

《 原 著 》

非焦点型矩形スリットコリメーターの MTF 及び情報容量

西 沢 邦 秀*

緒 言

シンチカメラあるいはスキャナーによる面スキャンによつてシンチグラム像を得る際のコリメーターを含めた測定系の情報伝達特性は MTF¹⁾ や情報容量^{2)~4)}で表されている。

リニヤスキャンにより人体内アイソトープ分布の再現及び定量⁵⁾を行う際に非焦点型矩形スリットコリメーターはよく用いられる。ところがリニヤスキャンを行う測定系の情報伝達特性を情報容量を用いて評価した例は見られないように思われる。

そこで非焦点型矩形スリットコリメーターを装着した系の情報伝達特性を MTF と情報容量で表し、同時に系の特性を表現するこの2つの方法の得失を論ずる。

研 究 方 法

実験

陰イオン交換樹脂を塩酸酸性の ²⁰³Hg 溶液で処理し、乾燥させ 0.3 mmφ の点線源とした。図1のごとく3インチシンチスキャナーに非焦点型矩形スリットコリメーターを装着して測定を行った。コリメーターのスリット幅は可変であり、長さ15 cm、厚さは鉄1 cmである。スリット幅d及びクリスタル表面と線源を置く面との距離DSCの条件は表1の通りである。各測定点間の距離は

Table 1. Combination of slit width and distance between crystal and source plane

Slit width	Distance Between Crystal and Source Plane			
	15 cm	20 cm	30 cm	40 cm
5 mm	(1)	(2)	(3)	(4)
11 mm	(5)	(6)	(7)	(8)
21 mm	(9)	(10)	(11)	(12)
38 mm	(13)	(14)	(15)	

(1), (2), (3)の場合は1 mm, 他の場合は2~5 mmとした。²⁰³Hg の 0.279 MeV γ 線の光電ピークを0.212~0.346 MeV のウインド幅で計数した。

計算

実験で得られた点像強度分布の Fourier 変換を行い、空間周波数領域での MTF を求めた。Fourier 変換は高速 Fourier 変換法⁶⁾を採用した。標本点数は128点、信号長は25.6 cmとした。従つて最高周波数は第64高調波、すなわち空間周波数に換算して 2.5 line pairs/cm である。

情報容量Hは標本化定理に従い標本点に対応する空間周波数 W_i の MTF の値 R_i を用いて次のごとく書き下せる⁷⁾。

$$H = -\frac{1}{K} \left(\sum_{i=1}^n R_i \log_2 R_i + \log_2 K \right) \quad (1)$$

ただしここで

$$K = -\sum_{j=1}^n R_j \quad (2)$$

である。実際の数値計算は名古屋大学大型計算機センターの FACOM 230-60 で行つた。

結 果

図1~4のごとくスリット幅dが一定の時、

* 名古屋大学医学部放射線医学教室 (主任: 高橋 信次教授)

受付: 48年3月5日

別刷請求先: 名古屋市昭和区鶴舞町 65 (〒466)

名古屋大学医学部放射線医学教室

西 沢 邦 秀

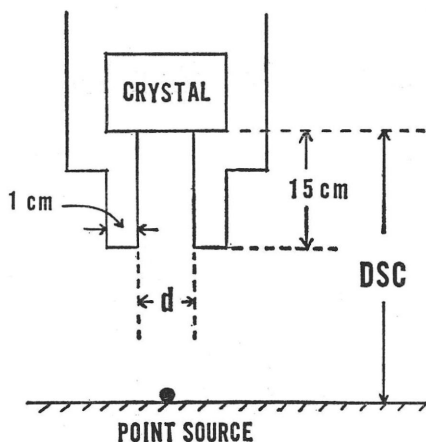


Fig. 1. Schematic diagram for experimental measurements of point spread function. d is the slit width of 5, 11, 21 and 38 mm and DSC is the distance between crystal surface and source plane of 15, 20, 30 and 40 mm.

