

綜 説

コンピュータによる放射線像の処理

— X線像処理の診療への応用と可能性 —

滝 沢 正 臣

信州大学医学部附属病院中央放射線部
(部長 小林 敏 雄 教授)

COMPUTER PROCESSING OF RADIOGRAPHIC IMAGE INFORMATIONS: POSSIBILITY OF APPLICATION TO X-RAY DIAGNOSIS

Masaomi TAKIZAWA

Department of Radiology, Shinshu University Hospital

Key words: X線像 (X-ray image), コンピュータ処理 (Computer processing), 自動計測 (Automatic measurement), パターン識別 (Pattern recognition), 3次元像 (Three-dimensional pattern)

はじめに

日常診療においてX線像から得る情報は極めて多く、診断が微細化するにつれ、患者当りの撮影枚数は増加の一途をたどっている。枚数の増加はまた、装置の進歩や撮影法の開発等によるところも大きい。

X線写真に含まれる像は、生体内臓器(3次元)の2次平面への射影像であり、その読影には、X線の物理的性質に起因するいくつかの問題も存在する。これ等の写真は通常そのまま医師により観察され、疾患情報の抽出が行われるが、これは主としてパターン認識による。従って疾患の示す形態学的変化が少ない場合は、情報の抽出を行うことが困難となる。また読影の結果行われた判定に対しては、多くの場合解剖学的裏付けは行い難いため、パターン認識の結果の信頼性は、それほど大きいとはいえない場合も多い。読影を難しくしている原因には、像そのものへの各種の障害陰影がある。このような陰影を、装置によって除こうとする一つの例が断層撮影であり、この方法により前後に重なる臓器影が除かれ目的部位の観察が容易となる。また、各種造影法も有効な障害影除去の一つである。このような各種方法により充分な診断が行われるならば、これから述べようとする情報処理のウエート

はそれほど高くはならないであろう。

X線像の観察において形態学的変化の把握の進歩に比較して、比較的未開発の分野とされる濃度情報の定量的な把握や、またX線の物理的性質を100%利用した特殊X線写真の作製、さらには、生体を3次元情報としてそのまま画像の形でとらえるための方法等への試行において、コンピュータが必要不可欠の装置として活用されるようになってきた。

X線像のコンピュータ解析を行う場合、その目的等により処理法が異なる。まず対象X線像の種類に関しては、既製の撮影装置による1枚の静止X線像の処理と複数枚の処理、および検出系と一体となった処理装置が考えられる。装置に関しては動的な画像情報を提供するX線テレビ像があるがこれは複数枚の処理と考えてよい。又処理の内容に関していえば、1)既製の像の中から主観を排して客観的情報を抽出する。2)通常のX線写真の表現能力を超えた処理を行い、新しい情報を提供する。3)迅速に多くの機械的処理を行い、診療スタッフの手間を省く。4)医師の診断によりコード化された情報を整理、保管し任意に解析を行う。5)像のファイルを行い医師への提供を迅速化する。6)医師に代り像の高度のパターン認識を行う。といった実に

多くの処理をコンピュータが行いうる可能性が生じ、また現実にもそのいくつかを試みられつつある。これ等の特筆すべき最近の話題としては、X線装置の中に組み込まれた小型コンピュータと、円型のX線スキャナとを組合せ、X線吸収の情報を解析して、脳腫瘍等では、造影剤の助けをかりずに横断X線像を作り出す Computerized axial tomography (CAT)⁷⁾の出現であり、この処理は、上の2)に相当するが、通常のX線写真の概念を大きく変えたものといえる。これについては後述する。

1. X線像のコンピュータへの入力

既に撮影されたX線写真であれ、またX線テレビ、映画の如きものであれ、それらが持つ情報は連続的なアナログデータの形で記録あるいは提供される。一方コンピュータは一般的には、離散的なデジタルデータの形で演算が行われるためこの間に何等かの変換系をおく必要がある。また、2次元図形であるX線写真(テレビ等ではこれに時間の情報が加わる)の濃度を取り出すために、スキャナが用いられる。これには通常機械的な方法と電気的な方法がある。前者は機械的なアームを持つメカニカルスキャナ、後者は、1つは、CRT管上で微小なスポットの移動を行わせ、光電子増倍管によって画像信号を得る方法で flying spot scanner (FSS) と呼び、もう一方は vidicon によるテレビ走査法、image dissector tube を用いた方法で vidicon によるものより分解能は数段良いとされる。このような形で電気信号に変換されたデータが更に、アナログデジタル変換器により数値データに変えられる。数値データへの変換精度は対象によって異なるが、X線写真の場合1辺(X又はY)の座標精度が2進法で10(1024)~12(4096)ビット、濃度情報に関しては5(32レベル)~8ビット(256レベル)が必要とされる。メカニカルスキャナでは拡大走査を行わない場合座標精度は8~10ビット、濃度に対しては10ビット程度であり、FSSでは座標12ビット程度、濃度は8ビット程度はカバーするが高価である。ビデオ系では標準方式の場合には、座標8~9ビットであり、濃度は4~5ビットである。デジタル変換されたX線像が、コンピュータの記憶容量にどのような負担を与えるかを見ると、仮に座標10ビット、濃度8ビットの変換を行った場合16ビット1語の小型コンピュータでは52.4K語のメモリを必要とする。このようなメモリを持つ装置は、処理プログラムで必要とするメモリの分まで考えれば、かなりの規模のコンピュー

