきた。実例としてRIイメージの各種の表示を図4、5および6に示す。図4は甲状腺ファントムの像をCRT表示装置により表示したもので、放射能の集積の多い所は明るい輝度で表示されている。中央の像は輝度の変化による放射能強度分布を示すが、周囲の4の像は輝度と鳥瞰図的な表示とを併用したもので、各々の像は角度が90°ずつ異なっている。これらの表示条件はオペレータの指令によつて殆ど瞬時に変化させることができる。図5は頭部側面像をライン・プリンタによつて表示したもので、放射能による計数値の大きさに従つて異なつた文字・記号を用いてプリントしたものであ

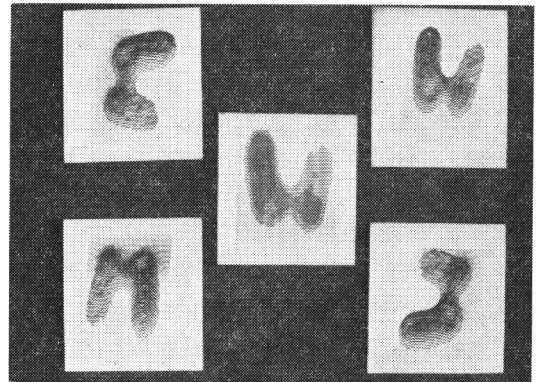


図4 甲状腺ファントムのシンチグラムを計算機のCRT表示装置に出力した像。中央の像は輝度変調のみ、周囲の4の像は鳥瞰図表示を併用。

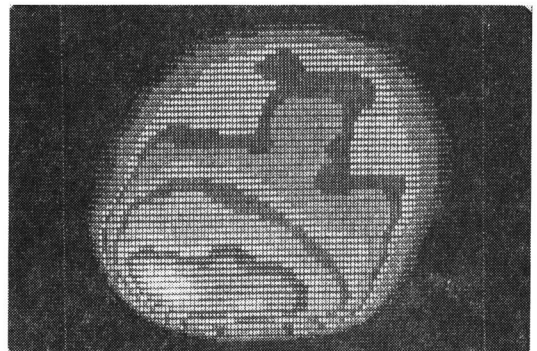


図5 頭部側面のシンチグラム。ライン・プリンタによつて濃度の異なる記号を用いて表示。

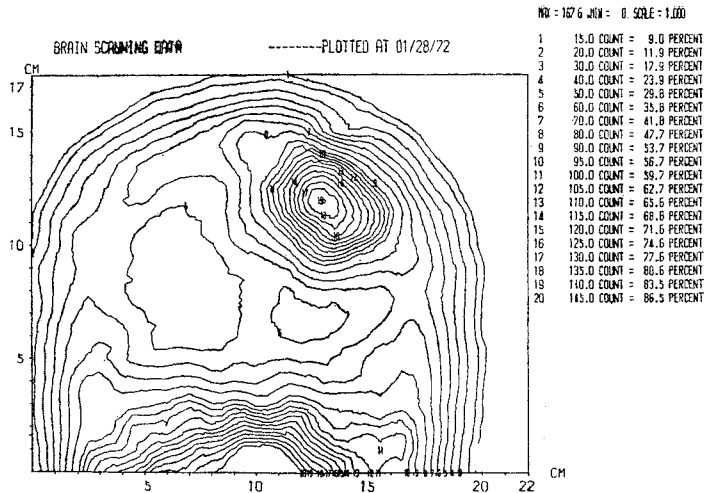


図6 頭部正面のシンチグラム. カーブ・プロットによる等高線表示.

る. 図6も頭部の正面像であるが, この場合は計数値の等しい場所を地図の等高線のように結んで表示したものである. 等高線のレベルは自由に变化させることが可能である. ここに示した表示法の他, 計数値の大きさによつて色を変化させたり, TVモニターによる表示を行なうなど様々な方法が試みられている.

マン・マシン・システムにおける別の処理として, 数値の配列からなる画像情報の特徴計測を行なうことがある. 例えば医師が興味ある部位の濃度と他の正常部位の濃度の比, その部位の面積, 形状などの静的画像に関する定量的情報ならびに経時的に変化する動態像に関する各種の情報を求める処理である.