SLIT WIDTH 11 mm
DISTANCE BETWEEN
CRYSTAL AND SOURCE PLANE

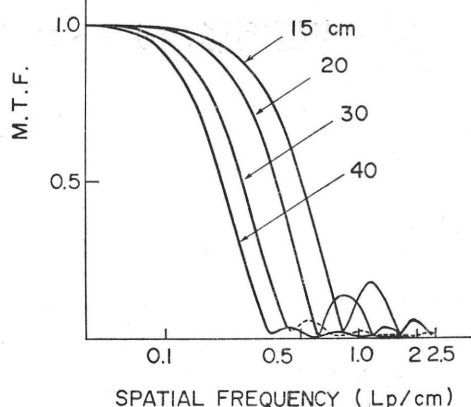


Fig. 3. MTF curves of NaI (Tl) detectors with unfocused rectangle slit collimator in slit width of 11 mm and the distance between source plane and crystal surface of 15, 20, 30 and 40 cm, which are calculated by Fast Fourier Transformation.

SLIT WIDTH 5 mm
DISTANCE BETWEEN
CRYSTAL AND SOURCE PLANE

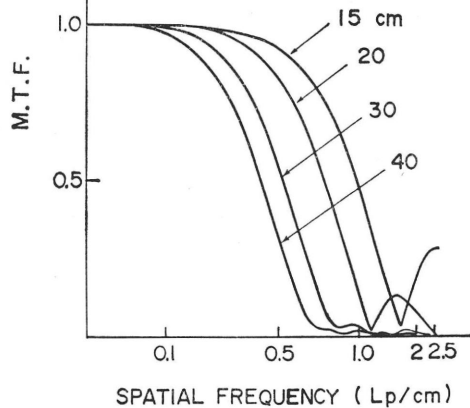


Fig. 2. MTF curves of NaI (Tl) detectors with unfocused rectangle slit collimator in slit width 5 mm and the distance between source plane and crystal surface of 15, 20, 30 and 40 cm, which are calculated by Fast Fourier Transformation.

SLIT WIDTH 21 mm
DISTANCE BETWEEN
CRYSTAL AND SOURCE PLANE

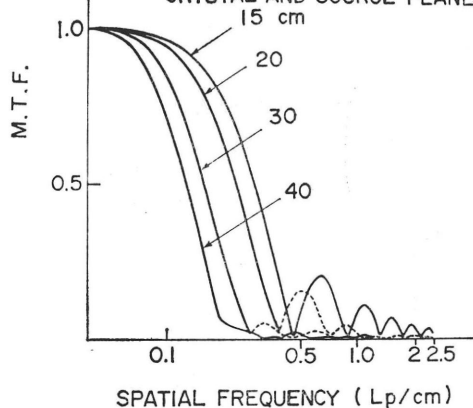


Fig. 4. MTF curves of NaI (Tl) detectors with unfocused rectangle slit collimator in slit width of 21 mm and the distance between source plane and crystal surface of 15, 20, 30 and 40 cm which are calculated by Fast Fourier Transformation.

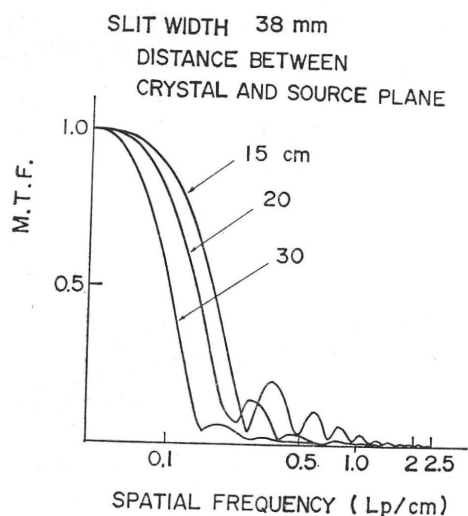


Fig. 5. MTF curves of NaI (Tl) detectors with unfocussed rectangle slit collimator in slit width of 38 mm and the distance between source plane and crystal surface of 15, 20 and 30 cm, which are calculated by Fast Fourier Transformation.

