

放射線像研究

VOL 7 . No. 4 . (通巻 53 号) 1977 年 11 月

* 目 次 *

研究会記事・会告 104 頁

特別講演資料

1. 視覚の認識機構について

NHK 基礎研 樋 渡 涓 二 109 頁

2. フィルムの物理化学的特性

富士フィルム 園 田 実 118 頁

論 文

54-2 Computed Tomography 装置における重み関数の画質への影響

日立メディコ 矢仲重信, 小池功一, 瀬尾邦彦, 高橋俊二

日 立 中 研 河野秀樹, 戸村光一 124 頁

第 54 回 研 究 会 記 事

第 54 回 R I I 研究会は下記のように開催されました。

日 時 昭和 52 年 11 月 26 日 (土) 10:30~

場 所 東京大学医学部付属病院 好仁会会議室

特別講師 NHK放送科学基礎研究所 樋 渡 涓 二 氏

富士写真フィルム(株) 園 田 実 氏

出席者 47名

プログラム (*印のものは本誌に論文が掲載されています。)

特別講演

* 1) 視覚の認識機構について

NHK基礎研 樋 渡 涓 二 氏

* 2) フィルムの物理化学的特性

富士フィルム 園 田 実 氏

研究発表

1) X線スペクトル測定の現状

京都工繊大 金 森 仁 志

* 2) CT装置のイメージに及ぼす重み関数の影響

日立メディコ 小池功一, 堀場勇夫, 矢仲重信

日立中研 山本真司, 戸村光一, 河野秀樹

3) ICR雑感

東芝メディカル 外 川 勉

会 告

—— 第 5 5 回研究会について ——

第 5 5 回研究会は下記のように開催いたします。

日 時 昭和 5 3 年 3 月 1 1 日 (土)

場 所 浜松医科大学

—— 新 入 会 員 ——

下記の方々を会員として迎えました。

氏 名	〒	勤務先および所在地	T E L
田 中 直 人	7 5 5	山口大学医学部付属病院放射線部 宇部市西区 1 1 4 4	0836-31-3121
野 沢 武 夫	2 3 2	横浜市立大学付属病院放射線部 横浜市南区浦舟町 3 - 4 6	045-781-1311
嶋 孝 治	4 6 6	名古屋大学医学部付属病院中央放射線部 名古屋市昭和区鶴舞町 6 5	052-741-3017
小 林 純 朗	2 2 8	北里大学病院放射線部 相模原市麻溝台 1	0427-78-8405
河 原 研 二	5 0 1 - 0 2	岐阜歯科大学歯科放射線学教室 岐阜県本巣郡穂積町高野 1 8 5 1	05832-6-6131
柳 沢 卓 司	2 1 0	東芝堀川町工場電子事業部 川崎市幸区堀川町 7 2	044-522-2111
岩 崎 賢 二		同 上	
角 田 考 功	5 7 0	関西医科大学付属病院放射線科 守口市文園町 1	06-992-1001
島 崎 政 夫	1 1 3	東芝メディカル(株)技術本部 東京都文京区本郷 3 - 2 6 - 5	03-815-7211
山 本 敏 雄	1 1 3	東芝メディカル(株)営業本部 東京都文京区本郷 3 - 2 6 - 5	03-815-7211

金子昌生	4 3 1 - 3 1	浜松医科大学放射線医学教室 浜松市半田町 3 6 0 0	0534-35-2102
杉江義男	4 3 1 - 3 1	浜松医科大学放射線部 浜松市半田町 3 6 0 0	0534-35-2102
西山 篤	1 6 6	清川病院放射線科 東京都杉並区阿佐谷南 2-31-2	
犬井正男	2 8 0	千葉大学工学部画像工学科 千葉市弥生町 1-33	0472-51-1111
大橋裕一	1 6 0	慶応大学医学部放射線技術室 新宿区信濃町 3 5	03-353-1211

