

# 画像論の系譜

川崎医療短期大学 放射線技術科

山下 一也

(平成6年8月22日受理)

## Genealogy of Medical Image Technology

Kazuya YAMASHITA

*Department of Radiological Technology  
Kawasaki College of Allied Health Professions  
Kurashiki, Okayama 701-01, Japan  
(Received on Aug. 22, 1994)*

**Key words** : 画像, 画像工学, 画像理論

### 概 要

工学系における画像工学は、二次元以上の視覚情報を変換・伝達・記録・処理・表示する総合技術の体系、と定義されている。ものの仕組みやものの成り立ちなど科学と技術を生産的産業・消費的産業へ応用する工学を足場にした画像工学が、生きている人間の生理学、解剖学、病態学などを背景にした医学・医療の領域になじむかどうか。人間の感覚やあるいは感覚器の機能を共通の起点としてはいるものの、さきの疑念を打ち消すことはできない。これを出発点にして、医療のなかで発生する視覚情報を集約し、展開させるための画像論という一つの学的体系を考えていく。

本論文では、この画像論構築の動機や形成の過程、そして成果について系統的に記述するものである。画像論が、本学における「画像工学」教育に大きく寄与するものであることを明らかにしたい。

### 1. はじめに

1974年11月、私は大阪大学医学部附属病院中央放射線部から大阪大学医療技術短期大学部・診療放射線技術学科（現大阪大学医学部保健学部・放射線技術科学専攻）へ転任した。臨床現場の放射線技師であった私が、教育や研究を本務とする大学教師になることは、想像以上に大変なことであることを十分に認識していた。しかし、身体ごとそちらに向き合う大きな契機になったのは、画像論という講義科目があったからにはかならない。

この画像論は、前任の科目担当者が1971年頃に科目として設けたものであるが、一度の講義もなされないままに前任者は、病を得て亡くな

られてしまった。したがって、現実の画像論は、まったくの手付かずの科目であった。「画像」という発展途上の新規の技術学へ高い関心を寄せていた当時の放射線技術の分野では、だれしもがその画像論という教科目に深い魅力を抱いていたとしても不思議ではない。画像論という魅力ある教科目の講義ができ、研究もできる。しかも「画像」に密接に関係している「放射線（X線）撮影技術学」も担当できるとなれば、まさに理論と臨床を結びつけるというこれまでの持論にもかないことになる。私は、白紙の「画像論」に真正面から向き合うこととなった。

### 2. 画像論とは何か

図1は、1975年度当初の画像論の教科目内容

である<sup>1)</sup>。ここには「線質・線量の基準化」と「人体解剖の立体的把握」、そして「画像の解析と評価」の3本柱がうたわれているが、これが画像論である、といい切ってしまう前に、「画像」そのものについていくらか考察してみる。

一般に画像とは「なんらかの技術的手段によって2次元または3次的に表示される視覚情報である」といわれている<sup>2,3)</sup>。ここでいう画像は、可視画像であり、静止・動態の画像、白黒・色画像などである。もちろん3次元空間内で時間的に変化する対象物があれば、4次元視覚情報になる(現実の世界ではこの場合が多い)。そして画像の性質や特性は、技術的に「表示された画像そのものの特性」と、それを受容する「視覚の特性」の双方に関係して定まる<sup>4)</sup>。このことが画像を扱う上で複雑な関係を生み、取り扱いをよけいに困難にしている。

「白紙」の上に画像論を構築するには、このような画像の一般的な定義や特性・性質に矛盾なく、しかも医学・医療の特異性：生身の人間を対称にすることにも抵抗なく受け入れられるものでなければならない。その意味で、図1の画像論の教科目内容は、1971年当初のものにいくらか手を加えたものではあるが、至極妥当なものといえよう。ここで「線質・線量の基準化」「人体解剖の立体的把握」、そして「画像の解析と評価」を画像論の基本的フレームワークと考えると、画像論構築の3本柱とする。

