原 著

18肢強制選択法の検出率とスペクトル SN 比との相関について

岡 田 弘 治・宇佐美 公 男・福 井 豊

西 松 和 彦・橋 場 久 幸・南 部 秀 和

辰 巳 幸 代・坂 下 太 郎・村 野 喜 彦

若 松 孝 司*・山 下 一 也**

近畿大学医学部附属病院中央放射線部

*国立福知山病院放射線科

**大阪大学医療技術短期大学部

(論文受理 1992年 5 月16日)

(最終論文受理 1993年 1 月22日)

(Code No. 521)

Key words: 18-AFC (18-alternative forced choice), NEQ(u) (Number of noise-equivalent quanta (u)), Spectral signal-noise ratio, Visual threshold value, Screen/film system

RELATIONSHIP BETWEEN DETECTABILITY BY THE 18-AFC METHOD
AND SPECTRAL SN RATIO

HIROHARU OKADA, KIMIO USAMI, YUTAKA FUKUI,
KAZUHIKO NISHIMATSU HISAYUKI HASHIBA, HIDEKAZU NANBU,
SACHIYO TATSUMI, TARO SAKASHITA, YOSHIHIKO MURANO,
TAKASHI WAKAMATSU* and KAZUYA YAMASHITA**

Department of Central Radiology, Kinki University Hospital

*Department of Radiology, Utano National Hospital

**College of Bio-Medical Technology, Osaka University

Summary

We examined the relationship between SN ratio of visual threshold value and radiographic image by using various sizes of plastic columns and various speeds of screen/film systems to change the signal value. We tried to get a visual estimation applying the 18-AFC (18-alternative forced choice) method using five radiological

technologists. On the other side, we got a physical estimation applying the spectral SN ratio composed of NEQ (u) (Number of noise-equivalent quanta(u)) and distributed spectral of the signal.

As a result, when we assumed the threshold value of detectability of the 18-AFC method was 50%, we found that SN ratio of the visual threshold value was 3.23.

When the speed of the screen/film system increases, the threshold value of the SN ratio decreases. We were able to confirm that the visual characteristics depend on the contrast and spatial frequency of the signal.

1. はじめに

放射線技術やモダリティーの高度な技術化が進むにつれて、CR や II-TV、増感紙・フィルム系などのX線画像システムにおいて一段と高感度化が進められてきた。しかし、画質と感度とはトレード・オフの関係にあり、簡単に高感度にするわけにはいかない。つまり、臨床画像として読影に充分堪えるだけの画質を維持しながら、高感度の画像システムを臨床に適用し、可能な限り被曝低減に努めることが理想的である。そのためには、X線画像の視覚評価において、観察者の視覚特性の下限値や画質との関係を把握することが肝要である。そのとき、観察者の注視点とは与えられた画像上の被写体（信号）に主に向けられる。したがって、X線画像において人の視覚特性と画像特性との関係を調べる場合、用いたシステムの総合的な特性と、観察者の注視点の対象となる信号の大きさや形状を含めて比較しなければならない。

X線画像において信号検出の限界を求める視覚的な評価方法として、Burger ファントム¹⁾などのCD (contrast-detail) ダイアグラム²⁾、また、多肢強制選択 (multiple alternative forced choice, M-AFC) 法³⁾などの評価が適用されている。Burger ファントムの場合、50%の確信度で評価される。50%の確信度は、信号の判断レベルの目安として与えられ、主観的なものである。多肢強制選択法は、心理物理的方法によるもので、高い信頼度が得られる。土井らは18肢強制選択 (18-AFC) 法を適用して、検出率50%に対応する信号コントラストを識別コントラストとしている²⁾。