—— 住 所 変 更 ——

氏 名	〒	新勤務先および所在地	T E L
藤田 広 志	5 0 1 - 0 4	岐阜工業高等専門学校電気工学科 岐阜県本巣郡真正町	0583-24-1101

視覚の認識機構について

NHK放送科学基礎研究所

樋 渡 涓 二

1. はしがき

X線にかぎらずいろいろな画像をわれわれがいろいろの目的で見る場合、視覚側の問題をどう考えればよいか、また見やすい画像とするためには視覚のいかなる性質を積極的に利用したらよいかなど、視覚の問題は画像工学上重要である。

さて視覚の認識機構を工学的に問題にする場合、2つの立場がある。その一つは生理学的知見に基いたいわく生理学的モデル、もう一つは心理学的知見に基いた心理学的モデルである。前者は視覚系の内部機能の知見に基くものであるから機構的に生体に近いものを考えるが、局所的モデル——たとえば網膜のモデル——にならざるを得ない。後者は心理学的知見に基くものであるから内部機構というものを問題にせずブラックボックスの入出力のみを考えるが、視覚を考える上で完結性をもっている。

視覚の問題を画像を見るという立場から扱うと後者のモデルに立って考えることが先ず必要であるから、本論は視覚機構の心理学的モデルの立場で述べることにする。

2. 視覚心理の階層モデル

目に光が入れば見え、耳に音が入れば聞こえる。光の存在、音の存在が分ることを感覚 (Sensation) といふ、視、聴、触、味、嗅などの感覚の違いを種 (Modality) といふ¹⁾。視覚の場合見る対象物の形体が客観的な存在として分ることを感覚と区別して知覚 (Perception) といふ。勿論この区別は厳密なものではない。

先天性の盲人が成長してから開眼手術を行っても見える筈の目が見えない。あとは専らきびしい訓練によってのみ次第に物が見えるようになるのである。²⁾ 始めは光は感ずるが物は分らない混沌状態である。次第に図 (Figure) と地 (Background) の区別がつくようになり、図の方に視線を向けるようになる。やがて物体 (図形) の特徴的な部分、たとえば角部に目が行き形体視が生じてゆく。この過程はいわば感覚から知覚へ目の機能が発達したことを意味する。

みるということは“みてから決めよう”、“みないと分らない”、更には“お腹をみましょう” “芝居をみにゆく”の例でも分るように単に目に情報が入るだけではない。物事を知覚したあと認

識、理解、思考、判断更には観賞といった脳の積極的なはたらきがつくのである。手もとの英々小辞典をみると、See: to get knowledge of through the eye となっている。つまり目で外界の情報を獲得し自分の知識とすることをいう。

人間の目は一点をじっと見つめた場合、左右眼それぞれ上下左右約 60° という広い視野をもっている。しかし広い視野にもかかわらず視力のよいのは中心部の半径数度の範囲内のみである（中心から 5° 離れると 20% 位に低下してしまう）。目の検査で測る視力は中心部の視力である。色の識別について測定してみると、赤緑青3原色、つまりあらゆる色が見えるのは中心から半径 20° の範囲内であり、その外側は青と黄のみが識別でき、視野のごく周辺部では色の識別が全く出来ない。以上のような性質にもかかわらず日常的には視野一様に何でも見え、かつ色もついていると思うのは眼球がはげしく上下左右に動くからに外ならない。

いま視線を空間の一点に固定し、広い視野の各部位にたとえばアルファベットの文字を提示した場合それがどう見えるであろうかという実験を当研究所で行っている。⁽³⁾ この結果によれば文字が読めるのは視野の中心から半径約 5° の範囲内だけである。 5° 以上離れると文字の形状は知覚できても読むことができない。半径が 20° 近くになると文字は形状どおり見えなくなり、文字の部分のみが識別される。例えばEはその中の横棒だけが分るといった風に文字の形状が崩壊してゆく。これは単に視力が悪くなるというだけではない。視力を十分補うだけの大きさの文字に対しても崩壊する。

