

資料 X線像の計算機支援診断の40年

鳥脇 純一郎

名古屋大学大学院工学研究科情報工学専攻

Forty Years Progress in Computer Aided Diagnosis of X-ray Images

Jun-ichiro Toriwaki

Faculty of Eng., Nagoya Univ.

1 まえがき

(1) ME学会とX線像のCAD研究の発端

エム・イー学会の発足(当時はME学会と書いた)の第一回大会が1962年、筆者が大学院博士課程(現在の後期課程)において胸部X線写真の計算機処理の研究をスタートする2年ほど前である。それ以来、今まで何らかの形で人体のX線像の画像処理と診断・治療への応用に関する研究を続けている(本講演の標題はここからきている)。これをひとくちにX線像の計算機支援診断(computer aided diagnosis of X-ray images CADX)と呼ぶ。CADは、『各時代においてその時代のコンピュータを駆使した診断法、もしくは診断手順。特に診断の基になる情報の取得、および、それから診断に到達するプロセスにコンピュータを積極的に用いる。また、コンピュータでなくては出来ない機能を重視する』と言う程度に考える[鳥脇99]。なお、CADの定義については[鳥脇01b]も参照。

(2) 背景 - 医用画像の歴史

医用画像の主目的は、個々の人体の無侵襲の可視化であろう。その意味では医用画像技術はX線の発見(Roentgen 1895)に始まる[館野01a,b]。科学技術上の成果にはすべて決定的なキーとなる先行する成果がある。X線の発見に至るには、先行した写真の発明(Daguerre 1839)が必須であった[補注1]。このことは、今からみるとX線写真が人体という対象の『可視化のためのツール』であったことと符合する。これによって我々は人体の内部をほぼ無侵襲で(といってもX線被曝の問題はあったのであるが)可視化する手段を初めて手に入れた(図1)。

医用画像における第二の革命はCTの発明

(Hounsfield 1972)であろう。ここで初めて、3次元の人体の『各点における状態』を可視化する手段を得た。この場合の上記写真に対応する位置にくるのは計算機であろう(ペンシルバニア大 1945)。CTの登場の意義はいくつも考えられるが、ここでは次の三つをあげておこう:

- ①アナログ処理からデジタル処理へのパラダイムの変換、
- ②人体の構造の可視化から人体の各部分での特性の計測への発展(画像は計測結果を可視化した結果である[補注2])、
- ③2次元データ処理から3次元データ処理への展開。

一方、本稿の主題である画像のCADに不可欠の人工知能の概念(認識・理解、学習、推論、など)の登場は1956年、米国のダートマス会議に始まるとされる。

(3) 本文の話題

以下、筆者が関与したX線像のCADのいくつかを簡単に紹介する。説明の便宜上、カテゴリー**という見出しを付けるが、これらは必ずしも時間軸上の排他的な分割ではなくて、むしろ、主として対象と手法のセットに基づく一種のカテゴリーを表すもので、それらを、筆者の研究室におけるおおよその開始時点の順に述べたものである。

2 カテゴリー I 2次元画像処理とX線写真の診断支援 (1965 ~)

このカテゴリーでの我々の研究の具体的目的は、間接撮影胸部X線写真の診断支援であったが、そもそもX線写真の診断支援に関する研究そのものが全く無かったことから、精査不要の(異常疑い可能性なしの)写真を自動的に検出して、読影医師の負担を減らすことを目標とした。これを我々は人工知能の一分野であるパターン認識の応用と位置づけて手法の開発を

*1 名古屋大学大学院工学研究科(〒464-8603 名古屋市千種区不老町)
投稿受付日:2001年8月29日
採用決定日:2001年9月17日

始めた[鳥脇 67a,b] [補注 3] (図 2～5)。しかし、今から見ると計算機の登場後 20 年、人工知能の研究開始後わずか 10 年弱では胸部 X 線像のような複雑な濃淡画像の認識のためにはソフト、ハード両面においてツールの力不足が大きかった。また、写真というアナログ画像から出発しなくてはならなかったことのハンディキャップも非常に大きかったと言える。

それでも、一応 1982 年頃には、フィルム単位でみて、感度 (sensitivity)81%、特異度 (specificity)59% (実験症例数 289) という結果を得ている[鳥脇 94] (図 6,7) [補注 4]。この時期は、多くの研究リソースが濃淡画像の画像解析の手法に向けられ、差分フィルタ、細線化、距離変換、デジタル幾何学、等今でも中核を担う諸方法の基礎が作られた。なお、胸部の直接撮影像に対する肺がんの計算機診断に関しては、名取ら (札幌医大ほか) の優れた研究があり、[鳥脇 94] に詳しく紹介されている。

間接撮影像の計算機診断における難しさの主たる原因は、処理手法の不足よりむしろ入力画像の画質の限界という、より本質的な問題にあることが[小畑 99] によって指摘されている。一方、方法論的には現在のマーキング機能を基礎とする X 線像、および、CT 像に対する CAD の大半に共通する処理手順の基礎を提供する役割を果たした。X 線像の CAD は、胸部では塵肺、乳がん診断用のマンモグラム、胃がん診断用の胃 X 線像に広がり、国内では、1992 年にはコンピュータ支援画像診断学会、1993 年にはコンピュータ外科学会が発足した[鳥脇 00] [補注 5～8] [図 8,9]。

また、マーキング機能をマンモグラムに対して実現した商用機が米国で NIH の許可を得て 1998 年に発表され、当初考えられた X 線写真の自動診断 (CAD) 装置の商用化第 1 号となった。この意味でこの年は CAD 元年という言われ方もしている[特集 99b] (図 10)。これに関連して、マンモグラム診断においてマーキング機能 CAD の臨床的有効性を統計的に立証したシカゴ大土井らの研究の意義は大きい[土井 99] (図 11)。また、1998 年には CAD を主題とする国際会議が初めて開かれた[土井 98] [補注 9]。さらに 2000～2001 年前半には胸部 X 線像の特徴量の計測、マーキング、経時変化の計測などにも商用装置、またはソフトウェアが登場している。ただし、その手法の多くは 80 年代～90 年代始めのもの発展である。なお、93 年頃までの展開の詳細は[鳥脇 94] 参照 (図 12,13) [補注 10,11]。

3 カテゴリー II CT 像の登場と 3 次元可視化、シミュレーション (1980～)