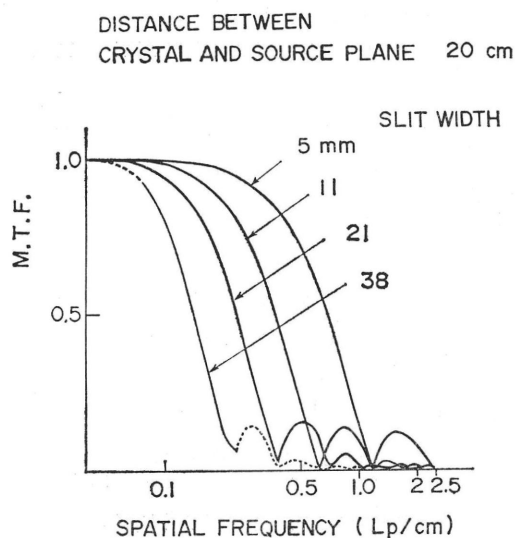


Fig. 7. MTF curves of NaI (Tl) detectors with unfocussed rectangle slit collimator in slit width of 5, 11, 21 and 38 mm and the distance between source plane and crystal surface of 20 cm, which are calculated by Fast Fourier Transformation.

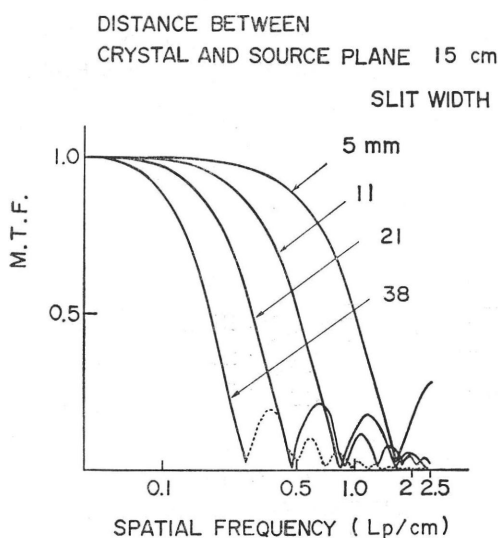


Fig. 6. MTF curves of NaI (Tl) detectors with unfocussed rectangle slit collimator in slit width of 5, 11, 21 and 38 mm and the distance between source plane and crystal surface of 15 cm, which are calculated by Fast Fourier Transformation.

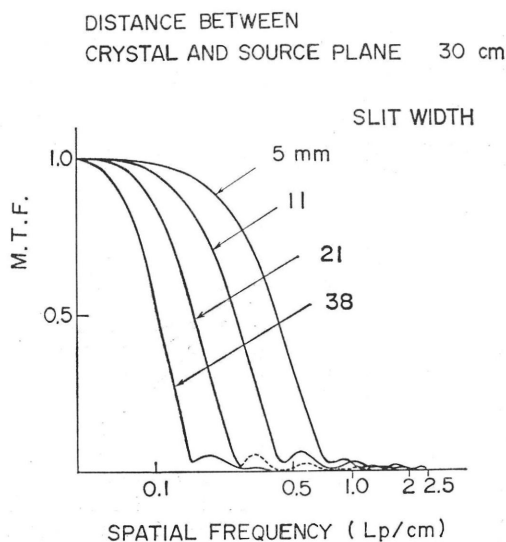


Fig. 8. MTF curves of NaI (Tl) detectors with unfocussed rectangle slit collimator in slit width of 5, 11, 21 and 38 mm and the distance between source plane and crystal surface of 30 cm, which are calculated by Fast Fourier Transformation.

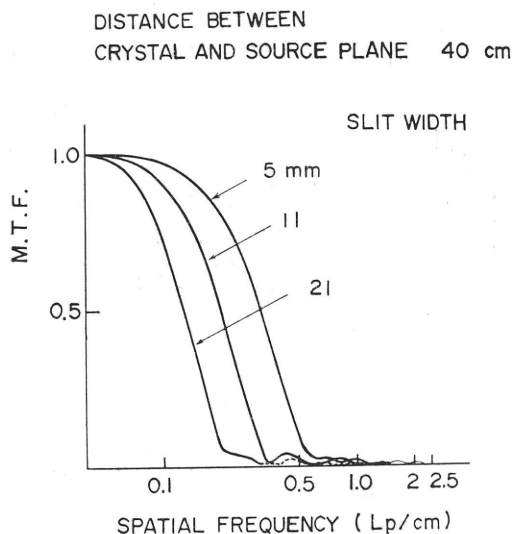


Fig. 9. MTF curves of NaI (TI) detectors with unfocussed rectangle slit collimator in slit width of 5, 11 and 21 mm and the distance between source plane and crystal surface of 40 cm, which are calculated by Fast Fourier Transformation.

