

胸部撮影システムの ROC 解析 — 心陰影に重なった腫瘤状陰影について —

荒尾 信一, 天野 貴司, 北山 彰
林 明子, 山下 一也

Evaluation of the Screen/Film System for Chest Radiography by ROC Analysis

Shinichi ARAO, Takashi AMANO, Akira KITAYAMA,
Akiko HAYASHI and Kazuya YAMASHITA

キーワード：ROC 解析, 連続確信度法, 信号検出能, 胸部撮影システム

概 要

新しいタイプの胸部専用スクリーン/フィルムシステム (胸部専用, AD システム) について心陰影部における腫瘤状の微小信号の検出能を視覚による ROC 解析 (連続確信度法) を用いて評価を行なった。結果として, 標準的なフィルム/スクリーンシステムに比べ高い検出能を示すことが確認できた。そして, その結果について両システムの個々の画質特性および複数の画質特性の統合評価である濃度値を入力データとして用いた ROC 解析の結果と併せて検討を行ない, 心陰影部に重なった腫瘤状の微小信号の検出にはシステムの粒状度が大きく関係していることが物理的客観評価, 心理的主観評価から証明できた。

1. はじめに

現在, 悪性新生物のなかで肺癌は罹患率, 死亡率ともに急増しており, 肺癌の早期発見は最も重要な課題となっている。そのため, 肺癌の早期発見における最初のアプローチである胸部 X 線写真の重要性は極めて高く, 診断価値の高い胸部 X 線写真が要求されている。

それにこたえて 1993 年に新しいタイプの胸部専用スクリーン/フィルムシステム (富士メディカル胸部専用システム) が商品化された (以下 AD システムと略す)。これは肺野部と縦隔部の両方を描出するための広いダイナミックレンジを持ち, そのうえ各部位において良好なコントラストを保つという特徴をもっている。さらにこのシステムは標準的なこれまでのスクリーン/フィルムシステムと比べて特に中・低濃度における粒状性に優れ, 縦隔部の検出能が向上している。このことは特性曲線, MTF (modulation transfer function), ウィナーспекトルなどの物理的データからもそれぞれ

れ裏付けられている^{1,2)}。

われわれの研究はこの胸部専用システムの心陰影部における腫瘤状の微小信号の検出能を視覚によって ROC (receiver operating characteristic) 解析 (連続確信度法) 評価することが目的である。そして, その結果についてスクリーン/フィルムシステムの画質特性および以前にわれわれが報告³⁾した濃度分布を入力データとして用いた ROC 解析の結果と併せて検討と考察を行なった。

2. ROC 解析 (連続確信度法)^{4~6)}について

本研究で用いた ROC 解析は, 人の視覚によって画像の属性を主観的・心理的に評価するのにもっとも優れた方法であり, 雑音中に存在する微小な信号を検出する能力を評価し, それを検定するものである。一般に ROC 解析では 5 段階評定 (「信号がある」, 「信号があるだろう」, 「わからない」, 「信号はないだろう」, 「信号はない」) の 5 段階) によってカテゴリ分類する評定確信度法が広く利用されているが, この方法では実際にカテゴリ分類を行うときに観察者の観察経験やそれに伴う学習を厳密に規制しなければならなかった。また, カテゴリ分類が適当でなかったときに評価を

(平成 12 年 9 月 7 日受理)

川崎医療短期大学 放射線技術科

Department of Radiological Technology Kawasaki College of Allied Health Professions

不可能にするデータが生じるなどの問題があった。これを解決する一つの方法として、1990年に Metz らはカテゴリーを区分しない連続的に分布したデータを用いて ROC 解析を行なう連続確信度法 (continuously-distributed scale method) を提案した⁴⁾。この方法では観察者は観察試料に対して単に順位付けだけを行ない、後で試料数に応じて分割して解析するために事前のカテゴリー分類の必要がなく、正規分布の広がりを持つデータであればデータの値の大小だけが問題となり、その値の広がりや範囲は問わないという特徴を持っている。また、心理的な対象であっても、物理的な対象であっても適用が可能であることが確認されている^{3,7-10)}。

