

# 上部消化管造影検査における400万画素CCDを用いたDigital Radiographyの臨床評価

## Evaluation of Digital Radiography Using the 4 million Pixel CCD System For Upper Gastrointestinal Examinations

飯沼 元 <sup>1)</sup> Gen Inuma	宮川 国久 <sup>1)</sup> Kunihisa Miyakawa	牛尾 恭輔 <sup>3)</sup> Kyosuke Ushio
森山 紀之 <sup>1)</sup> Noriyuki Moriyama	縄野 繁 <sup>2)</sup> Shigeru Nawano	石川 勉 <sup>4)</sup> Tsutomu Ishikawa
松江 寛人 <sup>1)</sup> Hirohito Matsue	関口 隆三 <sup>2)</sup> Ryuzou Sekiguchi	
水口 安則 <sup>1)</sup> Yasunori Mizuguchi	佐竹 光夫 <sup>2)</sup> Mitsuo Satake	

- 1) 国立がんセンター中央病院 放射線診断部
- 2) 国立がんセンター東病院 放射線診断部
- 3) 国立病院九州がんセンター
- 4) 栃木県がんセンター画像診断部

X線画像をデジタル化するために開発されたDigital Radiography(DR)装置、“DR-2000”は2000本の解像度を持つI.I.(Image Intensifier) - TV方式に始まり、400万画素のCCD(Charged Coupled Device)カメラを用いたシステム(CCD-DR)へと発展した。I.I. - TV方式の“DR-2000”は解像力において従来のフィルム方式に匹敵する性能を持つものであり、広く臨床の場において使用されている。我々は、このシステムを1992年の開発当初より、消化管造影検査に応用し評価を行ってきた。今回、更なる画質改善を目的として開発されたCCD-DRの臨床評価を、視知覚評価では唯一の方法とされるROC(Receiver Operating Characteristic)解析を用い診断医の立場から行ったので報告する。

The Digital Radiography (DR) system, “DR-2000” developed to digitize x-ray images was first made available for practical use with an I.I.(Image Intensifier) - TV system having a 2000 line resolution. The system has been further developed to give a CCD-DR system using a CCD(Charged Coupled Device) with 4 million pixels.

The I.I. - TV system “DR-2000” itself has a performance comparable with that of the conventional film-based system with regard to resolution and has been widely used in the clinical fields. We have 6 years experience with this system and have found it to be clinically useful for gastrointestinal examinations.

The following report is based on our recent clinical evaluation of the CCD-DR system developed to further improve image quality, from a diagnostic viewpoint applying an ROC(Receiver Operating Characteristic) analysis, proved to be the only reliable method for visual perception evaluation.

**Key Words :** 上部消化管造影検査  
Digital Radiography, CCD, ROC解析

## 1.はじめに

消化管造影検査における画像のデジタル化はComputed Radiography(CR)において既に行われている<sup>1)</sup>。しかしCRは高価なimaging plate(IP)が何枚も必要であり、診断画像が得られるまで通常のfilm-screen(FS)系よりも、かなり時間を要するなどの問題点がある。そのためFS系に匹敵した解像力を持ち、即時性のあるDR装置の開発が要望されてきた。こうした状況の中、登場した“DR-2000”は高精細I.I.と2,100本走査高精細TVカメラによって2,048×2,048マトリックスの高解像力を

持つX線撮影装置であり<sup>2)-4)</sup>、既に幅広く臨床の場においても使用され、我々も消化管造影検査における有用性について報告してきた<sup>5)-6)</sup>。そして更なる画質の向上を目指し、400万画素のCCDカメラを用いた装置も開発された<sup>7)</sup>。“DR-2000”により消化管造影検査においても画像のデジタル化がなされ、近い将来CRT診断が可能になり、リアルタイムな画像表示による診断効率の向上、画像の保管・検索の容易化、さらに画像処理・解析への道が拓かれるものと期待される。

## 2. DRシステム（国立がんセンター中央病院）

1992年にI.I. - TV方式の“DR-2000”が導入されて以来、実際の臨床に応用してきたが、1995年には400万画素のCCDカメラを併せ持つ改良型が導入された。図1に“DR-2000”の基本仕様を示す。