タでないとは実現出来ない。従って静止画像の処理のみを考えたとき、実施面においてかなりの経済的負担を考えなければならない場合が多い。

2. 静止X線像の処理

単に1枚の像のコンピュータ処理の目的としては、計測、輪かく、又は特徴抽出、パターン識別の3つがある。この計測に関して、例えば、心陰影の識別から心拍出量を計測する試み⁴⁾、同様に心胸廓係数を自動計測する試み¹⁰⁾がある、これ等は主として省力化の目的で計測を行っているが、求めるパラメータもそれほど複雑ではないし、また座標の精度をも要求しないのでテレビによる画像入力法が多い。松田らは Mayers, Becker らが試みた70mm間接撮影から心胸廓係数の自動計測を行う方法²⁾を進めて、比較的簡易な境界識別法によって自動計測し、医師が実際に計測した係数とコンピュータによる方法が86%の一致率を見た報告している¹⁰⁾。コンピュータは8K語のものを利用しているが、フィルムの自動送り時間を含め1枚当り20秒前後で最終値を得ることが出来た。もしこの測定を人為的に行なうとすれば計算を含め数分はかかるので、省力化として役立つものと考えられる。

もう一つの試みは自動計測ではあるが、パターン識別の問題も含む高度の計測を目指している田中らの、小児股関節X線写真の測定²⁸⁾である。これは通常整形外科領域で人為的に測定される先天性股関節脱臼の診断のための計測をコンピュータにより迅速に行うことを目的としており、最初に自動計測に最も適している計測法を Hilgenreiner, 氏家氏法等の中から数100例専門医により人為的に計測し²⁹⁾、これ等のうちで自動計測が容易でかつ医師診断との一致度の最も高かった氏家氏法を選択して、自動計測を行うアルゴリズムを開発している⁵⁾。

写真は330×200の画素に分割されるが、計測対象となる領域は関節を含む64×64としている。濃淡図形は、骨境界を示す線図形に変換され、この線図形から大腿骨頭部、骨盤関節線を知り、外偏位角 β を知る方法をとっている。この考え方は現在更に被曝線量減少のため、コンピュータによって制御されるX線マイクロビームで、X線写真撮影なしに、輪かく線のみを抽出する計画²⁸⁾へと進んでいるようである。

X線造影像において、その造影境界を識別することにより、その irregularity を発見出来る場合がある。この分野での試みの多くは、胃のX線充満像について試みられている。赤塚らはコンピュータ制御による

FSS によって胃充盈像の輪かくを認識する方法を検討している²²⁾が、この方法は、1枚のX線写真をコンピュータ制御で駆動されるスポットによって追跡し、充盈像と背景との濃度境界を線図として求める方法である。森らはスパイラルリードを用いて輪かくを追跡している¹⁶⁾が、この方法は、スポットが境界から外れた場合無限ループに入りこむ危険性がある。しかし同様に充盈像辺縁抽出の試みを行っている福島らの方法⁶⁾に比較してコンピュータメモリの節約には役立つものと考えられる。いずれにしても、一定値以上のコントラストを持つ胃壁の識別は可能ではあるが、脊椎等の障害陰影の排除や、低コントラスト部の識別が問題として残り、実際上では胃輪かく線上に異常パターンが現れる割合は少ないので、この点今後検討を残す。

2.2 像の特徴抽出

胃の特徴を抽出するのに、輪かく線計測とは別に、松本らが試みている胃二重造影からの area gastrical のサイズの測定は、胃壁の構造変化をさぐるという点で興味を持てる¹⁵⁾。area の測定に限ることなく、規則的配列を持つX線像の計測には周波数分析法がよく使用される。

