



## 刺激呈示持続時間とコントラスト識別

中 嶋 芳 雄

聖マリアンナ医科大学物理学教室 〒213 川崎市宮前区菅生 2095

(1986年3月13日受理)

### Stimulus Exposure Time and Contrast Discrimination

Yoshio NAKASHIMA

Department of Physics, School of Medicine, St. Marianna University,  
2095, Sugao, Miyamae-ku, Kawasaki 213

Contrast discrimination was investigated as a function of exposure time. Three subjects with normal colour vision and visual acuity participated in this experiment. Test and reference fields were exposed on CRT displays simultaneously but separately in space. Contrast discrimination ratio changed from 40 to 13% for exposure time used in this experiment, while it remained constant at about 12% beyond 2,000 ms. The function of discrimination ratio was considered as consisting of the three portions: M.T.S., L.T.S. and N.T.S., and indicated by the simple equations, which are useful for practical application. The simple model of visual discrimination mechanism was also proposed.

#### 1. はじめに

コントラスト識別に関する研究は、視覚系のメカニズムを解明するための基礎的研究から、近年その普及が目覚ましい画像表示装置等における画質改善のための応用的研究に至るまで、数多く進められてきた<sup>1-3)</sup>。また研究分野も理工学をはじめとして心理学、医学あるいは学際領域にまでおよんでいる。一般的に、コントラスト識別に関する研究は絶対閾、または、閾上におけるコントラスト強度に関するものが多く見られるが、コントラスト識別に対する時間特性についての研究はいまだ少ない<sup>4-6)</sup>。

一方、視覚系が外界の情報を識別する場合、その特性に影響をおよぼす要因としては、指標の大きさ、形状、色相、明るさ、コントラスト等のほかに、時間的要因として刺激呈示持続時間がある。すなわち、雑多な視覚情報のなかから指標を識別する場合、刺激呈示持続時間の長短が大きく影響をおよぼすことになる。そこで本研究では、視覚系の識別メカニズムの時間特性について検討するために、刺激呈示持続時間がコントラスト識別へおよぼす影響について、広範囲に渡り、定量的に測定し

た。また、VDT 画像表示装置の画質改善等、応用面において基準となるべきコントラスト識別比率を提供しようと試みた。さらに、各呈示持続時間に対する識別比率を容易に決定できるように、コントラスト識別特性を、二つの定数を含む呈示持続時間の関数として近似した<sup>7,8)</sup>。また、視覚系における識別メカニズムについてもモデルを提案し、検討を加えた。

#### 2. 実験方法

本実験では計算機制御により自動化された装置を使用した。Fig. 1 に装置全体のブロックダイアグラムを示す。ホストコンピュータとしては、SORD 243-MARK III を使用し、被験者が観測する画像表示装置には NEXUS 5800 カラーディスプレイ (CRT 1) を使用した。この表示装置は 4,096 種類の色調を任意に表示可能であるが、本実験では色に関するコントラスト識別の実験に入る前に、まず基本となる白黒のコントラスト識別の実験を試みた。また補足実験用として、256 階調の高解像度白黒ディスプレイ (CRT 2, 14 インチ, CHUOMUSEN MODEL TPM-340 B) を併置した。これは階調度により、コントラスト識別特性が大きく変化するか否かを検

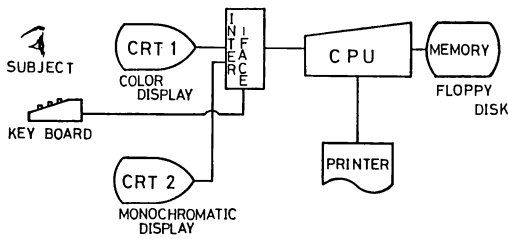


Fig. 1 Schematic diagram of apparatus.