一方、X線画像システムの総合的物理的評価には、様々な方法がある^{3)~5)}が、近年 NEQ(u) (number of noise-equivalent quanta(u)) がよく用いられてきている^{6)~11)}。また、画質の属性は、コントラスト、鮮鋭度、粒状性の3つに分けることができる。NEQ(u) は、信号と雑音の比(SN比)のパワースペクトルで、信号の成分を1と規格化した場合の増感紙・フィルム系のみの特性を表現したものである。共同研究者の二人は、線形性を保つために微小なコントラストをもつ被写体を信号として取

扱い、SN比のパワースペクトルをスペクトルSN比としている^{7,8)}。すなわち、スペクトルSN比は、信号として被写体を用いた場合をいう。また、スペクトルSN比の積分をマッチドフィルタ・モデル^{2,12,13)}のSN比として一元表示を行っている^{7,8)}。ここではこれを単にSN比としておく。

われわれは、これらのことを考慮して、視覚評価においては、アクリル樹脂製の円柱ファントムを単純な信号として用い、そのサイズ（直径と高さ）と増感紙・フィルム系の感度を変えて18-AFC法を適用し、それによる検出率を求めた。また物理的評価には、その系のスペクトルSN比を求め、視覚評価による検出率との相関について検討した。

2. 方法と結果

2.1 装置・機器

X線装置：東芝 KXO-850(N)型、X線管：東芝 DRX-2903HD、濃度計：サクラ PDA-65と PDM-5B、増感紙：Lanex fine, Medium, Regular, Fast (Kodak)、フィルム：HRS (Fuji)、カセット：Kodak X-Omatic cassette、照度計：Topcon デジタル照度計 IM-3、自動現像機：M6-AN (Kodak)、コンピュータ：NEC PC-9800 VX、金属スリット：Kenetrium Grad W-10 (シカゴ大学製、スリット10 μ m、開口比200:1)、アクリル樹脂製ファントム：特注 (材質スミベック001番)

2.2 18-AFC 法

Fig. 1 は、18-AFC 法に用いたファントムのシェーマを示す。厚さ5mmで、縦45mm×横90mm 方形のアクリル板を Fig. 1 のように18分割し、任意の1片に信号としてアクリルの円柱を配置した。その円柱の直径と高さは、直径1.0, 1.5, 2.0, 3.0 mm、高さ0.5, 1.0, 1.5, 2.0 mm をそれぞれ組合せた計16種類のサイズの内から1個を用いた。そして、管電圧80 kV、付加フィルタ0.1 mmCu+22 mmAl、SIDを180 cmにして、素地濃度 1.0 ± 0.03 になるようにX線照射した。また、増感紙・フィルム系は、フィルム HRS と、増感紙 Lanex fine, Medium, Regular, Fast とを各々組合わせた。つまり、

18肢強制選択法の検出率とスペクトル SN 比との相関について (岡田・他)

Fig. 1 Schema of test phantom using the 18-AFC method. One of 16 kinds of columns was used as the signal.

用いる信号の高さや直径と、増感紙・フィルム系の画質特性を変えることによって、観察試料の SN 比のパラメータを変化させることにした。

観察者は、経験年数10～17年の放射線技師5人で、観察距離40～50 cm、観察時間10秒とし、同一信号サイズでのフィルム枚数36枚、信号サイズ16種類、増感紙・フィルム系4種類、計2304枚の観察試料を、各観察者に対して、平均照度7730 lx のシャウカステンにて観察試料の周辺を黒紙で遮光し、18-AFC 法による視覚評価を行った。

Fig. 1 に示すように、縦3区画、横6区画計18区画のいずれか1区画に信号が必ず存在することを予め観察者に伝えておき、観察者にその信号の存在する区画を回答させた。観察者の正答率を、その系の18-AFC 法の検出率とした。