### 3. 画像論の学的体系

#### 3.1 3本柱の重層フレームワーク

一般にX線撮影は、三つのステップを踏んでその撮影が完了する。一つは、X線管焦点から制御したX線束(X線光子群)を発生させること。つぎに生体としての被検体(被写体)の検査目的に即した性状を知り、それに応じた撮影体位(整位)をとること。そして最後に受像(受光)部の種類と特性を適性にするのである<sup>5)</sup>。

「線質・線量の基準化」は、光学系でいえば被写体に照射する「光」の質と量を制御することに相当する。X線系では、X線光子群の質と量をどのように制御するか；撮影条件の理論的設定にあたる。これまでX線撮影時に被検体(被写体)の状況に応じて管電圧や管電流、管電流

量、撮影時間、撮影距離などを設定することは、撮影に必要な要素を定量する実技と考えられてきた。これを画像を形成するための基礎理論と位置づける。つまり制御されたX線光子群は、画像を形成するための根本原因であると考えたからにはほかならない。そしてこれを条件論として体系化する。

「人体解剖の立体的把握」を整位論と体系化する。ここでいう整位；患者ポジショニングは、一般に被検者を目的に応じて位置合わせするという手技の面が強調されがちであった。これを目的部分を情報源とした情報伝達系としてとらえ、これに人体の機能・形態(生理学・解剖学)を対置させた投影幾何学の臨床的適用と考えた。

「画像の解析と評価」を画質論として、画像論の中核に位置づける。ここでいう画質論は、画像の特性や性質を決定する鮮鋭度(さ)やコントラスト、粒状度(性)などを、物理的な面と心理的な面の両面から臨床に結びつけて定量化する。そして画像評価のための手立てを体系化していくことである。

以上の3本柱を画像論の重層フレームワークとする。画像論を、画質論を中核にして条件論と整位論とを全体としてとらえ、重層的に把握する。これを図示すれば、図2のように画質論

X線検査によって得られる情報を定量化する目的でその線質・線量の基準化、人体解剖の立体的把握、および画像の解析と評価について演習を交えて講義する。

図1 画像論の教科目内容(1975)

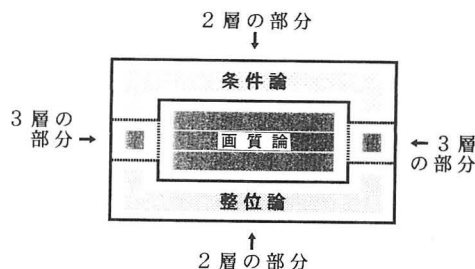


図2 3本柱の重層フレームワーク

1層は、画像論の中核である画質論。2層は、画質論と整位論、画質論と条件論の二組。3層は、画質論、整位論、条件論が交差し重なる部分。

を中核に包み込み、その周辺には画質論と条件論、画質論と整位論が2層を構成し、左右の一部分はそれらが交差して3層を構成する模型で表現される。

図において2層の部分では、画質論と条件論、画質論と整位論がそれぞれに個別に操作される。3層の部分では、画質論、条件論、整位論の三つのフレームワークが重なりあって操作されることになる。これらの操作で2層の部分の一方では、画質論に必要な条件論からの情報が画像論に反映し、他方では整位論からの情報が反映することになる。また、3層の部分では、画質論と条件論と整位論がそれぞれに必要な範囲に限って情報が行き来し、画像論に反映する。

たとえば、頭部側面撮影において目的部をフィルム側に位置づけるという常識的な撮影では、整位論―画質論が機能する。しかし、その場合でも可及的に小焦点になれば、目的部をフィルム側と反対側（X線管側）に位置づけて拡大の効果を期待するという反常識的な撮影法が考えられる。この場合には、条件論―画質論が働いて、画像論に反映するということになる。また、胸椎側面撮影でしばしば呼吸時長時間撮影法が適用される。これは呼吸の形式と撮影時間、肋骨影・血管影の動きとの関係が、整位論・条件論―画質論の3層の部分で機能して、撮影が完了することになる。

これらの意味は、何もかもすべての情報が画像論にとって必要ではなく、画像論にとって必要な条件論の部分・整位論の部分の情報だけが画質論を膨らませ、やがて画像論に反映しながらそれらを体系づける、ということになる。