こゝで文字が読めるということと、文字の形状が分るといふことは本質的に違ふ。いまAとHとは形状が似ているが異なる文字である。ところがAとaとは形状が全く違ふが同じ文字であることを我々は知っている。別の例を挙げよう。犬には大きい犬や小さい犬、形もまちまちであるが、われわれは犬は犬であり他の動物と区別している。われわれは犬という概念を頭の中持っているのである。Aという文字はかなりくずれても、或いは太く、或いは小さく書いてもAという概念として読む。このようなはたらきを認識（または認知、cognition）

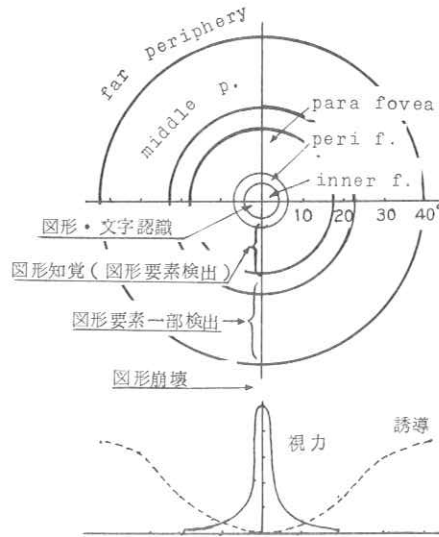


図1. 視野各部の図形・文字に対する働き (NHK 福田, 畑田 '77の研究による)

という。広い視野の中で認識機能をもっているのは中心部から半径約5°の範囲内だけということである。図1は広い視野の中で機能の違いを示したものである。

以上の例からわれわれの視覚の動きには感覚、知覚、認識という階層があることがお分かりになったと思う。この3つの階層のほかに花をみて美しいなどと感ずる情緒(emotion)を加えて4つの階層を考えることにする。⁽⁴⁾

3. 色のみえ方の階層

あらゆる色光は赤、緑、青(R, G, B)の三色の適当な混合(加色混合)で得られることはトーマス・ヤングの三色説の示す通りである。

任意の色光を三原色の適当な混合で等色(色を合わせる)することができ、色には加法則が成立つ。これを基礎にして作られたのがCIEの色度図(図2)である。

色が代数的に計算できるいわゆる測色字(colorimetry)の基礎は上述の混色実験にあるが、この混色実験は周囲が暗黒で、直径が2°の円形視票という極めて限定された物理条件のもとで行われたものであり、この条件を破ると上述の加法則は成立しなくなる。たとえば視票の周囲を暗黒にせず適当な色光で照らすと、視票の色は周囲光の色によって変化する。

大体のところ周囲の色(例えば黄色)の反対色(例えば青)が視票の色に加わって(例えば青味がかって)みえる。これを色の対比効果という。この効果は明かに目に入るパターンの空間性と関係が深く知覚現象の一つである。ここでは視票の色は物理的な分光スペクトルと一義的に対応しない。CIEの色度図の基礎になっている混色実験による加法則の成立は感覚のレベルでの話なのである。

さて図2をもう一度見ていたどきたい。馬蹄形の平面がいくつか分割されその中に色名が書かれている。赤と書かれている範囲をわれわれは赤と命名したのである。赤といっても千変万化の赤