本システムでは医師が読影した所見と計測した定量的情報に基づき, 判別プログラムを経て最終的な診断を行なうことになる. このシステムの場合, 情報処理装置の助けによつて, 医師はより高度の診断を行なえる可能性があると言えよう. マン・マシン・システムとして実用に近づいている例は, ガンマ・カメラと, オン・ライン電子計算機システムによるRIイメージ処理装置で, 現在世界中で盛んに研究が進んでいる.

また, 本システムでの最大の問題点は, 医師にとつて最も認識し易い画質とは何かという事であり, この点に関して多くの研究がなされねばなら

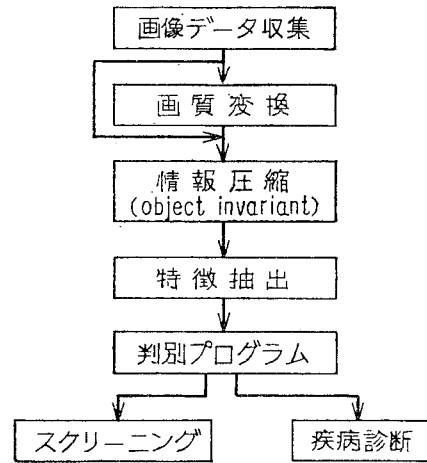


図7 マシン・システムにおける処理の流れ

ない.

(c) マシン・システム

本システムでは, 前述したマン・システムとは対称的に情報処理の主体は機械であり, 画像の読取り, 特徴抽出から診断までを全て機械によつて実行することを目標とする. 医用画像の自動診断は極めて困難であり, 現在実用になつたものはないが, 本システムの予想される処理の流れを図7に示す.

まず画像データの収集は前述のマン・マシン・システムと同様, 定量的な数値として読みこみ,

画像の雑音を低減するため画質変換処理を施さず場合もある。続いて情報圧縮という操作を行なう。これは全画像情報のうち、後に続く特徴抽出のために必要な部分だけを残し、他を捨ててしまう処理である。例えば、画像の輪廓だけを知ればよい場合は輪廓線を検出し、他の情報は除く。その後圧縮した情報より特徴を抽出する。例えば輪廓線に囲まれた面積や形状などを抽出する。最後に抽出した特徴量を用いて判別を行ない、診断を決定する。

本システムは機能面から二つに分類され、一つはスクリーニング・システムであり、他は鑑別診断システムである。前者は人間（医師）が全く関与せず、問題とする画像が正常か異常かを判定するもので、処理速度が大きく、処理量も多いものである必要がある。後者の場合には医師が必要に応じて診断決定に関与しつつ質的に高度な鑑別診断を目指すものであり、処理速度・量とも前者程大きくなく、むしろ前者でスクリーニングされた画像が処理の対象となる。

現在、マシン・システムで最も問題となつている点は図7に示した情報圧縮と特徴抽出であり、未だ最適な特徴を求めるための理論がなく、医用画像毎に試行錯誤を行なっている段階である。したがって上記のスクリーニングと鑑別診断システムでは同一画像であっても、処理内容は異なつてくると予想される。

次に本システムの1例として、ミズーリ大学放射線科でなされたX線写真によるリウマチ性心臓炎の自動診断について述べる²⁾。先ず胸部のX線単純撮影正面像より特殊なスキャナによつて画像を数値の配列として読み、電子計算機に入力して特徴抽出を行ない鑑別診断を決定する。図8

(a)は胸部X線正面像における関連する解剖学的部位を示し、(b)は正常および異常な心胸腹部の正面像における輪廓線の典型的な変化を示した。ここでASはAortic Stenosis, AIはAortic Insufficiency, MSはMitral StenosisおよびMIはMitral Insufficiencyである。図8(c)は上の(b)に示した輪廓の変化を検出するために計測する解剖学的パラメータを示したものである。

