

CADMI

Computer Aided Diagnosis of Medical Images

News Letter



コンピュータ支援画像診断学会
1999.5

No. 26

ラジウム発見100年に寄せて

館野 之男*

はじめに

医療技術の一生は、多くの場合、それほど長くない。発展を競いあっている他の競合技術に敗れたり、対象となる病気そのものがかなり速いスピードで性格を変えたり、無くなったりするからである。ここではその一例として、医療技術としてのラジウムの盛衰を見てみよう。

医療技術の盛衰は、この学会のように最先端の技術開発に取り組んでいる学会の会員にとっても人ごとではないはずである。自分が研究している医療技術を無事「誕生」にもっていきのに精一杯の努力をしている日々とは思いますが、うまく生まれた場合の「わが子の一生」ということも頭のどこかに入れておいて研究をして頂きたいと思うからである。

1 ラジウムの発見

ラジウムはフランスのCurie、P.らが1898年に発見した。それを報告した論文は、Curie、P.、Curie、M.、Bemont、G.3人連名の「Sur une nouvelle substance fortement radioactive、contenue dans la pechblende」であり、1898年12月26日付けのCompt. Rend. Acad. Sc.、127、1215に掲載された。1902年にはCurie、M.らが100mgの塩化ラジウムを分離精製し、原子量223.3と測定した。

2 医療技術としてのラジウムの誕生

医療技術としてのラジウムへの期待は、発見後間もなくからあった。先輩格のX線が、その頃には皮膚がん、皮膚結核などの治療で多少の成功を収め、大変な評判（100年後の筆者の感想：その成功の小ささの割には大きすぎる名声）を享受していたからである。

P. Curieは、1900年、自分の腕にラジウムを貼布してX線と同様の色素沈着がおこることを確かめ、翌1901年にはパリはSt. Louis病院の皮膚科医師Danlosに、臨床利用のためのラジウムを提供した。Danlosは1902年までに皮膚がん、皮膚結核など当時すでにX線で効果のみられていた疾患を中心にラジウムを使っている。

ラジウムはまた、X線と違って高圧電源など巨大な附属装置を必要としないので、たとえば膣や子宮に挿入して治療する（腔内照射という）ことも可能である。そこで早くから子宮がんの治療も試みられた。なお、子宮がんのラジウム腔内照射を世界で初めて行ったのは、1903年のM. Cleavesである。

しかし、初めの頃のラジウム治療（ラジウムをガラス管に入れて病巣部にあてがっていた）は、ラジウムに接触した部分にひどい火傷を作って、使いものにならなかった。

ラジウム火傷の犯人をラジウムが出す3種の放射線のうちの α および β 線であると考えたフランスのDominiciは、1907年、ラジウムに鉛のフィルタをつけることを考案した。この方法は「超透過性放射線療法 (methode du rayonnement ultrapenetrant)」と呼ばれ、これによってラジウムは真の意味の治療法になった。現在では、フィルターと容器、両方の役目をする物質として白金が用いられることが多い。また現在では、腔内照射なども含め、放射性物質を小さな容器に密封して用いる治療を「密封小線源治療」と総称している。

3 子宮がん治療での手術との競争

子宮がんは、当時のヨーロッパではかなり多いがんであった。また治療し難い悲惨な病気であった。治療法としては、1898年（ラジウム発見と同じ年）にドイツのWertheimが発表した根治的子宫全摘術に期待が集まっていた。Wertheimは、術式発表後も営々と手術症例を積み重ね、1912年には遠隔成績（5年以上経過を観察できた例）を報告できるまでになっている。それによると、彼が診察した子宮がん患者は全部で607例。うち手術できたのは250（手術可能率41%）。手術死63（手術死亡率25%）、5年生存106（症例全体の18.4%、手術例中42.4%）であったという。子宮がんのラジウム治療はそうしたところへ乗り出したのである。

フランスではCheron、Rubens - Duvalが大量のラジウムを用いて子宮がんの治療を積極的に行ない、1910年には手術不能とされた50例を取り扱って、う

ち18例を「治癒」（定義ははっきりしない、5年生存ではない）させたという報告を出している。1913年になると、これらのいわゆる「治癒」例の中に、治療後4年たっても再発なく健在な例があることが判ってくる。

ドイツでは1913年Halleで開かれた学会でBummやKroenig & GaussやDoederleinなど幾つかのグループが、いっせいに腔内照射による子宮がんの治療を発表した。彼らが使った放射性物質は、正確にはCurieの発見したラジウムではなくメソトリウムであったが、その成績はフランスでのラジウムに劣らぬ良いものであった。

この学会に参加していたWertheimはこれらの報告を聞いて次のように発言したという。「私が多大の努力を注ぎ痛ましい思いを重ねながらこれまでにして来た子宮がんの根治手術が一瞬のうちに覆えされ、不要になったことは悲しい回り合わせだと思えざるをえない」。この言葉には、63例という多数の手術死を悲しみながら前進してきた医師の痛ましさがある。

4 フランスのラジウムとドイツのラジウム

前記のドイツ婦人科学会で出てきたメソトリウムとは一体何であろうか？これはその後の元素名の変更もあり、現在ではラジウム-228と呼ばれる。つまり、ドイツのラジウムである。Curie夫人がウラン鉱石から発見してラジウムと名づけたかの元素は現在のラジウム-226である。ラジウム-226が天然の放射性元素ウランの子であるのに対し、ラジウム-228は天然の放射性元素トリウムの子孫である。

治療用線源としてのラジウムとメソトリウムを比べてみると、半減期は前者が1600年、後者が6.7年である。治療に利用される強力な γ 線は、実のところラジウムの場合もメソトリウムの場合もそれ自体でなくその子孫が出すのであるが、ラジウムの場合それは子孫の半減期が非常に短いため精製後割合早くから線量率が一定になるのに対し、メソトリウムの場合精製後最初のうちは放射能は弱く次第に強くなり、4年後に極大に達した後再び減少して、20年後くらいに元の値に戻る。

そうした不便さを押してドイツのグループがメソトリウムを使ったのは何故か？ひとつは、トリウムの放射能を発見したのがドイツのSchmidtだったからであろう。が、それ以上に経済が絡んでいる。

5 ラジウムの独占的供給と価格

ラジウムはウラン鉱石に含まれているが、その含有量はきわめて少く、一番豊富な鉱石といわれるJoachimsthalのピッチブレンドでさえ、酸化ウラン

4tonにつき約1gのラジウムが含まれているにすぎない。しかもラジウム精製は、1902年以後1914年まで、Armet de Lisle社の独占であった。

そうした状況のなかで、がん治療でのラジウムの有用性ははっきりしてくると、値段はずんずん上がる。ラジウム1gあたりの値段をみると、1902年3,000、1904年18,600、1906年（4月）50,000、1906年（8月）70,000、1906年（12月）90,000、1911年120,000、1914年150,000(単位はアメリカ・ドル)と非常な勢いで高騰していった。そして、第1次世界大戦直前で1gあたり16万ドルにもなった。

現在の貨幣価値ではどのくらいか？当時アメリカは1ドル＝金1.5g強で金本位制を維持していた由であるから、それで計算すると1グラムのラジウムは金240kg以上にも相当する。これをもとに今日の日本円に換算すると、当時の16万ドルは、金1g1500円として3億6000万円である。1998年現在、金は安い、何年か前の1g6000円もした時代の換算では、15億円近くにもなる。

このようなラジウムの独占、価格の高騰が生み出した当時の状況は、ドイツ婦人科学会雑誌15巻（1914）384頁の「（ドイツ婦人科学会）会議の続き、1913年5月16日（金）、9時」に生々しく記されている。

座長：みなさん、それでは午前の会議を開会します。放射線療法に関する報告を行います。テーマが新しいので、報告には時間を多少長めに割り当てたいところですが、プログラムに名の出ているこの分野の指導的な諸氏は、10分を過ぎたらカテーテルを外してもいいと言いました（笑）。そこで、それ以外の方々もこの良き例にならって、10分以内で報告するようお願いいたします。

まず、皆さんにお願いがあります。この会場にどういふ人がいるか分かりませんが、出席者は会議の内容を政治新聞には漏らさないようお願いいたします（歓声）。我々はこれを学会誌に掲載します。我々の目的は薬剤の価格を吊り上げたり、我々のうちの誰かさんのために宣伝を行ったりすることではありません。学問を進歩させることです（歓声）。Doederlein氏の要請により、放射能協会の代表者に、メソトリウムがどこで入手できるのか、またことによったらその値段も教えてくれるようお願いしました。これでかなりはっきりすると思います。（この後に前述のBummらの報告が続いている）

なお、RoentgenがX線の特許を取らなかったことが強調されるのは、こうしたラジウムの独占と関係がある。

6 「ラジウムの家」

それから1年あまり後の1914年7月28日、第1次世界大戦が始まる。ドイツもフランスも戦場となって1917年までつづいたこの戦争の間、ラジウム治療をしっかりと育てたのは、戦争に加わらなかったスエーデンである。

1910年20mgのラジウムで治療をはじめていたストックホルムの「ラジウムの家」(Radiumhemmet)では、1913年末さらに73mgのラジウムを購入して本格的なラジウム治療を開始する。この治療法は、後に、強線短時間照射と呼ばれるようになるが、3mmPbという極端に厚い濾過を施したラジウムを比較的大量を用いる方法である。

多少専門的になるが、後のフランスの話の参考に少し詳しくいうと次のようなものである。子宮内に40.1mg、膈内に70mgのラジウムを挿入し、1回に22時間照射する。この照射は3回行ない、第1回目と第2回目の間隔は1週間、2回目と3回目の間隔は3週間で、全治療は4週間で終了する。

この方法で治療した「ラジウムの家」の5年治療成績は、1918年までの症例で20%以上という非常に好成績であったという。このためスエーデンでは手術よりラジウムの方が優れていると認められ、1920年ごろには主だった婦人科医は子宮がんの手術を行わなくなったという。

第1次世界大戦をチャンスに子宮がんのラジウム治療で世界をリードしたスエーデンは、その時培った技術・組織を基礎に、その後も放射線医学のいろいろな分野で世界に誇る業績を次々と生み続けている。

7 X線からの挑戦

第1次世界大戦後のドイツは、全く違った方向から子宮がんに挑戦した。従来は皮膚疾患など体表面の病巣しか対象にできなかったX線で、子宮のように深部にある臓器のがんを治療しようというのである。