胃粘膜の表面における area gastrical の大きさは1~6mmであるとされ、これを二重造影法により造影したフィルムではかなり明確に認められるものも多い。このサイズの増大は胃炎の重要な情報とされているが、このサイズをコンピュータ処理により計測しようとするものである。area の出ている胃二重造影写真の一部分を FSS によってデジタル変換し、更に図形をフーリエ変換して、周波数領域で記述すると、正常では 0.5 line pair/mm の周波数に area の特徴が出現した。これは写真上で 1mm 角の大きさに相当する。また胃炎の患者のものでは、0.4 line pair/mm (1.25mm) となったと報告している。松本らは現在は2次元フーリエ変換法による試みを行っている。滝沢は肺X線像の定量化を目的として同様の試みを実施し、肺紋理の病的変化を定量的に表現出来る可能性を示唆した²⁰⁾。フーリエ解析、又はウィーナスベクトルによる病像の解析は他に竹中、Schober らによっても試みられている¹⁹⁾²⁵⁾。

2.3 パターン認識

この分野は、コンピュータが最も苦手とする分野である。人の画像に対する識別は、過去の記憶との対比や、topographic なパターンの変形からの連想による

高度の認識を実現している。コンピュータによる方法では、このような人間のパターンの識別過程を模して、matched filtering 法や、学習法、或はパーセプトロン法等が試みられている⁹⁾。

これらは数字、手書き文字等の認識を除き、放射線像への応用に関しては実用に近いものは鳥脇らの試みを除きほとんどない。鳥脇らは大型計算機システムによって、間接胸部X線写真の異常陰影のスクリーニングを目的とした多くの試みを報告している¹⁰⁾²²⁾²³⁾。彼等は、胸部間接X線写真7×7cmの濃度を512レベル、座標を256×256点に分割した後にまず肺X線写真の診断の際に障害陰影になる背部肋骨、横隔膜、鎖骨部境界を識別するために、Bridge-filter と呼ばれるデジタルフィルタをコンピュータに収録された像に対しかけると、胸部X線写真における肺と肋骨影の境界線がよく識別されるとしている。この Bridge-filter の構造は、

$$0.5, 0, -1, 0, 0.5$$

といった一次元配列を示すデジタルフィルタであり、これを、コンピュータ内にある胸部X線写真の各部のマトリクスにかけ合わせることにより、肋骨の境界線が識別され、肋骨影を異常とみなす誤判定の割合が減少する。この処理の後、外側部の肺野境界、内側部の肺野境界および心陰影の輪かくを決定する。そして、肺野内における異常陰影候補領域(S・R)をすべて抽出し、この候補領域が異常影であるとの決定を判別論理によって行った。

異常例を含む16枚のX線写真の処理を行った実験では、正常を異常と判定する例はあったものの、異常陰影をもつものはすべて異常の判定を行ったと報告している²³⁾。このシステムは、現在のところ、高価な入力装置、大型コンピュータシステムを要することから、直ちに実用化を行うことには困難があるが、現在経済型システムの検討を進めており¹⁰⁾、将来に期待が持てる。

3. 2枚以上のX線写真処理

この領域では、主として2枚またはそれ以上のX線写真の subtraction 処理、又は cine film の densitometry とそのコンピュータ処理がある。時間位相の異った2枚のX線フィルムを重ね合わせることによって、その時間内に生じた造影濃度の変化又は臓器の動きを計測する方法であり、光学的な方法による重ね合わせでは、露光量-組織の厚み変化を数値として測定し難いため、滝沢らは2枚のフィルムを2つのアー

ムを持つスキヤナによって、同期的にスキヤンして、呼吸による肺のX線学的密度変化による濃度の差の情報を抽出することを試みた²⁷⁾。この方法は、胸部X線写真を心拍位相、呼吸位相検出器からの信号によって同期撮影すれば、呼吸機能等を間接的ではあるが容易に知ることが出来る利点を持っている。しかし図形的にみただけの場合、肋骨のズレが障害影として残る欠点を有している。シネ撮影の画像処理としては、film motion analyzer 等による任意の像の部位の濃度、planimetry⁴³⁾が主体となる。この方法は従来測定結果を単に数値化する目的のみに用いられており、最近では、一枚一枚のシネフィルムを image dissector tube により光電変換し、computer 処理を行う方法が試みられはじめた。

4. X線テレビ画像の処理

最近シネ撮影に替って記録、再生の容易なX線テレビ法が普及した。そしてテレビ技術の向上と共に、テレビ像のコンピュータ処理による情報抽出が行われるようになった。テレビ像のデータの採取には1次元、2次元、3次元、等の方法がある。それぞれの特徴により、1次元では主として、video densitometry と呼ばれる濃度の経時的变化を、2次元では像としての画像入力と図形処理を、3次元では2次元図形に時間の変化を伴った情報処理と、奥行を伴った通常の意味での3次元像の reconstruction とに類別されるが、これは後に述べる。