### 3.2 画像論の理念

画像論の粗い骨組みが出来あがったので、つぎに画像論が一つの科学（技術学）としてどのような考え方と方法論でもって体系づけられるのか、を考究することにしたい。

画像論の理念は、さきに詳細に分析したように3本柱の重層フレームワークにおける画質論を骨格にして、条件論と整位論を筋肉として配し、重層的・系統的に考えねばならない。その基本線に沿って、つぎの二つの考え方を立てる。一つは、発生した種々の現象を説明するのに、かならず信頼性のある根拠が与えられること。

もう一つは、そのことの実験やテストが可能であること、である。前者が演繹的であり、後者が帰納的な考え方に発していることはいうまでもない。つまり画像論の学的体系においては、画像論自身が操作と方法を獲得しているということになる。

これらの考え方から、画像論の具体的な学的内容を、「画像論の基礎」「画像論の物理」、そして「画像論の応用」の3大項目に分け、それぞれの内容をつぎのように記述する。

(1) 画像論の基礎：画像論が果たす放射線技術学上での役割と機能、展望を述べ、画像の仕組みや画像の構成理論、そして視知覚の特性などを論述する。

(2) 画像論の物理：フーリエ級数の展開やフーリエ変換、確率統計論などの数学的背景が、画像解析・画像評価の上で重要な知識であることを実際面に適用しながら論述し、各種医療画像の評価法を詳細に述べる。

(3) 画像論の応用：画像論の理論的骨格が臨床面でどのように関わり合い応用されるのかを主眼に、実際的な実験法や適用法などを詳細に記述する。その上で、実験に即した演習、臨床的な症例X線写真やスライドなどによって画像論への理解を深める。

この学的内容に、前述した演繹的・帰納的な考え方を踏まえ、画像論の方法論を複眼の体系として捉えることにした。

### 3.3 画像論の方法論：複眼の体系

画像論の方法論は、一つは人間関係のなかで技術を行為につなぐ実践の体系（＝実践の体系）、もう一つは画像に関する研究過程を確立する体系（＝研究過程の体系）、の二つの「眼」をもっている。そして、それぞれの「眼」には、それぞれに「個眼」を二つずつもった複眼の形態をした体系である（図3）。

(1) 実践の体系：教育的実践と研究的実践の二つの個眼から成る。

教育的実践は、講義や実験をとおして学生が画像論の原理をどの程度、理解していくのか（理解しているか）、の進捗を測りながら試行を重ねる。その結果をバネにしてさらに画像論を発展させる。

研究的実践は、研究過程を構築するための実

実践的側面を担い、画像研究の創造の方法を注意深く検証しながら、点検もあわせて行なう。当然のことであるが、これは放射線技術学研究実践の一環であることはいうまでもない。

(2) 研究過程の体系：放射線技術学と画像技術学の二つの個眼をもっている。

一般に科学は、精神的生産に属し、自然のなかの法則や規則に関する知識の体系である。そして放射線技術学は、放射線技術を追究する科学であり、放射線科学における認識を実践に移すためのすぐれて具体的な体系である。また画像技術学は、医療における面像の技術を追究するすぐれて他に類をみない科学といえる。

なぜ放射線技術学研究をするのか、それは医療における放射線技術学という認識をさらに豊かにし、医療における放射線技術という実践を有効にするためである。画像技術学研究もまったく同じことがいえる。そのためには、画像(論)の研究過程の確立が必要となる。

画像論の研究過程の確立は、放射線技術学研究と画像技術学研究の方法論を具体的に実現することにほかならない。

一般に独創的・創造的研究は、目的や動機をまずアイディアに結びつけ、それを問題意識にまで高めていく。この問題意識の発生と高まりが研究の出発点になる。この問題意識を煮詰めていけば、当然ながら幾つかの個別意識が作り出される。その幾つかの個別意識には、それに見合うそれぞれの技術の体系が対応する。ここに基礎的な科学の方法、つまり知識体系が裏づけされることになる。そして、実験の方法が仕組まれ、練りあげられて実験の手順が定まる。づぎに実験が実行されて、結果が生まれる。それを分析し、同定し、総合し、そして評価という過程を経て、研究結果の厚みと深みが増し、見事な果実を实らせることになる。もちろんその果実は、社会的要請・医療側からの要請と対照される。もし齟齬があれば、要請や目的にかなうまで繰り返し実験が行なわれることはいうまでもない(図4)。