X線のそうした使い方はその頃からTiefen Therapie(深部治療)と呼ばれるが、その背景には1910年代後半の技術的な発展がある。

その主な一つは、熱陰極型X線管が実用化され、それまでのX線管つまりガス管球に比べ、透過性の良いX線が出せるようになったことである。ガス管球のX線エネルギーが10kVp以下だったと推定されているのに対し、熱陰極型X線管では当時でも160-180kVpくらいは出せたからである。

もう一点は、放射線治療を線量という観点から考えようとする時代に入ったことである。現在、放射線の線量単位の根底にあるのは電離作用である。電

離作用を利用した線量単位は1908年Villardが提案し、1914年にはSzilard, Christenらが電離槽型の線量計を作っているが、測定器自体から多量の二次線を発生して上手く行かなかった。電離槽型線量計が完成したのは1923年(Duane)、国際単位が成立するのが1928年である。

1920年発行の「X線深部治療に関する我々の方法とその成果」と題するErlangenn大学のSeitzらの分厚い論文は、かなりな部分を線量測定に関する事柄に費やされているが、子宮がんの治療に関し彼らが誇らかに「我々の方法」というのは次のような内容のものであった。

彼らはまず「殺がん」に必要な線量を求める。この線量は、まだR単位が確立されていない時期であったので、皮膚障害の出る線量を単位にとってこれを100%とし、その相対値で表わしている。子宮がんに関していえば「殺がん線量」は90~120%であるとされた。また子宮がん照射のさい照射野に入って障害を起こすおそれのあるものとして腸、筋肉などが考慮され、それらの組織に障害の起こるのは腸で135%(線量)、筋で180%(線量)とされていた。

これらのデータをもとに腸障害、筋障害を起こさずに腫瘍部に「殺がん線量」を投入できるように彼らは等線量図を用いて照射計画を立てその結果に従って多門照射を行なった。また照射は「短時間に一気に全量を」がモットーで、全量を1回に照射した。この治療法は、しかし、結果は惨めであった。放射線宿酔や腸穿孔など、はなはだしい副作用が続出したのである。

失敗の原因は、当時の批判では次に述べるフランスの弱線長時間照射の成功と対比されて、「短時間に一気に全量を」の方針が間違っていたからだと言われた。しかし今日の目で見直せばそれは違う。線量分布を考慮したとはいうものの、側方散乱などを含めた線量分布の全貌がよく分かっていなかったことと、線量と障害に関するデータが不足していたことが致命傷となったものである。

この治療法は、結果は失敗だったとはいえ、現代放射線治療学の基本を確立したものとして高く評価すべきものを含んでいる。それは、あらかじめ必要な線量を予測して、その必要量を等線量図などを利用して必要部分に照射するという現代放射線治療の根本原理である。

8 放射線生物学と弱線長時間照射

第1次世界大戦後のフランスは、再びラジウム治療に取り組んだ。その中心になったのはもちろん、Regaudが率いるパリのラジウム研究所である。この研究所は、戦後いち早く子宮がんの治療は全例ラジ

ウムでという原則を立てた。しかし、数年の間は治療法も一定せず、パツとせずに過ぎた。それが目覚ましく変貌するのは、1922年Regaudが行った次の実験によってである。

Regaudはがんに対するラジウム治療の効果をみるのにヒツジの辜丸を用いた。分裂の盛んな精細胞をがんに見立て、分裂しない間質を正常細胞に見立てて、正常細胞を痛めずにがんを死滅させられる条件を探そうというのである。

彼は、強い放射能（15単位）を持ったラジウム針を短時間（5.5時間）刺しておいたものと、弱い放射能（4.6単位）を長時間（28日間）刺しておいたものとを比較した。すると、短時間強照射では針周囲の組織が壊死になっていたにもかかわらず少し離れた部分は間質も精細胞もほぼ正常であったのに対し、長時間弱照射を行なった方は大きな壊死を作らず、間質の障害もなしに、精細胞だけが選択的に死滅していた。がんの治療には長時間弱照射の方が良いという結論である。

Regaudの実験結果を具体化した治療法は、比較的小さい量（70mg）のラジウムを用いて5日間連続的に照射する（1日1回清式のために短時間取り出すだけで、ラジウムを入れたまま置いておく）か、あるいはさらに弱く40mgのラジウムで10日間連続照射するというものである。これはストックホルムの「ラジウムの家」の方法と対比されて弱線長時間照射法と呼ばれた。

ラジウム研究所での放射線治療成績と、当時パリで手術の優位を主張してWertheimの根治手術を行っていたFaureの治療成績の比較はRegaudの古典的な論文に見えて興味深い。

放射線治療 (Regaud)

	症例数	5年治療	治療率%	致死率%
合計	380	124	32	2
病気	29	23	79	
	121	50	41	
	179	50	27	
	51	1	2	

根治手術 (Faure)

	症例数	5年治療	治療率%	致死率%
合計	90	30	33	19
病気	54	22	40	7
	36	8	22	36

その結果は、5年治療率で言っても、適用範囲の広さから言っても、致死率の低さから言っても圧倒的にラジウム治療の方が優れていることを示していた。

9 高貴なラジウム

子宮がんの治療で手術を圧倒し、X線を問題にもしなかったラジウムは、その希少性といい、価格といい、高貴さの象徴であった。

希少性は、1913年当時、世界中のラジウム全部をかき集めても30g程度であったというから、抜群であった。価格は、第1次世界大戦後、フランスの独占が崩れて次第に下落したが、それでもなかなかのものであった。

第1次世界大戦が終わると、ピッチブレンデと並んで有力なラジウム鉱であったカルノタイトの産地アメリカでも精製がはじまり、それに伴ってラジウムの値段も1920年頃には1gあたり12万ドルになっている。さらに、第1次世界大戦中ベルギー領コンゴで発見されたラジウム鉱はきわめて品位が高く、この鉱石からのラジウム精製が1922年に開始されると、ラジウムの値段は1gあたり7万ドルと大幅に下った。さらに1930年カナダで新鉱山が発見されると値段はさらに2万ドル/g程度にまで下っている。

とはいえ、ラジウムの高貴さはまだまだ光を失わなかった。たとえば日本では昭和9（1934）年、癌研が5グラムのラジウムを三井から寄贈され、大変な話題になった。このときの値段は100万円であったという。

経済史をみると、この時代は世界中が不況のまっただ中。日本はといえば、長らく1ドル2円くらいの為替相場であったものが、この前年の昭和8年は円安が激しく進行して1ドル5円程度になったという。アメリカ自体も1933年には金融恐慌が起こって、金の輸出禁止とドルの平価切り下げを行なっている。

こうした不況の中でラジウムが、がんの治療のためとはいえ華々しく寄贈されたのは、当時の人にとってラジウムが、またとない高貴の象徴、善の象徴であったためであろう。

10 ラジウム爆弾

がん治療でラジウムはX線に勝った。その理由の一つは、透過力の違いにありそうであった。当時の深部治療X線とラジウムの γ 線を較べると、透過力はラジウムの方が断然強かったのである。その上、がんを治す力もラジウムの方が強いのではないかという期待もあった。

そうしたことから、ラジウムをX線と同じように使う、つまり、ラジウムを体外やや離れた位置に置き、そこから体内のがん病巣目がけてラジウムからの γ 線を照射する方法も試みられた。この方法は、遠隔大量照射ともいわれることがあるが、それは、がん病巣に照射できる線量は、ラジウムの位置を体から遠く離せば離すほど、皮膚表面との比率の点で

は有利になるが、病巣に当たる絶対量は少しずつ少なくなるので、大量のラジウムが必要になるからである。

この贅沢な装置はラジウム爆弾と呼ばれ、1923年スエーデンのRadiumhemmetに設置されたのを手はじめに、アメリカ、ベルギー、フランスなどに設置された。しかし何せ高価なラジウムのことである、多くは数グラムのラジウムを詰めていたにすぎない。

そうした中で1930年、ニューヨークのRoosevelt病院に設置された装置は50gという大量のラジウムを用いていて、アメリカの富を世界に誇示していた。とはいえ、これらの装置は依然ラジウムの絶対量不足から「遠隔」と言えるほど遠くから照射することが出来ず、その結果として皮膚と深部がんの線量の比率もあまり高くできなかった。(この辺の事情は、後のコバルト遠隔大量照射装置が3000Ciほどを標準装備していたことを考え合わせるとよく分かる。なお、ラジウム50gは50Ciである)。

11 X線治療への影響

ラジウム治療における弱線長時間照射の成功は、X線治療にも大きな影響を与えた。X線はラジウムと違って、何日間も連続して照射することは出来ない。それでも1920年代のラジウム研究所では、X線治療もラジウム治療に見習ってできるだけ弱線長時間照射の原則に合うように行なわれ、低い線量率で1回1時間ずつ1日に2回、総計25～35時間の照射を20日以内に完了させるよう心がけられていた。とはいえ、いろいろな都合で照射期間が延びたものが多数があったというのは実務上当然のことではある。

そうした方針で行われたこの研究所での1920年から1926年の間のX線治療症例(扁桃、下咽頭、喉頭などのがん)を分析したCoutard(1932)は、その後の放射線治療に甚大な影響を与えた事実を発見した。それは、

- 1) 前述の方針で行った治療は当時としては極めて優れた治療成績であったこと。
- 2) 治療に必要な線量は65Hないし80H(HはHolzknechtの単位)であったこと、および、
- 3) 治療期間は扁桃がんで30～40日、下咽頭で24日ないし31日、喉頭で15日ないし21日のグループの中に治療例が最も多かったこと。

Coutard自身はこの治療法に特に自分の名をつけて呼んだわけではないが、Coutardのすぐれた治療成績に注目してパリを訪れた人々は、彼の方法の特長が1) 数週間以上もの長期にわたって(遷延、protrahiert, protracted)、2) 毎日少線量ずつ投入す

る(分割、fraktioniert, fractional)ところにあるとし、彼の名を冠せてCoutardの遷延分割照射法と呼んだ。

遷延分割照射法はその後世界中に普及して実質的にX線治療成績を向上させた。現在、X線治療といえ一日2Gyづつ毎日照射するのが普通であるが、その源はこの遷延分割照射法にある。