図1に観察試料から得た評定値の正規分布と ROC

曲線の関係を示す。ROC 曲線は信号が存在する試料 (positive image) から得られる評定の正規分布 (TP (i)) と信号が存在しない試料 (negative image) から得られる評定の正規分布 (FP (i)) の関係から求められる。すなわち、横軸上の ∞ から判断基準 X_i ($0 \leq i \leq$ 分割数) までの negative image の正規分布の積分値を横軸 (false positive fraction : FPF) に、positive image の正規分布の積分値を縦軸 (true positive fraction : TPF) にもっている。ROC 曲線では、この積分値をそれぞれの正規分布全体の積分値で正規化して、最大値1.0で共に収束するように定めている。

信号が明らかに存在する positive image を評価に用いた場合、positive image の正規分布は図2(a)に示すように判断基準の信号ありの方に偏ってしまい, nega-

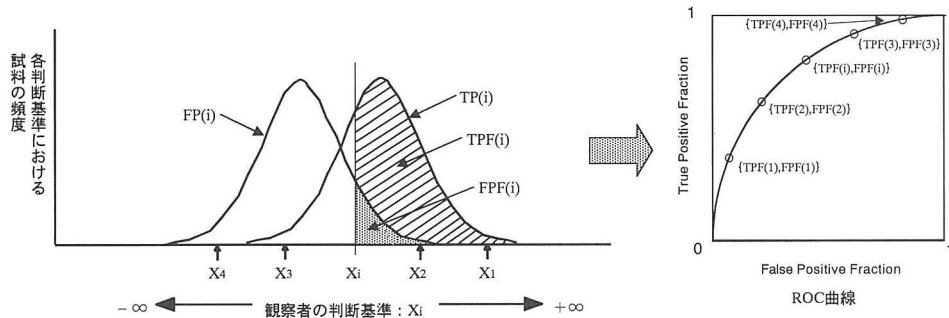


図1 評定値正規分布と ROC 曲線の関係

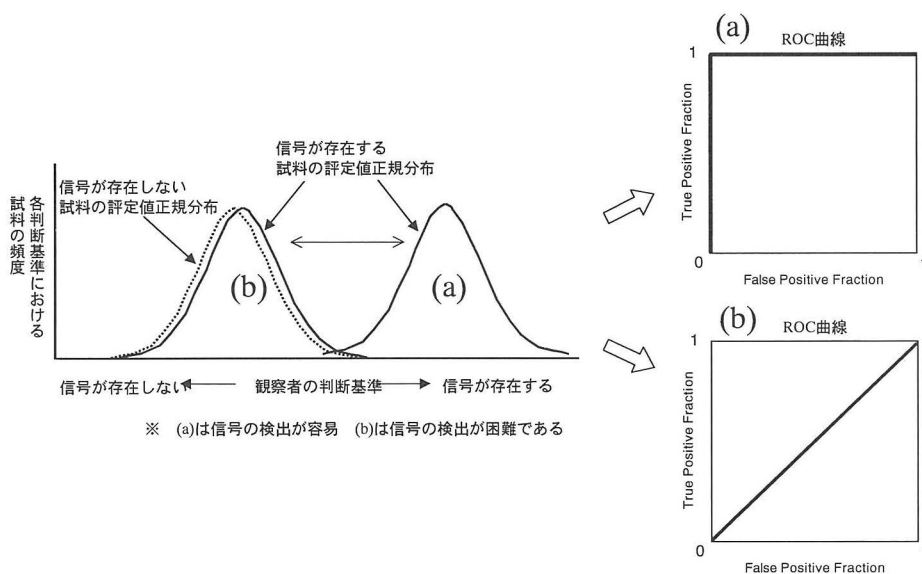


図2 信号検出の難易度が変化した場合の評定値正規分布と ROC 曲線の変化
(a) 信号の検出が容易な場合 (b) 信号の検出が困難な場合

tive image の正規分布とは完全に分離し、ROC 曲線は FPF=0.0の時に TPF=1.0となる。逆に非常に判断の困難な画像を positive image に用いた場合は図 2(b)に示すように両正規分布は重なりあい、ROC 曲線は正の対角線と一致する。したがって、ROC 曲線では左上方に曲線が近づくほど高い検出能を示す。同一の信号を用いた試料であれば、この ROC 曲線の位置関係からシステムの検出能の高低を比較評価することが可能になる。また、有効性の差の判定に ROC 曲線下の面積 (A_z) を用いることが多い。