以上が画像論の複眼の体系を、教育と研究の両面から簡略に、その一面を述べた。

#### 4. 画像研究の成果

3本柱の重層フレームワークと複眼の体系を背景にしてすすめられたこの数年間の画像研究の成果を四つの大枠に分け、それぞれの特徴を中心に要約しておきたい。

(1) 信号検出理論の臨床への適用(ROC解析、医学判断学など)<sup>6-18)</sup>：

① 増感紙/フィルム系への適用では、単純にビーズ玉ファントムだけで解析評価せず、同じ大きさの空洞ファントムも用いて解析評価した。この手法は、ビーズ玉ファントムがポジ像を与え、空洞ファントムがネガ像を示すことから、実際のX線写真の状況をそのまま反映した実験である。この研究方法を初期の希土類蛍光体増感紙系のROC解析にも適用し、その後の同系の増感紙/フィルム系のあり方に一定の影響を与えた。② マイクロフィルミング画像、デジタル化CRT画像や各種のデジタル化画像の評価にも適用できることを実験上で示唆した。その他に、断層撮影技術における振角と断層厚の関係や強制

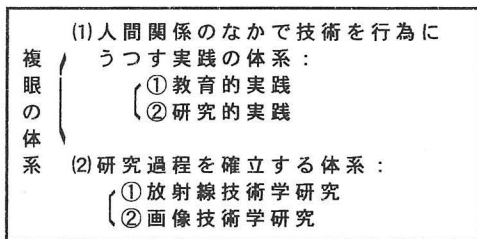


図3 複眼の体系

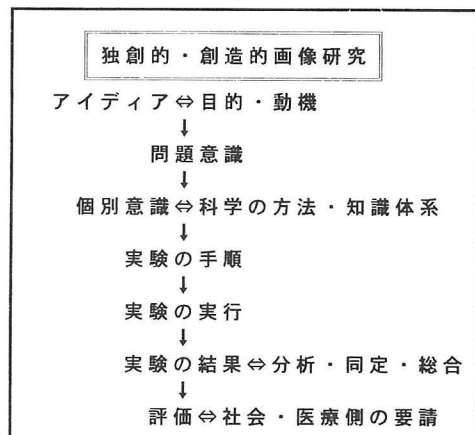


図4 画像研究の過程

選択実験などにも研究は広げられた。

③ これまでの ROC 解析の実験手続きの手法は、いわゆる評定確信度法の 5 段階評定法であった。この手法を拡張し、観察系にいくらかの自由度を与えた評定法が連続確信度法である。この新しい ROC 解析法を、物理的計測や写真計測の分野など心理的領域を含めて、広い分野への適用の可能性を模索、検討している。

(2) 散乱線の検出と除去の理論的説明 (散乱線スペクトルの解析, グリッドの評価など)<sup>19,20</sup> :

① 写真コントラストと患者被曝に対する散乱 X 線の影響を体系的に追求するために、散乱線スペクトルの解析を行った。この研究のねらいは写真コントラストを低下させないで、しかも患者被曝の低減を計ろうとするものである。併せてコントラスト-被曝線量ダイアグラムを提案した。適正な撮影条件を設定する上で、大変有効な研究だと考えている。この研究は京都工芸繊維大学工芸学部・電子情報工学科の金森研究室と共同で取り組んだ成果である。

② 散乱線除去用のグリッドの性能評価をアルミ製の矩形波チャートで空間周波数に対するコントラストを算出して、一定の振幅の大きさから得られる特性値で行った。この研究は、全体の X 線スペクトルから画質に影響を与える前方の散乱 X 線のスペクトルを分離計測し、IEC や JIS 規格と違った特異な手法を考案したものである。

(3) ファジィ測度論の総合的画像評価への適用 (胸部像, 膝関節像, 大腿骨頸部像など)<sup>21-24</sup> :