4.1 1次元処理

造影剤等の経時的变化を定量的に知る試みはシネ方式を用いた Marchal 等に続いて、X線テレビ像を電子的にサンプリングする video densitometry としての試みは、Wood らによりはじめられた³⁰⁾。その後 Lissner¹²⁾、滝沢²⁷⁾、梅垣、須田²¹⁾らによって多くの trial が行われた。この方法はX線テレビ走査線と同期させた指令信号によって任意の像の一部の映像信号を、サンプルアンドホールド回路によって保持させ、これを積分したり、またデジタル変換して、動態曲線を描かせる方法が最も一般的である。通常は Wood らが試みている如く、1ヶ所ないし2ヶ所を基本としているが、小林、滝沢らはこれを10数ヶ所に拡張して同時測定する方法を考え、食道における Ba の通過時間の測定に利用した²⁷⁾。須田らは、独自に製作した装置と、平均加算を組合わせて、肺野の微弱な脈波を測定出来たと報告している²¹⁾が、実用的には、テレビ信号そのものが S/N 比が良好でないためX線テレビ装

置の改良から始める必要がある。

4.2 2次元処理

二次元的な図形処理に関しては、planimetry や画像の改良を行った報告が多い。画像のデジタル変換には垂直、水平の同期信号を基準として、走査線の開始点(左端)より下方垂直にサンプリングを開始し、順次位置をずらせながら右端まで二重スキヤンを行う方法が多い。Zimmerman は biplane x-ray TV 装置により light pen を使った心左室容積と心拍出量を計算するシステムを開発した⁵¹⁾。同様の試みは Dumesnil らによっても行われている⁴⁾。

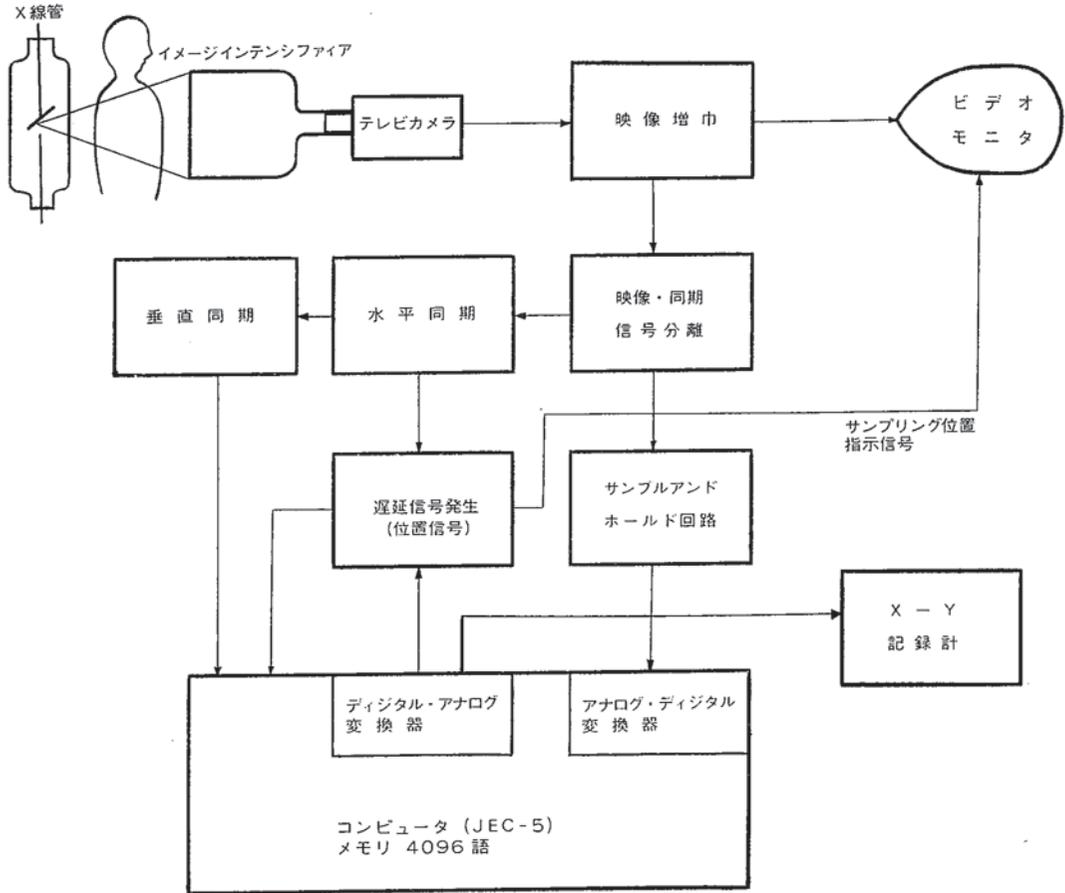
TV を用いた図形入力方式は FSS 方式に比較して精度は低いが装置のコストが安いので好んで用いられる。