1 に述べたように、CT 像が登場するとすぐに、それを対象とした CAD にも取り組んできた。ここでは、最初から、比較的近い将来に 3 次元等方性解像度のデジタル画像が得られるであろうことを予想し、その時に役立つ基礎研究を念頭に置いた [補注 12, 図 13,14,15]。

実際、主として頭部を対象として様々の表示が試みられ、その結果として開発されてきた多くのアルゴリズムは、現在改めて有効性を発揮している[鳥脇 85] (図 16～19)。このカテゴリーの特徴として、コンピュータ・グラフィックスの応用[横井 82]、米倉らによる 3 次元デジタル幾何学の一連の成果[鳥脇 85、米倉 82] (図 19)、および、外科手術シミュレーションの研究がある (図 20～23)。この頃のシミュレーションは専ら骨が対象であった[安田 86] [補注 13] (図 21, 22)。また、CAD では 3 次元 CT 像からの肺がん腫瘍影検出の最初の研究の一つがある[森 93a,b] (図 24)。なお、肺がん検診への CT の導入に関しては 1994 年頃から検討されていたが、現在では CT 検診研究会などで活発に研究されており、検診車も試作されて試行されるに至っている[館野 01a,c、CT 研 01]。そこでは被験者当たりの画像の枚数が数十枚にのぼると予想されるため、CAD の利用が一層期待され、実際、実用に近いレベルに達している[飯沼 01, 鳥脇 00] [補注 14]。

4 カテゴリー III ヘリカル CT の普及・発展と仮想化された人体の利用 (1990～)

90 年代に入ってヘリカル CT の実用化がすすみ、特に 90 年代末のマルチスライス CT によって、漸く等方性解像度の 3 次元画像が利用できる時代に入る。これは、計算機内に個々の人体の再現版 (仮想化したバージョンという意味で仮想化された人体 (virtual(ized) human body VHB) と呼ぶ) を持つことと考えられる (図 25)。

我々は、この VHB 内部を自由に移動しつつ診断するナビゲーション診断を提唱 [鳥脇 97]、その典型例として管腔臓器を対象とする仮想化内視鏡システム (virtual(ized) endoscope system VES) を、片田 (藤田保健衛生大) らと共に実現した[森 94,95] (図 26,27) [補注 15]。VHB の利用は、またナビゲーション途中でのシミュレーション (人体の変形)、臓器の仮想展

開(図 28,29)、軟部組織の手術シミュレーション、等を可能にする。また、実際の内視鏡検査や内視鏡下手術において視野内の画像に VHB から生成した様々な情報を重畳する強化リアリティ (augmented reality) の応用も可能性が見えており、すでに、術中支援、内視鏡検査支援の基礎研究を進めている[鳥脇 00,01a](図 30,31)。

3次元画像解析のアルゴリズムは、この時期のすべての研究の基盤として不可欠になりつつある。ここでも継続的に数多くのアルゴリズムの開発が進んでいる(図 32)。

5 むすび

人体内を無侵襲でみたいという強い動機に端を発した画像診断における計算機利用に基づく支援は、当初は単に X 線写真の自動分類を目指して研究が行われたが、近年は急速に多様化し、益々発展している。X 線発見後およそ 100 年強を経た現在では、計算機内の仮想化された人体を自由に探索・計測し、変形し、さらに、対応する実人体と同時に利用するという形で、映像をあらゆる形で駆使する診療支援 (CAD, CAS) の時代が始まっている。

40 年前には心電図の自動診断がエム・イー学会などで盛んに研究されていたが、現在では、普通的心電図診断や血液検査の検診の結果にも計算機の判定によるコメントが付いていて、医師にも参考にされている[鳥脇 99、特集 99a]。X 線像にもこのような CAD コメントが該当する陰影の指示と共に添付される日も遠くないであろう。さらに、各人が自分の身体の 3 次元 VHB を所有し、健康の維持に役立てるようになることも十分期待できる。今後の X 線像の CAD を考えてみると、多様化が一層進むと思われる。キーとなる技術からみると、従来の中心であった「判断」に加えて、「可視化」と「計測」が加わる(図 33)。そして利用法からみると次の 3 種類に分かれてこよう。

- (i) 専用 CAD: 用途、対象を明確に限定して医師と共にセカンドオピニオンの役割を果たす。スクリーニング支援が代表例である [飯沼 01]。
- (ii) 汎用 CAD: 特に特定の対象を限定せず、医師にとって読影のガイドとなるように、注目すべき陰影、常に見ておくべき箇所に関する指針を示す。
- (iii) 日常 CAD: ホームドクターの補助、および、一般人の健康管理の支援機能を目指す。現在の血液検査、心電図検査にみられるような役割。

あるいは、特定疾患の高度の専門医レベルから町の開業医のレベルに至るまでの色々のタイプのものが有り得る(図 34)。

ところで、人体をメディアとしてみるならば、実人体、仮想化された人体、ハードコピーとしての、いわゆる「X 線写真」、そして記号化された知識としての「医学的知識」および「診断・治療記録」、の中を自在に移動しつつ目の前の人体という特定のメディア、あるいは、ソース(情報源)の状態に的確な判断を下すプロセス(図 35)、とみることができる。それは、かつて人文、社会科学分野で大きな話題をよんだ M. マクルーハンの大著「ゲーテンベルクの銀河系」になぞらえれば「X 線像の銀河系」といってよいかもしい(図 36)。もう一つの「仮想化された人体」の利用においては、人体内部を自由に移動して任意の方向に任意の部分を観察しつつ診断する—ナビゲーション診断と呼んだ—に大きな特徴がある。それは、1960 年代の SF 映画の傑作「ミクロの決死圏」(図 36)の実現の第一歩と見るコメントにしばしば出会う。それが SF の世界にどの程度近づけるかは今後の進歩によるが、少なくとも人体に関する見方を変える可能性を秘めていると考えている [補注 16]。

(本稿は、第 40 回日本エム・イー学会大会(2001 年 5 月 9~11 日)における大会長講演に加筆したものである。追加は主に参考文献および補注の形で行った。筆者自身が直接関わった研究に限られるが、研究の狙いなどの通常は論文に書かれない事柄も入れて、ある程度 CAD の歴史を記録することも意図した。)