① ファジィ測定論とファジィ積分を用いた新しい評価法を実験的に確立した。これは X 線写真の画質属性である鮮鋭さやコントラスト, 粒状性などを総合して主観評価するものである。この評価法の基本的な特徴は、ファジィ測度という曖昧さを持った測度を用いたこと、曖昧さの大きさや範囲を限定する言葉に数値を与えて、曖昧な評価に定量的な性格を与えるところにある。

② この評価法を X 線単純胸部写真に適した増感紙/フィルム系の組合せを見いだす実験に適用して、臨床感覚 (読影感覚) に即した結果を得ている。画質 3 要素 (コントラスト, 鮮鋭さ, そして粒状性) それぞれに評価上の重要度順にファジィ測度を 0 から 1 までの範囲で与える。他

方, X 線写真の読影主眼点 (診断上重要な箇所) 数カ所を設定し、それぞれの画質 3 要素に対して評価総和法で採点して、獲得した各評価点から総合評価点を算出する。この総合評価点とファジィ測度を用いて、Choquet 積分を採用し数値積分して、その系の総合評価としたものである。

③ この手法の大きな特徴は、ファジィ測度の配分と、ファジィ積分に Choquet 積分を採用したことである。一般の積分形式は、いわゆる縦割り積分であるが、Choquet 積分は横割りの積分である。実際の計算では、数値積分図の横軸に曖昧さを含んだファジィ測度を取り、縦軸には総合評価点をとって形通り数値積分を行なう。

④ 知覚としての視覚情報の授受の段階と、観察者の知的・情緒的反映である認識段階での測度の総体を、一般に総合評価と呼称している。その意味で、ファジィ測度とそのファジィ積分による評価法は、主観評価の積極面を表出した総合評価と位置づけられよう。今後、デジタル画像を含め、多様な医用画像に広く適用され採用されるだろう。

(4) コンピュータ支援画像診断システムの研究 (骨梁像のスペクトル解析, フラクタル次元解析, ニューラルネットワーク解析など)<sup>25-36</sup> :

① コンピュータ支援画像診断では、骨梁像の解析を中心に研究をすすめていき、スペクトル解析, フラクタル解析, ニューラルネットワーク解析と三つの解析法を確立した。

② 骨梁像のスペクトル解析では、骨梁像の周期性を利用した方法である。これは、X 線写真上骨梁の出現が、骨粗鬆症のように疾病のすすみ具合と骨梁像の周期性との間に相関がある場合、骨梁像をスペクトル解析すれば、疾病のすすみ具合が定量できることに着目したものである。とくに、骨梁像の X 線写真から骨粗鬆症の進捗を主観的に診断してしまうようなとき、スペクトル解析の結果を第二の意見として医師に提案すれば、より精度の高い診断が可能になると考えている。

③ フラクタル次元解析では、骨梁像を幾何学的な模様と捉え、そのフラクタル次元を求めれば、疾病のすすみ具合との相関が求められて、診断上で第二の意見として提案できることになる。

骨梁像の複雑な構造を、このフラクタル次元で解析した結果、スペクトル解析と比較して正常な骨梁像と疾病の進んだそれぞれの骨梁像を明確に分離することが可能になった。分離だけを問題にするときには、このフラクタル次元解析法は有効な手段といえる。

④ニューラルネットワーク解析は、人間の脳の情報処理能力をモデル化し、複雑な振る舞いをするそれぞれの神経細胞を多数集めて一個の神経回路網に仕立てあげ、その複雑に入り組んだ情報網のなかから、有効な特徴だけを取り出し、それを単純化して数学的モデルを構築しようというものである。併せて学習するネットワークを実現する。この考え方を骨梁像の解析に適用した研究である。これは岐阜大学工学部・電子情報学科の藤田研究室との共同研究の成果である。解析結果では、単純な統計的パラメータ；標準偏差や濃度値だけで正常と異常とが、90%近い識別能で識別が可能であった。

⑤以上、骨梁像の解析からコンピュータ支援画像診断の可能性を追求した研究の概説である。現時点での問題は、症例数が70数例と少ないことである。これからの研究では、症例数を増やし、併せて臨床面からの裏づけを検討する必要があるものと考えている。