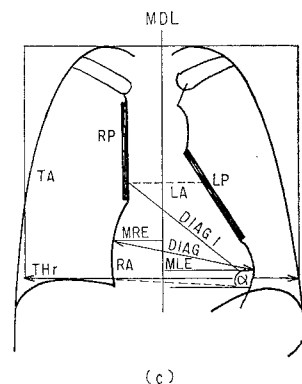
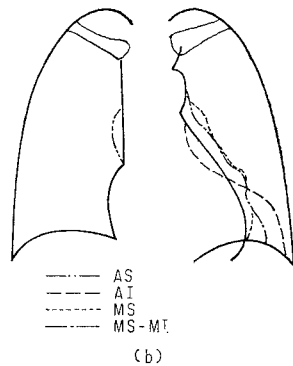
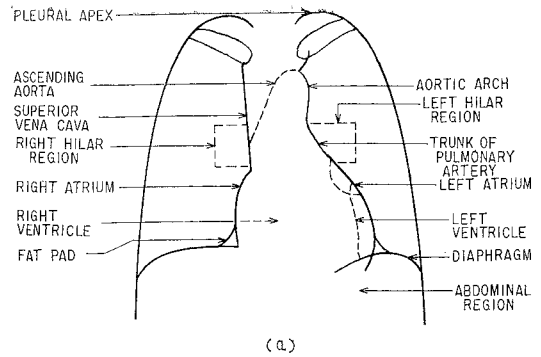


図8 リウマチ性心臓炎の胸部X線正面像
(a) 関連する解剖学的部位, (b) 正常および異常な心胸腹部の輪廓の変化, (c) 計測する解剖学的部位。

計算機における処理は、読みとつた画像から肺の輪廓を検出した後、図8(c)に示した各種の解剖的位置の長さや角度をを計測して判別プログラムにより診断を行なう。輪廓線検出や解剖的特徴点の決定および判別論理には各種の数学的手法が

用いられており、その詳細は後述の文献²⁾を参照されたい。

本自動診断システムにより得られた結果を表1～3に示す。表1はリウマチ性心臓疾患における5の鑑別診断の категорияと各々の categoriaにおける症例数（X線写真の数）を示す。表2は表1の症例を用いた自動診断システムによる鑑別診断の適中率を示したもので、category別に%で表わされている。すなわち表2の θ_1 は89%の適中率で、 θ_1 は正常の症例、 θ_2 は56%で、MSの症例というように、表1と対応できる。一方、表3は複数の医師による鑑別診断の適中率を示したもので、表2と同様の内容である。また表1の症例は心臓カテーテル法により全例につき診断が確定している。

表1 鑑別診断の categoriaと用いた症例数
Differential Diagnostic Classes

Diagnostic Class θ_i $i=1,5$	Number of Cases
Normal	88
MS	32
MI, MS-MI (mitral valvular lesions only in classes 2 and 3)	21
MS-AS, MS-MI-AI, MS-AI MS-MI-AS-AI, MS-AS-AI, MI-AS, MI-AI MI-AS-AI, MS-MI-AS, (bivalvular lesions)	91
AS, AI, AS-AI (aortic valvular lesions only)	50

表2 自動診断システムによる鑑別診断の適中率
Differential Diagnostic Testing Rates

Class θ_i	Testing Diagnostic Rates (percent)
1	89
2	56
3	24
4	83
5	59

表2と3より自動診断システムによる結果は医師のそれと比較して有意な差がないが、正常か異常かのみを決定するスクリーニングでは自動診断システムの方が秀れていたといわれる。この例のように、ある特定の目的に限定された画像に対しては、機械による処理が人間のそれに比し遜色な

表3 複数の医師による鑑別診断の適中率
Differential Diagnostic Physician Rates

Class θ_i	Physician Diagnostic Rates (percent)
1	83
2	50
3	54
4	29
5	76

い結果を得ていることは注目すべきであり、今後もマシン・システムに関する研究は着実に進められていくものと考えられる。

3-2. 画像ファイル・検索サブ・システム

ここでは広義の画像処理システムの第2の柱であるファイル・検索サブ・システムにつき簡単に触れておこう。医用画像情報の保存とその迅速な検索という問題が極めて難しいものであることは、大病院におけるX線写真の保存とその検索の実態を考えて見るだけで容易に予想できよう。この問題は医療のシステム化の過程で必ず解決しなければならないものである。

本システムの実現のために必要な最低限の条件は、(1) フィルム管理の中央化と、(2) 1患者1永久登録番号の採用である。後者は原理的には国民総背番号制になれば最も理想的である。上記の条件はファイル・検索に必要な技術以前の問題であり、これなくして本システムの導入を計ることは全く無意味といつても過言ではない。