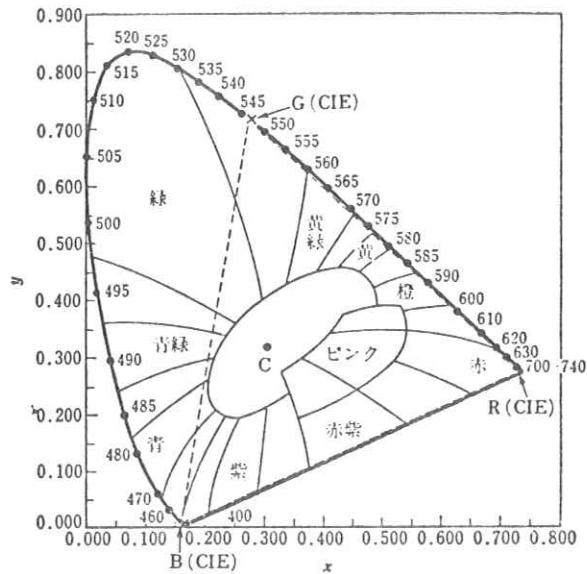


図2. CIEの角度図(すべての色はこの馬蹄形の曲線内の一点で与えられる)

があるにもかかわらず、この範囲を赤と決めることに抵抗はない。つまりわれわれが赤という色の概念をもっているのであって、赤以外の色からそれを区別することができる。これは認識の問題である。

さて最近カラーテレビの白というのが問題になっている。⁽⁵⁾ 白にもいろいろな白がある。CIEの色度図ではいわゆるC光源が基準の白となっている。欧州ではこれに近いD₆₅ (6500k)を基準白色にしている。一方日本ではテレビ受像機が白さ10000K以上にしないと売れない。つまり購買する一般の客は青っぽい白の出るテレビを欲しがるのである。ちなみに日本のテレビ局はD₉₃ (9300k)が現在基準となっている。NHKの技研ではカラーテレビにたとえば富士山のスライドを使ってその白さが最も白らしい点を被験者に求めさせた。その結果は、テレビを見ている部屋の照明(ここでは各種の蛍光灯を使用した)の色温度よりおよそ3~4000k高い白を最も白らしい白であるとしている。ちなみにけい光灯の色温度(°k)は温白色が約3000, 白色が約4500, 昼光色が約6500である。

同じNHK技研でつぎのような実験をした。⁽⁶⁾ カラーテレビにうつる画像の中のある特定の色の部分——例えば人間の肌色——のみの色が自由に変えられ、ほかの部分の色はそのまゝに固定される装置を作り、多くの被験者に人物の画像で最も好ましい肌色を選択させた。その結果は実際の肌色とは若干ずれたところにデータが集中した。肌色だけではない。青空の青い色、芝生や木の葉の緑色など、人間が頭の中でえがいているそれらしい色というのは実物の色から若干ずれたところに記憶されているのである。このことを記憶色(memory color)という。

さて、上述にのべた白の問題や記憶色の問題は多分に人間の記憶とか嗜好とかに関係し、単なる知覚の問題だけではないことに気付かれたと思う。これを筆者は“視る”の階層構造の第4点——情緒——として挙げたわけである。花を見て、あるいは夕陽を見て美しいと思う。すべて情緒の問題である。

さて“視る”の4つの階層構造——感覚・知覚・認識・情緒——のうち前二者は生得的に人間にそなわっているか、習得的であっても極めて個人的な機能であるとみてよいだろう。それに対して後二者は多分に社会性や時代性の影響を受ける。明かに言語は国によって異なり、物の認識という機能が言語と密接な関係にある以上、構成される概念も言語によって異なることは容易に想像がつく。また美の感覚も時代によって、文化の程度によって異なることは言うまでもない。最近の若い者の色の好みをしらべたところ橙色が最も好まれたというデータがある。⁽⁷⁾ 何十年か前には一寸考えられないことであろう。

4. 視知覚の相対性

前にも一寸触れたが、心理学では昔から図と地という言葉がある。図3はオランダのイラストレーターだったエッシャーが描いた絵⁽⁸⁾であるが、空を飛ぶ鳥が黒い鳥から白い鳥にいつの間にか変