2.3 SN 比

マッチドフィルタ理論^{2,12,13)}を応用した SN 比は、次のように表わすことができる^{7,8)}。

$$SNR = \sqrt{2\pi \int_0^\infty \frac{S_i^2(u)}{W(u)} u du} \quad (1)$$

ここで、

$$S_i(u) = k\mu S(u)(\log_{10}e)G MTF_s(u) \quad (2)$$

であり、

$$S(u) = 2\pi r^2 h J_1(2\pi ru) / (2\pi ru) \quad (3)$$

である。また、 $S_i(u)$ はX線写真上の信号、 $S(u)$ は被写体の信号スペクトルを示す。また、 G はフィルムのグラディエント、 $MTF_s(u)$ は増感紙・フィルム系の MTF、 $W(u)$ は Wiener スペクトル、 k はコントラスト減弱因子、 μ はアクリルの線減弱係数、 r はアクリル円柱の半径、 h は円柱の高さ、また、 $2J_1(2\pi ru)/(2\pi ru)$ は円画像の周波数変換を第1次の Bessel 関数で表している。共同研究者のひと

りは、信号にアクリルビーズを用いている⁹⁾が、本研究では信号がアクリルの円柱なので、信号の被写体の分布スペクトルは(3)式となる。

また、このとき $NEQ(u)$ は、次式のように示される。

$$NEQ(u) = \frac{(\log_{10}e)^2 G^2 MTF_s^2(u)}{W(u)} \quad (4)$$

ここで、 $NEQ(u)$ は、グラディエント G 、増感紙・フィルム系の MTF ($MTF_s(u)$)、Wiener スペクトル $W(u)$ から構成されており⁹⁾、(1)(2)式からみられるように、SN 比の測定には増感紙・フィルム系の $NEQ(u)$ が大きく関与している。したがって、用いた増感紙・フィルム系の $NEQ(u)$ と、各アクリル円柱の信号スペクトルを算出し、(1)式に代入してマッチドフィルタ・モデルの SN 比を求めることにした。

2.3.1 特性曲線とグラディエント曲線

4種類の増感紙：Lanex fine, Medium, Regular, Fast をフィルム HRS にそれぞれ組合せ、管電圧80 kV、付加フィルタ0.1 mmCu+22 mmAl を用いて、距離法によって各増感紙・フィルム系の H&D 曲線を求め、さらにこれよりグラディエント曲線を得た。

Fig. 2 は、H&D 曲線とグラディエント曲線を示す。ベース濃度+カブリ濃度+1.0における相対感度は、増感紙が Fine のときを100とすると、Medium, Regular, Fast は、それぞれ273, 372, 558となった。また、濃度1.0におけるグラディエント値は、2.50, 2.42, 2.47, 2.50とそれぞれの間には殆ど差がなかった。

2.3.2 MTF と散乱線含有率

スリット法によって、各増感紙・フィルム系の MTF を求めた。

Fig. 3 は、その結果を示す。Fine と Medium 間で2 cycles/mm において、約50%の大幅な MTF 値の低下があり、さらに Medium, Fast 間では、約37%の低下がみられた。

Wiener スペクトルの測定試料の撮影には、アクリル厚5 mmの台座を付加したコダック X-Omatic cassette を用いたので、これらから発生する散乱線の含有率を Grodel 法の応用で求めたところ¹⁴⁾、14.5%の値を得た。

2.3.3 Wiener スペクトル

測定試料は、管電圧80 kV、付加フィルタ0.1 mmCu+22 mmAl を用いて、コダック X-Omatic cassette の上に厚さ5 mmのアクリルをのせ、各増感紙・フィルム系で濃度が 1.0 ± 0.03 になるよう作製した。そして、測定サンプル数300,000点で Wiener スペクトルを求めた¹⁵⁾。

Fig. 4 は、各システムの Wiener スペクトルを求めた

Fig. 2 H&D & gradient curves of four screen/film systems. Each system was exposed at 80 kV with an additional filter 0.1 mm copper and 22 mm aluminum.

Fig. 3 MTFs of four screen/film systems.

Fig. 4 Wiener spectra of four screen/film systems. Each system was exposed a 5 mm plastic plate on the packed Kodak X-Omatic cassette at 80 kV to 0.5 mm copper and 22 mm aluminum.