4.3 3次元処理

時間的变化を伴った3次元像の処理は、X線TV像の持つ性格からも最も重要な処理と考えられるが、多くの場合、コンピュータのメモリが大きくないと実現が難しいためほとんど試みられていない。メモリを節約しかつ時間情報を抽出する考え方として、著者が試みた方法を紹介する。経時的に変化する像を、図1のような方法でコンピュータに入力する。この場合、メモリを節約し、ミニコンによる処理を実現させるため、最大10×10cmの区域を任意に選択して、サンプリング対象区域とした。指定した部位をコンピュータからの指示により、0.3~1secの間隔でくり返しスキヤンする。この時1回前にストアされたデータと比較し、濃度に差のあった場合のみ、差のデータを対応するコンピュータのメモリに加算する。負の変化に対してもその絶対値をとって加算が行われる。この方法によって、像に変化のなかった部分に比較して、変化に応じた高い数値がメモリに収録される。コンピュータのDA変換によって、X-Y記録計に表示すれば、図形軸X-Yに濃度がZで示される3次元表示となる。図2に、このようにして得られた心左室部とその周辺部の computerized video kymogram を示した。左室の動揺、肺動脈の拍動による動きの状態が明瞭に観察される。

5. コンピュータ横断X線撮影法について

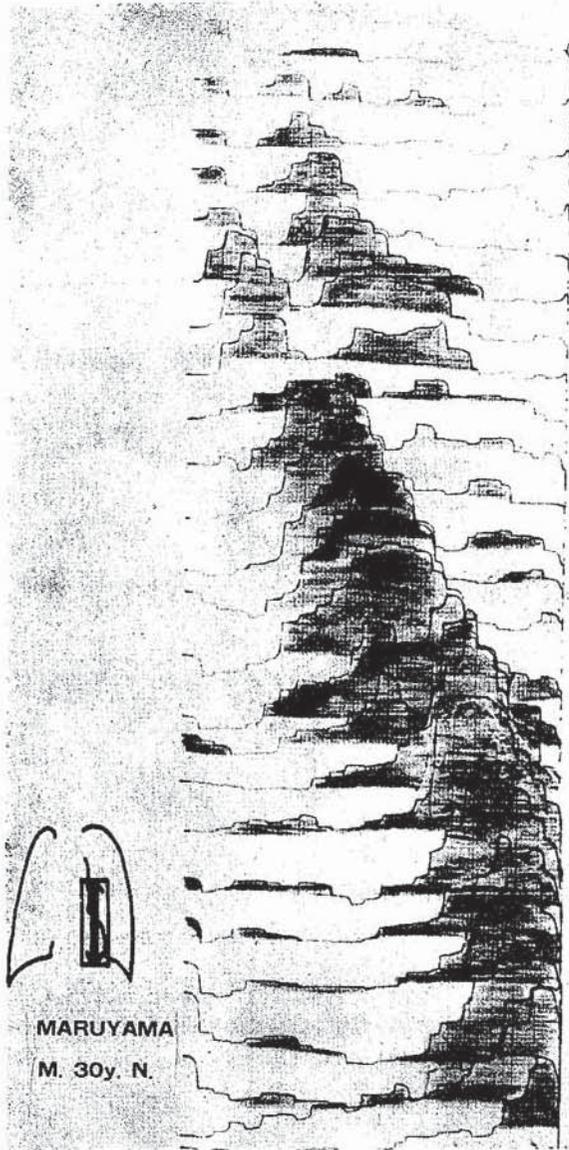
これまで述べて来た諸種のデータ処理には、4.3に述べたものを除き、コンピュータの最終処理までの寄与率は十分に高いものとは云えない。それは単に入力像がX線フィルムであったり、また image intensifier tube であったりした。診断用X線装置から発生する



第 1 図 X線テレビ3次元サンプリング処理回路

X線は、連続スペクトルを持つ実効エネルギー10~50 keVのX線であり、吸収データ以外には生体からの情報を外部に伝えることはできない。この吸収を少し細くみると生体の構成要素としてはミネラル、空気、水以外にも、脂肪、血液、脳組織いずれにおいても、吸収にわずかの差が見られる。これらのあるものは、通常のX線写真上に情報として現れる場合があるが多くの場合、X線と発光物質との相互作用や、より吸収量の大きい前3者による吸収変化の中にマスクされて表面には濃度差として現れない。しかし吸収に差のあることは事実である。微視的に見た場合には吸収差の情報は記録される筈であるが、しかし単に一方方向のみのデータでは吸収差はあっても、体横断面方向の積算値として示されるために、これ等の吸収差がフィルム上に検出されることはない。この様な小差の存在に着目したCormackらは既に1963年吸収差を computer 解析す