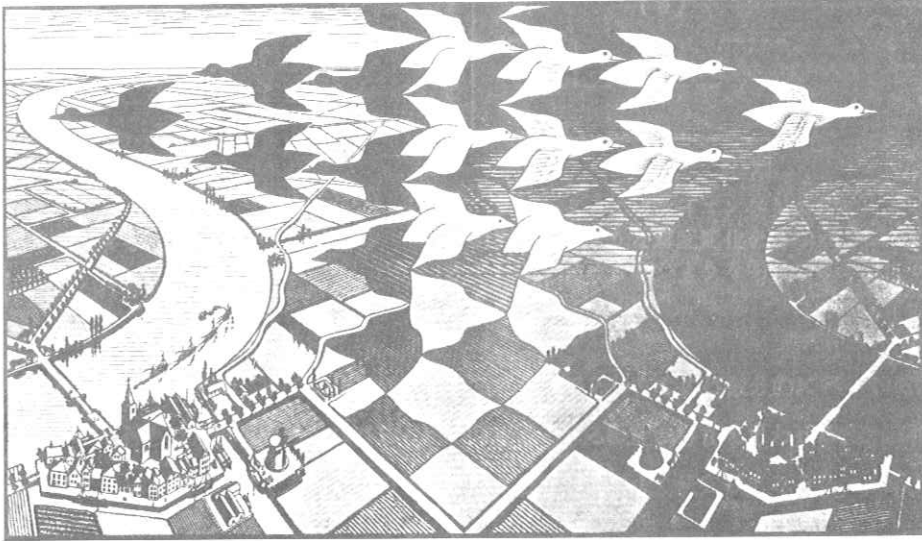


図3. 図の地の関係(オランダのグラフィック・アーティスト Escher の作。画面中央部分では白い鳥とみれば黒の部分は空となり、黒い鳥とみれば白い部分は空となる)

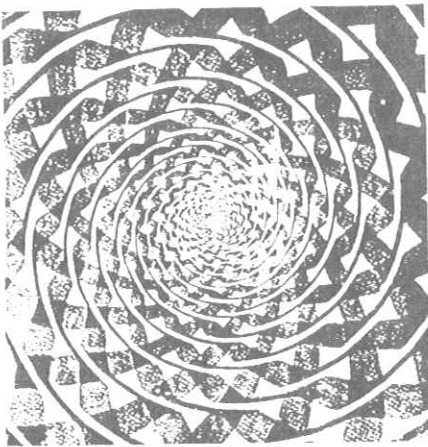


図4. 錯視図形の例(目には渦巻にみえるが実際は同心円)

っている。勿論鳥が図で空が地であるが、丁度途中のところでは白い鳥と黒い鳥の何れか一方しか図になり得ない。鳥でない方が地である。図4は100人中100人共渦巻にみえる。しかし鉛筆の先でなぞってゆくと同心円であることが分る。図5は上の写真では化石の貝が表に凸にみえ、下の写真では凹にみえる。しかし下の写真は上の写真を単に上下さかさにしたにすぎない。ちなみにこの雑誌を上下反対にして御覧ねがいたい。

以上の2, 3の例(このような視知覚現象を一般に錯視という)で分るように人間の知覚というものには甚だ不安定であるという印象を受けるであろう。図4の例で分るように図の形の見え方は地

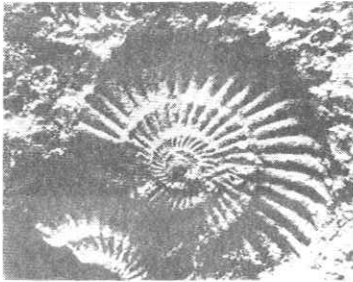
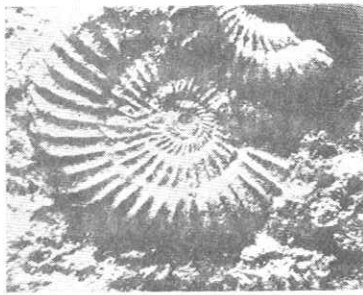


図5. 立体視の錯視((a)は手前に, (b)は奥に見えるが実は(b)は(a)を上下倒したにすぎない)