当センターには3つの消化管撮影室があり、3台の透視台はすべて“DR-2000”によりDR化されている。透視台はアンダーチューブ方式が2台、オーバーチューブ方式が1台である。それぞれのDR装置はネットワークを通して、共通の画像ワークステーションとレーザープリンターに接続されている（図2）。どの透視台も従来のカセットレスX線撮影装置にI.I. - TVカメラを装着したものでありDR とFS系の撮影をスイッチ一つで切り替えることができる。カメラからのビデオ信号はDR装置においてデジタル変換され画像メモリに記憶されるとともに、撮影直後に透視室内の観察モニターにも診断画像が表示され、診断医はそれを参考にしながら検査を進めることができる（図3）。ワークステーションでは2台の20インチ高解像度モニターによるCRT診断と光磁気ディスクへの画像保存が可能であり、さらに各種の画像処理や過去の画像の参照も行うことができる（図4）。現在はCRT診断への過渡期であるため、実際の臨床においてはオリジナル画像をレーザープリンターでハードコピーを作製し読影を行っている。

## 3. 消化管造影検査における400万画素CCDを用いたDR(CCD-DR)の実際

消化管造影検査は空気とバリウムのコントラストで得られる二重造影法が主体となるため、広いダイナミックレンジを持つ画像が必要となる。特に早期癌の発見は粘膜面の異常を捉えて診断するため、コントラストの良好な二重造影像が得られることが原則である。I.I. - TV方式の“DR-2000”のダイナミックレンジはFS系やCRに比べ狭く、X線吸収差の大きい部位において画像の劣化が顕著であった。しかし幅広いダイナミックレンジを持つ400万画素のCCDカメラを用いることで画質は大幅に改善され、文末（P.24、25）の図11～18に示すようにFS系と同等な画質が恒常的に得られるようになった。

診断医の印象においてCCD-DRの画像は明らかにI.I. - TV方式を凌ぐものであり、物理学的評価においてもCCD-DRの画質はFS系に匹敵するのと結果が得られた<sup>7)</sup>。