12 ラジウム治療とX線治療の統一

前述のようにラジウム治療は、何ミリグラムのラジウムを何時間使うか、という形で行われていたが、1920年代の終わり頃、X線の単位がRで表わされるようになって以来、ラジウム治療のさいの線量もR単位で把握しようとする努力が開始された。これには問題が二つあった。単位量のラジウムから放射される γ 線をR単位で計るにはどうするか?もう一つはラジウム線源の配置によって、病巣に当たる線量がどうなるか?である。

ラジウムからの γ 線をR単位で測ることはそうたやすいことではなかった。当時の200kV級のX線用に作られていた標準電離槽で測ると、1mgのラジウムが1cm離れた位置で1hrに出す放射線の量は測定者によって、また場合によって2から8Rというひどくばらばらな測定値を示したからである。その原因はラジウムからの γ 線が200kV級のX線とは比較にならないほど強い透過性の二次電子を生じるため、二次電子全部を測定器で捕えることができず、測定器によって捕捉率が変るところにあった。

国際放射線単位・測定委員会(ICRU)では1931年からはじめて γ 線のR表示の問題をとり上げ、1934年には以上の困難性を克服するめどもついてこの方法が有望であると報告している。そしてついに1937年にはRの定義を手直しして、ラジウムからの γ 線の単位としても使うことに決定した。

この結果、単位量のラジウムから放射される γ 線の量が、単位距離離れた位置で単位時間に何Rに相当するかは、さし当り決定を迫られた問題となった。この値の決定にはFaillaら(1937)、Friedrich(1938)ら大勢の人が努力し、二次電子を全部捕捉して定義にのっとった測定を行なうために特大の実験室を求めて苦労した。特にFriedrichは100mx50mx20mという大きなホールを使用してはじめて満足の行く結果をえている。

これらの測定の結果、1mgのラジウムの点線源に0.5mm厚さのプラチナをフィルターとして付けた条件で、1cm離れた位置の1hrあたりの線量は8.4Rということで大方の同意がえられた。(この値は長い間ラジウム治療のさいの線量計算の基準とされていたが、1956年の測定で $8.26 \pm 0.05R$ とされ、その後、実用的にはとりあえず8.25Rという概数が使われてい

る)。

線源の配置の問題に系統的に取り組んだのは、イギリスManchesterのHolt Radium Instituteで、1933年にはPaterson & Parkerが貼布治療の場合の、また1938年には組織内刺入照射の場合の体系を発表している。

しかし、子宮頸がん治療の場合は、照射を要する範囲もしたがってラジウムの配列法もこれらとは全く違うので、別種の取り扱い法を考案せねばならなかった。

ラジウム腔内照射の場合の女性骨盤内の線量分布をR単位で測定した報告としては、New YorkのMemorial病院のArneson (1936) のものが早い、Holt Radium Instituteでの同種の研究は、1938年Tod & Meredithにより、いわゆるManchester法と呼ばれる治療体系となった。

Manchester法には三つの特色がある。第一は線量を規定するためにAおよびBの2点を一種の作業仮説として定義したことである。A点は子宮の中心腔から側方へ2cmかつ膣穹隆部から子宮軸方向へ2cmの点、B点はA点の高さで中心部から5cm側方の点であるが、その医学的な意味合いは、A点は正常組織の耐容線量の鍵を握る場所であるparacervical triangle、B点は子宮頸部からのリンパ系路の第1次リンパ節で転移の好発する閉鎖筋リンパ節の位置を代表するものとされる。第二は腔に挿入する器具の形をラジウム管の周りの等線量曲線の形に合わせたこと(卵形になったのでOvoidと呼ばれた)、第三はA点の線量率が大体一定になるよう子宮腔内管やOvoidの組合せを種々作り、実用上線量計算を簡単にしたことである。

ラジウム治療のさいの線量がR単位で表現できるようになると、ラジウム治療の及ばない点が定量的に明らかになる。

Holt Radium Instituteでの子宮頸がんラジウム治療は線量はA点での線量がparacervical triangleの最大耐容線量と考えられる7,200Rとなるように調節された。その際のB点の線量は、もちろん腔の伸展度その他個人差が大きい、平均的には2,400Rと計算された。つまり、B点の線量は扁平上皮がんに対する“殺がん線量”にはるかに足りないのである。したがって閉鎖筋リンパ節に転移のある症例まで治そうとすると、X線の外部照射で線量不足分を補う必要がある。

しかしながら、当時の深部治療X線は、この役割を果たすにはまだ透過力不足であった。皮肉なことにこの役割を立派に果たしたのは、ラジウムを没落へ追いやった主役であるコバルト-60であり、また、その後続いて登場したりニアアクセラレーターである。

13 黒い影

高貴なるもの、ラジウムに一般の人が悪の臭いをかぎつけるのは、1920年代半ばからである。

1924年3月24日、ハーバード大学公衆衛生学部のW.B.Castleは、ニュージャージー州のある工場の社長から1通の手紙を受け取った。工場で働く女性の間で顎腐れ(jaw rot)と呼ばれるきわめて治癒しにくい顎の骨の病気が発生しており、ニュージャージー州の州法による補償問題ともからんでいるので調査してほしいというものである。

Castleの調査結果は、1925年「Journal of Industrial Hygiene」に発表された。この工場は夜光時計の文字板を作る工場、螢光塗料のなかに少量のラジウムを混ぜて夜光塗料とし、若い女性工員に文字盤に塗らせていたのである。論文は、障害発生の原因としてラジウムの外部照射と内部照射とを指摘しており、対策の1つとして線量推定のために歯科用フィルムの携行を勧告している。

同様の工場はニュージャージー州、イリノイ州、コネチカット州などにもあり、1930年頃までには、U.S.Department of Labor (1929) などの調査が全アメリカにわたって行なわれ、これらの障害がラジウムの内部照射によるものであることも明確になる。これらの工場では文字板に夜光塗料を塗るのに小さい筆を用い、筆の穂先をそろえるのに唇でしめらすがふつうであったところから、筆先についた極微量が毎日少量ずつ嚥下されたものである。

1930年以後はラジウムが新たに蓄積されることは食い止められたが、それまでに体内にラジウムを蓄積してしまっていた人たちの間にその後も長く骨肉腫による死亡が頻発し、ラジウムに悪の臭いを染み込ませてしまった。

また1930年頃には、ラジウムの聖地、Curie研究所でさえ、放射線障害の発生が報告されるに至る。

14 没落のはじまり

ラジウムの凋落は、豊かさの象徴であったラジウム爆弾から始まる。その兆候はすでに、1930年代の各種の加速器の発展にみられる。加速器で発生できるX線の強度とエネルギーが次第に高くなり、ついにはラジウムを追い抜いてしまうからである。

ラジウムからの放射線の平均エネルギー0.8MeVであるが、1936年には、Cockcroft-Waltonの装置が、ロンドンのSt. Bartholomew病院に設置され、1MeVで治療を開始した。

1937年3月1日、ボストンのHuntington Memorial病院で患者の治療を開始したものはVan de Graaffの装置である。この装置はその後、2MV程度で運転される放射線治療専用装置として普及した。

1930年代はまた、現在のX線治療装置の王者、リニヤ・アクセラレータが実現された時代でもある。その上「ラジウムはX線よりがんを治す力が強いのではないか」という期待も、この時代の放射線生物学の発展の結果、夢に過ぎなかったことが明らかになった。

15 最後の日々

ラジウムに止めを刺したのは、1945年以降アメリカの軍事機密から解禁された原子炉による人工放射性物質の大量生産である。

1945年にコバルト-60の γ 線のエネルギーが1.1 MeVおよび1.3MeVであることが報告されると、これに注目したCambridge大学放射線治療学教授Mitchelは、1946年、次のように述べている。“ラジウムの代替物として今最も有望だと思われるものはコバルト-60である。コバルト-60からの放射線の平均エネルギーはふつうに濾過を施したラジウムからの放射線の平均エネルギー0.8MeVよりやや高く……放射線治療に用いるのに適当である…。カナダの原子炉は半年ごとに数百Ciの放射性コバルトを製造するのは容易であるし、その比放射能もlgあたり1Ci程度のもはえられるにちがいない”と。

人工放射性物質を利用したはじめての遠隔照射装置はイリジウム-192を利用したもので、1950年ケン

ブリッジ大学病院に設置された。

コバルト-60装置（テレコバルト）が作られたのはその1年後の1951年である。1951年7月、カナダのChalk Riverの原子炉から出荷されたコバルト-60の線源2個は、Saskatoon大学病院とOntario州LondonのVictoria病院に運ばれて、世界最初のコバルト-60遠隔大量照射装置（テレコバルト）となったが、その放射能はそれぞれ1,000Ciであった。ラジウム1,000グラム相当である。1898年から1950年の間に人類が生産したラジウムは全量でも1500gにしか過ぎないというから、ラジウム爆弾が吹っ飛んでしまったのも尤もなことである。

そのテレコバルトでさえ、現在は電子リニアアクセラレーターなどの加速器に押されて見る影もない。密封小線源としてのラジウムは、コバルト-60、セシウム-137等に徐々に圧迫されはしたが、やや長生きした。それでも1981年には国際放射線防護委員会ICRPまでが、ラジウムを止めてセシウムやイリジウム線源を利用するよう勧めるに至って命運を絶たれた。ラジウム線源が粉末である上に放射性ガス（ラドン）を発生するので環境汚染の可能性が大きいとして警戒されたのである。また、 α 放出体であることが危険だとして嫌われたのである。

ICRPにまで袖にされたラジウムは、現在では少なからざる金額の引き取り料を支払って処分してもらう厄介者になり果てている。



マンモグラフィ専用CADの近未来

難波 清※

はじめに

私のCAD経験は浅いがCADに対する理解と期待は人一倍持ち合わせているつもりだ。私が本格的に体験したCAD装置は本院に実験導入された

ImageChecker（世界初のマンモグラフィ専用の実用CAD装置、米R2 Technology社）とシカゴ大学の土井邦雄先生の研究グループが開発したInteractive CAD Systemの2つである。今回、それらの使用体験をもとに乳腺の外科病理を基礎に乳癌の画像診断を厳しく探究し実践している私が、CADの近未来に対しどのような思いを抱いているのかを記してみた。