3. 使用機器およびファントム

使用した X 線装置は三相 (東芝製 KXO-1000 L 2) で、X 線管は焦点サイズ 1 mm × 1 mm (東芝製 DRX-2903 HD) である。スクリーン/フィルムシステムは AD システム (胸部専用システム: 富士メディカル HG-M 2 / UR-1) と標準システム (富士メディカル HR-4 / HR-S 30) を用いた。胸部ファントム (京都科学社製 PB-10-A) を使用し、腫瘤状模擬陰影として黒化した X 線フィルム片を 10~16 枚重ねたもの (約 10mm ϕ) を用いた。

4. 方 法

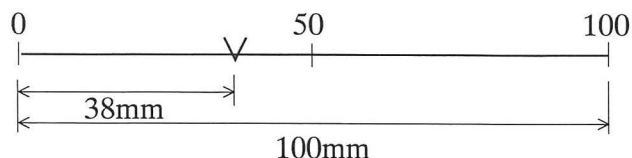
(1) 観察試料の作成

撮影条件は管電圧 120kV (Cu 0.5mm, Al 3 mm 付加) で、撮影距離は 200cm, 散乱 X 線除去用グリッド (グリッド比 8 : 1, グリッド密度 40 本/cm) を使用した。そして両システムとも右肺の第 3, 4 肋間における写真濃度が 1.50 になるように管電流時間積 (mAs) を調整した。現像には自動現像機 (富士メディカル CEPROS-S) を使用し、現像温度は 32.0 \pm 0.1 $^{\circ}$ C で処理時間は 100 秒とした。positive image には腫瘤状模擬物体を心陰影に重なる位置に各画像につき 1 個配置した。フィルム片を重ねた枚数 (10 枚~16 枚) の違いで信号強度を調整し、各システムにおける信号強度の異なる試料数の割合は同一とした。観察試料枚数は positive image と negative image を各システムともそれぞれ 40 枚作成し、各システム 80 枚を 1 セットとした。

(2) 観察・解析の方法

観察者は放射線技術科 3 年生の学生 5 名 (以下、学生群) および、診療放射線技師免許を持つ教員 5 名 (以下、教員群) の合計 10 名とした。試料はシャウカステンに提示し、観察距離は約 30cm (観察者自身の明視距離)、観察時間は一枚当たり約 20 秒とした。各観察者とも事前に観察実験に関する学習を十分に行なった。試

料の提示の順番はシステムごとにアランダムとし、各試料ごとに連続確信度法で信号の有無および描出の程度について 100mm のスケール上に自由に印を記入することにした (図 3)¹¹⁾。つまり、信号がはっきり認知できる場合は 100mm に近く、信号の確認が不確かな場合は 0 mm に近く記入することになる。その後、スケール上の印の位置の長さを測定し、その値を各試料の評点とした。ROC 解析は各システムから得られた評点を入力



※ V は評定した位置、この場合の評定点は 38 点とする

図 3 評定値記入用スケール

データとして Metz の ROC 解析用プログラム LA-BROC 5 で行なった。

5. 結 果

図 4 (a), (b), (c) に、観察者が学生群と教員群、そして全体 (学生+教員) の場合の ROC 曲線を示す。全てにおいて AD システムの ROC 曲線は、標準システムに比べ左上方に位置しており、高い検出能を示している。学生群と教員群の検出能の比較では標準システムにおいては教員群の検出能が高い値であった。これは、X 線写真を日常的に見る機会が多く、その認知に慣れているためであると考えられる。