結果である。FAST は、FINE の約5.6倍の感度であっても、量子モトルレベルは1.6倍程度であり、高感度増感紙ほど量子吸収効率の優れていることを示している。さらに、低周波モトルと高周波モトルの領域において低感度増感紙と高感度増感紙のモトルレベルの逆転現象が見られる。

2.3.4 NEQ(u)

2.2.1~2.2.3のMTF、濃度1.0におけるグラディエント、そしてWienerスペクトルの結果から、X-Omatic cassetteに厚さ5 mmのアクリルを重ねたときの各増感紙・フィルム系のNEQ(u)を算出した。

Fig. 5は、各システムのNEQ(u)を示す。いずれのNEQ(u)も、交差することなく、Fine, Medium, Regular, Fastと低感度から高感度の順でNEQ(u)が優れている。FINEとMEDIUMとの差は、他のシステムの場合に比べて大幅な差が認められた。

2.3.5 スペクトルSN比とSN比

各信号のコントラストとして与える因子 $k\mu$ （コントラスト減弱因子とアクリルの線減弱係数との積⁹⁾）を測定した。ここで測定して得られた $k\mu=0.0170$ と、2.3.4で得られた各増感紙・フィルム系のNEQ(u)と信号のスペクトル：(3)式から、各増感紙・フィルム系におけるそれぞれの信号のスペクトルSN比($SNR^2(u)$)を次式によって求めた。

18枝強制選択法の検出率とスペクトル SN 比との相関について (岡田・他)

Fig. 5 NEQ(u)s of four screen/film systems. They include the affected factors scattered x-ray from a 5 mm plastic plate and Kodak X-Omatic cassette.

Fig. 6 Spectral detectabilities of four diameter size of columns at same height (1.0 mm) as the signal with the LANEX REGULAR/HRS system.

$$SNR^2(u) = 2\pi \frac{S_i^2(u)}{W(u)} u \quad (5)$$

Fig. 6 は、増感紙・フィルム系 Lanex regular/HRS に、高さ 1 mm、直径 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 mm の信号を用いたときのスペクトル SN 比を示す。スペクトル SN 比は、信号の高さが同じであっても、直径が大きいほど高い値を示した。そのうえ信号の直径によって、スペクトルの第 1 次 0 点の周波数が異なる。この場合約 1.22, 0.81, 0.61, 0.41 (cycles/mm) の順に位置する。同様に、各増感紙・フィルム系におけるそれぞれの信号のスペクトル SN 比を求め、空間周波数が 0.1 から 2.0 cycles/mm までの積分の平方根値、すなわち(1)式を応用した SN 比を導出した。その結果を Table 1 に示す。なお、スペクトル SN 比の積分範囲は、信号の特性を効果的に表わすために、スペクトル SN 比の第 1 次 0 点の周

Table 1 SN ratio of each signal for four kinds of screen/film systems.

LANEX FINE/HRS					LANEX MEDIUM/HRS				
Height (mm)	Diameter (mm)				Height (mm)	Diameter (mm)			
	1.0	1.5	2.0	3.0		1.0	1.5	2.0	3.0
0.5	1.38	2.10	2.81	4.22	0.5	1.06	1.67	2.27	3.47
1.0	2.76	4.19	5.61	8.43	1.0	2.12	3.34	4.54	6.93
1.5	4.14	6.29	8.42	12.63	1.5	3.17	5.01	6.82	10.40
2.0	5.51	8.38	11.22	26.86	2.0	4.23	6.67	9.09	13.87

LANEX REGULAR/HRS					LANEX FAST/HRS				
Height (mm)	Diameter (mm)				Height (mm)	Diameter (mm)			
	1.0	1.5	2.0	3.0		1.0	1.5	2.0	3.0
0.5	0.95	1.53	2.09	3.22	0.5	0.80	1.35	1.90	2.99
1.0	1.90	3.05	4.19	6.43	1.0	1.60	2.69	3.79	5.97
1.5	2.86	4.58	6.28	9.65	1.5	2.41	4.04	5.69	8.96
2.0	3.81	6.10	8.37	12.86	2.0	3.21	5.39	7.59	11.94