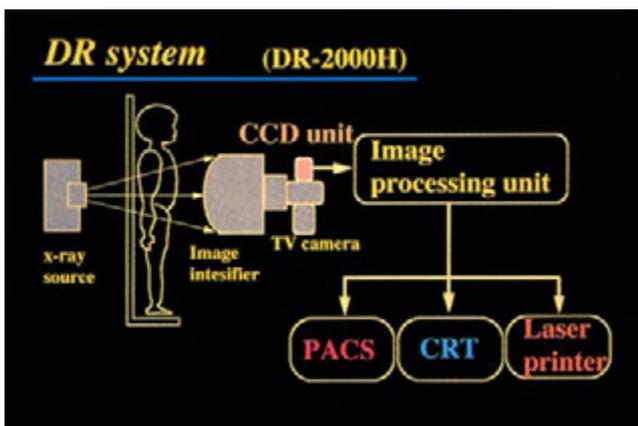


図1：CCD-DR (DR-2000)の基本構成  
撮影装置として400万画素のCCDカメラが装着されている。

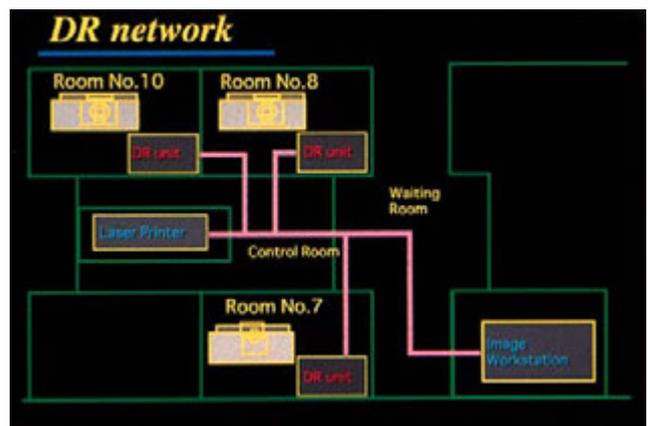


図2：DRネットワーク（国立がんセンター中央病院）

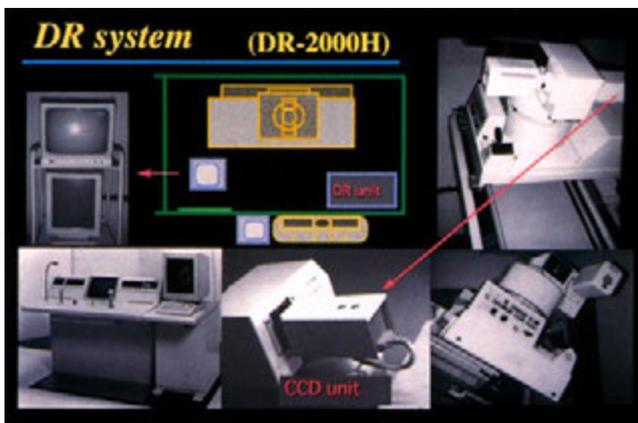


図3：CCD-DR装置、および検査室の外観  
DRとFS系の撮影は近接操作盤のスイッチ一つで切り替え可能。撮影と同時に検査室内のCRTにDRの静止画像が表示される。

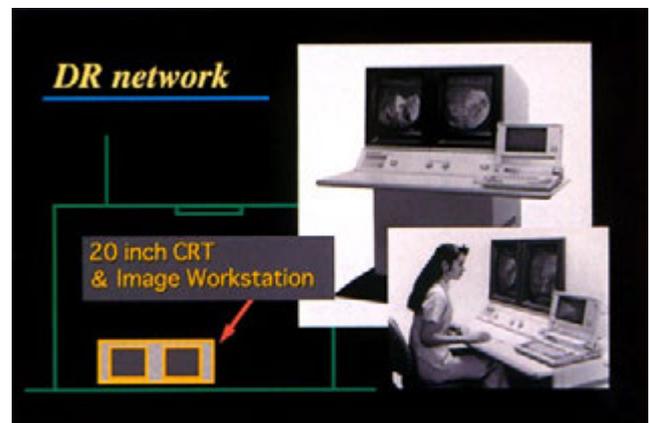


図4：DRネットワーク  
（イメージワークステーションと20インチ高解像度CRT）

#### 4. 診断医の立場からの画像評価 (ROC解析)

画像の評価方法としては、MTF、ウィナーズペクトル、エントロピー解析などの物理学的評価方法が確固たる地位を占めており、汎用されている。しかし、これらの方法は画像を観察する人間の視覚・知覚は無視されており、その結果は必ずしも実際の画像の表現能力を反映しているとは限らない。そのため物理学的データと臨床における観察者の評価がまったく異なることが起こり得る。こうした観点から、画像の持つ表現能力は撮影系、記録系、処理系における物理学的評価と、人間の視知覚により行われる観察系の評価により系統的になされることが重要である<sup>9)</sup>(図5)。

ROC解析<sup>9)・11)</sup>は物理学的評価方法と違い、撮影系、記録系、処理系、観察系のすべてを総合し、画像診断を行う医師の立場からの視知覚的評価を行う方法であり、現在最も優れた画像の評価方法とされている。ROC解析は医用画像検査の診断能をROC曲線の形により定性的に、その曲線下面積A(z)により定量的に評価することが可能である。今回このROC解析を用いCCD-DRとFS系の診断能の比較を行った。

#### 5. 研究1. (同一撮影体位の画像におけるCCD-DRとFS系の比較)

【対象】1996年8月から9月の期間に上部消化管造影検査においてFS系による撮影が行われ、何らかの異常所見を疑いCCD-DRにより追加撮影が行われた50症例(胃癌33症例、正常7症例、その他10症例)を対象とした(表1)。

【方法】追加撮影されたCCD-DRの画像のうち、FS系と同一体位のをそれぞれ1枚づつ選び出し、DR画像についてはレーザープリンターによりハードコピーを作成した。ROC解析による評価を行うため、CCD-DRとFS系の画像が重複しないよう無作為に二群に分け、一週間以上の間隔を置いて8名の読影者が、5段階の確信度(図6)で胃癌の有無を判定した。判定結果をMetzのROCFITプログラムを用いROC解析を行い曲線下面積A(z)を求めた。

【結果】各読影者のA(z)を用い、対応のあるt検定を行ったがp値は0.447であり、CCD-DRとFS系の診断能の差は明らかでなかった(表2)。また各読影者のA(z)のaveraged dataによる検討ではCCD-DRのA(z)は0.742、FS系は0.749とほぼ同じ値となった(図7)。



図6：画像の判定シート (研究1.)