一方、AD システムでは学生群と教員群での検出能に差はなかった。このことは AD システムでは観察経験が少ない観察者の検出能を高める効果があったといえる。表 1 は ROC 曲線下面積 (A_z) と、その面積検定を p-value < 5 % で paired-t 検定を行なった結果である。教員群では両システムの検出能に有意差は認められなかったが、学生群および全体では AD システ

表 1 ROC 曲線下面積 (A_z)

両スクリーン/フィルムシステムの心理的主観評価の信号検出能についての有意差検定 (p-value < 0.05) の結果

	学生群	教員群	全 体
AD システム	0.94 \pm 0.02	0.94 \pm 0.03	0.94 \pm 0.02
標準システム	0.84 \pm 0.06	0.90 \pm 0.01	0.87 \pm 0.05
統計的有意差 (p-Value < 0.05)	あり	なし	あり

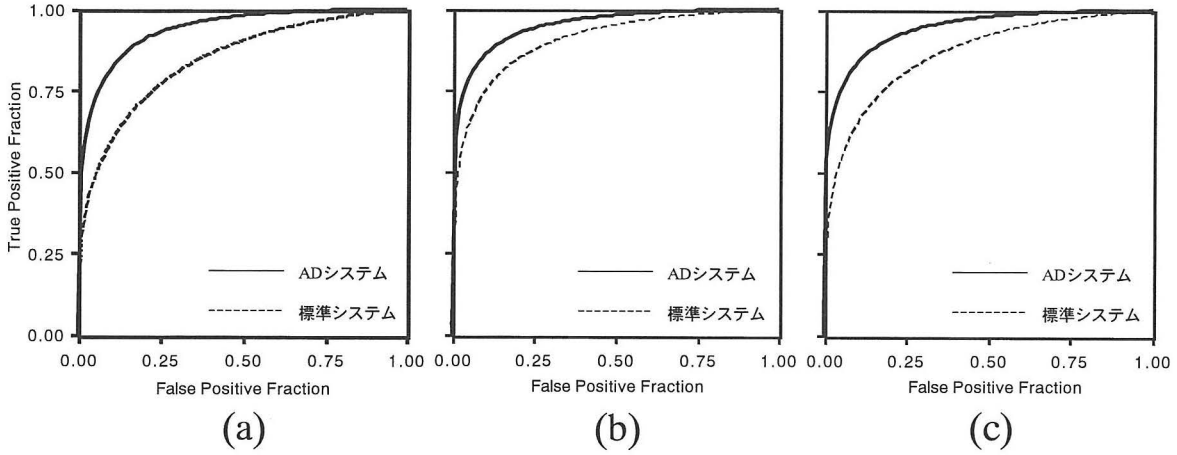


図4 心理的主観評価による ROC 曲線

(a) 観察者が学生群の場合 (b) 観察者が教員群の場合 (c) 全観察者 (学生+教員) の場合

ムの検出能は標準システムに比べ有意に高いという結果となった。

6. 考 察

(1) システムの画質特性の比較

図5(a), (b), (c)に、両システムのコントラストを表すグラディエント曲線(a), 解像力・鮮鋭度にあたるMTF (b), そして粒状度を表すウィナーズペクトル(c)を示す。グラディエントは両システムにおける心陰影部の濃度 (AD システムで0.50程度, 標準システムでは0.45程度) で比較すると標準システムの方がAD システムよりもわずかに高い値を示しているがほぼ同等とみなしてよい。MTF については標準システムがわずかに高い特性であるが、ほとんど変わらない。また、ウィナーズペクトルはAD システムが各空間周波数において標準システムよりも低い値を示しており、粒状度がかなり優れていた。すなわち、ある面積を持った腫瘍状陰影に対して、心陰影部のように写真濃度が低くコントラストが不十分な部位では、わずかにコントラストが優れた標準システムよりも、粒状度がかなり優れたAD システムの方が視覚的に信号の検出能が高くなると考えられる。