波数までの積分が理想的と考える。しかし、この場合信号の直径が異なるので、各々のスペクトル SN 比の第 1 次 0 点の周波数も異なる。したがって、ここでは 1.22 cycles/mm より大きく区切りのよい 2 cycles/mm までを積分範囲とした。

2.3 18-AFC 法と SN 比との関係

18-AFC 法による信号の検出率と SN 比との関係を、使用した増感紙・フィルム系の違いや信号の直径と高さ、さらにこれらを含んだ系の総合的な分析を行った。

ここでグラフ上、横軸に信号の SN 比をとり、縦軸に 18-AFC 法による検出率をとった。各増感紙・フィルム系と各信号ごとの観察者 5 人の 18-AFC 法による検出率を全てプロットし、それらのデータから最小自乗法を用いて回帰曲線を求めた。そして検出率 50% に対応する SN 比を、視覚の識閾の SN 比 (以下、識閾の SN 比) と考え、その値を求めた。また、回帰曲線からの推定値と、観測値を意味する検出率との適合度の良さをみる指標として重相関係数 R を求めた。さらに、その有意性についても検定を行った¹⁰⁾。一方で、Kruskal-Wallis 検定¹⁰⁾を検出率 100% 未満について行い、観察者 5 人の 18-AFC 法による検出率が、各信号の SN 比間で差があるかについても併せて検定した。

Fig. 7 は、18-AFC 法の検出率と SN 比との相関を各増感紙・フィルム系について比較したものである。回帰曲線は、ほぼシグモイド曲線を描いていることがわかる。そして増感紙・フィルム系の NEQ(u) の優れている順

Fig. 7 Relationship between detectabilities by the 18-AFC method and SN ratio for screen/film systems.

Fig. 8 Relationship between detectabilities by the 18-AFC method and SN ratio for diameter size of columns.

に、識閾のSN比が高くなっている。ここで、増感紙・フィルム系のFINEは、他のシステムと比べ、識閾のSN比が高く、同じSN比においても視覚による検出効率が低いことを表している。このFineとMediumのSN比の差は大きいですが、増感紙が高感度になるにしたがって、除々にその差は小さくなっている。重相関係数Rは0.94以上でよい相関を示した。

Fig. 8は、同様に信号として用いた円柱の直径が異なるときの18-AFC法の検出率とSN比との関係を示す。円柱の直径が1.5 mmのとき、識閾のSN比が最も低く、次いで、1.0 mmφ、2.0 mmφ、3.0 mmφの順となった。重相関係数Rは、0.95以上の高い相関を示した。

Fig. 9は、信号として用いた円柱の高さが異なるときの18-AFC法の検出率とSN比との関係を示す。円柱の高さが2.0 mmの場合では検出率は50%以上、円柱の高さが0.5 mmの場合では検出率は50%以下のそれぞれの

Fig. 9 Relationship between detectabilities by the 18-AFC method and SN ratio for height of columns.

Fig. 10 Relationship between detectabilities by the 18-AFC method and SN ratio for total of signals with screen/film systems, diameter of columns, and height of columns.

領域の値しか今回の実験では得られなかった。したがって、識閾のSN比を求めるために、回帰曲線の外挿を行った。その結果、識閾のSN比は、円柱の高さが2.0 mm、1.0 mm、1.5 mm、0.5 mmの順で低くなり、高さが1.5 mmと1.0 mmでは、1.0 mmの識閾のSN比の方が、僅かに低い。しかし、検出率が64%辺りで交差していることがわかる。重相関係数Rは、円柱の高さ0.5 mmと2.0 mmでは約0.85となり、他に比較して若干低い相関となった。