表2：各読影者におけるA(z)値 (研究1.)

(p value は対応のあるt検定、およびMetzのCORROCプログラムによる)

	A(z)		P value
	DR	FS	
読影医1.	0.583 ± 0.081	0.675 ± 0.076	0.5712
読影医2.	0.733 ± 0.084	0.776 ± 0.087	0.7579
読影医3.	0.681 ± 0.075	0.712 ± 0.075	0.9885
読影医4.	0.746 ± 0.074	0.754 ± 0.074	0.9546
読影医5.	0.790 ± 0.074	0.796 ± 0.088	0.8453
読影医6.	0.792 ± 0.068	0.843 ± 0.060	0.3133
読影医7.	0.837 ± 0.061	0.778 ± 0.069	0.6036
読影医8.	0.782 ± 0.080	0.728 ± 0.083	0.1100
(平均)	0.743	0.757	(n=50)

(p=0.4474)

#### < 画像の表現能力の評価 >

撮影系	記録系/処理系	画像	観察系
(物理学的画像評価方法)			(視知覚評価方法)
鮮鋭度・粒状性			観察者の立場から
MTF			ROC解析
ウィナーズペクトル			
エントロピー			

図5：画像の表現能力の評価方法

表1：同一撮影体位の画像における CCD-DRとFS系の比較 (研究1.)

対象症例		読影医
1996年8月～1996年9月 (2ヶ月間)		
正常	7例	放射線科医 6名
胃癌	33例	放射線技師 2名
早期癌	20例	
進行癌	13例	
良性疾患	10例	
計	50例	計 8名

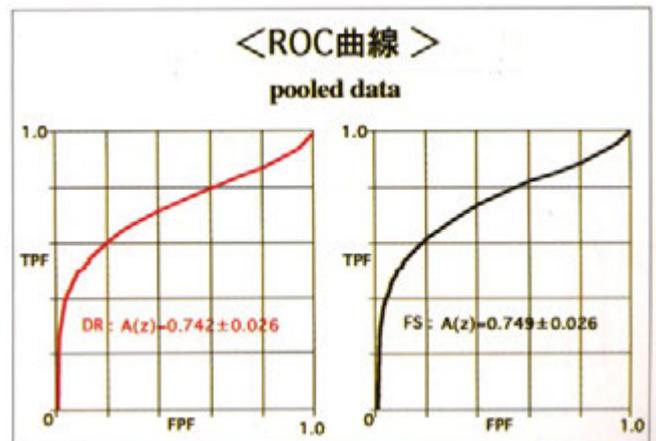


図7：Pooled dataによるCCD-DRとFS系のROC曲線 (研究1.)

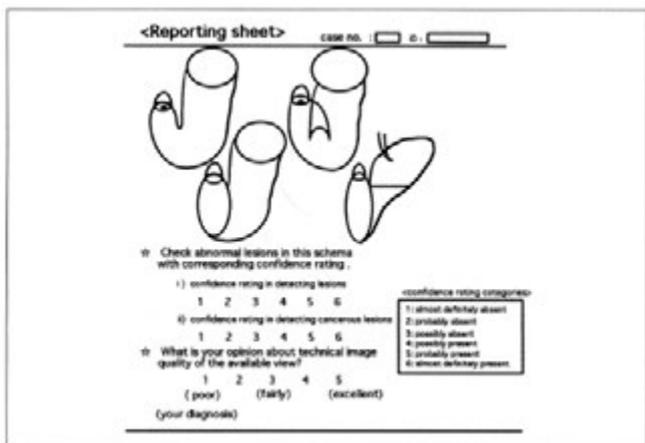


図8：画像の判定シート（研究2.）

表3：Prospective StudyによるCCD-DRとFS系の画像の比較（研究2.）  
（検査を行った3名の放射線科医による各症例のX線像の判定結果）

Results : Consensus Panel				
<Radiographic truth for the 225 Patients>				
	Gastric cancer	Others	Normal	Total
CRT(CCD-DR)	27 (23.9%)	19 (16.8%)	67 (59.3%)	113 (100%)
FS	24 (21.4%)	31 (27.7%)	57 (50.9%)	112 (100%)

