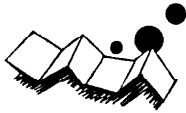


解説



医用画像処理総論†

尾上 守夫**

1. 医学における画像

医学における画像データの重要性については改めて言うまでもない。患者の顔色を見、あるいは身体表面にあらわれた徴候を見る視診は昔から今にいたるまで最も重要な診断手段の一つである。その後技術の進歩とともに画像の種類と範囲が拡大され、主なものだけあげても表-1のように多岐にわたっている。

これらは一口に言えば工学のサポートによって目の能力を拡大したものと言えよう。すなわち写真によって画像の記録が可能になり、映画やVTRによって動態観測が可能になり、ステレオ写真やモアレ法によって立体計測が可能になった。波長に関していうならばマルチスペクトル写真で波長区分が明確になり、赤外線に拡張することによって体表面の温度分布も観測できるようになった。電位という新しい観測量の体表面分布も測られるようになってきている。

医用画像の一つの大きな流れは顕微鏡の登場によるマイクロへの指向である。弾性の法則で有名なフックは1665年すでに「顕微鏡画像」(Micrographia)と題する本を出版して細胞の発見をつけている。

1858年にはウイルヒョウが「細胞病理学」を出版して病気の原因を組織、細胞の病変にもとめて、以後百有余年の近代医学の発展は顕微鏡画像を抜きにして考えられない。1940年代に入って顕微分光測定分野が開拓され、波長範囲も拡大され、細胞各部のDNAやRNAの定量的分布も観測可能になってきた。

医用画像のもう一つの大きな流れは、1895年のレントゲンによるX線の発見にはじまる。これによって、はじめて非顕血かつ無侵襲で人体内部が見られるようになったわけである。その後イメージ・インテンシファイヤーの導入によって、線量の低下とともに遠隔観測や録画が可能になったが、量的には今もフィル

表-1 代表的医用画像

1. 表層像	視診, マルチスペクトル像, ステレオ像, モアレ像, サーモグラフ, 電位分布
2. 顕微鏡像	白血球, 染色体, 細胞診
3. 電子顕微鏡像	
4. X線像	投影像, 断層像, CT
5. RI像	投影像, ファンクショナル・イメージ, CT
6. 重粒子像	
7. 超音波像	Bモード像, Mモード像, ドップラー像, CT
8. 内視鏡像	
9. 眼底鏡像	

ム録画が圧倒的に多い。またX線像は3次元構造を二次元に投影した影絵であるが、断層撮影法により焦点面以外のぼけた像が重畳したものではあるが断層像が得られるようになった。しかし完全な断層像の再生は1972年の計算トモグラフィ(CT)の登場にまたねばならなかった。

X線像は主として形態学的特徴を観測するのに用いられている。これに対して自らガンマ線を発するラジオ・アイソトープ(RI)による像は、薬品などに標識することによって臓器の機能を診断するのに適している。CTの原理も導入され、さらにポジトロン核種の採用によって位置標定精度のよいポジトロンCTカメラが開発されている。

X線, RIの問題点の一つは放射線障害である。これに対して第2次大戦中のレーダー, ソナーの発達を基礎として超音波のパルス反射法による診断装置が登場した。これはBモード法により断層像を表示することができる。最近アレイ振動子を用いた高速の電子走査が登場するに及んで、操作性の向上と動態観測が可能なことから急速な普及を見ている。

以上から明らかなように医用画像に対する工学の寄与はCT関連を除けば、主として撮像や記録の分野に限られてきた。画像の処理そのものは専ら医師の目視によってきたわけである。これは人間のパターン認識の能力がいちじるしく優れているために、少々の機械化・自動化ではとても及びつかなかったためと思われる。

† Introduction to Medical Image Processing by Morio ONOE (Multidimensional Image Processing Center, Institute of Industrial Science, University of Tokyo).