(2) 濃度値を用いた ROC 解析との比較

これまでにわれわれはスクリーン/フィルムシステムの腫瘍状陰影の検出能の評価法を濃度値を入力データとしてROC 解析を行なった結果を報告している³⁾。それによれば positive image から信号部位の濃度値データを測定し, negative image から同一部位の濃度値データを測定する。そして得られた濃度値データを

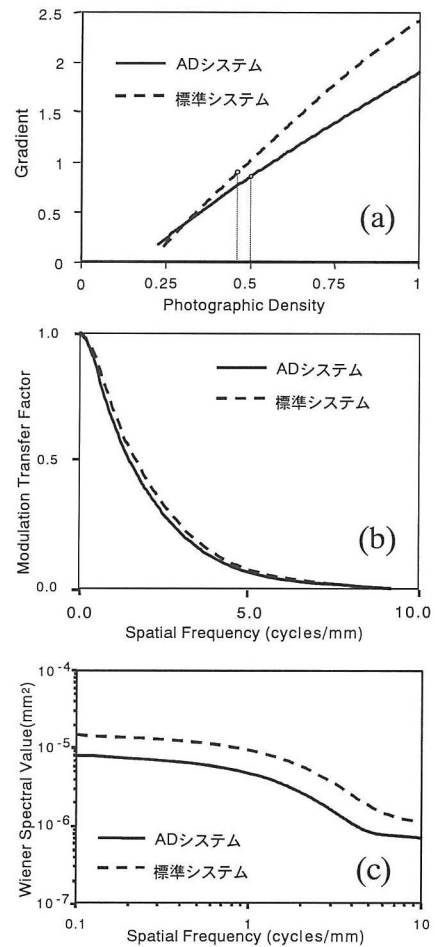


図5 両スクリーン/フィルムシステムの画質特性
(a) グラディエント曲線：コントラスト
(b) MTF：解像度・鮮鋭度
(c) ウィナーズペクトル・粒状度

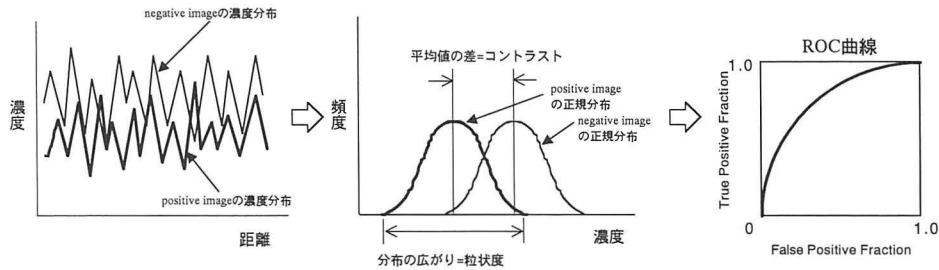


図6 濃度値を入力データとして用いた ROC 解析の概要

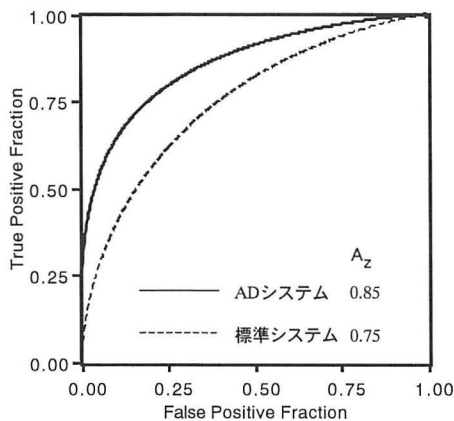


図7 濃度値を入力データとしていた ROC 解析によって得られた両スクリーン/フィルムシステムの ROC 曲線

ROC 解析の入力データとした方法である (図6)。入力データの濃度のばらつきが粒状度の特性を反映し、信号の有無によって生じた両濃度値データの濃度差がコントラストの特性を反映していることを利用したものであり、その解析の結果はシステムの画質特性のコントラスト (グラディエント) と粒状度を統合した評価が行なえるという特長を持っている。図7は心陰影部において直径7mm、厚さ3.5mmのプラスチック製の半球の腫瘤状模擬物体を試料として得られた濃度値データを用いた両システムの ROC 曲線および ROC 曲線下面積 (A_z) である。二つの画質特性を統合したこの結果も今回の心理的主観評価による ROC 解析の結果と同様に AD システムの検出能が優れている。したがって、心陰影に重なった腫瘤状陰影に対する検出能は、コントラストがほぼ同等であれば粒状度の優れたシステムがより高値を示すことが物理的な評価においても視覚的な評価においても確認できた。