討するためのものである。CRT の階調度の差による影響がそれほど大きくないという補足実験の結果より、本論文ではおもに、CRT 1 上に白黒パターンが表示された場合の実験結果のみを報告する。呈示刺激光の輝度 ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) は輝度計 (TOPCON LUMINANCE METER BM-3, TOKYO KOGAKU) でつねにチェックした。被験者はキーボード・コマンド・スイッチを用いて応答し、得られたデータはただちに計算機で統計処理をされ、プリンタ (EPSON MP-100) にて出力された。

被験者に呈示するテスト刺激パターンを Fig. 2 に示す。外側の順応視野、中間の周辺視野それに中央部の参照光およびテスト光より構成されている。また、テスト刺激パターン各部の視角を Fig. 3 に示す。観測距離は

150 cm である。次に刺激呈示手順について説明する (Fig. 4)。最初に、順応および周辺視野より構成されている順応刺激パターンを、前順応として3分間呈示する。この間、被験者は順応刺激パターンの中心に存在する固視点を凝視する。次いでブザーの合図があり、順応刺激パターンの中央部分に参照光およびテスト光が視角  $0.3^\circ$  の間隔で同時に、ある呈示持続時間だけ呈示される。以後これをテスト刺激パターンと呼ぶことにする。テスト刺激パターン呈示後、再び順応刺激パターンが呈示される。被験者は、先に呈示された参照光とテスト光の明るさが等しいか否かを判定し、手元のキーボード・コマンド・スイッチにより応答する。以下同様にして、順応およびテスト刺激パターンの呈示それに被験者の応答が交互に繰り返行なわれる。テスト刺激パターンの呈示間隔は、繰り返行呈示による順応効果<sup>9)</sup>をできるだけ抑制するために 10 s とした。1セッションは 100 試行より構成されている。なお、セッション中においては順応視野、周辺視野および参照光の輝度は一定に保たれ、それぞれ 121, 200 および  $121 \text{ cd}/\text{m}^2$  であり、テスト光の輝度のみがランダムに変化した。ただしテスト光の輝度は  $32 \text{ cd}/\text{m}^2$  から  $200 \text{ cd}/\text{m}^2$  までの範囲を  $11.2 \text{ cd}/\text{m}^2$  ステップで分けた 16 段階である。4セッション

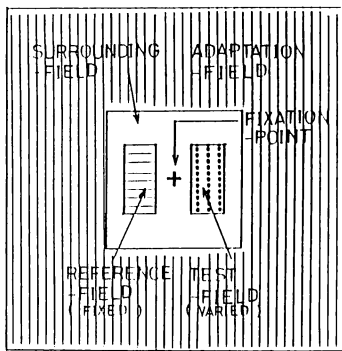


Fig. 2 Pattern for test stimulus.

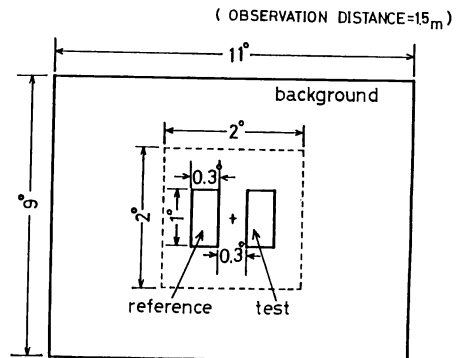


Fig. 3 Visual angle of test stimulus.

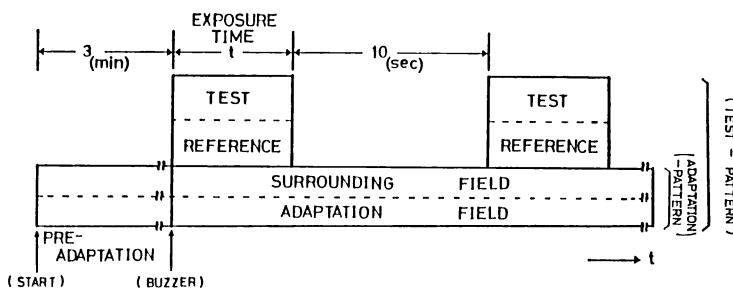


Fig. 4 Time sequence of test stimulus exposure.

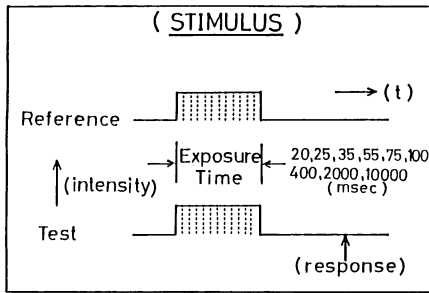


Fig. 5 Stimulus exposure time.