** 東京大学生産技術研究所多次元画像情報処理センター

2. 実用期に入った医用画像処理^{1),2)}

最近電子計算機によるデジタル画像処理の実用化の気運が熟し、医学の分野はその最先端にたっている。これは第一に処理の自動化に対して強い社会的要請があるからである。昔は身体の具合が悪くなつてはじめて医師のもとにかけつけるのが普通であった。したがって検査すべき画像の数も少なく、しかも異状を呈する率が多かったから見る方も緊張を持続することが容易であった。今は医療が予防や環境医学に及び、集団検診などで処理すべき画像の数は急増している。しかも大部分は正常で、その中の極く僅かな異状を検出しなければならない。他方、医師や検査技師の数は不足しており、その養成は容易でない。したがってその間のギャップをうめるために画像処理の自動化が強く望まれているわけである。白血球の自動分類や細胞診自動化はその好例である。

第二の理由は計算機の使用によって目視では到底得られないような新しい画像処理が可能になってきたことである。CTはその好例であつて、すでにふれたように投影像から真の断面像の再生を可能ならしめたものである。

第3の理由として撮像と処理とが有機的に総合化される傾向をあげることができる。放射線センサは元来パルス出力であるし、CCDなどの固体撮像素子も時間的に直列に出力する。また超音波変換子は光センサと違って振幅とともに位相情報もとることができる。これらはいずれもデジタル処理をほどこすのに適している。

画像処理の方式は大別して光学、写真、ビデオ技術などに基づいたアナログ方式と計算機によるデジタル方式とがある。前者は大面積の画像を一挙に処理できるが、融通性、適応性、精度、再現性、調整の容易さなどでは後者が優っている。しかし膨大な画像データを計算機内に貯えるための記憶容量とそれを直列に演算していくための計算量がデジタル方式を採用する際の最大の障害であつた。

幸にして集積回路とくにLSIの進歩はめざましいものがあり、デジタル記憶および演算のコストは5~6年に一桁の速度で下つてきている。これに対してアナログ方式のコストは他の物価同様インフレに歩調を合せて上昇している。したがってたとえ同じ内容の処理をする場合でも両者のクロスポイントは早晩やってくる。まして上記のようにデジタル方式は優れた

点が多いから、社会的要請の強い分野ではもうそれが現実にやつてきている。医用画像はまさにそのような分野である。

デジタル画像処理の大きな特徴はその汎用性にある。計算機にしる、表示装置にしるハードウェアの多くはどの応用に対しても同じように使える。ソフトウェアに関しても同様であつて、たとえばRI像の輪郭抽出のアルゴリズムは超音波像に対しても有効な場合が多い。またCTにおける再生アルゴリズムは放射線でも超音波でも大差ない。現に医用画像処理の実用化の先端に立っているのはCTと顕微鏡画像の分野であるが、その成功は他の分野にも一斉に波及する勢にある。

まずCTであるが、これは前にも述べたように真の断面像を再生するだけでなく、各組織の吸収係数について水の吸収係数の1% (CT値にして10)程度の微細な差を識別できるような精密測定器である。ここ数年入力センサから再生ソフトウェアにいたるまで集中的な開発が行われてきた。とりわけ解像度の向上と処理時間の短縮はいちじるしく、当初画素数160×160で4分以上要したものが、今や512×512で数秒に短縮された。それにともなつて精細な表示装置、高速演算装置、画像ファイル、便利な対話型コンソールなど画像処理全般の開発の最先端にたっている。

CTがいわば画像変換的な処理の頂点にあるとすれば顕微鏡画像の処理は認識的な処理の頂点にあるといつてよいであろう。計算機にオンライン接続した顕微鏡で電子的に撮像することにより写真現像に伴う階調変化や現像時間の影響を免かれることができた。対象物の検出や焦点合せを自動的に行うことも可能になった。白血球の百分比分類はすでに実用機があり、その性能も異型の検出、赤血球の分類、血小板の計数なども併せ行うように向上してきている。染色体の核型分類も実用の域に近い。日本では子宮がんの細胞診自動化の研究が精力的にすすめられ、一部はフィールド・テストの段階に入っている。

人体表面の立体計測にアナログ的なモアレ法はすでに広く使用されている。しかしその数量化、凸凹判定、精次数の決定などに手間がかかる。このためモアレ像処理の自動化が進んでおり、一部は実用化に入っている。

この他にも研究段階としてはほとんどすべての分野でデジタル画像処理の導入がはかられている。

まず新種のCTとしては実用段階に近いポジトロ

ン・カメラをはじめとしてRI, 超音波, マイクロ波, 核磁気共鳴, 重粒子線などが試みられている⁸⁾. とくに超音波CTは音響インピーダンスの差を検出するパルス反射法と異なって, 音速または吸収係数の差による像がつくれるので注目されている. しかし肺のように空気のある場所や骨は通さないのので, 乳房以外への適用には不完全投影からの再生技術の研究が必要である. また重粒子線は組織内での停止距離が明確で診断と治療との一体化という点で注目されているが, 実用には加速器の自由な使用が前提となる.