[補注 1] X 線発見を報告したレントゲンの論文には次のようなことが書かれている。

『…多くの点からみて特に重要なのは、写真乾版が X 線に感じる事が明らかになったことである。様々な現象を記録することができて、錯覚を容易に避けられるので、私は、この目で蛍光板で観察したことで重要なものは、可能な限りすべて写真撮影をして確かめた。…』 [館野 01a]

[補注 2] Hounsfield の論文をみると、3 次元物体の内部の各点(実際には微小体積要素)の X 線吸収係数がいかに精度よく計れるかが詳細に述べられている [館野 01a]。これによって、人体各部の物理的特性を in vivo で計測する手段を我々は始めて手にした。

[補注 3] 文献 [鳥脇 01b] における専用 CAD である。X 線像の専用 CAD の研究としては世界で最も早かつ

たと思う [鳥脇 67b] (より正確には [鳥脇 67a] の方が早い)。図 2, 3 はその最初の学会発表 (日本 ME 学会の一研究会) の資料の一部である。[飯沼 01] にある厚生省がん研究助成金梅垣班へのお誘いの発端となったのはこれではないかと思う。図 4 はこの研究が正規のレビューを経て学会誌に原著論文として掲載された最初のものである (日本 ME 学会誌 1967 年)。図 5 はそれに続く、いわば第 2, 3 報を発表した頃の図の一部である [鳥脇 68]。このときの対象は胸部直接撮影正面像のごく一部 (5 cm × 6 cm くらい) の領域で、人間なら誰がみても自明な大きな陰影の抽出と特徴量の計算である。それでも、この付近の肋骨像の輪郭を自動抽出し、肋骨上と肋骨に分け、かつ、ベースの濃度値のゆるやかな変化に対する補正もしている。

[補注 4] このシステムを AISCR-V3 (Automated Interpretation System of Chest Roentgenogram-V3) と名づけた。CADX としてはもちろん、複雑な濃淡画像のパターン認識システムとしても当時としては世界のトップレベルにあったと思う。後で述べる NUCSS, VES, と並んで筆者の研究室で開発したパイオニア的 CADX システムの代表作第一作である。

[補注 5] 間接撮影像を選んだ理由は、1960 年代の日本において X 線像のスクリーニングの体制が確立していた唯一の画像であったことである。その画質に限界があることはわかっていたから、診断の精度をあげるより、医師の作業をどの程度軽減できるかが問題であった。また、当初の症例には肺がんよりむしろ肺結核が多数含まれていたことは、スクリーニングの対象からみて自然なことであった。目標は病気の種類を問わず異常を疑われる陰影のマーキングを目標とした。少し後に出る名取 (札幌医大)、鈴木 (日本 IBM) らの研究は最初から直接撮影像を対象とし、肺がんの検出を意図していた。

[補注 6] じん肺 X 線像の CADX は労働災害、職業病の対応の中で取り上げられた。国内では、労働省並びに中央労働災害防止協会の支援を得て、じん肺 CAD に関する小委員会がつけられた。筆者も 1985 年から参加している。国内では小畑 (農工大) らの成果が多い。始めは空間周波数スペクトラム特徴やテクスチャ特徴の利用が主であったが、筆者らは個々の粒状影に着目した方法を導入した [陳 89]。70 年代～80 年代にかけて欧米の CADX の研究の大半はじん肺の診断を目指していた。これは病気の性質からみて病気の発見

というより進行度の定量化にあったが、現在ではほとんど研究されていない。

[補注 7] 胃 X 線 2 重造影の CAD に着手したのは 1988 年頃、厚生省がん研究班 (鳥脇班) に出席されていた山田達哉博士 (当時国立がんセンター) の提案による。胃 X 線像ではそれより前に充満像の CAD の研究があった (相馬、福島ら (京都工繊大)、森英雄 (山梨大) らによる) が、2 重造影はこのときが最初である。研究を推進したのは長谷川純一君と関係した大学院生で、胃壁ひだの集中を検出する必要上「集中度」と呼ぶ特徴量を考え、「集中度フィルタ」を開発した。その後、この集中度フィルタは他の所でも種々研究され、乳がんの検出、肺がんの良/悪性鑑別などにも適用されている。mass 状の腫瘤影の抽出とは対照的な機能を持つ基本的な手法となりつつある。マーキングの機能はある程度のレベルにきているが拾い過ぎ誤りとの関連を含めて能力の検証はこれからである。

[補注 8] 乳がんスクリーニングのためのマンモグラムの CAD にも沢山の研究があり、今日の実用化の礎が作られた時期であるが、筆者は直接に関与していないので省略する。

[補注 9] 色々の学会や組織の企画が合同で開催される大きい国際会議 CARS (Computer Aided Radiology and Surgery, International Congress and Exhibition) の中にも土井邦雄教授を中心とする CAD を扱う Workshop が 1998 年から登場している。

[補注 10] 判断機能を伴う CAD を支える技術はパターン認識である。パターン認識に関する第一回の国際会議 (The first International Joint Conference on Pattern Recognition) が 1973 年に開かれ、筆者の胸部 X 線像の CAD もここで始めて報告した。これは、肺腫瘤影を肋骨像認識も組み込んで検出し、その正常・異常を判定することの可能性を始めて示したのものとして、かなりの反響はあったと記憶している。これが契機となって、アメリカの E.L.Hall 教授 (当時ミズーリ・コロンビア大、後に南カリフォルニア大、テネシー大、シンシナティ大) と X 線像の CAD に関する日米協力研究 (日本学術振興会) を行うことができた (1976-1977)。

これに先立って、1973 年にはデジタル画像処理に関する日米セミナー (日本学術振興会 (オーガナイザ K.Preston, 尾上守夫) が東京で開かれ、ここでも上記の CAD の研究を発表する機会を得た。これらを通

して当時の医用画像全体の CAD の先端を知るところとなるが、筆者のように胸部 X 線像の認識に正面から挑戦しているものは無く、なぜこのような（当時としては非常に難しい）問題を取りあげたかに質問が集中した。そこには、果たしてどの程度の成算があるのかという疑問と、当時のレベルでは超難問に挑戦していることへの関心、予想外にできているという成果（可能性）への何がしかの評価、などが、確かに入り混じっていたように思う。