の様相によって極端に言えばいか程にも変わってしまう。一体これはどうしたことか。単に精度が悪いということなのだろうか。

いま図6(a)に示すようなコマを廻すとその半径方向の明暗の分布は同図(b)の実線のようになる。ところがこれを見ると点線で示すよ

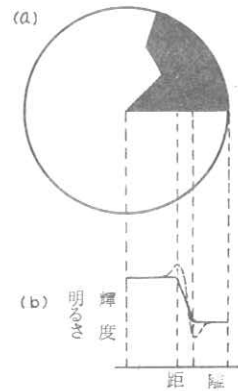
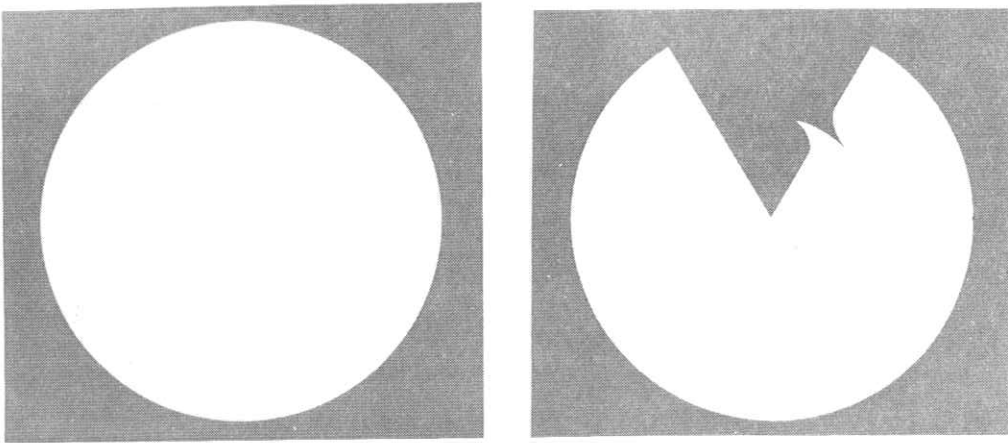


図6. マッハ効果((a)のコマを廻すと(b)の実線の輝度変化になるが、見る人には点線のように見える)

うに明暗の変化部分に黒と白の強調が感じられる。これが(a)のコマを廻すと黒と白のリングになって見える。これを発見者エルンスト・マッハ(E. Mach)にちなんでマッハの輪(Mach ring)という。またこの効果はマッハ効果と呼ばれ古くから知られている。ラートリフ(Ratliff)らはかぶとがに(生きて化石といわれる古代からの動物で瀬戸内海あたりで生存しつづけている)の視覚にもこの効果があって、これは側抑制と呼ばれる横方向にからんだ相手を抑制させる神経のせいであることを発見した。⁽⁹⁾ この効果はこのように古い原始動物からわれわれ人間に至るまで存在しているのである。この効果の意味するところは目に入る図形の白黒輪かく部を強調するはたらきであ

るから、物の形状をよりよく見えるためのものと考えざるを得ない。

かぶとがにのこの神経回路、さらにはねこのようならずと高等動物の網膜内の神経回路の性質を模擬した目のモデル⁽¹¹⁾をコンピュータなどで作り、これに鎖視図形(錯視の強調されるいくつかの代表的な図形)を入力として与えると、われわれの目が感ずるような錯視に似たパターンが出力されるのである。⁽¹⁰⁾ これらのことからわれわれが地によって図が変形してみえるのは、実は地から図を区別してよく見ようとする機能によって逆に生じている現象であることが分る。つまり生物は物の形をよく見ようとするあまり長さや大きさなどの知覚にエラーを生じてしまうことになる。われわれの目は、大勢の人の顔の人相がみな別々に区別できるが、目鼻立ちの寸法の差は極めて微少であることは人物デッサン——筆者は絵を描く——をやってごらんになればすぐ分る(モデルの顔に似せるにはかなりの年月の修練が要る)。われわれの目はこのような物の形状のもたらす質的な性格を認識することに極めて敏感であるのに、物の形の量的な把握には極めて鈍感といわねばならない。コンピュータがいくら進歩しても人間の目の直観力には遠く及ばない所以でもある。