7. 結 論

- 1) 心理的主観評価による ROC 解析の結果、AD システムは心陰影に重なった腫瘤状の微小信号につい

て高い検出能を示した。

- 2) 学生群は標準システムにおいて教員群に比べ低い検出能であったが、両システム間の優劣は変わらなかった。
- 3) 各システムの画質特性の比較によって心陰影に重なった腫瘤状の微小信号の検出は粒状度が大きく影響することがわかった。
- 4) 心理的主観評価と画質特性の統合評価である物理データを用いた ROC 解析の結果は共に AD システムが高い値であった。
- 5) 心陰影に重なった腫瘤状の微小信号の検出能は、コントラストが同等であれば、粒状性の良いシステムが高くなるのが物理的客観評価と心理的主観評価から確認できた。

謝 辞

この実験を行なうにあたって、観察者として快くご協力いただいた先生方および学生諸君に心より感謝する。

文 献

- 1) 永野裕美, 西原貞光, 吉田賢一, 大村敬子, 上田克彦, 山内秀一, 神崎竜二, 橋田昌弘, 大塚昭義: 胸部専用スクリーン/フィルムシステムの物理的評価, 日本放射線技術学会雑誌51(12): 1742-1746, 1995.
- 2) 東田善治, 吉田 彰, 勝田 昇, 守部伸幸, 村上康則, 濱田智広, 吉田幸人, 望月祐次, 本田 貢, 高橋睦正: 胸部撮影のための新しい増感紙—フィルム系の画像特性, 日本放射線技術学会雑誌52(4), 524-529, 1996.
- 3) 荒尾信一, 天野貴司, 林 明子, 北山 彰, 山下一也: ROC 解析による濃度値を用いた胸部腫瘤状模擬病変の評価, 医用画像情報学会誌16(2): 70-78, 1999.
- 4) Metz CE, Shen JH and Herman BA: New Methods for Estimating a Binormal ROC Curve from Continuously-Distributed Test Results, Presented at the 1990 Annual Meeting of the American Statistical Association, Ana-

- hein, CA, August 7 : 1990.
- 5) 日本放射線技術学会専門委員会編：ROC 解析の基礎と応用，京都：日本放射線技術学会，1994.
 - 6) 白石順二：X線画像の定量評価，放射線医学物理学会雑誌15(2)：122—128, 1995.
 - 7) 白石順二，上田容子，宇都宮あかね，花岡信子，辰巳大作，津田和良：ROC 解析を応用した CT 装置の密度分解能の測定，日本放射線技術学会雑誌53(4)：431—436, 1997.
 - 8) 荒尾信一，天野貴司，北山 彰，山下一也，友光達志：骨代謝マーカーの ROC 解析，川崎医療短期大学紀要17：61—66, 1997.
 - 9) 荒尾信一，天野貴司，北山 彰，板谷道信，山下一也，古城 剛，浮田智子：ROC 解析による MR 画像の信号検出能の評価，医用画像情報学会雑誌14(3)：128—138, 1997.
 - 10) 荒尾信一，天野貴司，北山 彰，板谷道信，山下一也，古城 剛，吉田耕治，角場幸記，内田敏敦，新田容子：SIGNA Contour CX 後処理用イメージフィルタの基礎的検討，川崎医療短期大学紀要19：93—97, 1999.
 - 11) 宇都宮あかね，白石順二：ROC 解析における試料収集法の考案，日本放射線技術学会雑誌53(3)：363—367, 1997.