表4：CCD-DRとFS系の感度（sensitivity）と特異度（specificity）（研究2.）

Results : Diagnostic Performance		
	Mean Sensitivity (%)	Mean Specificity (%)
CRT(CCD-DR)	77.8	88.5
FS	64.6	84.5

★: p<0.05, ★★: N.S. (χ<sup>2</sup> test)

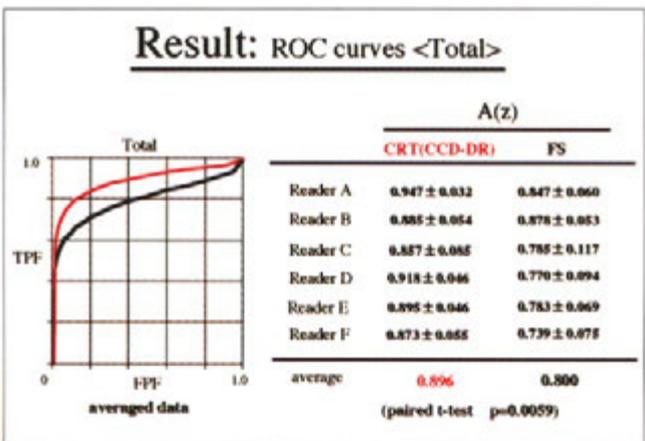


図10：総合判定結果（研究2.）

## 6. 研究2. (Prospective Studyによる実際の臨床に準じたCCD-DRとFS系の比較)

【対象】1997年1月から2月の期間中、上部消化管造影検査における被検者をCCD-DRとFS系に無作為に割付を行った。113症例がCCD-DR、112症例がFS系により検査が行われた。

【方法】ROC解析を行うため、症例内容をマスク化された放射線科専門医6名が、6段階の確信度（図8）で各症例において胃癌の存在診断を行った。CCD-DRの画像は高精細CRTにおいて診断を行った。また、実際に検査を行った別の放射線科医3名が生検診断を含む内視鏡所見など患者の全臨床データに基づき各画像の正解を決定した。判定結果はMetzのROC-FITプログラムを用いCCD-DRとFS系の各読影者におけるA(z)の値を求めた。

【結果】CCD-DR113症例、FS系112症例中、胃癌はそれぞれ27症例、24症例あった（表3）。胃癌の存在診断におけるFS系とCCD-DR全体の感度はそれぞれ77.8%、64.6%、特異度は88.5%、84.5%であった（表4）。A(z)は全ての読影者においてCCD-DRがFS系より高く（図9：Reader A～F）その平均値はCCD-DR 0.896、FS 0.800であり、対応のあるt検定を行ったところp=0.0059でCCD-DRにおけるCRTの診断能は、FS系より優るという結果であった（図10）。