私のCAD体験

当院に実用型としては世界初のCADであるImageCheckerのアジアでの第1号機が設置されたのは1998年8月であった。そして当院の中原浩医師（放射線科）により、日本人女性の非触知乳癌のマンモグラフィによるCAD評価が行われた。この結果は彼の論文（Nakahara H, Namba K, et al. Computer-Aided Diagnosis(CAD) for Mammography: Preliminary Results. Breast Cancer,5(4):401-405,1998.）を参照されたい。現在は、当院が独自に行っているマンモグラフィと超音波の併用検診（視触診なし）での検討を行っている。薬事審議会の認可がおりれば、実際臨床での使用も考えている。ImageCheckerの私の使用経験についての詳細は、CADM News Letter, No.25,4-9,1999.1の“マンモグラフィ専用CAD ImageChecker TM (R2 Technology,Inc.) の使用経験を通して”を参照されたい。

私にとってのCADのもう一つの大きな体験は、1998年のRSNAでのシカゴ大学土井先生の研究グループにより示説展示されたInteractive CAD Systemである。この経験で私は初めてCADと対話ができたという実感を持つことが出来た。日本の多くの臨床家にこのシステムを体感してもらいたいという思いから土井先生に無理矢理お願いをして、本年2月に私が当番世話人を担当した第8回日本乳癌画像研究会（宮崎）に特別展示して頂いた。CADは一般のコンピュータ同様に、使ってみなければただのモニター

付きの箱にしか見えない訳だが、今回1日で80人以上の方がCADを体感しCADと対話できたことは、今後の我が国でのCADの普及や発展の段階で効果を発揮するものと信じている。

CADの近未来

1. 病変の検出

マンモグラフィで病変を検出する作業は大きく2つに分けられる。1つ有意な微細石灰化を見つける作業であり、もう一つはspiculaや腫瘤などの病変を検出する作業である。前者は白い雲の中からルーペでしか見えてこないような小さな白い点々の集合を見つける作業であり、目と上肢、肩の筋肉や神経に極度の疲労を課す単純労働に近い。後者は、白い雲の中からさらに浮き上がってくる白い雲、放射状に広がる刺状の白い線、さらに左右を比較して気付く対称性からの逸脱などを検出する作業で、かなり高度な知的観察作業である。我々知的専門的技能集団としては、前者のような有意な微細石灰化を検出する作業はできれば避けて通りたい作業であり、後者の微妙な変化を検出するような作業に対してはファイトを燃やしたい作業であろう。そこで、便利なコンピュータ君に前者の作業を正確に代行してもらうことが、最も利口で有益なソリューションと思われる。この作業は特にマンパワーの枯渇した我が国でのマンモグラフィ検診で必要不可欠なものと思われる。

すでに現時楯点で微細石灰化病変の検出に関しては実用上問題の無いImageCheckerを検診に導入した場合を想定してみよう。夜間の内にセットされたマンモグラフィ・フィルムをImageCheckerがデジタル化し、演算上で有意な微細石灰化を有するフィルムを検出し、その結果をイメージ化し、プリントアウトしておく。読影医はルーペを持つことなく、微細石灰化病変以外の有意な病変を検出する作業をImageChecker上で行う。その際、もちろん現在のImageCheckerの持つspiculaを有する腫瘤陰影の検出機能も用いて検診精度を向上させる。微細石灰化については、ImageCheckerが検出したフィルムだけを

評価する。そうすることで、少なくとも肉体的、精神的負荷や読影時間は大きく軽減されるし、知的専門的スキルを生かす作業にフルに集中できるようになり、精度も向上することは明白であろう。さらに、超音波検査を併用すれば、微細石灰化以外の病変についてはマンモグラフィに比べ超音波検査では容易に確実に検出されるので、マンモグラフィは微細石灰化の検出目的のみに用いることができる。マンモグラフィを微細石灰化検出装置としてのみ利用するのは少々勿体無いようにも思えるが、質の高いマンモグラフィ読影医の大きな不足や超音波でしか検出されない微小腫瘍が存在することを考慮すれば、柔軟に頭を切り換えることも重要ではないかと思われる。ひと、もの、金、時間、情報をすべて考慮すると、コスト・パフォーマンスも超音波併用検診（触診なし）の方が優位なはずである。

2. 病変の賢良悪性の鑑別診断

現在のImageCheckerは微細石灰化とspiculaを伴う腫瘍像を検出する機能のみを有しており、良悪性の鑑別診断には貢献していない。ImageCheckerはあくまでも病変を見落とさないためのセカンドリーダーとして機能しているのである。CADの良悪性の鑑別診断への応用ということになると、シカゴ大学の土井邦雄先生のグループのInteractive CAD Systemにその可能性を見出すことができる。Interactive CAD Systemは、CADが腫瘍や微細石灰化病変について悪性である確率をパーセントで表すことで病変の良悪性の鑑別診断をするというものである。米国の放射線科専門医は腫瘍陰影に関しては高い精度で診断していたが、微細石灰化病変についてはおよそ半数程

度しか正しく診断できていなかった。微細石灰化病変は殆どのケースが集簇する分泌型の良悪性の判断が微妙で困難なものばかりであった。余談になるが、この結果についての私なりの解釈は、米国の検診が視触診とマンモグラフィ、またはマンモグラフィのみで行われているため、マンモグラフィにおけるsensitivityが微細石灰化に劣る腫瘍性病変はやや大きめのものが多くなり、逆に微細石灰化は極めて早期のものになる傾向がみられたためではないかと考えている。CADの効果については、日米共に殆どの医師でROC curveのステップアップがみられており、CADが診断に充分貢献していることが示唆されていた。

このように診断レベルになるとCADはもはや医師のセカンドリーダーというより診断の助言者（アドバイザー）という役割を果たすようになる。やがては、マンモグラフィのCADはコンピュータ支援診断（Computer-aided diagnosis）からコンピュータ自動診断（Computer-automated diagnosis）に変遷するであろう。そして、マンモグラファーの業務や役割も大きく様変わりしていくであろう。

おわりに

CADの使用経験をもとに、検出と診断レベルでのCADの応用と近未来について私的所見を記した。今後画像診断に携わる者は、CADがもたらすであろう大きな利益を冷静に読み取り、過去に囚われない新しい柔軟な発想を持って診断学を開拓していくべきである。また、自分達の進歩の遅れがCADの発展を妨げる結果にならぬよう、そしてCADを開発する側もそうならないよう留意していくことが肝要であると考えている。





1999.2.27 (土) 第8回日本乳癌画像研究会

interacitve CADデモ展示風景

R2 Technology社 ImageChecker M1000 System

Breastopia 98



単純な系についても、ヒトの見る目はさまざま

今村恵子*

本ニューズレターの「技術交流の輪」では、MとEの間で交互に画像認識についての意見が交換されてきた。ここで紹介するのはごく単純な系の構造の認識である。複雑な系を対象にしてキャッチボール的に続いてきた交流が、ここにきてボールを落としたような感じもするかも知れないが、ヒトの見方はさまざまなものだ、という筆者の感慨を伝えたい。

ご存じのように、マンモグラフィの精度管理項目のひとつに画質評価がある。それには一定のファントムを撮影することがすすめられている¹⁾。例えば、RMI 156型ファントムには、線維、微細石灰化(1つの群は6つの石灰化小片から成る)、腫瘤について、それぞれ5~6段階のサイズの物質が内蔵されている(図1)。精度管理のマニュアルでは、画質は視覚的に評価され、内蔵物質の見え具合を3段階に分類し、1.0, 0.5, 0点というスコアをつける方法が多くとられている。線維が4点、石灰化群が3点、腫瘤が3点、合計して10点、以上であれば、画質は良好で、精度管理上は合格とされる。冗長になるが、分類の基準は多くのガイドライン等で次のおりである；

線維	全長が見える	→1.0点
	長さの半分が見える	→0.5点
	それ以下	→0点
石灰化	5~6個が見える	→1.0点
	3~4個が見える	→0.5点
	それ以下	→0点
腫瘤	円の辺縁全体が見える	→1.0点
	辺縁の半分が見える	→0.5点
	それ以下	→0点。

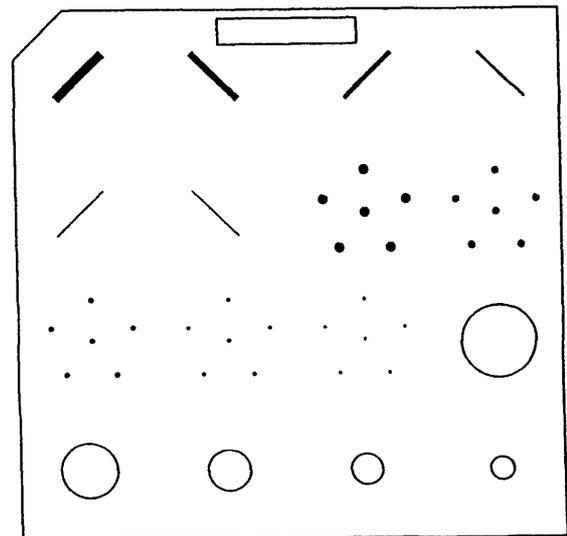


図1 ファントムの内蔵物質

ここで述べるのは9名の医師(外科医4名、放射科医5名)により行われた画質評価の一端である。RMI 156型ファントム画像42枚を9名が観察し、上記の基準に沿って分類し、スコアをつけた。評価を行った医師は9名とも乳腺疾患の診療にたづさわりの、マンモグラムの読影に8年以上の経験をもつ医師である。

スコアをつけた結果を図2, 3に示す。スコアの合計点の低下とともに、観察者間でスコアの差は拡大し、レンジ(スコアの最大値と最小値の差)は最大で4.5点であった。このことは、同じ画像でもスコアは10点から5.5点に分かれたことを意味する。

観察者間のバラツキは内蔵物質ごとに固有の傾向があり、線維では3本目、4本目、石灰化では3群目になると、観察者間のスコアのレンジが急に大きくなる。だが、腫瘤については図3に示すように2個目