る方法についての可能性を示唆し、Kuhlらは、RIイメージの横断面像の reconstruction について走査型の4ヶの検出器を使用する方法で実現した⁸⁾。しかし装置としては実用に到らなかった。Hounsfieldは1973年小型コンピュータNOVAと、図3の如き線状にスキヤンしながら1°づつ180°回転し、頭部を横断走査する120kVpのX線発生装置と、NaIの結晶を用いた検出器により得られた吸収データから、横断面内の吸収量を計算する連立方程式を導びき、頭部の任意の横断面像を復元する装置を完成した⁷⁾。これがCATと呼ばれるものであり頭部は160×180(28800)のセグメントに分割される。水との吸収較差は脂肪で10%、組織で4%の差を持つといわれるが、組織は更に分けると、普通血液、白質、灰白質、凝固血液等によりそれぞれわずかな差はあるが吸収差を示すので、この領域で吸収差に対する分解能を上げれば、これ等の脳内部で



第2図 心左室・左肺動脈の computerized video kymography

の配置状況が横断図として観察できる。Ambrose, New らの臨床的な使用結果によれば、脳室形状異常は勿論、脳内出血、Astrocytoma, Extensive glioblastoma, Undifferentiated, Carcinoma, Metastatic adeno carcinoma 等が明瞭に観察され、更にごく少量の造影剤注入により、Meningioma, Embryonal tumor 等が像として観察できるとしている¹⁾¹⁷⁾。このような装置は単にフィルムとX線発生器を用いる通常

型の回転横断装置では、まったく検出不能でありコンピュータとX線検出器とが組合わされて初めて可能となったものである。このような3次元放射線像に関しては、従来のX線装置とフィルムはまったく無力である。恐らくは、今後2次元のこれまでの装置や平面断層撮影法等へもこの技術が導入されるものと思われる。

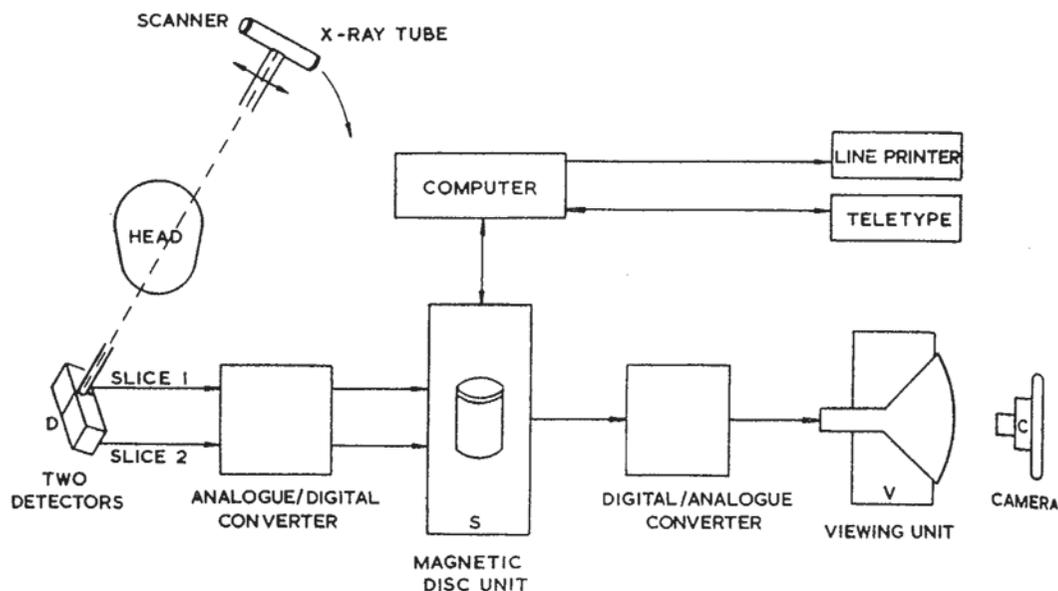
CAT はその後計算方法を変えて Ledley 等によっても作られ対象部位を頭部よりむしろ胸部、腹部として撮影時間の短縮、画質改良が試みられている。しかしこの時点では1枚ないし数枚の像を得るのに4~5分かかるので頭部以外、特に心臓では動きのために精度の高い像は得られない。Mayo の Robb らの研究チームは撮影の迅速化にとり組んだ結果、X線TVの走査線と cardiac synchronizer とを用いた CAT 法を開発した¹⁸⁾。これはX線TVカメラを回転させ、任意の走査線を選択して、像を合成するもので、数秒間で横断像を得ることができると報告されているが、臨床的な検証はこれからのようである。いずれにせよX線TVの未来的な技術指向として注目される。