の集計より、一つの呈示持続時間に対するコントラスト識別閾値を決定した。呈示持続時間は 20, 25, 35, 55, 75, 100, 400, 2,000 および 10,000 ms の 9 種類であり (Fig. 5), 視覚系の時間特性に対するほぼ全領域を網羅していると考えてよい。

次に、本研究で使用するコントラスト識別閾値について説明しておく。コントラストに対する表し方にはいろいろあるが、ここでは以下に述べる方法を採用することにした。まず各被験者より得られる、コントラスト識別確率特性曲線の理論曲線を Fig. 6 に示す。これは横軸に、テスト光の輝度を 0~15 までの 16 段階の相対明るさで示し、縦軸に、参照光とテスト光の明るさが等しいと答える確率を示したもので、4 セッションの応答より得られるものである。特性曲線は理論上、横軸が参照光の明るさに相当する 8 レベルの所でピークをもつ正規分布となると仮定することができる。ここで縦軸 50% のところで横軸に平行線を引き、特性曲線と交差する 2 点を求める。次に、この 2 点に対応する横軸の明るさ  $L(-)$ ,  $L(+)$  に相当する輝度値 ( $\text{cd/m}^2$ ) がそれぞれ定まる。ところで本実験では、つねに一定に保たれた参照光

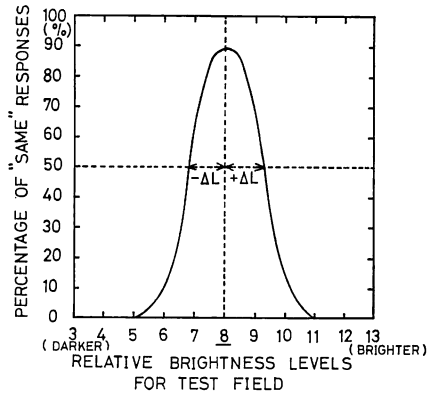


Fig. 6 Relation between percentage of "SAME" responses and relative brightness levels for test field.

の明るさに対して識別可能なテスト光の明るさに注目した。したがって、求めるコントラスト識別比率,  $\Delta C(\%)$  は便宜上、次式で定義することにした。

$$\Delta C = \frac{L(+)-L(-)}{2L} \times 100 \quad (1)$$

ただし  $L$  は参照光の輝度値 ( $\text{cd/m}^2$ ) である。

被験者は色覚正常者 3 名 (NN, YN, SY) であり、それぞれ 20 代, 30 代, 40 代となっている。

### 3. 実験結果

識別確率特性曲線より半値幅を求め、呈示持続時間に対する識別比率,  $\Delta C$  を求めたものを Table 1 に示す。これは被験者 3 名の結果である。ただし  $\pm \Delta C$  値はそれぞれ, Fig. 6 の  $\pm \Delta L$  に相当する輝度値 ( $\text{cd/m}^2$ ) を, (1) 式の分子に代入して求めたものである。これは

Table 1 Relation between exposure time and contrast discrimination threshold.

Duration (ms)		20	25	35	55	75	100	400	2,000	10,000
YN	$+\Delta C$	20.3	13.8	5.3	9.4	7.4	5.1	5.1	7.3	7.9
	$\Delta C$	35.1	27.2	18.8	16.8	13.9	10.8	10.4	8.3	8.7
	$-\Delta C$	49.9	40.6	32.2	24.2	20.4	16.5	15.8	9.3	9.4
SY	$+\Delta C$	—	23.0	18.4	15.8	—	14.0	8.3	12.9	8.9
	$\Delta C$	—	42.2	35.3	23.9	—	19.7	13.3	11.5	10.1
	$-\Delta C$	—	61.5	52.3	31.9	—	25.5	18.4	10.1	11.2
NN	$+\Delta C$	29.8	—	33.0	21.1	21.1	21.8	11.5	12.9	15.1
	$\Delta C$	45.9	—	43.6	33.5	26.6	19.3	15.6	15.4	16.5
	$-\Delta C$	61.9	—	54.2	45.9	32.1	16.8	19.7	17.9	17.9
Mean	$\Delta C$	40.5	34.7	32.6	24.7	20.3	16.6	13.1	11.7	11.8
SD	$\Delta C$	5.4	7.5	10.3	6.8	6.4	4.1	2.1	2.9	3.4

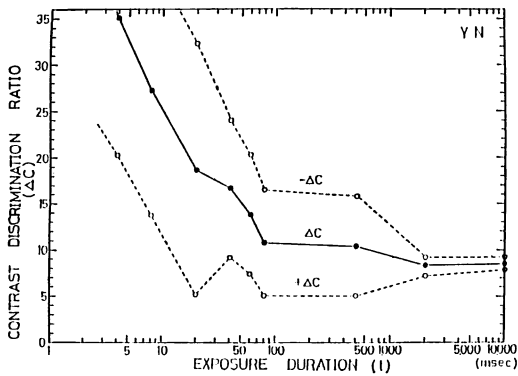


Fig. 7 Example of contrast discrimination threshold characteristic as a function of exposure time for subject YN.