*: 聖マリアンナ医科大学 放射線医学教室

☎216-8511 川崎市宮前区菅生2-16-1

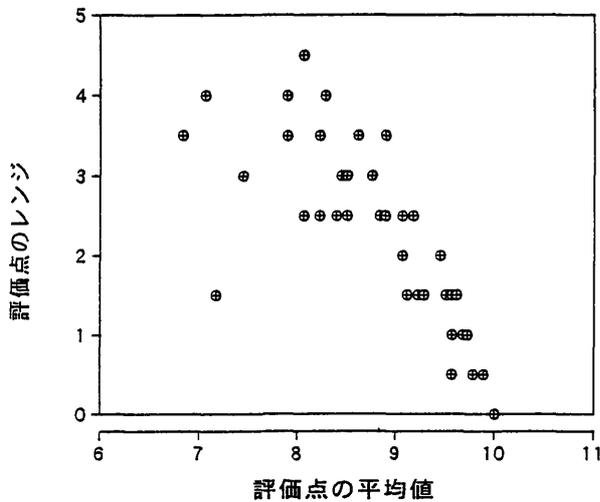


図2 合計スコアの平均値とレンジ

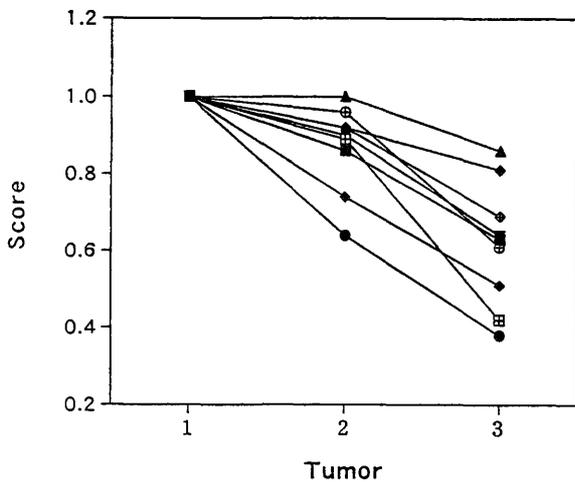


図3 腫瘍1~3に対する9名のスコア

から意見の食い違いが目立ってくる。見にくくなると意見の違いが大きくなるという、常識的なことであるが.....

本ニュースレター No. 23 (1998年5月) のこの欄において、秋貞雅祥先生は「『目で見てわかる』と云うことは感覚 (センセーション), 知覚 (パセプション), 認知 (コグニション) の三段階に分けられるという」²⁾。観察者間で見られた視覚評価のバラツキでは、

- a) どの過程がバラツキの主たる原因なのか?
- b) 訓練でどのくらい減らせるものなのか?

に関心がもたれる。

仮にマンモグラフィについて精度管理が厳格に適用され、ファントム画像の画質の合否がマンモグラ

フィ実施施設に適マークをつけられるかどうかを左右することになったら、画質を評価する観察者間のバラツキをどうするのだろうか? 幸いなことに (!?), 我が国では精度管理の実施自体が裁量にまかされているのが現状である。

だが、そのような状態は肯定できるものではなく、われわれは、内蔵物質の描出度をデジタル的に評価し^{3, 4)}、精度管理のための画質評価の客観性を高めるべく努力している。デジタル評価を前述した視覚的な評価と比較したところ、画質が良好でしかも観察者の意見の違いが少ない領域を数値的に設定できる見通しをもっている⁵⁾。高度な論理を組み込んだCADとくらべ、至ってprimitiveな方法であるが、ヒトの目にかわって「画質をはかる」尺度になればと考えている。

文 献

1. 米国放射線専門医会. マンモグラフィ精度管理マニュアル. (日本医学放射線学会 放射線科専門医会訳)
2. 秋貞雅祥. 人間の見方と機械の見方. CADM News Letter 1998; No. 23:10-14.
3. 今村恵子ら. マンモグラフィの精度管理のためのファントム画像データベース-第1報: 画像データベース構築と画像処理を利用した画質評価. 日本乳癌検診学会誌 1997; 6: 271-279.
4. Imamura K, et al. Quantitative evaluation of phantom images for mammography quality control. CAR '98 (eds. Lemke HU, et al), Elsevier Science, 1998; 15-20.
5. 今村恵子ら. マンモグラフィの精度管理のためのファントム画像データベース-第3報: デジタル評価と視覚評価. 日本乳癌検診学会誌 1999; 8: 63-70.



超音波組織弾性イメージングとCAD

椎名 毅*

1. 乳腺超音波とマンモグラフィ

超音波診断法は、体表走査では文字どおり頭の先から爪先まで、また経食道や経直腸などの体腔内走査、更に血管内エコー法で冠動脈にまで到達するなど、その適用部位の開拓精神は旺盛で、今や肺などの一部を除きほぼ全身に及んでいる。

乳線領域においても、超音波診断はマンモグラフィとならんで不可欠な画像診断技術である。筆者もここ数年、乳腺超音波についての研究をしているが、今回は本学会の一員として、コンピュータ支援画像診断 (CAD) という観点から見詰め直してみたい。

超音波診断法が、今やCTやMRIと並んで医用画像診断法の柱となっているのは、超音波検査の利点である非侵襲性、簡便性、リアルタイム性に負うところが多いが、これに加え超音波画像が軟組織の描画性に優れている点あげられる。乳癌のもう一つの画像診断法であるマンモグラフィは微細なものも含めて石灰化病変を検出するのに適しているのに対し、超音波画像は特に腫瘤の大きさやひろがり把握するのに適していると言われている¹⁾。欧米と日本とではマンモグラフィと超音波診断の比率が異なるためか、学会発表などでしばしば両者の正診率の比較がなされているのを聴くにつけ、筆者はそれぞれ一方が他方を代用できるものでないことは明らかと思っていた。そんな中、今年のCADM大会のパネル討論会において難波先生は、「乳癌の検診における合理性や効率を考えた場合、腫瘤病変の検出のために超音波検査で両乳房をスキャンし、マンモグラフィは微細石灰化検出装置としてもちいるのが良い」と述べられていたが²⁾、これはまさに両者の画像情報の特質を捉えられた提案であり、筆者もこの考えに賛同したい。

さらに、このパネル討論会では、マンモグラフィのCADとして米国で商品化されたImage CheckerTMについて討論された。一次読影として用いるのか、医師の読影の補助として用いるかの議論があるが、ともかくもCADが商品化されたのはこの分野の進歩を実感する。翻って超音波画像診断のCADについて

考えるに、超音波画像は以下に述べる様な理由から医用画像の中でも最も自動診断化が難しい対象に属するのではないかと思われる。

2. 超音波画像診断とCAD

超音波に限らず医用画像診断は、2つの段階からなると考えられる。即ち、画像から必要な診断情報を抽出する段階と、それをもとに(必要に応じて他のモダリティによる診断情報と併せて)診断論理に従って推論し最も妥当と思われる診断を下す段階である。画像からどのような情報を抽出するかは、適用される診断論理によって変わる場合もあり、また、両者が互いにフィードバックしながら繰り返行なわれる場合も有りうるであろう。いづれにせよ、適確な推論を行なうには、画像から所望の診断情報を適切に抽出することが不可欠となる。

CADシステムの開発に際し、超音波画像の場合は、この情報抽出の段階において自動化を進める上での障壁が高いように思われる。すなわち、超音波画像 (Bモード像) は、以下のような要因で定量化が難しいからである。

- I) 計測される画像は、装置や計測条件、(さらに検査者の技量) に大きく依存する。
- II) 波動現象が顕著で、歪みやアーチファクトを生じ易い。
- III) 画像情報は、反射特性と減衰特性が混成したもので各ROIはより浅い部分の影響を受ける。

では、このような超音波画像のCADの開発方針はどうあるべきか。筆者は次の3つの方向が考えられるのではないかと思う。

- ① 医師と同様に、装置・計測条件の依存性を吸収して、画像からの診断情報抽出(と診断論理の実践)ができるような高度の人工知能的CADの開発。
- ② 医師が行なう診断プロセスとは必ずしも一致しないが、アーチファクトの影響や診断装置・計測条

*: 筑波大学 電子・情報工学系 〒305-8573 つくば市天王台1-1-1

件の依存性がより少なくなるような特徴量を抽出する。と同時に、それらの依存性を極力なくするための標準化を進める。

③診断に直結し、より定量性の高い、組織に固有な特徴量を表示する新しい超音波画像を作り出す。

まず、①についてであるが、超音波画像認識においては、医師は組織形態だけでなくテクスチャやアーチファクトからも診断情報を得ている。例えば、腫瘍の後方が高輝度であれば、その内容物の減衰は少ないと判断する、また動脈壁内の高輝度とその後方陰影から石灰化層の存在を診断するなど、アーチファクトをこれほど診断に利用する医用画像は他には無いのではないだろうか。

このようにアーチファクトも利用して診断情報を得るには、病理的、解剖的な知識だけでは不十分で、生体の超音波物性や、診断装置の特性に至るまでの幅広い知識が不可欠でその上に立っての超音波画像のケーススタディを積む必要がある。これは、人間の画像認識・理解のレベルに達しないとできないため、実現はもう少し先になるであろう、

②については、他の医用画像も含めて現在のCADの大部分はこの手法を取っている。例えば、最も基本的な情報は組織形態に関するもので、このため輪郭を抽出し、腫瘍の縦横比や、表面の整不整の程度を数値化するなどして比較的、装置・計測条件による依存性や画像歪みの影響を受け難い特徴量を抽出する。しかし、超音波の場合は画質が粗く、輪郭が不連続になりやすいため、腫瘍や、心内膜面の抽出のような形状がある程度特定できる場合は、比較的上手くいくが、まだ完全な自動化は難しい。また、乳癌の浸潤による不整な境界線を正確に抽出するのは更に難しいなどの問題がある。

このような中、乳腺超音波診断のCADについては、本誌でも(No.15、16)紹介されたように、長澤先生や久保田先生のグループが精力的に研究をすすめておられ^{3,4)}、また、最近では超音波でも一般化しつつある3次元計測を用いることで、輪郭抽出の精度を向上させる試みもなされている(本誌No.23)⁵⁾。

また、②の立場からは、装置特性の標準化の問題も重要である。超音波画像では装置(プローブの違いも含めて)により見え方が違うことは一般的である。これは、超音波と組織との相互作用が大きく、それが送信パルスやビーム形状の違いの影響を受け易いためである。さらに、医用超音波機器メーカーは画像を見やすくするため、強調などの後処理を、各社独自の手法を用いていることにもよる。専門医