通常のX線像はコントラストが悪く輪郭もぼやけているので, その中から対象物を検出したり, 輪郭を抽出したりするのが処理の第一歩となる. 胸部X線像に関しては精力的な研究が行われ, 肋骨, 異常陰影, 血管などの識別が可能になってきている⁹⁾. また心胸廓係数の計測, 心輪廓抽出による病変の検出なども行われている. 胃に関しては正面充満像の輪廓抽出から辺縁不整の検出が行われている. また大腿動脈の血管像から動脈硬化を検出することも試みられている.

RI像はガンマ線の計数に統計的変動が大きく, またセンサの解像点数も十分でないのので, 本質的に画質が悪く, 古くから雑音除去, ユニホーミティ補正, ボケ補正などに画像処理技術が適用されてきた. 最近では動画処理により左心室輪廓を抽出して容積曲線の作成や心筋梗塞領域の検出が行われている.

臓器の動態解析にはファンクショナル・イメージと呼ばれる手法が有用である. これは各画素にその点における動態曲線の特定のパラメータの値を割当てて作成する画像である. パラメータとしては最大値, その時刻, 上昇勾配, 下降勾配, 一定時刻での値などがよく使われている.

超音波像ではパルス反射法によるBモードの断面像の画質がかなりよいために表示などを除いてデジタル処理の導入はやや遅れている. しかし方位方向の分解能の向上, サイドロープの抑圧, 心輪廓の抽出, 組織の特性化 (Tissue Characterization), ドップラ成分の抽出などに処理技術の適用がはかられている.

その他眼底写真像における血管の抽出とその交叉現象からの高血圧症の検出, 螢光色素の漏出面積の計測も行われている.

電子顕微鏡像は本質的に収差が多く, 処理の期待される分野である. 高次回折像の開口合成により生体分子の原子像がえられている. また雑音の多い背景からDNAを抽出したりすることも行われている.

3. 標準化

すでにふれたようにデジタル画像処理のハードウェア, ソフトウェアはともに多くの応用分野で共通に使える.

また一たんデジタル化された画像データは保管, 輸送, 複製などによって劣化しない. これは従来の写真や標本に比べて格段に優れており, 学術交流, 教育, 診断基準の統一に理想的な媒体である.

これらの利点を本当に活かすためには標準化が不可欠である.

当学会イメージ・プロセッシング (IP) 研究会ではこの点に留意して発足以来標準化活動に力をそそいできた. まず現在デジタル画像の最も実用的な記録媒体である磁気テープについて標準フォーマットを制定した¹⁰⁾. ついで入力装置の性能評価および校正のためにフライング・スポット・スキャナとドラム・スキャナを対象にして濃度, 解像度, 幾何学的ひずみなどのテストチャートを制定し, 現在試作品を評価中である¹¹⁾.

この他に入出力装置の性能評価, 校正, さらに各種の処理用アルゴリズムの比較, 評価のために標準画像が必要である. 何を標準にするかは分野や対象によって異なってくるであろう. しかし各人が同じデータを用いるというだけでも定量的な相互比較, 互換性の確保のために有意義であろう. この観点に立って東大生研の多次元画像情報処理センターでは各方面から画像データの提供をうけ, それを上記標準フォーマットに編集し直した標準画像データベースSIDBAを作成し, その複製を画像関係研究機関に配布することを行っている¹²⁾. すでに磁気テープ3巻の画像が集まっている. 第1巻は各種の画像, 第2巻は大型のカラー画像や動画像, CCITTのファクシミリ・テストチャート (ただし2値化), 第3巻は人工知能研究によく使われているシーンやCTの投影および再生像などが収められている¹³⁾. すでに国の内外約40箇所に配布され, 利用の実績も次第にふえてきている. 画像処理関係の論文を追試しようとする際アルゴリズムは再現できても画像データは失われてしまっていることが多い. したがってこのようなデータベースはアーカイブ的な効果もあることが判ってきた.