Fig. 10は、感度の異なる4種類の増感紙・フィルム系や円柱の直径や高さを変えることで、信号のSN比を変化させて、放射線技師5人を観察者とした18-AFC法の検出率とSN比との関係を総合的に表したものである。識閾のSN比は、3.23となり、重相関係数Rは、0.938と

18肢強制選択法の検出率とスペクトル SN 比との相関について (岡田・他)

なって高い相関関係を示した。

Kruskal-Wallis 検定の結果、5 人の観察者による 18-AFC 法の検出率は、有意水準 $\alpha=0.02$ において SN 比間で、総ての項目において、有意な差があることが確認できた。同様に、重相関係数 R の場合、総ての項目において、F 分布表から有意水準 $P<0.01$ を充分満たしており、その適合度に有意差が認められた。

3. 考 察

われわれが、本研究にマッチド・フィルタ理論に基づく SN 比を用いた理由に、以下のような背景がある。Rossmann の針とビーズ像の画質の違い¹⁷⁾を周波数特性の立場で説明をするには、スペクトル SN 比を論じることによってこれが可能になる。このときの SN 比の考え方がマッチドフィルタ理論であり、しかも信号検出理論から確率論を応用した数理心理的な検出系での ROC 解析における検出能 d' に等しい SN 比であることも証明されている⁷⁾。さらに Loo らの実験においても視覚系との相関は非常に高いと報告している¹²⁾。マッチドフィルタ・モデルの SN 比は、視覚系の MTF を含まない簡単な式で構成されており、増感紙・フィルム系の物理特性の NEQ(u) を含んでいる。また、視覚系との相関の高い perceived statistical decision theory model は、マッチドフィルタ・モデルとの間に相関は認められるが¹²⁾、Rossmann の針とビーズ像の関係や ROC 解析などの理論体系に対しては解決の手段をもたない。可能な限り簡単な式でこれらの背景をもった式を、われわれは用いたいと考えている。しかし、perceived statistical decision theory model からは、NEQ(u) は導出されない。

われわれは、過去に Burger ファントムを用いて、視覚評価により信号検出の境界点 (50% 確信度) を求めたことや、その円形孔を信号として SN 比を測定したことがある。石田らが求めた人の視覚による信号の検出率 50% に対応する識閾の SN 比 3.8 を¹³⁾、著者らの境界点の SN 比にあてはめて検討した。その結果、概ね一致がみられた。しかし、隣接する信号の SN 比に 20~50% の幅があって、正確に石田らによる識閾の SN 比 3.8 と著者らの境界点の SN 比が一致したとするには困難な面があった。

Burger ファントムを用いた方法では、(1) 規則的な信号の配置によって低信号の予測が可能で深読みする傾向がある。(2) 境界点の深さや大きさに対して逆転する傾向やバラツキが大きく、平滑適合が困難である。(3)

ファントムが大きく厚いため、X 線束による像の歪や、円形孔周辺の散乱線の影響を受け易い。(4) 観察の対象とする信号が同一面に多数あるために、観察者への必理的負担が大きい、などの問題点がある。これに対して、朝原らは、信号分離形でダミーとして無信号を併用した上で、18-AFC 法を適用している¹⁸⁾。われわれは、散乱線の影響を少なくし、ビーズ像などの X 線陽性像との比較を容易にする配慮から、アクリル基板を薄く、信号を凸形にしたものをファントムとした。

18-AFC 法は、Burger ファントムの場合と比べ、観察試料を多く作製する必要があるが、信号が存在するだろうと判断したサンプルを一つだけ選択するといった観察者の心理的負担を軽減することができる。そして、検出率 50% を視覚の識閾と、設定して得られる検出率曲線から、識閾の SN 比や識閾コントラストなどが精度よく、しかも容易に求められる。筆者は、最小識別濃度差¹⁹⁾などの厳密な濃度差を要求する場合に有効な手法と考える。