(a)

(b)

図7. クレイク・オブライエン効果(bをコマにして廻すと aのように外円全体が内円全体より一段暗くみえる)

ところで今図 7(b)のようなコマを廻すと(a)のように見える。(b)は単に一部分に明暗差が過渡的につけただけなのに、(a)では全体が明暗に2分されて見える。つまりもう少し詳しく言うと図 8の実線のような明暗分布の図形をみせても点線のように見える。⁽⁸⁾⁽¹²⁾これは一体どうしたことか。これまで述べて来たことからからこのような現象は説明できない。この現象はクレイク・オブライエン効果といわれているが、網膜から大脳視覚領にかけてのこれまでの知覚では、図 7(a)の過渡部分に視線が集中するだけの筈であった。この現象は一度微分的にえられた情報から逆に積分する効果であるとも言えよう。この問題はまだ解明されていないが、要するに視覚系というものは微分的にパターンを解析すると同時に、得られた情報から再び積分して中間を補完する機能の存在を思わせる。このような積分的機能は目のパターン認識上もう一つの重要なはたらきとしてよく研究してみる必要がある。

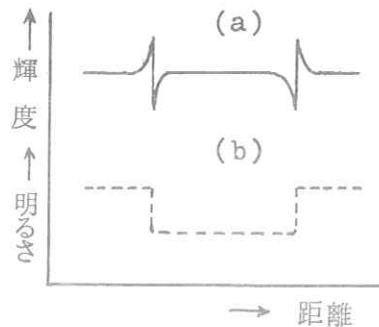


図 8. クレイク・オブライエン効果の説明図 ((a)のような輝度変化をもつパターンを見ると(b)のような明るさになる)

5. 画像と視覚の対応⁽¹⁾⁽⁴⁾

画像といってもいろいろな種類があるので、ここではテレビジョンに限ることとし、画像の物理的な各種の要因と、これらに対応する視覚要因の対応を表 1 に示す。物理的要因として大きく光学的要因と電気的要因に分けた。光学的要因は主として空間的要因が主体であるが、走査によって電気的要因は一次元の時間的な信号であり、この両者は空間周波数と時間周波数との対応で接続される。

これらの物理的要因と心理的要因とを対応させるのに、これまで述べて来た視覚系の心理学的なモデルを対応させた。個々の物理的要因に対して感覚、知覚のレベルの対応は必ずしも一義的ではないが個々の物理的要因に対する心理的要因は心理物理学的 (Psychophysical) なレベルで対応づけることができ、事実かなりのデータがそろっているといてもよい。

これに対し認識情緒のレベルでは、単に画像の物理的な要因のみの対応では不足である。つまり認識・情緒のレベルでの心理反応は、画像そのものの内容と強く関係するからである。これは画像の内容の具体的な意味に対する純粋な心理反応である。したがって感覚・知覚のレベルでの個々の物理的要因に対する心理反応をいくつか総合して認識・情緒の反応とするような公式は本質的にあり得ないのである。たと画像伝送系における歪や妨害に対しては、いくつかの代表的な画像について

の心理反応を求めることはでき、また実際にその反応を求める必要性は極めて多いことも事実である。多くの場合それはある許容値のような限界値を求めることが要求され、系列範疇法のような心理測定法が用いられている。