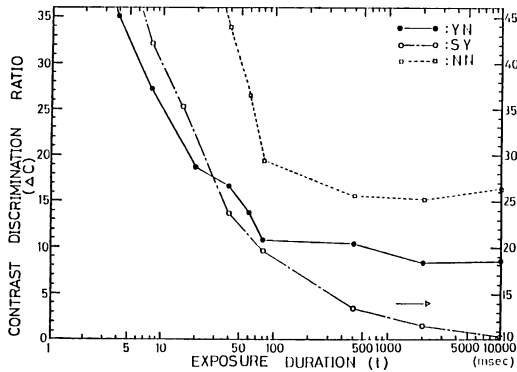


Fig. 8 Same as Fig. 7 but for 3 subjects.

Fig. 6 に示す識別率特性曲線が、参照光の明るさに相当する 8 レベルの点に対して、どの程度の対称性を示しているかを表わすものである。また、空白部分は実験時間の都合上、測定を省略したところである。なお、最下欄には被験者 3 名の平均値とその標準偏差を付加した。呈示持続時間が 20 から 400 ms の範囲では、コントラスト識別比率、 $\Delta C$  の平均値は、約 40~13% の範囲の値をとっているが、2,000 ms 以上では呈示持続時間にかかわらず、約 12% の一定値となっている。ここで呈示持続時間と識別比率との関係を見るために、横軸に呈示持続時間、縦軸に識別比率をとり、Table 1 の値をプロットしたものが Fig. 7 である。被験者 YN の結果である。± $\Delta C$  もあわせてプロットしたが、ここではその平均値である  $\Delta C$  に注目して検討を進めることにする。識別比率、 $\Delta C$  は刺激呈示持続時間が 0~100 ms の範囲では急激な低下を示しているが、100~2,000 ms の範囲では比較的緩慢な低下となっている。さらに、2,000 ms 以上では呈示持続時間に無関係に、一定値を

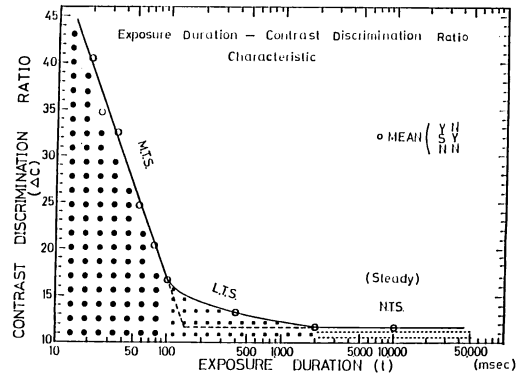


Fig. 9 Same as Fig. 7 but for the mean.

示している。

同様に、被験者 SY, NN の結果もあわせてプロットしたものを Fig. 8 に示す。横軸、縦軸は Fig. 7 と同じである。ただし被験者 SY に関しては、 $\Delta C$  値は右側の縦軸目盛りに対応している。各被験者間において  $\Delta C$  値は多少異なっているが、全体的な傾向はよく類似している。

#### 4. 考 察

被験者 3 名の、呈示持続時間に対する識別比率の平均値をプロットしたものが Fig. 9 である。白丸は各被験者の測定値の平均値である。実線は平均値にフィットするように引いたものである。平均値に対しても、各被験者に現われていた特徴が保持されていることがわかる。すなわち、呈示持続時間が 0~100 ms の範囲の第 1 領域では、識別比率に対する呈示持続時間のたし合せ(寄集め)効果が大きいため (more temporal summation)、比率の急激な低下を示している。100~2,000 ms の範囲の第 2 領域では、呈示持続時間のたし合せは続いているが、その効果は弱まっている (less temporal summation)。一方、2,000 ms 以上の第 3 領域では、たし合せ効果はまったく見られず (non temporal summation)、比率は一定値を示している。