18-AFC 法の検出率 50% を人の視覚の識閾とし、その SN 比を求めた。その結果、増感紙・フィルム系の感度を変えた場合、低感度システムよりも高感度システムの方では、識閾の SN 比は低い値が得られた。言い換えれば、同じ SN 比において、高感度システムの検出率の方が、低感度システムのそれよりも高く、検出効率が高いことを意味している。これは、増感紙・フィルム系の DQE(u) に類似した現象である。つまり人の視覚系において、観察試料のノイズが増加しても、ある程度これを抑制して信号検出しようとする働きがあるものと考えられる。土井らは、同様な現象に対し、内部雑音の効果が省略され得るためとしている²⁾。Fig. 11 は、増感紙・フィルム

Fig. 11 Threshold SN ratio versus relative speed for screen/film systems.

系の相対感度と識閾の SN 比の関係を示したものである。この図は、感度がさらに上昇しても、人の視覚の識閾の SN 比が、3.08 辺りで留まることを示している。

信号の直径を変えた場合、識閾の SN 比は、1.5, 1.0, 2.0, 3.0 (mm ϕ) の順で高くなって、必ずしも直径サイズに対応する順とはなっていない。このことについて、信号のスペクトル、雑音のスペクトル、視覚系の MTF のスペクトル、および内部雑音の特性との整合によって検出しやすい信号の大きさが存在すると考える。山下らは、Burger ファントムを用いた観察系において、検出しやすさの尺度として信号体積の逆数を取り、1.0~1.3 mm ϕ 辺りにピークが存在すると報告しているが²⁰⁾、この結果とほぼ一致している。これに対して、percieved statistical decision theory model は、信号のスペクトルや視覚系の MTF をフィルタとして用いて信号の帯域幅に対応させてあり、さらに分母・分子で別々に積分がなされて信号の形状が反映されておらず、別な意味で大まかな式と言えよう^{2,12)}。したがって、信号の大きさが異なっても、検出率 (50%) がほぼ同じになったものと考ええる。

円柱の高さ、つまりコントラストを変化させた場合、同一の SN 比であっても、コントラストが高いほど、検出率が高い結果となった。すなわち、直径が大きく高さが低い円柱よりも、直径が小さく高い円柱を信号とした方が検出率が高いことを意味する。このことは、信号の大きさを変えた場合を含めて、信号の検出に周波数依存性があることを表しており、積分値で得られる SN 比よりもスペクトル SN 比を用いて比較する方が、個々の所有する信号の特性をより明確に理解できることを表している。

64 個の信号パラメータを 5 人の観察者の評価によって得られた 18-AFC 法の検出率と SN 比との総合的な検出率曲線によって、識閾の SN 比 3.23 が得られた。この値は、石田らのデジタル処理での値 3.8 よりも若干低い値を示した。人の視覚の識閾の SN 比の把握によって、低感度システムを用いた必要以上の高 X 線量による高画質の画像を、必要最小限度の X 線量による識別可能な領域内に画像を納めるといった被曝低減の意味での画像をコントロールする指標の一つとなるものと考ええる。さらにこの値は、素地濃度 1.0 によるものであり、実際の臨床的 X 線像を考慮し、今後広い濃度域にわたる識閾の SN 比をも検討したい。

4. 結 論

信号としてアクリル円柱を用い、その直径や高さ、および増感紙・フィルム系の感度を変えることによって信号のパラメータを変化させ、視覚評価では 18-AFC 法による検出率を求め、物理評価では、マッチドフィルタ理論に基づく SN 比を実験的に算出してその相関を検討した。

1) 64 個の信号パラメータを 5 人の観察者の評価によって得られた 18-AFC 法の検出率と SN 比の総合的な検出率曲線より、識閾の SN 比 3.23 が得られた。これは、被曝低減の意味での画像をコントロールする指標のひとつとなる。