MTF はクリスタルと線源面間距離 DSC が 15, 20, 30, 40 cm と大きくなるに従い次第に悪くなった。逆に図 5～8 のごとく DSC が一定の場合にも、MTF は d が 0.5, 1.1, 2.1, 3.8 cm と広がる

につれて悪くなった。

図 10.1 のように d が一定の時、情報容量 H は DSC が大きくなるにつれてほぼ直線的に減少し、傾きは d により異なる。逆に図 10.2 のように DSC が一定の場合 H と d との間には簡単な比例関係は成り立たないが、 d が広がるにつれて減少する。図 10.1 の曲線の傾きの方が図 10.2 の曲線の傾きより大きく、情報容量はスリット幅よりも線源とクリスタル間の距離の変化に影響されやすいことを示している。MTF 及び H は共に d と DSC に対して同様の傾向を示した。

考 按

シンチカメラの写真や X 線フィルム写真等の放射線像に関する情報理論的な研究は MTF^{(8)~(10)} あるいは情報容量^{(11)~(13)} を求めることによつて行われている。非焦点型矩形スリットコリメーターを装着してリニヤスキャンを行う測定系のもつ情報伝達特性に関してこのような観点からの研究は未だなされていない。そこでスリット幅及び線源クリスタル間距離をパラメーターに取り、種々の条件下で MTF と情報容量を求め、相互の関連に注意しつつこの系の情報伝達特性を調べた。

分解能と直接結びつく MTF は比較的理解しやすいが、MTF の一種の積分表示である情報容量

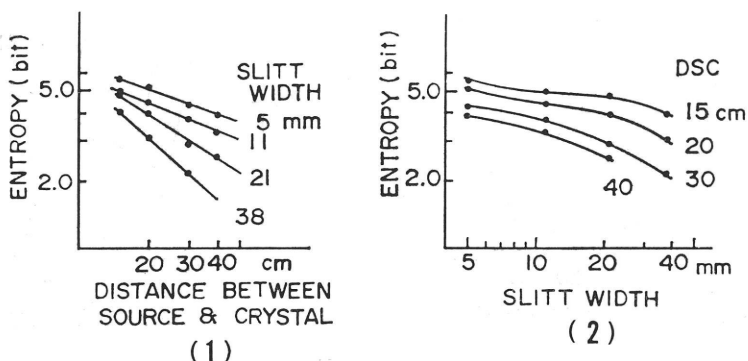


Fig. 10. (1) Entropy of NaI (TI) detectors with unfocussed rectangle slit collimator calculated from MTF, when slit width being constant. (2) Entropy of NaI (TI) detectors with unfocussed rectangle slit collimator calculated from MTF, when distance between source plane and crystal surface being constant.

は1つの数値で与えられる簡便さはあつても直感的に理解しにくい。ところが情報理論の立場からするとリニヤスキャン像は一次元の問題なので原理的に簡単で取り扱いやすい例となつている。リニヤスキャンの場合は各標本点で得られる計数値が増加するほど測定誤差は小さくなる。精度の良い測定を行えば雑音のない理想的な状態で得られた点像強度分布を考え系の情報容量を求めることができる。種々の仮定の下で情報容量の計算式が求められているが、ここでは MTF より直接情報容量を求める西沢の式⁷⁾を用いた。従つて MTF も感度を含めた相対的な表現とせず、周波数0を1として画一的に規格化して表した。

スリット幅が一定でクリスタルと線源の距離が大きくなる時の情報容量の変化の方が、クリスタルと線源の距離が一定でスリット幅が広がる時の情報容量の変化より大きい。従つてスリット幅の誤差よりも、体内でのアイソトープの上下の位置変化の方がリニヤスキャンによつて得られる分布をよりスムーディングさせることになる。