## 5. 「画像論」・まとめ

(1) 医療という特異な土台の上に、「画像論」は一つの世界を確立し得たと自負している。重層フレームワーク、複眼の体系の考え方は、あらゆる医療画像を追求していくための原理となり得るものであると確信している。

(2) 本学の「画像工学」という講義科目は、X線撮影技術学の理論的基礎を教授するものである。X線撮影技術学は、現実のX線撮影の手技を系統的にしかも臨床に即して形づくった技術の体系である。したがって本論文で展開した「画像論」の考え方や方法論は、そのまま適用されることになる。本学の「画像工学・X線撮影技術学」の内容充実に一層の努力を重ねたい。

(3) 画像論の系譜をたどることは、被医療者と医療者のつながりを画像という不可思議な手立てをとおして確認しあうことにほかならない。医療現場の医療者から、この認識が欠落してし

まうと医療の原点が皮膚接触であることが忘れられ、医療者が被医療者との間に「キーボード」をおいて向き合うことを、私はもっとも恐れる。本論文の底流には、医療の原点にまで遡って論述されていることを付記しておきたい。

## 謝 辞

本論文をまとめるにあたって、本学教授西村明久博士に多くの助言をいただいた。心から感謝したい。

## 文 献

- 1) 大阪大学医療技術短期大学刊：履修の手引き，p. 24, (1975)
- 2) 滝 保夫，青木昌治，樋渡涓二：画像工学，コロナ社，東京，pp. 3—5, (1973)
- 3) 樋渡涓二：エンジニアリング・サイエンス講座 3・感覚と工学，共立出版，東京，p. 68, (1976)
- 4) 宮川 洋，渡部 叙：画像エレクトロニクスの基礎，コロナ社，東京，pp. 294—301, (1975)
- 5) 立入 弘監修，山下一也，速水昭宗：診療放射線技術，南江堂，東京，pp. 144—145, (1993：第7版)
- 6) 山下一也，若松孝司，長畑 弘，他：ROC 曲線によるフィルム/増感紙の評価，放射線像研究会誌，46, pp. 30—35, (1976)
- 7) 長畑 弘，山下一也，若松孝司，他：ROC 曲線による希土類増感紙の評価，放射線像研究会誌，48, pp. 104—109, (1976)
- 8) 山下一也，若松孝司：信号検出理論のX線撮影系への適用，日放技学誌，33 (2), pp. 111—117, (1977)
- 9) 山下一也，若松孝司，他：ROC 曲線による増感紙/フィルム系の評価，日放技学誌，33 (2), pp. 156—160, (1977)
- 10) 山下一也，松本 貴，他：信号検出理論のX線撮影系への適用(ROC 曲線による断層像の評価)，大阪大学医短部研究紀要—自然科学・医療科学編第7輯，pp. 83—91, (1980)
- 11) 小塚隆弘，藤野保定，山下一也，他：多目的利用を意図したX線マイクロフィルミングシステムの開発に関する研究，日医放学会誌，40 (9), pp. 898—905, (1980)
- 12) 山下一也，若松孝司，他：ROC 曲線座標における等エントロピー曲線について，大阪大学医短部研究紀要—自然科学・医療科学編第9輯，pp. 49—55, (1980)
- 13) Yamashita K and Kariya K: Evaluatio-of Radiographic Screen-Film Systems byse of