技術的な問題でも現在多くの試みがなされており、その一つは画像自体の大きさを、画質を劣化させずに小さくする考え方で、マイクロ化やビ

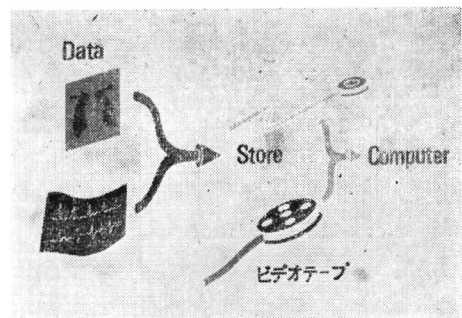


図9 画像のファイルと検索

デオ・テープに収録する方法がわが国でも試みられている(図9参照)。検索技術の問題としては個々の画像に患者の個人識別やその他の必要な情報をコード化して記録し、大量の画像の場合にはそれらをキーとして計算機によつて検索することを考えねばならない。これらの仕事は比較的目的立たないものではあるが、重要な研究課題である。

3-3. 画像遠隔伝送サブ・システム

本システムは医用画像処理システムの第3の柱であり、画像通信技術の発達によつて医療分野への応用が試みられつつある。このシステムは僻地などの専門医のいない診療所から中央の大病院に各種の医用画像を送り、専門医の診断をうけることを可能にするものであり、心電図の遠隔伝送はすでに実用化に近づいているといわれる。米国ボストンのマサチューセッツ総合病院では、同じボストンにあるローガン空港診療所にテレビ・カメラと大型モニターを設置し、病院の医師が直接診療所の患者を問診できるシステムを用いている。このシステムでは聴診音や心電図も視診像と共に伝送可能である。わが国では関東通信病院が青森の病院との間にX線写真をマイクロ回線を通じて伝送する実験を行ない成功した(図10参照)。

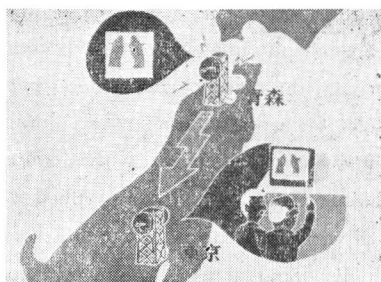


図10 画像の遠隔伝送

画像遠隔伝送システムの技術的な問題点としては、視診用の像では色の再現性がよいこと、X線写真の場合には画質の劣化がないように高性能のTVを用いる必要があることだが、原理的に困難な点はない。むしろ前に述べた広域医療システムによる医療施設の組織化と密接に関連した画像伝送システムの配置が必要であろう。

4. 結 語

本稿では、医療のシステム化という観点から、医用画像処理システムのあり方を総論的に論じた。前記の3のサブ・システムの各々については、近年研究が始められたばかりで、今後も益々研究が進められるであろう。特に画像情報変換サブ・システムでは、医用画像の種類によつてシステムのハードウェアおよびソフトウェア共に異なるであろうし、または画像によつては機械による処理が極めて困難と思われるものさもある。

したがつて、将来の医療のシステム化に際して最も困難なものの一つは医用画像処理であり、恐らく他のサブ・システムが自動化された時でも医用画像処理システムは人間(医師)の助けが必要であろう。ところで、本稿で述べた広義の医用画像処理システムは、全ての医療施設に設置する必要があるものではなく、施設の規模や機能によつてはそのうちの一部をおけば十分な場合もある。しかし高度の医療を行なう大病院では、3のサブ・システムをもつ大規模な画像処理システムが必要である。一方、システムの建設には多額の費用と多くの学問領域にまたがる専門家の協同作業が不可欠であるから、大規模なプロジェクトとしてのその研究を推進しなければ実用的なシステムは生れないであろう。医用画像処理システムが実用化された時には、前述の画像伝送サブ・システムを介して他の医療施設にも開放され、全ての患者に最高の医療が供給されることが望まれる。

謝辞

終りに、医療システムについて常々ご討論を頂いている放射線医学総合研究所、臨床研究部長梅垣洋一郎博士に感謝する。

文 献

- 1) 稲本一夫・松田 一・鈴木隆一郎・中井昭子・中西克己: 電算機による上部消化管X線診断情報処理. 日医放誌 30(9) 791 (1970)
- 2) Kruger, R.P., J.R. Townes, D.L. Hall, S.L. Dwyer, III and G.S. Lodwick: Automated radiographic diagnosis via feature extraction and classification of cardiac size and shape descriptors, IEEE Trans. BME-19 (3) 174 (1972)