[補注 11] このセミナーは医用画像のみではなくて、デジタル画像の認識・すべてを含んでいた。そのため R. Haralick（共起行列のテクスチャ解析を始めて発表）、A. Winston（MIT AI グループの積み木世界の認識の初期）、A. Rosenfeld（後のデジタル画像処理アルゴリズムの泰斗）、Dwyer, Harlow（X 線写真処理、ミズーリ・コロンビア大）などの後日それぞれの分野の第一人者になる研究者（当時は若手、中堅）に出会えたことは忘れ難い経験である。

[補注 12] すでに冒頭で述べたように C T の商用機の登場は 1972 年である。これは前出のパターン認識国際会議、日米セミナーの前年でもあり、実際これらの会議での最大の話題は実は C T であった。C T 登場の意義は既に 1 で述べた通りである。図 14, 15 に初期の C T 像の例を示す。実際に C T 像を筆者らが扱えるようになるのは 80 年代から、成果が出始めるのは 80 年代後半である。

C T 画像を扱うに際して意識した点は、

- ① 等方性解像度の三次元画像の時代が遠からずくることを前提としてデジタル幾何学とアルゴリズムの基盤をつくる、
- ② 可視化が認識・理解と対等かそれ以上の意義を持つと考え、医用 C G の手法を蓄積する、

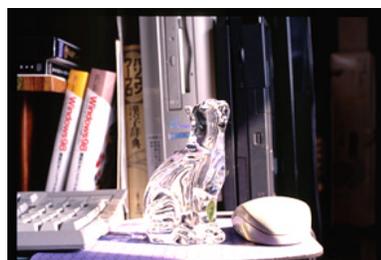
の 2 点である。当時三重大で C G の研究を始めていた横井茂樹君（後名大、現情報文化学部）らの高度な質感表現（フォトリアスティック・レンダリング）に関する研究が生きてくる。理論面では米倉達広君（名大、現茨城大）による 3 次元デジタル幾何学の基礎、応用面では頭部形成外科および股関節整形外科の手術シミュレーションシステム NUCCS-V2（Nagoya University Craniofacial Surgery Simulation System Version 2）の開発（横井茂樹君、安田孝美君ら）がこのカテゴリーの成果の代表例である。一方、3 次元処理を駆使した C T 像の肺がん検出 CAD も始めて試みられている [森 93a]。

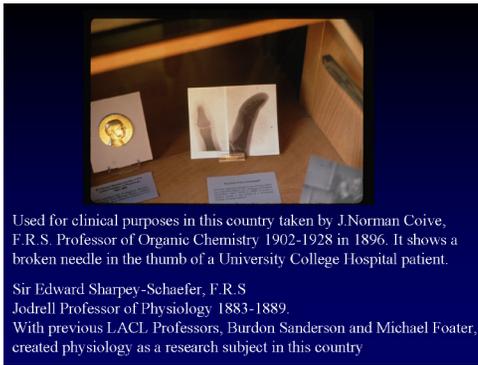
[補注 13] この時期としてはほとんど唯一の軟らかい組織の変形のシュミレーションとして皮膚の切開のシュミレーションがある。これは皮膚の形状を簡単な数式で表現して変形を画面上に表示している（図 22）[金 88]。

[補注 14] 等方性解像度の 3 次元 C T 像からの肺がん検出では恐らく図 23 の論文が最も早い。しかし、この頃はまだスライス間隔の方がスライス内の画素の大きさより大きいのが普通であったから、そのことを利用してスライス内処理とスライス間処理を組み立てる方が自然であった。山本ら（豊技大）、および仁木ら（徳島大）のグループにおいて、ほとんど同じ頃からこの種の研究が行われ、大きく発展して現在に至っている。特に現在ではスクリーニングへの応用が具体化してきたため専用 CAD 型の研究が行われている。一方、筆者らの研究は当時としては症例にも限度があって一時中断し、別の形の研究に移っているが、それらは次節のカテゴリーⅢにゆずる。

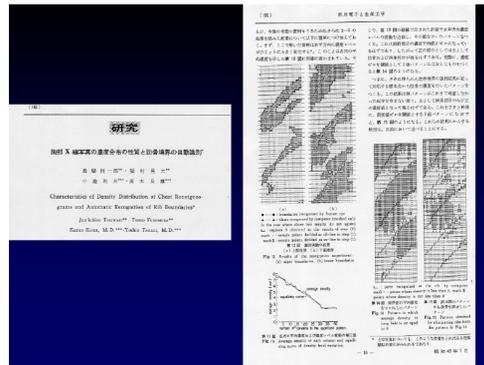
[補注 15] 仮想化内視鏡システム（Virtual(ized) Endoscopy System VES）のアイデア、システム、および実験例を最初に発表したのは、筆者らとアメリカの Vinning らで共に 1994 年であるから、一応この両者が発案者とみてよいであろう。因みに、「ミクロの決死圏」の世界を実現しようと内腔のフライスルーを提案されたのは片田和廣教授（藤田保健衛生大）である。両グループは独立して研究を行っており、相互の参照もない。筆者らは気管支の例が多いが血管、胃、大腸の例も示した、Vinning らは専ら大腸がんの診断を意図している。さらに、筆者らは管腔臓器に限らず任意に人体内を動き回ると言う意味でナビゲーション診断を提唱した。

[補注 16] レントゲンによる X 線の発見は、人体の中を見られるという点で人体に関するものの見方に強い影響をもたらしたという意見もある。それは、折からピカソらやキュービズムの絵画に見られる 3 次元形状のとらえ方にも関係するという事も言われる。

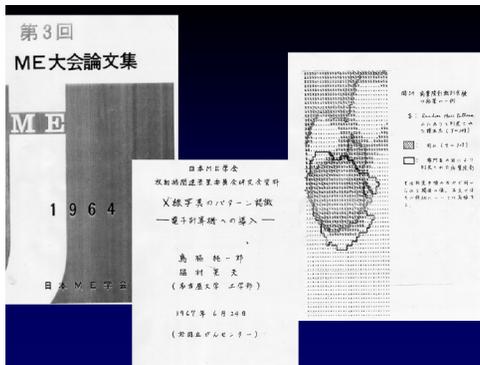




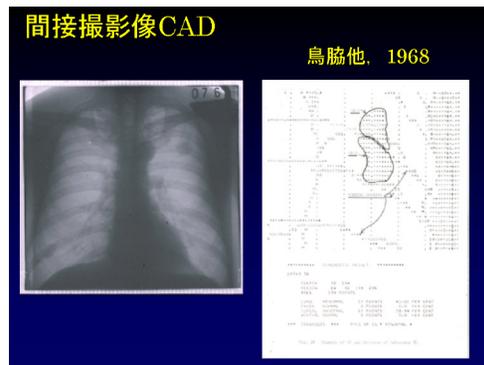
(図1) University College, London の museum に展示されている写真。「指に刺さった折れた針がみえる。1896年に臨床目的に使われた」とある。X線の発見の翌年であることから、X線がいかに早くから診療に使われたかがわかる。ちなみに全身のX線像が1897年に撮られているという記録があるそうである[青柳00]。ただし、X線被爆の知識は全くなかったであろう。