は、画像を得る時は各自がその装置に応じて最も認識し易い条件設定をするが、画像認識においては、装置や設定に依存しない診断情報を抽出していることになる。その時、病理学的な知識の他に、装置の原理や、生体の超音波物性に関する知識を、意識・無意識を問わず活用している。先日も、神戸で乳腺超音波に関する学会があり、5MHzと10MHzのプローブによる乳腺腫瘍像を比較し、腫瘍内の組織像の見え方が非常に違う点について考察した発表があったが、今更ながら、超音波画像の装置依存性の大きさを実感させられた。大学病院で研修して、別の病院に移ったら診断装置が違っていて使えないので、大学病院と同じのを買ってもらったというのも、笑い話のようだが実際にありうる話である。

従って、超音波画像のCADを実現するには、装置依存性、計測条件の依存性をどう吸収するかが、大きな課題であり、その一つの方策として標準化が考えられる。つまり装置依存性をなくすには、共通の仕様を定めてそれに沿った製品を作る他はないように思われる。

この考えは、超音波画像のデータベース化の必要性とも関係ある。CAD技術開発と専門家の教育の両面から医用画像のデータベースは必要で、本学会でもマンモグラフィ、胃X線二重造影像、胸部X線のデータベースを製作し販売しているのは、周知のとおりである。このように、X線画像のデータベースの整備は着実に進んでいるのに対して、超音波画像についてはまだ実現していない。その必要性は、前々から指摘されてきたが、未だに汎用的なものは作られていない要因の一つに、先に述べたような事情がある。何らかの形で標準化を進め、ぜひ早期に超音波画像のデータベースを整備する必要性を感じる。

これまでの議論は、超音波画像としていわゆるBモード像を使うことを前提としていたが、③の方向は、医師もCADも適切な診断を行うには、元となる画像情報の質を高めることが、より効果的であるという観点に立っている。つまり、定量性の高い、組織に固有な診断情報を画像化した新しい超音波画像を作り出すことが近道だとする考えである。

エコーから組織に固有な特徴量を抽出し画像化する試みは、いわゆる組織性状診断(Tissue Characterization)の研究として、これまでに減衰係数、非線形パラメータ、IBなど各種の特徴量の計測と画像化が試みられてきた。これらの多くは、生のエコー信号つまり検波前のRF信号を記録し、それから特徴量を算出するため、エコーの包絡線検波を輝度表示しただけのBモード像よりも、複雑な処理が

必要でこれまでは実時間処理は難しかった。また、それぞれ定量性、空間分解能、測定の簡便さなどで改善すべき点があり、実時間で簡便というBモード像に取って代わりうるものはまだ現れていない。

3. 超音波組織弾性イメージング

乳腺領域では、画像診断の他に触診が重要であるが、これにより、組織の変形し易さとしての硬さの情報が得られる。実際、乳癌の多くは正常組織に比べて、硬さが増すため、触診により検知できる。この硬さの情報をエコーで抽出し、画像化できれば、癌の検出に有用なことは容易に予想される。筆者はこの言わば、超音波触診とよべる手法の開発について、筑波大学の植野先生とともに取り組んできた。さらに、これが実現できれば、定量的でより診断に直結した情報として、CADの適用も簡単になるのではないと思われる。

組織弾性分布の計測法は、各種の方法が提案されているが、多くは体表からほんの僅かの圧縮を加えて組織を変形させ、各部の変形率（歪み）をエコーにより計測する手法を取っている。硬い組織ほど、変形が少ないので、歪み分布像は組織の硬さ即ち弾性の違いを画像化したものと言える。歪み分布の計測法も各種考えられるが、筆者らは、超音波計測の利点を損ねないことを最優先に、実時間でかつ従来と同様に用手的プローブ操作で歪み像が得られる手法を開発した。詳細は文献(5)に譲るが、これまでにファントム実験により、Bモード像では捉えられなかった弾性の情報が画像化されることが確かめられた。さらに、図1に示すように、摘出した乳腺組織を用いた計測で有用性を検討した。図1の左は乳腺組織のBモード像で右下に約10mmの乳癌組織を含んでいるが、エコー源としての特性の差は小さいためコントラストははっきりしない。これに対し、中央は、提案した手法で画像化した、歪み分布像である。癌の部分は、硬く歪みが少ない部分として黒く鮮明に描出されているのがわかる。また、右の図は、さらに組織の弾性係数（ヤング率）の分布を推定した結果である。これは、硬い部分は白く表示されている。このように、組織弾性に関する情報の画像は、乳癌の画像診断法に有望と思われる。

4. おわりに

CTやMRIに比べ超音波画像（Bモード像）は画質や定量性の点で充分と言いがたいのは事実で、そのため、上記の議論では他の2つに比べて超音波画像はCADには向かないような印象を与えたきらいがある。しかし、最後に、超音波画像を弁護する意味で、私見を述べさせてもらおうと、超音波画像は、そ

の実時間性から時間軸も含めて認識すべきものであり、（CADの入力として）1枚の静止画だけで評価するのは正当に扱われたとは言えないのではないかなと思うのである。これは、心エコーのような動画を観察する場合はまさにそうであるが、乳腺の画像においても、検者はプローブを操作しながら1枚の最適な断層像を得るが、その画像を得る段階から既に、認識すなわち特徴の抽出処理は始まっていると思われる。これは、ある意味では頭で部分的な3次元像の構築をしているわけである。こう考えると、その画像を撮った検者以外は、1枚の超音波画像を見ただけでは、十分な診断ができないように思われるが、熟練者どうしであれば、自己の経験と解剖学的な知識をもとにその1枚の超音波画像からそれを捉えるときの状況が分かるはずで、問題はない。しかし、経験が浅いものは、理解が充分でない可能性もでてくる。後者の場合は、先の①のレベルに達してないCADシステムのようなものである。

このように考えると、超音波画像については、自分でプローブを持った経験のない者は、真の読影能力は身につかないが、CT像の場合は仮に撮影の経験がなくても読影の経験を積めば能力を向上させることは可能ということになるが、どうであろうか。このような点について専門の方のご意見を伺いたいところである。

実は、Bモード像も、振動子やビームフォーミングの技術向上などで10年前から比べれば驚くほど画質や空間分解能は向上しており、3次元計測も一般化しつつある。また、信号処理部も、エコー信号をRFレベルでA/D変換して、その後の処理はすべてデジタル処理で行なう方式に変わりつつある。これは、信号の送受信部以外は計算機であり、いわばCTと同じである。このため、計算機の技術向上に伴いかなり複雑な処理も実時間処理が可能になるはずで、しかも、ソフトを変えるだけで変更できる。こうなると、近い将来、Bモード像の画質向上と併せて、組織弾性像のように定量的な情報を実時間で表示することが可能になると予想される。そのとき、超音波画像によるCADもより現実的になるのではないだろうか。

【文献】

1)尾本きよか, 谷口信行, 伊東紘一. 乳腺腫瘍の三次元表示とその良悪性の判定, CADM News Letter 1998, No.23: 16-17.

2)難波清. マンモグラフィ専用CAD Image CheckerTM の使用経験を通して, CADM News Letter 1998, No.25 : 4-9.

3)久保田光博. 超音波診断とCAD, CADM News Letter 1996, No.15 : 2-5.

4)長澤 亨. 超音波乳房画像診断システムについて, CADM News Letter 1996, No.16, 5-6.

5)椎名毅, 新田尚隆, 植野映, J.C.Bamber. 複合自己相関法による実時間Tissue Elasticity Imaging, Journal of Medical Ultrasound, Vol.26, 1999, No.2: 1-10.

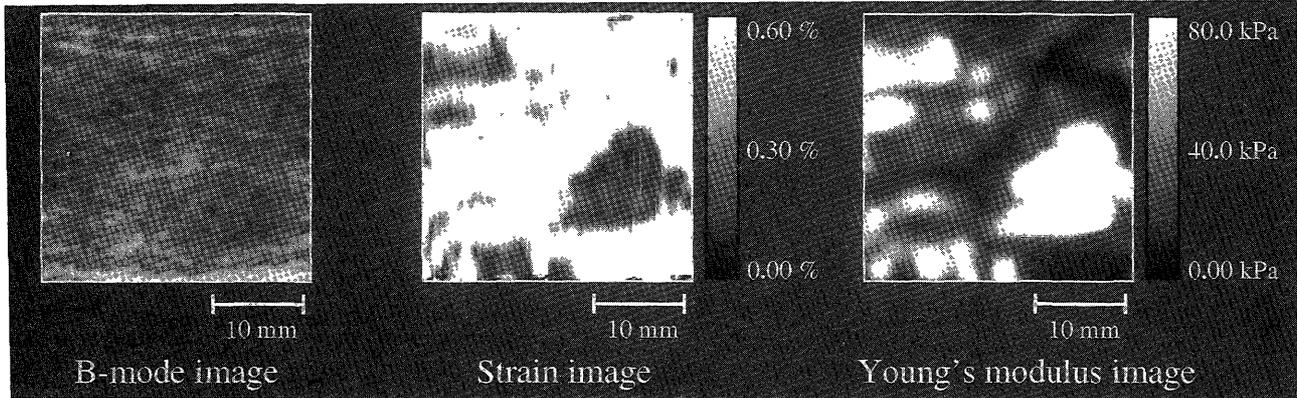


図1 超音波組織弾性イメージング
(左：乳癌のBモード像(3.75MHz)、中：歪み分布像、右：弾性係数分布像)





コンピュータ支援画像診断学会
第 9 回学術講演会論文募集

昨今のコンピュータ技術の進歩には目を見張るものがあります。また、コンピュータの進歩は画像診断機器や装置の開発を著しく進めてまいりました。一方、伝送に関する基盤整備も進み、**Teleradiology** (遠隔放射線診療) の医療への応用が可能となり、医療効果や経済効果に大きなインパクトを与えております。

このような社会的・技術的進歩を背景に、**CADM** 第 9 回学術講演会を従来の日本コンピュータ外科学会 (第 8 回大会) との合同開催のみならず、日本医学放射線学会の断層映像研究会 (第 28 回大会) とも共催で行なうことになりました。また、それぞれの学会、研究会の歴史を配慮しつつ将来への布石として、合同シンポジウムのテーマを以下の如く致しました。

三者による合同シンポジウムテーマを、「コンピュータが医療を変える - 次世代の映像診断から治療まで -」とし、**CADM** と断層映像研究会では、テーマを映像診断に絞り、「形態と機能の融合による次世代の映像診断と遠隔医療」と致しました。