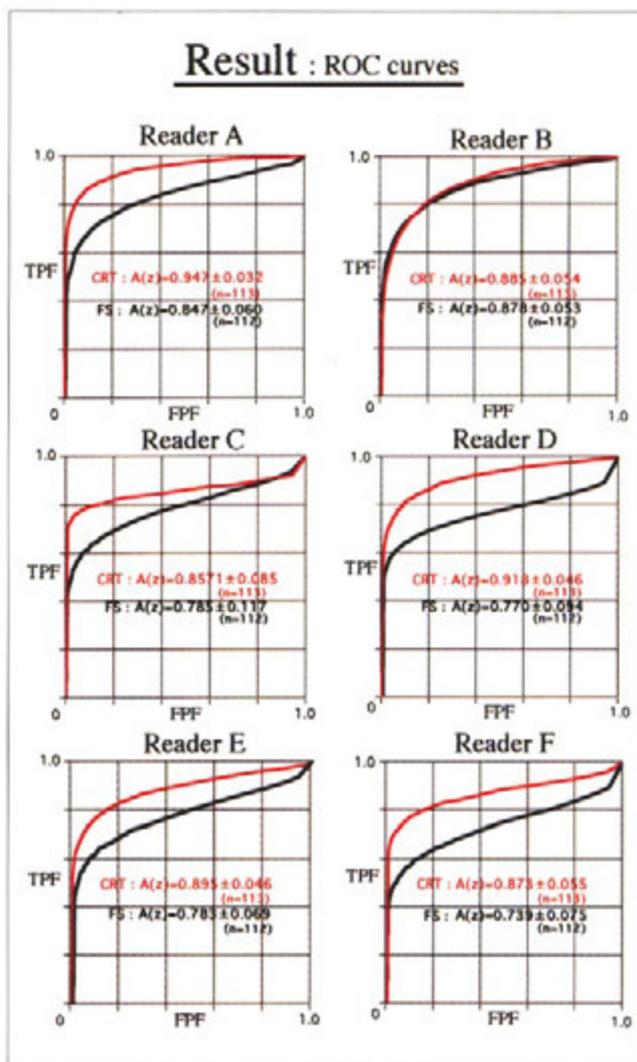


図9：読影者におけるCCD-DRとFS系のROC曲線とA(z)値（研究2.）

## 7. 考察

デジタル化が進み新しい技術の抬頭の激しい医用画像検査では、対象となる画像検査がどの程度成熟しているかを的確に理解し、それに応じた画像評価を実施することが重要である。物理学的評価においてCCD-DRはFS系に匹敵した画質を持つ。しかし実際の臨床においてFS系と比較し、CCD-DRがどの程度の診断能を有しているのか、物理学的評価のみならず、その臨床的有効度(clinical efficacy)を明らかにする必要がある<sup>12)</sup>。その意味において、ROC解析を用い、CCD-DRのような新しい医用画像の診断能を定量化し客観的に評価していくことは今後益々重要になると考えられる。

今回のROC解析を用いた評価の範囲で、上部消化管造影検査におけるCCD-DRの診断能はFS系に十分匹敵すると考えられる。研究1.は検査の進行上、CCD-DRとFS系で同一撮影体位の画像が得られた50症例における両システムの比較であり、研究2.では臨床研究に準じprospectiveに225症例をCCD-DRとFS系に割り付け、より実際の臨床に近い状態で両システムの比較を行ったものである。しかし研究1.では各読影者のA(z)にかなりのばらつきが認められたこと、研究2.では割付内容が必ずしも均一でないことや、CRTにおける診断方法が十分検討されていないことなど問題点もある。さらにROC解析を行なう上で症例数・症例内容が適切か、癌としての質的診断まで読影者に要求したことが適切かどうかなどの基本的な問題もある。そのため今回の結果がそのままCCD-DRの診断能がFS系を凌ぐ理由にはならないが、少なくともFS系に代わるモダリティとしてCCD-DRによるCRT診断の可能性を大きく示したと考えられる。

消化管造影検査においても画像のデジタル化の目的が診断画像の即時表示、画像保管と検索の容易化であることを考えると最終的にはCRT診断に移行していくと思われる。消化管造影検査は一被検者あたりの画像数も多く、CRT診断のメリットは大きい。さらにCRT診断では各種の画像処理も可能であり、消化管造影検査においてもCAD(Computer-Aided Diagnosis)への道を拓くと思われる<sup>13)</sup>。こうした過程においてはROC解析を用い診断能を客観的かつ定量的に評価していくことが必要であり、ROC解析のような方法を用いた医用画像評価における臨床研究デザインの確立が望まれる。

## 8. まとめ

1. 上部消化管造影検査において400万画素CCDカメラを用いたDR(CCD-DR)と従来のfilm screen(FS)系の診断能をROC解析により比較した。
2. 50症例における同一撮影体位の画像を用いた評価では、CCD-DRの診断能はFS系とほぼ同等であった。
3. 225症例のprospective studyによる実際の臨床に即した評価では、CCD-DRのCRTにおける診断能はFS系より高くなった。
4. 上部消化管造影検査におけるCCD-DRによるCRT診断の可能性が大きく示された。
5. 医用画像評価においてもROC解析のような方法を用いた臨床研究デザインの確立が望まれる。