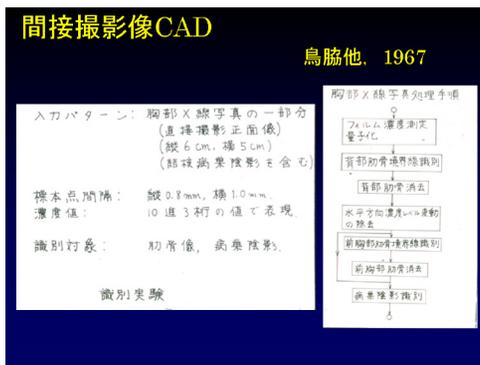
(図4) 図2の研究をある程度まとめて発表した、恐らく胸部正面像のCADでは国内最初の論文の一部[鳥脇67c]



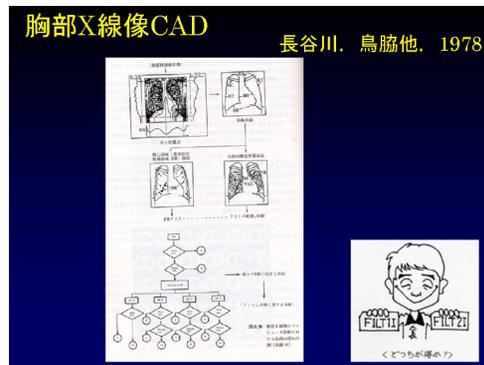
(図2) 胸部X線正面像のCADに関する最初の学会報告の表紙(恐らく日本ME学会の一研究会)。1967年。背景の左端は第3回日本ME学会大会論文集の表紙(1964年)[鳥脇67b]



(図5) 図4の論文または、または、その続編の論文にある図。画面左の間接像の右上肺野にある病巣陰影を検出し、その特徴量を計測した結果を提示する実験である。



(図3) 図3の資料にある処理の流れ図と画像の仕様

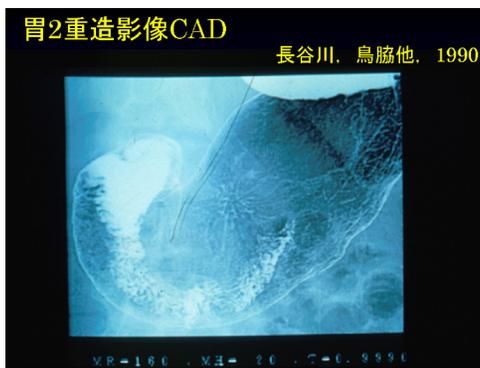


(図6) 間接撮影胸部X線像のCADXシステムAISCR-V3の流れ図。この構成自体が複雑な画像の解析のフレームとしてオリジナルなものと言える。もちろん、現在では極めて常識的である。右下は当時の大学院博士課程でこの研究の推進の中心となった長谷川純一君(現中京大学教授、厚生省がん研究長谷川班代表)の当時のスケッチ、このスケッチの作者は塩見佳久君(当時修士課程在学中)。

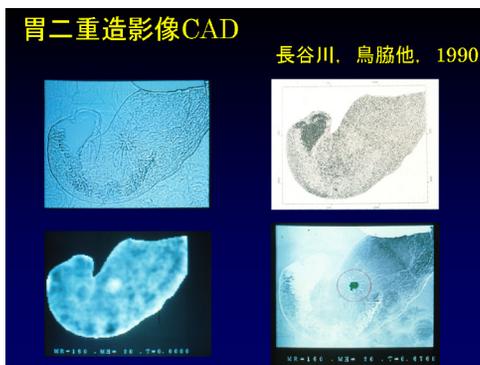


(図7)AISC-R-V3 の出力の例
 左上：肺輪郭線抽出結果
 右上：異常陰影候補領域
 左下：血管影（中心線）、肋骨輪郭線抽出結果
 右下：上記すべての重畳表示

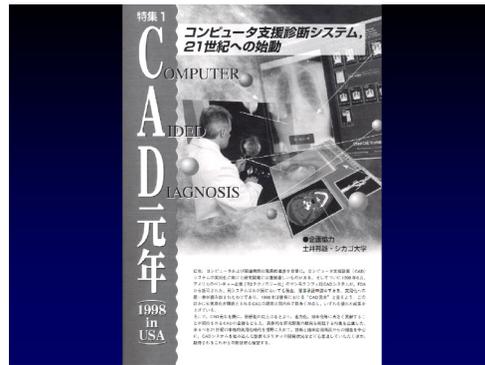
このような出力ができること自体が、当時としてはかなり先進的な成果であり、筆者の場合は名古屋大学大型計算機センターのシステムをかなり自由に使えたことが幸いした。



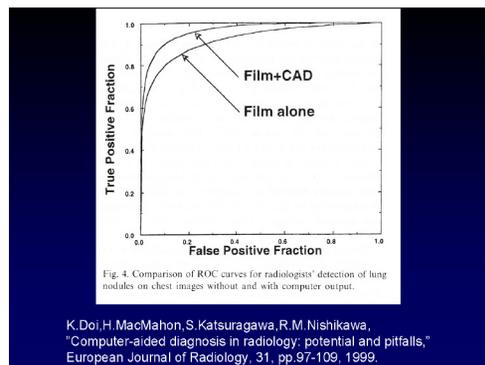
(図8) 胃X線2重造影像の例



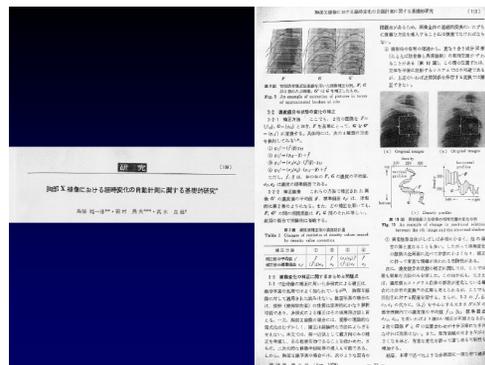
(図9) 胃X線2重造影像のCADXの例[長谷川90]
 左上：胃壁ひだ陰影の強調のための差分フィルタの出力
 右上：上図にしきい値処理と細線化を適用した結果
 左下：右上図に対して集中度フィルタを適用した結果
 右下：左下図の極大点抽出により胃がん候補領域を抽出した結果