6. 放射線像のコンピュータ処理の今後

これまでコンピュータを用いたX線像処理への現状を述べた。1895年のX線発見以来放射線障害の問題が論議を呼びつつも、医学へのX線の利用は増大の一途をたどった。それを世代的に分ければ、単に1枚のX線写真を得た時代と第1世代、X線テレビの利用に入った世代を第2世代と呼ぶならば、CATの時代に入って初めて従来のX線写真フィルムからはなれ、これまで一見無関係であった情報処理装置がX線像作製の主役として登場した。

人によっては、この技術をX線発見以来とも評しているが、これは正しく第3世代という新しい時代にX線利用技術が入ったことを意味する

ものと思われる。このように考えたとき今後の放射線利用技術は、革命的な感光材料やX線管が発明されない限り、コンピュータの役割は増大し、その利用によってこれまで得られなかった多くの診断情報が得られるものと考えられることができる。これを整理してみると、1) コンピュータ利用技術による被曝線量の低下と遺伝的影響の排除、2) in vivo 撮影による microscopic な生体臓器像の抽出と障害影除去、3) 微小な



第 3 図 Hounsfield の EMI スキャナ処理系統図
(Brit. J. Radiol. 46 : 1018頁 (1973) より転載)

生体の動き、局所運動の抽出、4) in vivo 質量分析法の発展、5) CAT の改良による三次元像の構築等が考えられる。1) の考え方は既に一部で試みられているが、その 1 例は、コンピュータ制御による X 線マイクロビームを使った小児股関節脱臼の検出法²⁸⁾等であり、この方法では、骨盤全体の写真を得ることなしに、関節、大腿骨々頭のみを抽出するため被曝線量としては従来の数 $\frac{1}{100}$ 〜数 $\frac{1}{1000}$ としうる可能性がある。3) では、小林、滝沢らが肺末梢の血管脈波の抽出に対して試みている如く、10〜100 μ 程度の生体の動きを、コンピュータによるくり返し加算により抽出し、二次元像として得る。そしてその位相解析を実施している例¹¹⁾等がそれにあたる。これ等は一部を除きそのほとんどが未解決であり、今後の発展が待たれる。

おわりに

X 線像のコンピュータ処理に関する数々の試みについて、著者が行った検討を含めて綜説した。コンピュータの診断情報の処理への導入によって、医療システムの内容が大きく変化しつつあるが、一般的な情報処理に比較して、像処理への応用は比較的遅い、しかし CAT 法の如く、これまで X 線像の概念を大きく変える方法がコンピュータによって可能となり、手術、解剖等によらなければ判らなかつた、生体内の疾患情報が、visual な形で我々の前に提供されるのも遠いこ

とではないように思われる。

謝 辞

御校閲をいただいた部長小林敏雄教授に感謝します。またこの分野の研究に対し御援助いただいている厚生省がん研究助成金「コンピュータによるがん診療の総合研究」班長梅垣洋一郎放医研臨床研究部長に謝意を表します。

文 献

- 1) Ambrose, J. : Computerized transverse axial scanning : Part II, Clinical application, Brit. J. Radiol., 46 : 1023-1047 (1973)
- 2) Becker, H. C., Nettelton, Jr, W. J., Meyers, P. H. and et al. : Digital computer determination of medical diagnostic index directory from chest x-ray images, IEEE Trans. BME-11 : 67-72 (1964)
- 3) Chang, N. C. : Radiological image enhancement, Quantitative Imagery in the Biomed. Sciences, 26 : 91-100 (1971)
- 4) Dumesnil, J. G., Ritman, E. L., Frye, R. L. and et al. : Regional left ventricular wall dynamics by roentgen videometry, J. Lab. Clinical Med., 21 : 415-420 (1973)
- 5) 遠藤真広 : 先天性脱臼関節脱臼 X 線写真の自動診断