## 参考文献

- 1) 山田達哉ほか：胃X線所見と切除標本所見との対比 特にCR法による対比. 胃と腸23：35-42,1988
- 2) 小池功一ほか：リアルタイムデジタルラジオグラフィ装置(DR-2000H)の開発.MEDIX 21：9-15,1991
- 3) 神谷正己ほか：リアルタイムデジタルX線撮影装置の開発とその臨床応用.日立評論73：23-30,1991
- 4) Takahashi M. et al：Gastrointestinal Examinations with Digital Radiography. Radiographics 12, 970-978,1992
- 5) 飯沼 元ほか：消化管造影検査におけるDR(Digital Radiography)の検討. 臨床放射線41：405-413,1996
- 6) 飯沼 元ほか：digital radiography(DR)による消化管造影検査. 臨床画像12：154-162,1996
- 7) 石川 謙ほか：400万画素CCDカメラを用いたDR装置の画像特性. MEDIX 28：35-40,1997
- 8) 7.放射線像情報学.診療放射線技術学体系(神田幸助編). 74-88,1990
- 9) Metz CE et al：Evaluation of receiver operating characteristic curve data in terms of information theory, with applications in radiography. Radiology, 109,297-303,1973
- 10) 山下一也：信号検出理論による画質評価. 日放技学誌 48：2081-2092,1992
- 11) ROC解析の基礎と応用. 放射線医療技術学叢書(8). 103p,1994
- 12) 飯沼 武：臨床的有効度の評価基準. 臨床放射線28：533-536,1983
- 13) 土井邦雄ほか：デジタルラジオグラフィにおけるコンピュータ支援診断の可能性. 日放技学誌 45：653-663,1989