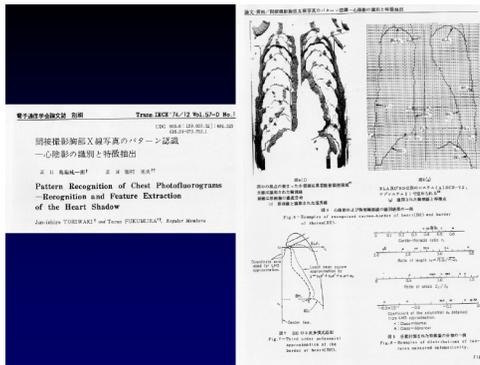
(図10) マンモグラムCADを特集して「CAD元年」をかかげた雑誌のページ (INNERVISION 1998年)



(図11) CADの有効性を示す実験結果の一例(シカゴ大土井邦雄教授らによる) [土井99]



(図12) 胸部直接撮影像の経時変化の検出に関する筆者らの最初の論文(日本エム・イー学会論文誌 [鳥脇78])、肋骨と肋間に分けて局所相関関数を用いて変化の検出を試みた。なお、単純にサブトラクションをすることは、既に [山村68] に例がある。



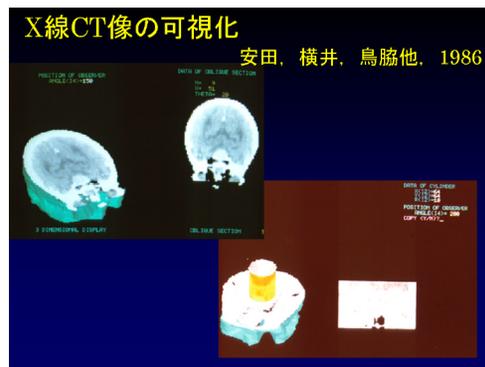
(図 13) 胸部正面像からの心陰影特徴量の抽出に関する筆者の論文の一部（電子通信学会論文誌）。この種の試みはもっと古くからあった。これは前出のCADシステムAISCR-V3の中で得られた成果の一つである。



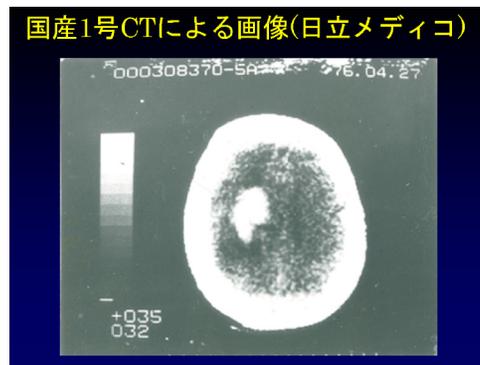
(図 16) 頭部X線CT像の可視化の例 (1) 頭骨、断面上のCT像、縫合線、腫瘍、などの組み合わせ表示



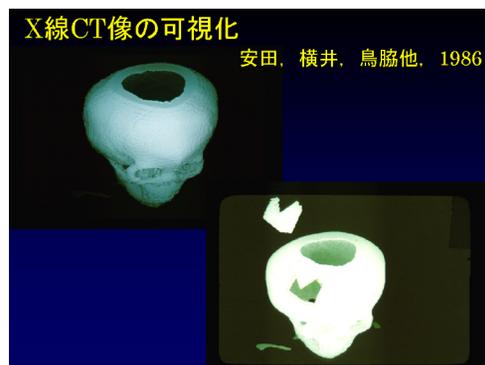
(図 14) X線CT像の意義と最初のCT像（EMI社パンフレットより）



(図 17) 頭部X線CT像の可視化の例 (2) 種々の断面と表面



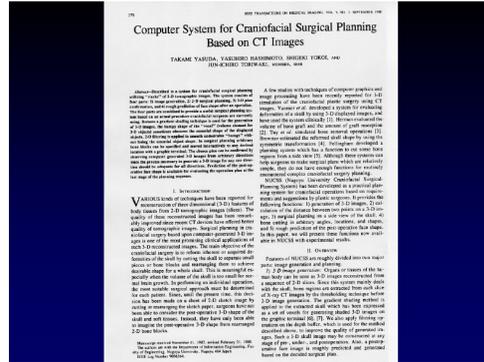
(図 15) 国産1号CTによる画像の例（写真は山本真司氏提供）



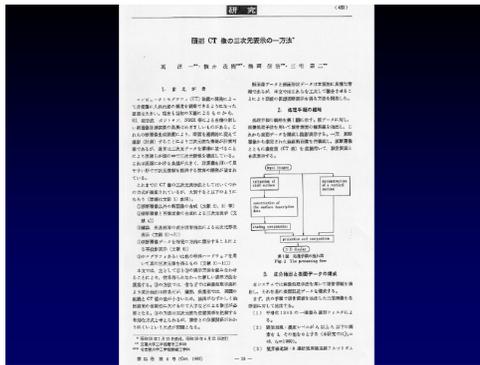
(図 18) 頭骨の表面の3次元表示の例 一部の切り出しと移動は次の手術シミュレーションへの発展を示唆する



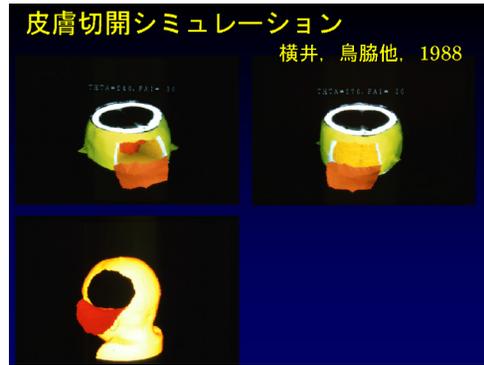
(図 19) 3次元デジタル画像のトポロジーに関する最初の論文。続いて出した4編の一連の論文は現在の多くのアルゴリズムの基盤となっている[米倉 82]