シンチスキャン関係の MTF としてはかなり高周波まで計算してある。通常は分解能を知る目安として最初のピークかせいぜい第2のピークまでしか示されない。高周波成分まで求めてみると、分解能の良いもののほど高周波成分の比率が大きいことがわかる。同時に分解能の目安としては最初のピークのみで十分その用を果たすこともよくわかる。

MTF で表しても、情報容量で表しても、非焦点型矩形スリットコリメーター系の情報伝達特性は同じ傾向を示し、いずれの方法も系の特性をよく表している。MTF は系の細かな情報伝達特性を表現するに優れ、情報容量をいつも一緒に求めておくと系の相互比較に便利である。MTF と情報容量が同じ傾向を示したことから、分解能表示として情報容量を MTF と同様に用いることができる。

結 論

MTF 及び情報容量で表した非焦点型矩形スリ

ットコリメーター系の情報伝達特性は同一の傾向を示した。

MTF は系の細かな情報伝達特性を表すのに優れ、情報容量は系全体の特性を表現するに優れている。

スリット幅の誤差よりも体内でのアイソトープの上下位置変化の方がリニヤスキャン像をより大きくスムーディングさせる。

MTF を高周波領域まで求め、分解能の目安としては最初のピークだけで十分であることを確認した。

文 献

- 1) Gottshalk, A. and Beck, R. N.: Fundamental problems in scanning 301 C. C. Thomas, Springfield, Illinois (1968),
- 2) Shannon, L. E. and Wiener, W.: The mathematical theory of communication. Univ. of Illinois, Urbana (1949).
- 3) 大泉充郎, 本多波雄, 野口正一: 情報理論. オーム社, 東京 (1966).
- 4) Takigawa, E.: Information theory and exercises. Hirokawa-shoten, Tokyo (1966).
- 5) 西沢邦秀: 体内 RI 分布の定量と定式化. 核医学, 10: 4 (1973), 381~387.
- 6) 吉沢 正: FFT とは何かフーリエ変換の新しい方法. 数理科学, 7: 42 (1969).
- 7) 西沢邦秀: エントロピーによる X線撮影系の評価. 日医放誌, 25: 213 (1970).
- 8) RII 研究会: 放射線像の研究, レスポンス関数 1, RII 研究会, 大阪 (1967).
- 9) 服部浩之, 金子昌生, 佐々木常雄: RI シンチレーションカメラのレスポンス関数. Radioisotopes, 17: 7, 302 (1968).
- 10) 竹中栄一, 木下幸次郎, 中島縁彦: RI スキャンニング系のレスポンス関数: 放射線像の研究, 解析と評価, 2: 282, RII 研究会, 大阪 (1969).
- 11) Gregg, E. C.: Information capacity of scintiscans. J. Nucl. Med., 6: 441 (1965).
- 12) Gregg, E. C.: Modulation transfer function, Information capacity and performance criteria of scintiscans. J. Nucl. Med., 9: 116 (1968).
- 13) 金森仁志: ラジオグラフ (放射線写真) の情報容量. 光学ニュース, 104: 15 (1968).

Summary

Modulation Transfer Function and Information Capacity of Unfocussed Rectangle Slit Collimator

Kunihide NISHIZAWA

Department of Radiology, Nagoya University School of Medicine, Nagoya

The information transmitting character of unfocussed rectangle slit collimator system, which is used for restoration of radionuclides in human body and quantitation, was investigated by modulation transfer function (MTF) and entropy (information capacity) and the following results were obtained.

The vertical displacement of radionuclides in human body to crystal causes to smooth the profile scanning curve rather than slit width variation.

MTF became worth and entropy decreased with

increasing the slit width and distance between source plane and crystal surface.

The resolving power can be denoted by "bit" of entropy also as well as MTF and the system having larger value of entropy have better resolution.

MTF is superior to entropy in the description of information transmitting character of collimator system, on the other hand entropy is superior to and simpler than MTF for the description of character as entire system.