ソフトウェアについても移植性のよいいわゆる Portable Software Package を検討してきた. これは他との交換に便利というだけでなく自己のシステム

から研究を進める必要がある¹¹⁾。

高速記憶の大容量化に伴い、それを入出力のバッファやリフレッシュメモリに兼用するようになってきた。そのため高速の AD, DA 変換器が直結され、入出力から直接アクセスできるようになり、さらに専用高速演算装置も付設するなど、メモリ中心のシステムがふえてきている。

処理はシステムが実用に耐えるスループットを得るために、あるいは動態観測のためにますます高速化が要求される。個々の演算装置の速度は桁違いの向上は望めないで、並列もしくはパイプライン処理が本命であろう。LSI の発達はこの方向に明るい見通しを与えているが、その構成、ソフトウェア、言語など研究をまつ項目は多い。

各画像システムは高度の処理能力をもち、入出力が知能化された独立性の高いものになるだろうが、一方においてデータベースや高価な資源を共有し、各システム間で自由に情報が交換できることも必要である。これを可能にするものは高速の画像伝送であって、少なくとも構内用ならば光ケーブルがこれに明るい見通しを与えている。また遠隔地医療のために既存の通信回線による画像伝送も大切である。

CT がまきおこした社会的波紋の一つに高価な機器による医療費の高騰がある。医用画像処理全般についても同様のことが起り得るであろう。分散と集中とのバランス、標準化による資源の共用などによって国民に最適の医療を供給することを医用画像処理の研究開発にあたって忘れてはならない。

5. む す び

医用画像処理は今や実用期に入って急速に各分野に浸透しつつある。重複の少ない効率的な研究開発をすすめるためには医学と情報処理との緊密な協力が必要である。当学会ではイメージ・プロセッシング研究会

ついでコンピュータ・ビジョン研究会が医療情報学研究会とともにこの方面をカバーしてきた。日本 ME 学会には「医用画像のデジタル処理」研究会があり、文部省総合研究にも同名の研究会がある。また放射線イメージ・インフォメーション研究会や画像医学総合開発研究会、厚生省がん研究の映像班なども活発な活動を行っている。しかし情報処理関係者の数は十分でなく、その増加が望まれている。この小文がその方面への関心をます一助となれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) Preston, K. Jr. Onoe, M. 編: Digital Processing of Biomedical Images, Plenum Press, New York (1976).
- 2) 尾上守夫: わが国における医療デジタル画像処理の現状, 医療情報システム国際シンポジウム, pp. 331-334 (1979).
- 3) 計算トモグラフィ, 電気 4 学会連大, 27 (1978).
- 4) 長谷川純一, 鳥脇純一郎, 福村晃夫: 胸部 X 線像のパターン認識, テレビジョン学会技術報告, ITA 35-3 (1978, 5).
- 5) デジタル画像データの標準フォーマット, IP 研資料 9 (1976, 11).
- 6) イメージ・プロセッシング・シンポジウム予稿集 (1979, 6).
- 7) 尾上守夫: 標準画像データベース, 画像工学会コンファレンス, S-1 (1977, 11).
- 8) 尾上守夫, 坂内正夫, 稲本 康: SIDBA-Standard Image Data Base, 東大生研多次元画像情報処理センター, MIPC Report, 79-1 (1979).
- 9) 田村秀行他: SPIDER-ポータブルな画像処理サブルーチン・パッケージ, CV 研資料 (1979, 11).
- 10) 滝沢正臣他: CT 情報交換のための画像相互変換と表示, シンポジウム CT の物理技術的諸問題 2 PM 42 (1979).
- 11) 尾上守夫, 岩下正雄: 計算機内における画像のデータ圧縮, 情報処理 Vol. 18, No. 8 (1977).

(昭和 54 年 10 月 22 日受付)