2) 増感紙・フィルム系が高感度になるにつれて、視覚の識閾の SN 比は、徐々に低くなるが、その値は、3.08 辺りで飽和することがわかった。

3) SN 比は同じでも、信号の高さや直径による識閾の SN 比が異なることから、信号のコントラストや空間周波数は、視覚特性に寄与していることが確認できた。

謝 辞

本研究にあたって、ご協力戴いた近畿大学医学部附属病院中央放射線部の諸氏に心から感謝致します。

参 考 文 献

- 1) G.C.E. Buerger: Phantom tests with X-ray, Philips technical review, 11 (7), 79-96, 1949
- 2) 土井邦雄: X線画像の信号検出と視覚特性の重要性, 日放技学誌, 43(6), 694-729, 1987.
- 3) S. Uchida, H. Fujita: A assesment of radiographic granularity by a signal number, Jpn. J. Appl. Phys., 19, 1403-1410, 1980.
- 4) 金森仁志: Information capacity of radiographic image, 放射線像研究, 2(7), 46-53, 1967.
- 5) 金森仁志, 松本正雄: 情報スペクトルによる画質評価, 放射線像研究, 12(3), 123-119, 1982.
- 6) J.M. Sandrik, R.F. Wagner: Absolute measure of Physica I image Quality: Measurement and Application to radiographic magnification, Med, Phys., 9(4), 540-549, 1982.
- 7) 若松孝司, 山下一也: スペクトル S/N 比を用いた検出能による総合画像評価の理論, 日放技学誌, 39(6), 891-898, 1983.
- 8) 若松孝司, 伊藤慎三, 今出川和世他: スペクトル S/N 比をもちいた検出能による総合画像評価の増感紙・フィルム系への応用, 日放技学誌, 40(1), 20-

18肢強制選択法の検出率とスペクトルSN比との相関について (岡田・他)

- 27, 1984.
- 9) 岡田弘治, 倉又雄一, 宇佐美公男他: NEQ(u)によるクロスオーバー効果の画像解析, 日放技学誌, 43(4), 453-459, 1987.
- 10) 岡田弘治, 倉又雄一, 宇佐美公男他: 胸部X線写真における総合的画像解析 I, 濃度域にわたる解析, 日放技学誌, 44(1), 10-17, 1988.
- 11) 畑川政勝, 岸本健治, 吉田梨影他: 各種画像評価因子が NEQ(u)におよぼす効果, 日放技学誌, 46(4), 634-639, 1990.
- 12) LND. Loo, K. Doi, CE. Metz, et al: A comparison of physical image quality indices and observer performance in the radiographic detection of nylon beads, Phys. MED. Biol., 29(7), 837-856, 1984.
- 13) M. Ishida, K. Doi, LND, Loo et al: Digital image processing: Effect on detectability of simulated low-contrast radiographic patterns, Radiology, 150, 569-575, 1984.
- 14) 大塚昭義, 吉本政弘, 太田正治他: 多軌道断層装置 (Polytome U) における照射野と Grödel 効果について, 日放技学誌, 32(6), 578-584, 1977.
- 15) 小寺吉衛, 大久敏弘, 田中 勲他: 放射線画像の粒状の測定 (I), 日放技学誌, 43(12), 1743-1768, 1987.
- 16) 市原清志: バイオサイエンスの統計学, 145-366, 南江堂, 1990.
- 17) Goodenough D. J., Rossmann K., Lusted L.B.: Radiographic applications of receiver operating characteristic (ROC) curve, Radiology, 110, 89-95, 1974.
- 18) 朝原正喜, 吉田 彰, 隅田博臣他: 視覚用多目的ファントムの開発, 日放技学誌, 47(6), 797-803, 1991.
- 19) 金森仁志: X線写真の最適濃度と最適濃度範囲, 心理的效果の導入, 日放技学誌, 37(3), 324-335, 1991.
- 20) 山下一也, 吉田次郎, 宮永一郎他: X線撮影に関する二, 三の考察, 日放技学誌, 14(4), 199-205, 1958.