ところで応用面においても、また識別メカニズム解明という基礎面においても<sup>10,11)</sup>、呈示持続時間に対するコントラスト識別特性を、簡単な数式で近似することは非常に実用的なことである。そこで、Fig. 9 に示される識別特性に対応する近似式を求めた。それを(2)式に示す。これは、特性を 3 本の直線で近似したものである。

$$\Delta C = a \cdot \log(t) + b \quad (2)$$

$$a = -35, b = 85 \quad \text{M. T. S. 領域 } (0 < t \leq 100)$$

$$a = -2, b = 20 \quad \text{L. T. S. 領域 } (100 < t \leq 2,000)$$

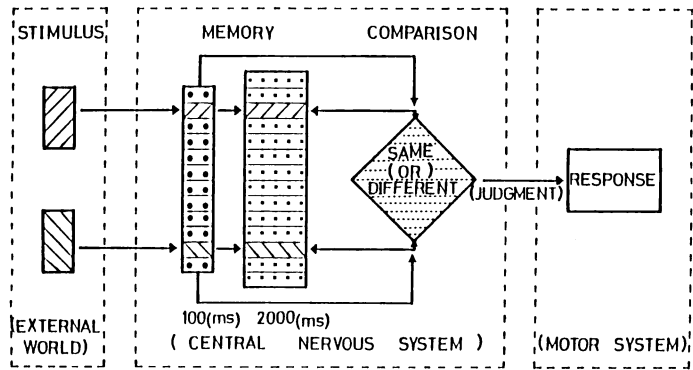


Fig. 10 Schematic diagram of discrimination model.

$a=0$ ,  $b=12$  N. T. S. 領域 ( $2,000 < t$ )

ここで  $\Delta C$  はコントラスト識別比率 (%),  $t$  は刺激呈示持続時間 (ms) である。  $a$ ,  $b$  に各領域で定まった定数を代入すれば、広範囲にわたる刺激呈示持続時間に対して使用可能となるものである。定数  $a$ ,  $b$  については、明るさレベル等の実験条件により、その値が多少変化することも考えられ、修正が必要となる場合もあるかもしれないが、コントラスト識別率が二つの定数を含む、単純な呈示持続時間の対数関数として表わされるということは、画像診断におけるスクリーニング (screening) をはじめとして、応用面上大変に有用なことと思われる。

さて次に、本実験結果と関連させて、視覚系における識別メカニズムについて言及しておく。Fig. 9 に示すコントラスト識別特性が、100 および 2,000 ms 近辺の刺激呈示持続時間で、大きくその特性を変えるという結果は、Fig. 10 に示す視覚系の識別メカニズムモデルにより、よく説明することができる。これは二つの刺激情報を識別するための簡略化した視覚モデルである。モデルは大きく分けて外界 (external world), 中枢神経系 (central nervous system) および運動系 (motor system) の3ブロックより構成されている。外界にはたとえば、二つの山の高さ、あるいは車の大小というような、比較または識別対象となる視覚情報が存在している。本実験では CRT 上の参照光とテスト光とがこれに相当するものである。次に中枢神経系では、網膜より入力された二つの視覚情報を、まずある部位に記憶する。さらに記憶された情報を再度取り出し、互いに比較、検討する部位が存在する。最後に、運動系では神経系の判定を受けて行動を起こすのである。ここでは応答用のスイッチを押す手がこれに相当している。ところで、コントラスト識別特性が二つの変曲点をもつということは、視覚系内の情報処理メカニズムの二段階性を反映したものであると

考えることができ、最も可能性のある部位として中枢神経系を挙げるができる。すなわち、記憶部位のプロセスが2段階になっていると仮定すると実験結果を矛盾なく説明することができる。つまり、各記憶プロセスに所要する時間がそれぞれ 100 および 2,000 ms であり、前者は視覚情報の概略を把握するための、比較的短期間の記憶プロセスに関係し、後者は視覚情報の詳細な部分に至るまで、より正確に認識、識別するための、比較的長期間の記憶プロセスに関係していると考えるのである。ただし、100 および 2,000 ms のなかには当然、記憶プロセス以外の所要時間も何割かは含まれていると考えられる。たとえば末梢レベルである網膜内での光化学反応時間や中枢神経系への視覚情報の伝達速度等である。