- (第1報), 第14回 ME 学会論文集, 199-200 (1975)
- 6) 福島重弘, 相馬敬司: 胃 X 線充滿像の性質と胃部の抽出, *ibid.*, 193-194 (1975)
 - 7) Hounsfield, G. N.: Computerized transverse axial scanning: Part I, Description of system, *Brit. J. Radiol.* 46: 1016-1022 (1973)
 - 8) Kuhl, D. E., Edwards, R. Q., Ricci, A. R. and Reivich, M.: Quantitative section scanning, *Med. Radioisotope Scintigraphy Vol I*: 347-351 IAEA (1973)
 - 9) 開原成充, 周藤安造, 柴崎公子: パーセプトロンを適用した画像処理法による ME 画像解析, 第13回 ME 学会資料集, 182-183 (1974)
 - 10) 興水大和, 鳥脇純一郎, 福村晃夫: 胸部 X 線写真のパターン認識システム AISCR-V2 の縮小システム, 昭和50年度電気通信学会予稿集 (1975)
 - 11) 小林敏雄, 滝沢正臣: 肺野の X 線学的脈波, *日本医放会誌*, 29: 1440-1448 (1970)
 - 12) Lissner, J., Haendle, H., Haendle, J. and et al.: Neue Fernsehtechnische Aufzeichnungsverfahren zur Unmittelbaren Beurteilung der Gezielten Direkt und Indirectaufnahmen, Insbesondere in der Angiographie, Abstract of XII ICR, 416 Madrid (1973)
 - 13) Losen, L. and Silverman, N. R.: Applications of videodensitometry to quantitative measurements in medicine, *Quantitative Imagery in Biomed. Sciences II*, Vol. 40: 11-26 (1973)
 - 14) 松田 一, 戸山靖一, 瀬崎信彦, 他: 心胸廓係数の自動計測, *日本医放会誌*, 32: 1-12 (1972)
 - 15) 松本 健, 甘利弘子, 作道元威, 他: 胃二重造影 X 線写真の解析, *映像情報*, 5: 31-35 (1973)
 - 16) 森 英二, 二木 弘: スパイラルリーダを用いた X 線写真の胃の輪郭抽出の実験, 第14回 ME 学会論文集, 191-192 (1975)
 - 17) New, P. J., Scott, W. R., Schnur, J. A. et al.: Computerized axial tomography with the EMI scanner, *Radiology*, 110: 109-123 (1974)
 - 18) Robb, R. A., Johnson, S. A., Greenleaf, M. A. and et al.: An operator-interactive computer controlled system for high fidelity digitization and analysis of biomedical images, *Quantitative imagery in the Biomed. Science II*, 40: 11-26 (1973)
 - 19) Schober, H.: Spatial frequency distribution of characteristic details and noise in pictures, Abstract of XII ICR, 121 Tokyo (1969)
 - 20) 酒井尚信, 田中 仁, 高崎克彦, 他: 先天性股関節脱臼の自動診断の試み, *日本医放会誌*, 35, 抄録集, 5 (1975)
 - 21) 須田善雄, 梅垣洋一郎: X 線アナログ video densitometry system における人体動態信号のレベル, *ibid.*, 4 (1975)
 - 22) 末永康仁, 鳥脇純一郎, 福村晃夫: Bridge filter による胸部 X 線写真の特徴抽出と処理, 第3回画像工学カンファランス論文集, 107-110 (1972)
 - 23) 末永康仁, 鳥脇純一郎, 福村晃夫: 胸部間接 X 線写真の異常陰影の識別システムの実験結果, 第12回日本 ME 学会予稿集, 159-160 (1971)
 - 24) 高崎克彦, 桂井 浩, 館野之男, 他: 先天性小児股関節脱臼の自動診断に係る計測法の検討, *日本医放会誌*, 35, 抄録集, 5 (1975)
 - 25) 竹中栄一: 骨 X 線像の空間周波数スペクトル, *日本医放会誌*, 32: 159-167 (1972)
 - 26) 滝沢正臣: 肺 X 線像の空間周波数分析, *ibid.*, 32: 540-550 (1972)
 - 27) 滝沢正臣: 定量的 X 線検査法の基礎的研究, *信州医誌*, 21: 189-213 (1973)
 - 28) 田中 仁, 館野之男: X 線マイクロビームを利用した診断装置, *日本医放会誌*, 35, 学会抄録集, 61 (1975)
 - 29) 梅垣洋一郎, 須田善雄, 飯沼 武: X 線ビデオデントメトリ, 第14回 ME 学会大会論文集, S 11-12 (1975)
 - 30) Wood, E. H., and et al.: Data processings in cardiovascular physiology with particular reference to roentgen videodensitometry, *Mayo Clinic Proc.* 39: 849-856 (1964)
 - 31) Zimmerman, R. and et al.: Visual display unit for biplane roentgen videometry with simultaneous analog data presentation, Abstract 9th ICMBE Melbourne, 65-66 (1971)
 - 32) 赤塚孝雄, 他: 影像の輪かく追跡とその特徴抽出, 昭和48年度がん研究助成金(梅垣班)資料, (1973)

(50. 4. 25 受稿)