21 世紀を迎えるに当たり、形態画像と機能画像を融合させ、時間的・空間的に表現した新しい画像診断法への展開をはかり、その臨床的応用を検討したいと考えております。尚、テーマに沿って特別講演、シンポジウム更に一般講演として口述並びに展示に依る研究発表に加えフィルムリーディングセッションやメーカーに依る機器展示も考慮致しました。

変革する 21 世紀の医療を市民の皆様にご理解頂くために、パネルや機器展示の一般公開も意義あるかと思っております。

一般講演論文として多数の会員からの応募をお待ちしております。講演会の概要および応募方法は以下の通りです。

— 記 —

テ ー マ : 次世代の画像診断—形態と機能との融合
21 世紀を迎えるにあたり、形態画像と機能画像とを融合させ、
空間的・時間的に表現する新しい画像診断法への展開をはかる。

日 時 : 平成11年11月4日(木)－6日(土)
午前9時から午後5時 30 分まで
会 場 : 京都グランビアホテル
〒600-8216 京都市下京区烏丸通塩小路下る東塩小路町 657
(JR 京都駅ビル内)
懇 親 会 : 平成11年11月5日(金) 午後6時 開宴
(場所:学会場内)

大 会 長 : 前田 知穂 (京都府立医科大学 放射線医学)

合同開催学会: 第 8 回 日本コンピュータ外科学会
共催開催学会: 第 28 回 日本医学放射線学会 断層映像研究会

原稿の書き方: 原稿は A4 サイズ用紙を使用し、和文または英文で記載して下さい。
枚数は 2 枚です。特別の原稿用紙を用意しませんので、以下のこと
をお守り下さい。(昨年の論文集をお持ちの方は、それを参考にして
下さい。)

送付された原稿をそのまま論文集としますので、黒を使用し、ワード
プロセッサにより作成して下さい。最初のページは、タイトル、著者
(講演者には○印)、所属、英文 **KeyWord** の順に記載し、200 語以
内の英文抄録を記載して下さい。英文抄録の後に、1 行空けて本文
を続けて下さい。本文は原則として 2 段組み、10 ポイント(14Q)とし、
上下に各 30mm、左右 25mm のマージンをとって下さい。

投稿方法 : 1) 上記原稿 (A4 版)
2) その原寸大コピー 2 部
3) 論文題目、著者、所属、連絡先を書いた用紙
1) ~ 3) をまとめて下記送付先までお送り下さい。

投稿期限 : 平成 11 年 7 月 30 日(金) 必着

<原稿送付先および問い合わせ先(Tel、Fax、を含む)>

〒602-8566

京都市上京区河原町通広小路上ル梶井町 465 番地

京都府立医科大学 放射線医学

前田 知穂、 紀ノ定 保臣

TEL. 075-251-5620 FAX. 075-251-5840

学会参加だより (MICCAI 98)

森 健策*

昨年のことになりますが、1998年10月11日～13日(チュートリアルも含めると10月10日～13日)にアメリカ合衆国マサチューセッツ州ケンブリッジのMIT(図1)で開かれたMedical Image Computing and Computer Assisted Intervention 98(略称MICCAI98)に参加する機会を得ましたので、ここに紹介させていただきます。

MICCAIは、ロボティクス、バーチャルリアリティ、コンピュータビジョン、画像処理、コンピュータグラフィックスの医用応用に関する国際会議で、今回が第1回目の開催となります。このMICCAIは、これまで別々に開催されていた国際会議VBC(Visualization on Biomedical Computing, 1990年・1992年・1994年・1996年に開催)、MRCAS(Medical Robotics and Computer Assisted Surgery, 1994年・1996年・1997年に開催)、CVRMed(Computer Vision, Virtual Reality and Robotics in Medicine, 1995年・1997年に開催)の3つを統合したものであり、統合後初めての会議となります。会議のCo-chairを東大の土肥健純先生、MITのEric Grimson先生、ハーバード大学のRon Kikinis先生が務められました。会場はMITキャンパス内の隣接する2つの建物Kresge Auditorium(口頭発表、展示、受付)(図2,3)、Stratton Student Center(ポスター発表)でした。

この会議の特徴は幅広い分野をカバーしているにもかかわらず、シングルセッションで行われる点にあります。ですから、参加者はどの会場に聴きに行くかをプログラムを見ながら気にすることなく参加することができます。3日間の会期の中に、口頭発表49件、ポスター84件の計133件の発表が行われました。今回は発表応募総数が243件と多かっただけに、選ばれた演題のすべてが密度の濃いものでした。会議でのトピック別に発表件数をまとめてみると表1のようになります。手術支援・シミュレーションシステム、ならびに画像の位置合わせに関する講演が多く、術中支援のための手法・マニピュレータなども多く発表されていました。特に画像の位置合わせは術中支援に重要な事項ですので、内容の濃いものでした。画像処理に関する発表も多く、セグメンテーションなどでは様々な手法が報告されていました。血管縫合トレーニングのためのフォースフィードバックを伴ったシステムについての紹介もあり、非常にインパクトのあるプレゼンテーションがなされていました。今後この会議の中で大きく取り上げられると予想される事項としては、軟組織の変形シミュレーションがあげられます。軟組織変形シミュレーションに関しては、会議前日のチュートリアルにおいても特別Workshopが設けられ、会議前に



図1 MIT前にて

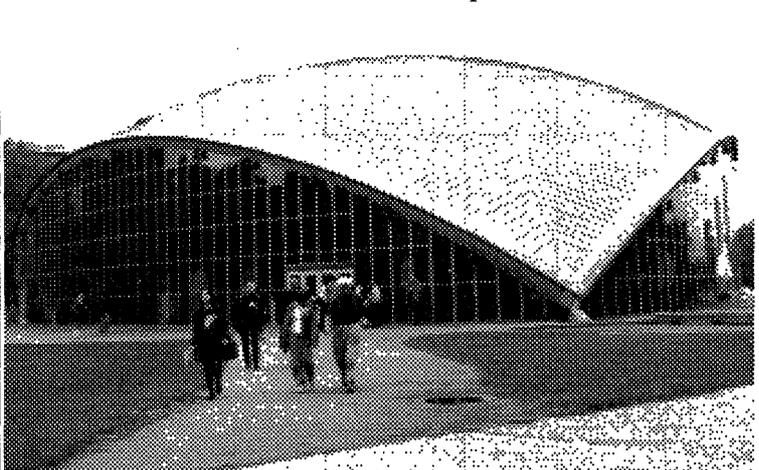


図2 会場のKresge Auditorium

表1 トピック別発表件数

トピック	招待講演	口頭発表	ポスター発表
Surgical Navigation and Measurements	0	5	0
Surgical Systems and Simulators	1	0	16
Surgical Planning	0	4	3
Medical Robotic Systems	0	5	5
Biomechanics and Kinematics	0	0	4
Registration	0	4	13
Biomechanics	0	3	0
Cardiac Image Analysis	0	3	7
Segmentation	0	5	7
Computational Neuroanatomy	1	5	0
Detection in Medical Images	0	0	3
Data Acquisition and Processing	0	0	4
Neurosurgery and Neuroscience	0	0	7
Shape Analysis and Models	0	0	10
Feature Extraction and Image-Based Measurements	0	5	0
Medical Image-Based Modeling	0	5	0
Medical Simulation	1	5	0
Ultrasound	0	0	5

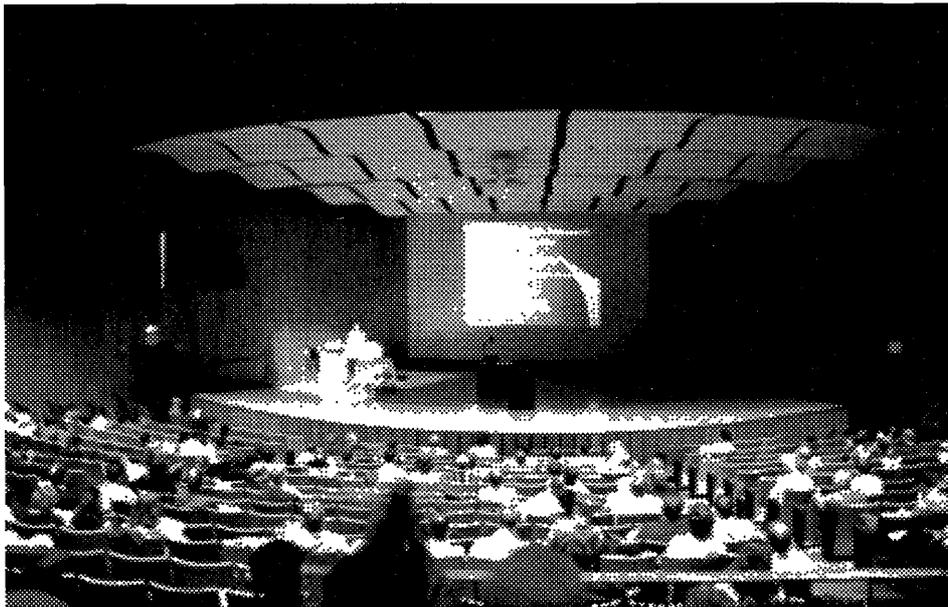


図3 Kresge Auditorium での発表の様子

もかかわらず大勢の人でにぎわっており、活発な議論が行われていました。

次回のMICCAIは1999年9月にイギリスのケンブリッジで開かれます(Co-chairの一人が鳥脇先生です)。皆さん是非ご参加ください。ご参考までにあげておきますと、2000年はアメリカ合衆国ピッツバーグ、2001年はオランダ・ユトレヒト、そして2002年に日本(地域未定)で開かれる予定です。



Bostonにて

学会研究会情報

□学会名 日本超音波医学会第72回学術集会
開催日 : 1999年6月23日(水)～25日(金)
開催場所: 北海道厚生年金会館、札幌市教育文化会館
連絡先 : 〒060-8638 札幌市北区北15条西7丁目
北海道大学医学部循環器内科学講座
北島 颯 (会長)
Tel 011-716-1161 内線6973
<http://kitabatake.med.hokudai.ac.jp/72jsum/index.html>