- Receiver Operating Characteristic (ROC) Curves, 立命館大学理工学研究紀要, **43**, pp. 133—147, (1984)
- 14) 稲本一夫, 山下一也, 森川 薫: CRT 診断の可能性をさぐる—基礎的実験の報告—, 映像情報, **17** (16), pp. 807—811, (1985)
- 15) 山下一也, 稲本一夫, 森川 薫: CRT 観察系におけるデジタル画像の ROC 解析, 日放技学誌, **42** (7), pp. 989—997, (1986)
- 16) 山下一也, 荏屋公明: X線画像の観察系における ROC 解析, 立命館大学理工学研究紀要, **45**, pp. 91—109, (1986)
- 17) Yamashita K, Inamoto K, et al: ROC Analyses of the Signal Detection on CRT-Displayed Radiographs after Digitalization, Jpn. J. Radiol. Technol., **6**, pp. 12—16, (1987)
- 18) 山下一也: 画像評価法〔III〕信号検出理論による画質評価, 日放技学誌, **48** (12), pp. 2081—2092, (1992)
- 19) 滝川 厚, 山下一也, 石田隆行: デジタル画像処理による散乱X線除去用グリッドの性能評価, 日放技学会関西支部会報, **3**, pp. 55—59, (1991)
- 20) Takigawa A, Yamashita K and Ishida T: Effects of Scattered X-Rays upon Image Quality and Patient Dose, J. Phot. Sci., **41**, pp. 134—136, (1993)
- 21) 山下一也: ファジィ測度論による胸部画像の総合的評価 (速報), 日放技学誌, **47** (7), pp. 950—952, (1991)
- 22) 山下一也, 滝川 厚, 石田隆行, 他: ファジィ測度論による胸部画像の総合評価, 日放技学誌, **48** (4), pp. 616—624, (1992)
- 23) 山下一也: 『ファジィ』って何? —曖昧さの科学と技術—, 日放技学誌, **48** (4), pp. 648—658, (1992)
- 24) 中西利久, 後藤正孝, 山下一也: タイプ2ファジィ集合を応用した画像評価, 日放技学誌, **49** (7), pp. 907—915, (1993)
- 25) 山下一也: 画像評価法〔最終回〕ファジィ測度論, 日放技学誌, **49** (4), pp. 623—627, (1993)
- 26) Ishida T, Takigawa A and Yamashita K: Spectral Analysis of Trabecular Patterns, Artificial Intelligence Based Measurement and Control, 8th International Symposium, pp. 199—204, September (1991)
- 27) 滝川 厚, 石田隆行, 山下一也, 他: 骨梁像のスペクトル解析—基礎的実験とシミュレーション—, 日放技学誌, **47** (9), pp. 1659—1669, (1991)
- 28) 石田隆行, 山下一也, 滝川 厚: フラクタル次元による骨梁像の解析, 大阪大学医短部研究紀要—自然科学・医療科学篇第19輯, pp. 53—58, (1991)
- 29) 石田隆行, 山下一也, 滝川 厚: 骨梁像のスペクトル解析, 医用画像情報学会誌, **9** (1), pp. 32—39, (1992)
- 30) 藤田広志, 石田隆行, 山下一也, 他: 骨X線写真における骨梁パターンのニューラルネットワーク解析 (速報), 医用電子と生体工学 (日本 ME 学会誌), **30** (4), pp. 61—64, (1992)
- 31) Ishida T, Kariya K, Yamashita K, et al.: Measure Scientific Analysis of Bone Radiographs, 立命館大学理工学研究紀要, **51**, pp. 43—58, (1992)
- 32) Takigawa A, Ishida T, Yamashita K, et al.: Spectral Analysis of Trabecular Patterns—Basic Studies and Simulation, Jpn. J. Radiol. Technol., **11**, pp. 4—16, (1992)
- 33) Ishida T, Yamashita K, Takigawa A, et al.: Trabecular Pattern Analysis Using Fractal Dimension, Jpn. J. Appl. Phys. **33**, pt. 1, No 4, pp. 1867—1871, (1993)
- 34) 山下一也, 藤田広志: IV. 注目される CAD システムの実際例・X線骨梁像のニューラルネットワーク解析 (特集・ここまできたコンピュータ支援診断システムの進歩), INNERVISION, **8**・9, pp. 35—37, (1993)
- 35) 芦田 修, 藤田広志, 石田隆行, 山下一也, 他: ニューラルネットワークによる骨粗鬆症診断のためのX線骨梁像の解析, 医用画像情報学会誌, **10** (3), pp. 111—118, (1993)
- 36) 山下一也, 石田隆行, 滝川 厚: 腰椎骨梁パターンの解析, 日本医用画像工学会誌, **12** (2), pp. 125—131, (1994)