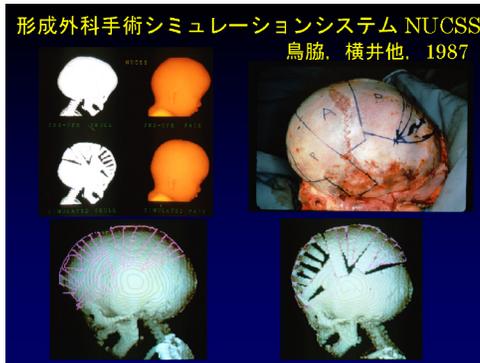
(図 22) 手術シミュレーションシステム NUCSS-V2 を発表した論文 (IEEE Trans.on Medical Imaging) [安田 90]



(図 20) 頭部CT像の3次元表示に関する論文の1ページ。日本エム・イー学会論文誌 (1986年) [安田 86]

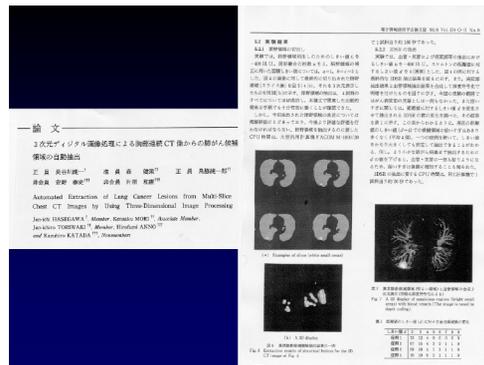


(図 23) 皮膚切開シミュレーションの画面の例 [金 88]

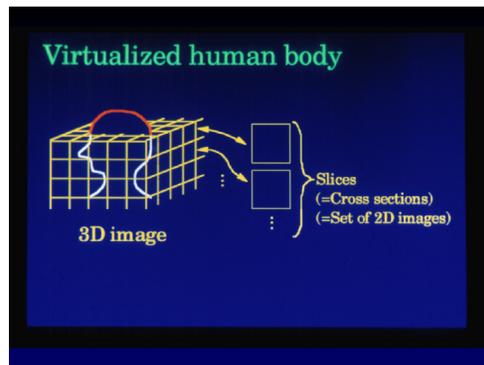


(図 21) 頭部形成外科手術シミュレーションシステム NUCSS-V2 の実験例

- 左上：術前の頭骨と頭部外形 (上段)、術後の頭骨と頭部外形予想 (下段)
- 右上：実際の術中の頭骨
- 左下：頭骨変形プラン (シミュレーション、変形前)
- 右下：同上 (変形後)



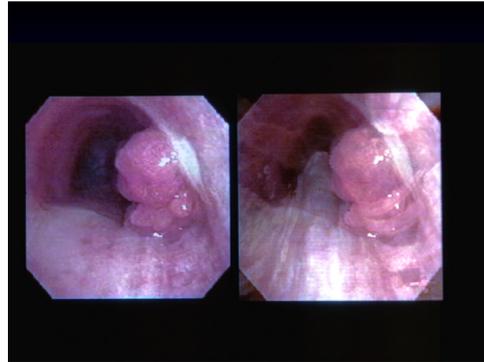
(図 24) 3次元胸部CT像からの肺がん検出の論文 (電子情報通信学会論文誌) [森 93a]



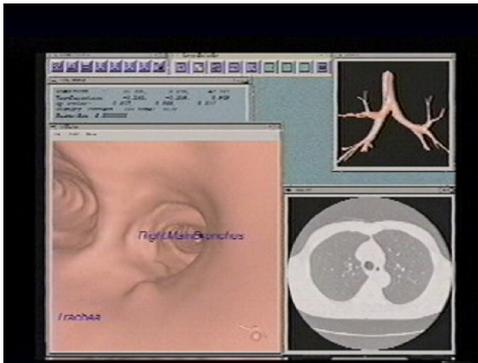
(図 25) 仮想化された人体 (= 3次元配列上のデジタル化された人体) の概念図



(図 26) 仮想化内視鏡システムを最初に発表した論文 [森 94]



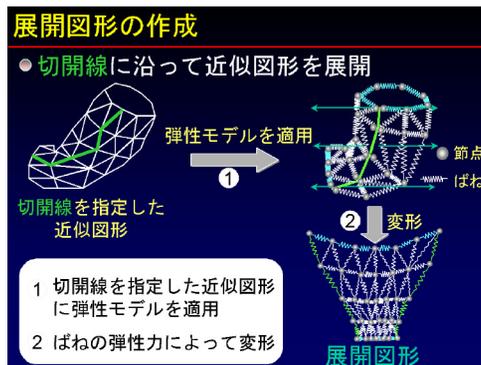
(図 30) 実内視鏡像に仮想化された人体の骨、血管を重ねたもの。気管の壁の背後にある器官が見える。



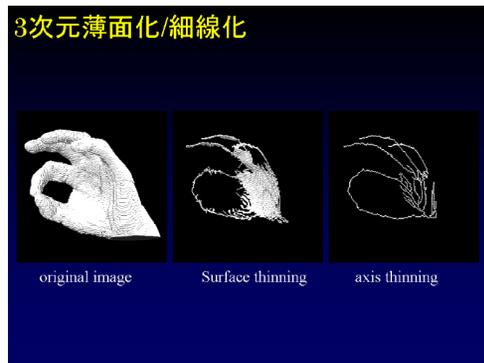
(図 27) 仮想化気管支内視鏡の使用中の画面



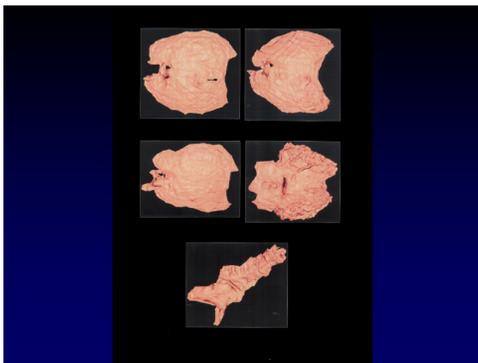
(図 31) 実内視鏡の動きを自動追跡してそこに見える位置、方向と同じ仮想化内視鏡像を生成する実験。左：実内視鏡像、右：仮想化内視鏡像