□学会名 第40回日本肺癌学会総会
開催日 : 1999年10月21日(木)～22日(金)
開催場所: 札幌プリンスホテル
〒060-8615 札幌市中央区南2条西11丁目
Tel 011-241-1111 Fax 011-231-5994
連絡先 : 〒060-8638 札幌市北区北15条西7丁目
北海道大学医学部第一内科内
第40回日本肺癌学会総会事務局
Tel 011-716-1161 内線5911/5912 Fax 011-706-7899
コメント: ワークショップに「CT気管支内視鏡モードの診断意義」があります。
(札幌厚生病院: 森)

事務局だより

会員の現況

(1) 新たに次の方が入会されました。

会員番号	氏名	所属
174	植林 勇	大阪医科大学放射線医学教室

(2) 次の方が退会されました。

小林 秀行
GE横河メディカルシステム (株)

(3) 会員の状況 (1999年4月1日現在)

賛助会員	4社4口
正会員	142名
学生会員	5名

151

*お願い: 住所、勤務先等に変更がありましたら、事務局までご連絡下さい。

医用画像データベースのご案内

当学会では会員に広くご利用いただくために以下の3つのデータベースを整備し、既に発売中です。

1. マンモグラフィーデータベース

価格 : X線フィルム付き 100,000円
X線フィルム無し 50,000円

2. 胃X線二重造影像データベース

価格 : X線フィルム無し 50,000円

3. 間接撮影胸部X線像データベース

価格 : X線フィルム付き 60,000円
X線フィルム無し 30,000円

いずれも撮影方法や読影に関する基礎知識などをわかりやすく解説した解説書および専門医による病変部のスケッチ付きです。他に例をみない良質のデータベースです。ご研究に大いにご活用下さい。

購入希望者はCADM事務局までお申し込み下さい。

なお、直接撮影胸部X線像および胸部CT像のデータベースに関しても発売に向けて準備を進めております。しばらくお待ち下さい。

インターネットで論文を投稿しませんか？

CADM論文誌編集委員長 山本 眞司

若いCADM学会にふさわしく、電子論文方式のCADM論文誌が刊行されています。この論文誌を皆様方からの積極的な投稿により優れた論文誌に育てて行きたいと思っておりますので、ご協力をお願い致します。

ところで電子論文は、概ね下記の手続きで掲載されます。

1. 投稿原稿は著者自身によって完全な論文フォーマット（そのまま印刷できる形態）に完成していただく。
2. 完成させた原稿はインターネットを介して、または電子ファイル化して郵送していただく。
3. 論文査読は他学会の論文誌同様に厳正に行う。
4. 採録決定となった論文は、学会が開設するwwwホームページに適宜登録する。これが従来の論文誌の印刷、配布に代わる手段となる。
5. 会員、非会員ともにこのホームページにある論文を随時閲覧したり、印刷することができる。

上記の形態を採ることの投稿者側から見たメリットは何でしょうか？私は次のようなことが考えられると思っています。

1. 早い。
投稿から掲載までの時間が大幅に短縮されます。査読者次第ですが、1、2カ月以内も夢ではありません。
2. 安い。
完全な論文フォーマットで投稿いただく場合は、論文投稿料は数千円以内で済みます。
3. 広い。
英文で投稿された場合には、全世界の研究者がインターネットを介して見る事が出来ます。
4. マルチメディア化できる。
これは少し先の課題ですが、動画像とか、音声とかを論文付帯の情報として付加し、よりリアルな論文に出来る可能性を秘めています。

この論文誌の投稿規定を下記に記しますが、執筆要項については、

<http://www.toriwaki.nuie.nagoya-u.ac.jp/~cadm/Journal/index.html>

を参照していただきたいと思っております。なお、不明な点は編集事務局、

yamamoto@parl.tutkie.tut.ac.jp

までお問い合わせ下さい。

投稿規定

1996年10月制定版

- [1] 本誌は会員の研究成果の発表およびこれに関連する研究情報を提供するために刊行される。本誌の扱う範囲はコンピュータ支援画像診断学に関係する全範囲、ならびにこれに密接に関連する医学、工学両分野の周辺領域を含むものとする。
- [2] 本誌への投稿原稿は、下記の項目に分類される。
 - (1) 原著論文。資料：新しい研究開発成果の記述であり、新規性、有用性等の点で会員にとって価値のあるもの、または会員や当該研究分野にとって資料的な価値が高いと判断されるもの。
 - (2) 短 信：研究成果の速報、新しい提案、誌上討論、などをまとめたもの。
 - (3) 依頼論文：編集委員会が企画するテーマに関する招待論文、解説論文等からなる。
- [3] 本誌への投稿者は原則として本学会会員に限る（ただし依頼論文はその限りにあらず）。投稿者が連名の場合は、少なくとも筆頭者は本学会会員でなければならない。
- [4] 投稿原稿の採否は、複数の査読者による査読結果に基づき、編集委員会が決定する。なお原稿の内容は著者の責任とする。
- [5] 本誌への投稿は、あらかじめ完全な論文フォーマット（そのまま印刷できる形態）に完成させたものを、インターネットを介して、または電子ファイル化して郵送することを原則とする。なお、上記以外の通常手段による投稿を希望する場合は編集事務局に事前に相談するものとする（この場合、電子化に要する作業量実費を負担いただく）。
- [6] 採録決定となった論文は、本学会論文誌用wwwページに随時登録される。本誌はCADM会員はもちろん他の人々にも開放され、インターネットを介して随時内容を閲覧し、印刷することが出来る（ただし、著作権を犯す行為は許されない）。また論文の登録状況はニュースレターでも紹介するものとする。
- [7] 採録が決まった論文等の著者は、別に定める投稿料を支払うものとする。なお別刷りは原則として作成しない（特に要望のある場合は有償にて受け付ける）。

インターネット論文誌

<http://www.toriwaki.nuie.nagoya-u.ac.jp/~cadm/Journal/index.html>

研究論文：JCADM97001

動的輪郭モデルを用いた輪郭線抽出手順の自動構成と胸部X線像上の肺輪郭線抽出への応用
(清水昭伸, 松坂匡芳, 長谷川純一, 鳥脇純一郎, 鈴木隆一郎)

解説論文：JCADM97002

画像パターン認識と画像生成による診断・治療支援
(鳥脇純一郎)

研究論文：JCADM98001

ウェーブレット解析を用いた医用画像における微細構造の強調
(内山良一, 山本皓二)

研究論文：JCADM98002

3次元頭部MR画像からの基準点抽出
(黄恵, 奥村俊昭, 江浩, 山本眞司)

研究論文：JCADM98003

肺がん検診用CT(LSCT)の診断支援システム
(奥村俊昭, 三輪倫子, 加古純一, 奥本文博, 増藤信明)
(山本眞司, 松本満臣, 館野之男, 飯沼武, 松本徹)

研究論文：JCADM98004

A Method for Automatic Detection of Spicules in Mammograms
(Hao HIANG, Wilson TIU, Shinji YAMAMOTO, Shun-ichi IISAKU)

研究論文：JCADM99001

直接撮影胸部X線像を用いた肺気腫の病勢進行度の定量評価

(宋在旭, 清水昭伸, 長谷川純一, 鳥脇純一郎, 森雅樹)

本論文では、直接撮影胸部X線像を用いて肺気腫の病勢進行度を定量評価する手法を提案する。この手法は、具体的には、画像上の肋間に設定したROI(Region of Interest)に対して、まず血管影を抽出し、次にそこで抽出された血管影について3つの特徴量、太さ、数、および、辺縁の明瞭さを表す特徴量を求める。最後に、それらの特徴量を線形結合によって統合し、病勢進行度を定量化した数値を出力する。本論文では、提案手法を実際の画像に適用し、各特徴量と医師による評価の関係、および、病勢進行度を定量化した数値と医師の診断との関係を調べ、本手法の有効性について考察する。

研究論文：JCADM99002

マンモグラム上の腫瘍陰影自動検出アルゴリズムにおける 索状の偽陽性候補陰影の削除

(笠井聡, 藤田広志, 原武史, 畑中裕司, 遠藤登喜子)

本研究の主な目的は、われわれのデジタルマンモグラム上の腫瘍陰影の自動検出アルゴリズムにおいて、乳腺の一部による索状影を検出している偽陽性候補を、11個の特徴量を用いて削除する処理を加えることである。これらの特徴量とは、(1)縦横比、(2)最小幅、(3)円形度、(4)候補内部の平均コントラスト、(5)候補中心部の平均コントラスト、(6)重心を中心とした同心円上の画素値分布の標準偏差の平均、(7)候補中心部のroughnessの正成分、(8)同負成分、(9)乳頭の位置を考慮して決定した一定方向の強度成分の割合、(10)候補中心部のアンシャープマスク画像の標準偏差、および(11)重心を利用した方向別強度比である。これらの11個の特徴量に対して、判別分析を用いて偽陽性候補を削除した。検出システム全体の評価として、臨床画像データ884枚を対象とした腫瘍陰影の検出実験を行い、真陽性率87%のとき、一画像当たりの偽陽性数は1.7個という結果を得た。以上より、本論文で提案した手法が、索状構造の偽陽性候補削除に有効であると結論付ける。

～目次～

トピックス「ラジウム発見100年に寄せて」

館野之男（放射線医学研究所）	2
----------------------	---

特集「CAD使用体験」

難波清（プレストピアなんば病院）	9
------------------------	---

技術交流の輪「画像認識」

今村恵子（聖マリアンナ医科大学 放射線医学教室）	12
--------------------------------	----

技術交流の輪「乳腺超音波」

椎名毅（筑波大学 電子・情報工学系）	14
--------------------------	----

Call for Paper 第9回	18
--------------------------	----

学会参加だより「MICCAI」

森健策（名古屋大学大学院 工学研究科 計算理工学専攻）	20
-----------------------------------	----

学会研究会情報	22
---------------	----

事務局だより	22
--------------	----

CADM News Letter

発行日 平成11年5月15日

編集兼発行人 縄野 繁

発行所

CADM

コンピュータ支援画像診断学会
Japan Society of Computer Aided Diagnosis of Medical Images

<http://www.toriwaki.nuie.nagoya-u.ac.jp/~cadm/japanese>

〒184-8588 東京都小金井市中町2-24-16 Tel. & Fax. (042)387-8491

東京農工大学大学院 生物システム応用科学研究科 小畑研究室内