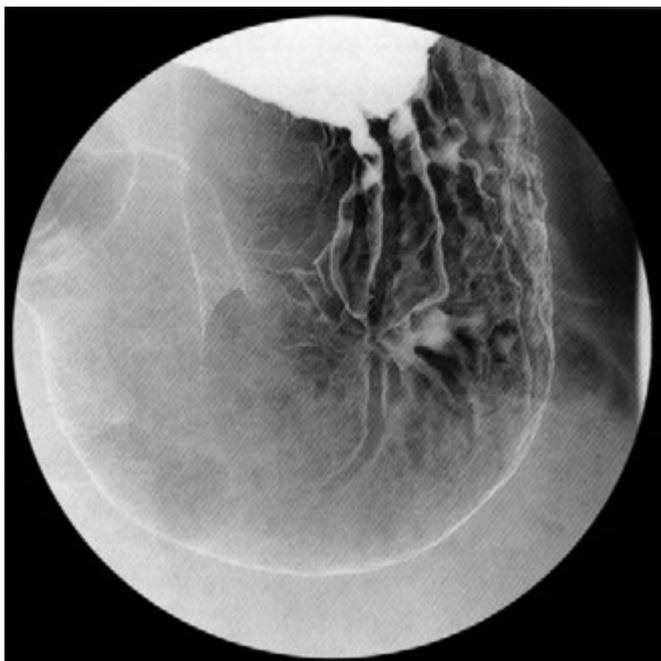


図11：症例58歳 男性  
胃体下部後壁 O-IIc型 早期胃癌 25×15mm 深達度sm  
不整な陥凹内、集中ひだの先端の性状が明瞭に描出されている。



図12：症例75歳 男性  
胃体上部前壁 O-I 型 早期胃癌 35×25mm 深達度sm  
表面のvillous featureが良く描出されている。

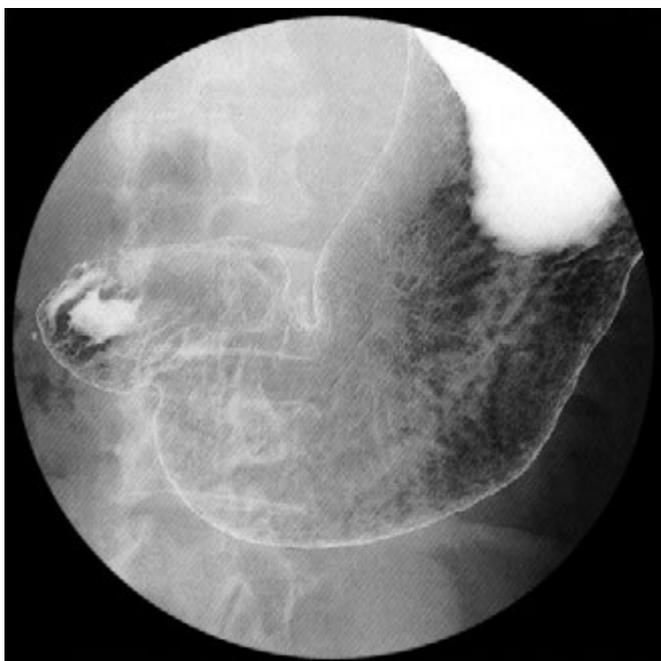


図13：症例61歳 男性  
胃体下部後壁 O-IIc 型 早期胃癌 30×25mm 深達度m  
中央の淡いバリウム斑の周囲に、不整粘膜像が認められる。

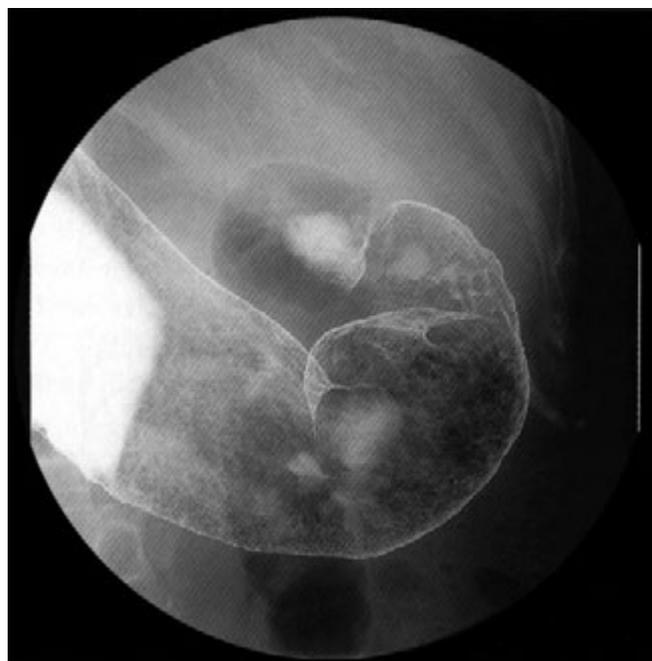


図14：症例61歳 女性  
胃体下部前壁 O-IIc 型 早期胃癌 15×15mm 深達度m  
浅い不整陥凹が明瞭に認められ、不整な辺縁像が良く描出されている。



図15：症例43歳 女性  
胃角前壁 O-IIc 型 胃癌 20×15mm 深達度 mp  
集中するひだの先端所見と、陥凹内の不整結節状変化が  
良く観察される。



図16：症例47歳 女性  
胃体上部前壁 O-IIc 型 胃癌 35×20mm 深達度 se  
集中するひだの中央に浅い不整形陥凹を認め、大弯側に  
腫大したひだを認める。



図17：症例54歳 女性  
胃体上部前壁 1型 進行胃癌 40×25mm 深達度 mp  
隆起表面の不整な凹凸結節状変化が良く観察される。

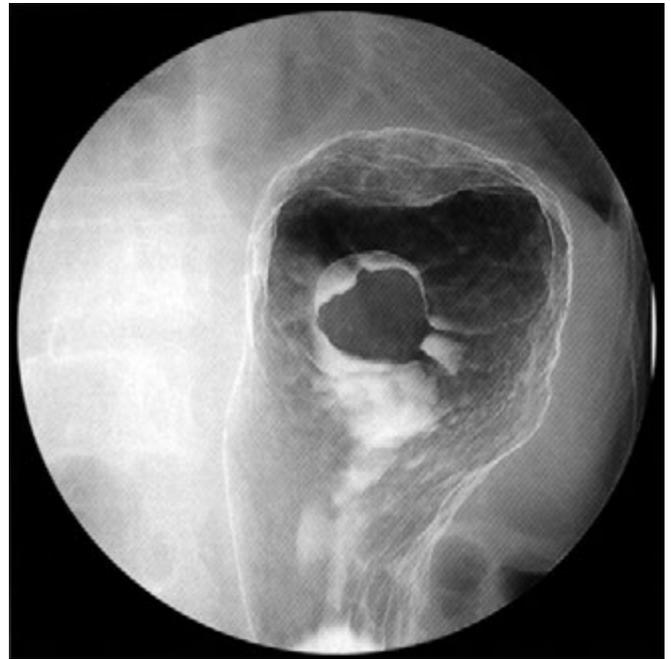


図18：症例66歳 女性  
胃噴門部後壁 粘膜下腫瘍（平滑筋肉腫）25×25mm  
表面・辺縁の平滑な性状と、辺縁のbridging foldが明瞭  
に認められる。