(図 28) 胃の仮想展開のモデルの説明図



(図 32) 3次元画像処理アルゴリズムの例—薄面化/細線化。左：入力C T像、中：薄面化の結果、右：細線化の結果



(図 29) 胃の仮想展開の例

- [鳥脇 67b] 鳥脇純一郎、福村晃夫：X線写真のパターン認識－電子計算機への導入－、日本ME学会放射線関連装置委員会研究会資料(1967.6)
- [鳥脇 67c] 鳥脇純一郎、福村晃夫、小池和夫、高木良雄：胸部X線写真の濃度分布の性質と肋骨境界の自動識別、医用電子と生体工学, 5, 3, pp.182-191(10-19), July1967
- [鳥脇 68] 鳥脇純一郎、福村晃夫、小池和夫、高木良雄：電子計算機による胸部X線写真の病巣陰影識別に関する基礎的実験、医用電子と生体工学, 6, 3, pp.207-214 (17-24), Jun.1968
- [鳥脇 78] 鳥脇純一郎、福村晃夫、高木良雄：胸部X線像の経時変化の自動計測に関する基礎的考察、医用電子と生体工学, 16, 2, pp.109-116, Apr.1978
- [鳥脇 85] 鳥脇純一郎、横井茂樹：3次元デジタル画像処理アルゴリズムの基礎、電子通信学会論文誌, J68-D, 4, pp.426-432 (1985.4)
- [鳥脇 94] 鳥脇純一郎、館野之男、飯沼武編著：医用X線像のコンピュータ診断、シュプリンガー・フェアラーク東京(1994.12)
- [鳥脇 97] 鳥脇純一 Y：仮想化された人体とナビゲーション診断、BME、11、8, pp.24-35 (1997)
- [鳥脇 99] 鳥脇純一郎：計算機支援診断(CAD)の現状と課題、シンポジウム資料、医用画像情報学会雑誌、16,2, pp.101-114 (1999.3)
- [鳥脇 00] 鳥脇純一郎：X線像のコンピュータ支援診断－研究動向と課題、電子情報通信学会論文誌D-II、J83-D-II, 1, pp.3-26 (2000.1)
- [鳥脇 01a] 鳥脇純一郎、森健策：バーチャル気管支内視鏡、肺癌の臨床、3, 4, pp.461-469 (2001.5)
- [鳥脇 01b] 鳥脇純一郎：CADの定義、コンピュータ支援画像診断学会誌(電子出版)
- [長谷川 90] 長谷川純一、筒井敏武、鳥脇純一郎：胃X線二重造影像におけるひだ集中を伴うがん病変部の自動抽出、電子情報通信学会論文誌、J73-D-II, 4, pp.661-669 (1990-4)
- [森 93a] 森健策、長谷川純一、鳥脇純一郎、片田和廣、安野泰史：3次元デジタル画像処理による胸部連続CT像からの肺がん候補領域の自動抽出、電子情報通信学会論文誌、J76D-II, 8, pp.1587-1594 (1993.8)
- [森 93b] 森健策、長谷川純一、鳥脇純一郎、片田和廣、安野泰史：3次元X線CT像に基づく肺がん候補領域の自動抽出、JAMIT' 92 研究報告、日本医用画像工学会主催、pp.66-71 (1993.1)
- [森 94] 森健策、長谷川純一、鳥脇純一郎、横井茂樹、安野泰史、片田和廣：医用3次元画像における管状図形抽出と気管支内視鏡画像のシミュレーション、3次元画像コンファレンス94講演論文集、pp.269-274(1994.7)
- [森 95] 森健策、長谷川純一、鳥脇純一郎、安野泰史、片田和廣：3次元胸部CT像に基づく気管支内視鏡シミュレーションシステム(仮想化気管支内視鏡システム)、医用電子と生体工学, 33, 4, pp.343-351 (1995.12)
- [安田 86] 安田孝美、萬淳一、横井茂樹、鳥脇純一郎、片田和廣：3次元グラフィックスを用いた頭部CT像3次元表示の手術計画への応用、医用電子と生体工学, 24, 1, pp.22-27 (1986.2)
- [安田 90] T. Yasuda, Y. Hashimoto, S. Yokoi, and J-I. Toriwaki: Computer system for craniofacial surgical planning based on CT images, IEEE Trans. on Medical Imaging, 9, 3, pp.270-280 (1990-9)
- [山村 68] 山村雄一、石山太朗、小林潤、実川佐太郎、泉汎、中嶋崇夫、岩井喜典、的崎健、細井清夫：胸部X線写真正面像読影の自動化に関する研究(第2報)、医用電子と生体工学、6, 4, p.305 (第7回日本ME学会大会抄録)、(1968.8)
- [横井 82] 横井茂樹、鳥脇純一郎、福村晃夫：X線CT像の3次元表示に関するサーベイ、情報処理学会コンピュータビジョン研究会資料コンピュータビジョン 18-5 (1982.5)
- [米倉 82] 米倉達広、横井茂樹、鳥脇純一郎、福村晃夫：三次元デジタル空間における図形の連結性とオイラー数、電子情報通信学会論文誌D、J65-D, 1, pp.80-87 (1982.1)

著者紹介



鳥脇 純一郎(とりわき じゅんいちろう)
昭和37年名大・工・電子卒、昭和42年同大学院博士課程了。同年4月名古屋大学工学部助手。以後、昭和45年助教授、昭和49年名古屋大学大型計算機センター助教授、昭和55年豊橋技術科学大学情報学系教授、昭和58年名古屋大学工学部電子工学科教授、昭和60年4月より同情報工学科教授を経て、平成6年より同大学院工学研究科情報工学専攻教授。工博。パターン認識、画像処理、グラフィックス、および、それらの医学情報処理への応用に関する研究に従事。著書「画像理解のためのデジタル画像処理I、II」(昭晃堂)、「パターン情報処理の基礎」(朝倉書店)、「認識工学」(コロナ社)、電子情報通信学会、情報処理学会、日本エム・イー学会、人工知能学会、IEEE各会員