一般には、大脳視覚領に入った情報は側頭葉 (一部では頭頂葉も記憶に関与しているといわれている) に伝達され、記憶されるといわれている<sup>12)</sup>。また判定部位については、記憶の関所と呼ばれている海馬がそれに相当するといわれており、側頭葉に記憶されている情報の入出力処理を行なっていると考えられている<sup>13)</sup>。Fig. 10 は中枢神経系で行なわれている、このような視覚情報処理と本実験結果とを踏まえて、視覚系の識別特性を比較的単純なモデルで表現したものである。

## 5. おわりに

われわれは視覚系を通じて、外界に存在するさまざまな情報を収集している。このとき、コントラストは雑多な視覚情報のなかから、求める指標を選択するための大きな手掛りを与えてくれる。このようなコントラスト識別は理工学のみならず、医学の分野においてもよく用いられている<sup>14,15)</sup>。その代表としては、X線写真、サーモグラフィ、マンモグラフィ等をはじめとする医用画像診

断がある。医用画像診断においては、腫瘍の有無の判定に対してはコントラストが大きな決め手となる。医師はフィルム上で固視点を自由に移動させながら、骨、脂肪、水分等のコントラストを基準として病変部を見分けている。これはコントラストに対する一種の短期記憶を利用していると考えられる。つまり固視点をフィルム上で任意に移動させながら、各部のコントラストを継時的に比較、検討しているのである。一方、フィルム上に参照すべきコントラストが存在しない場合は、医師の記憶に存在しているコントラストと比較、検討しているのである。これは、より長期のコントラスト記憶に相当していると考えられる。これらは医学の分野におけるコントラスト識別利用の一例にすぎない。

コントラスト識別のメカニズムの解明は、網膜から中枢神経系へと続く視覚系の情報処理メカニズムを究明する上で重要な役割を果たすとともに、近年、OA化に伴い急激に増加しつつある画像表示装置等に関する応用面においても、緊急な問題となっている。

#### 文 献

- 1) H. R. Blackwell: "Neural theories of simple visual discrimination," *J. Opt. Soc. Am.*, **53** (1963) 129-160.
- 2) G. E. Legge: "A power law for contrast discrimination," *Vision Res.*, **21** (1981) 457-467.
- 3) A. R. Biondini and M. L. de Mattiello: "Suprathreshold contrast perception at different luminance levels," *Vision Res.*, **25** (1985) 1-9.
- 4) H. B. Barlow: "Temporal and spatial summation in human vision at different background intensities," *J. Physiol.*, **141** (1958) 337-350.
- 5) G. E. Legge and D. Kersten: "Light and dark bars; Contrast discrimination," *Vision Res.*, **23** (1983) 473-483.
- 6) 中嶋芳雄: "コントラスト識別の時間特性," *Med. Imaging Technol.*, **4** (1986) 305-313.
- 7) W. H. Ehrenstein and L. Spillmann: "Time thresholds for increments and decrements in luminance," *J. Opt. Soc. Am.*, **73** (1983) 419-426.
- 8) 中嶋芳雄: "明るさ識別の呈示時間依存性と記憶形成時間", 色彩学会全国大会論文集 (1985) pp. 12-13.
- 9) J. L. Dannemiller: "The early phase of dark adaptation in human infants," *Vision Res.*, **25** (1985) 207-212.
- 10) J. M. Foley and G. E. Legge: "Contrast detection and near-threshold discrimination in human vision," *Vision Res.*, **21** (1981) 1041-1053.
- 11) 中嶋芳雄: "輝度識別の時間特性", 第1回色彩工学コンファレンス論文集 (1984) pp. 73-76.
- 12) 時実利彦編集: 生理学大系V (医学書院, 東京, 1978) pp. 287-312.
- 13) 時実利彦: 脳の生理学 (朝倉書店, 東京, 1966) pp. 366-367.
- 14) 中嶋芳雄: "医用画像のコントラスト識別基準に関する基礎的研究", 第1回医用画像工学シンポジウム論文集 (1982) pp. 23-24.
- 15) 中嶋芳雄: "コントラスト識別の時間特性に関する基礎的研究", 第4回医用画像工学シンポジウム論文集 (1985) pp. 125-126.