		物理的要因		心理的要因	
		光学的要因	電気的要因	感覚・知覚	認識・情緒
画像情報の空間的要因	強さのレベル分布 (明暗)	輝度(最高・低, 平均)コントラスト比 変換特性, ガンマ	非直線ひずみ ダイナミック・レンジ ガンマ補正	明るさの尺度, 明るさの弁別 同時対比効果	階調・色調のよさ 鮮鋭さ
	周波数スペクトルの分布 (粗密性)	MTF(OTF) 鮮鋭度 ぼけ, ハレーション, 開口歪	直線ひずみ (周波数特性)	視覚のMTF 視力, マッハ効果	明るさ, 自然さ, 美しさ, 柔かさ, 調和
	分光スペクトル分布 (色)	透過・反射の分光スペクトル	副搬送波の振幅と位相のひずみ (DG・DP.)	波長弁別, 視感度特性, 各種の色知覚特性	明視性, 可読性 (読み易さ), 視認性
	画面構造 (大きさや形)	画面の大きさ, 幾何歪, 室内光の影響, スクリーンの質, 立体表示方式	走査線数と帯域制限 走査方式と走査歪	最適視距離 眼球運動 奥行知覚, 運動視	臨場感, 立体感, 運動感, 迫力感
時間的要因	時間変化	毎秒像数 残光と残像		ちらつきとCFF CCFF 順応と対比(縦時)	不快感
	時空間変化	各画面毎の空間像変化	走査線構造	運動視と仮現運動 図形残効	嗜好(好み)
妨害	定常的妨害	モアレ 背景雑音(粒状性) ジッター	正弦波妨害 ランダムノイズ 量子化ノイズ エッジビズネス	運動正弦波のMTF ランダムパターン の見え方	見にくさ, 不快感 うるささ, まぶしさ
	非定常的妨害	ごみ, きず, むら 色ずれ	パルス性ノイズ ゴースト 同期不能	短時間刺激の見え方	

表 1. 画像と視覚の対応

文 献

- (1) 樋渡：感覚と工学，エンジニアリング・サイエンス講座3，共立出版（昭52）
- (2) 和田・大山・今井編：感覚知覚ハンドブック，479-483 誠信書房（昭44）
- (3) 渡部，樋渡，畠中，田中：画像と注視点の分布，NHK技術研究，17，1，4-20（昭40）および福田：視野各部における図形識別能力，テレビ学会視覚情報研究委資，VVI 23-1（昭52）
- (4) 樋渡：画像情報と視覚機能，電通学誌，57，11，1259-1264（昭49）
- (5) 大西，若林：カラーテレビにおける好みの色，NHK技研月報 20，7，262-268（昭52）
- (6) M Sugimoto, M. Ezawa, T. Tamura: A Color Converter and its Application for Measuring Human Color Preferences in Color Television, Jour S.M.P. T.E., 82, 71-76 (1973)
- (7) H. Chijiwa: The Current Trend of Colour Preference Studies in Japan, Acta Chromatica, 2, 5 (1974/1975)
- (8) 特集：視覚の心理学，イメージの世界，別冊サイエンス，日経新聞社，昭50，11月
- (9) 例えば F. Ratliff: Mach Band: Quantitative Studies on Neural Networks in the Retina, Holden-Day, San Francisco (1965)
- (10) 例えば 藤井，松岡，森田：Lateral Inhibition による錯視現象の解析，医用電子と生体工学，522，117-126（昭42）
- (11) 例えば 樋渡：生体情報工学，コロナ社，第4版（昭52）， 福島：視覚の生理とバイオニクス，電子通信学会（昭51）
- (12) 磯野，坂田，日下：輪郭情報によるコントラストの生起現象——視覚のクレイク・オブライエン効果の解析——テレビ学会，視覚情報研委資，VVI 24-2（昭52，11月）

フィルムの物理化学的特性

富士写真フィルム(株)富士宮工場

園 田 実

§ 1. X線用フィルムの構成とX線写真形成過程

通常のX線写真は、両面に感光層を持つフィルムを、両側から二枚の蛍光スクリーンではさみ、X線照射後フィルムを現像、定着、水洗、乾燥処理して得られる。蛍光スクリーンにはさまれた状

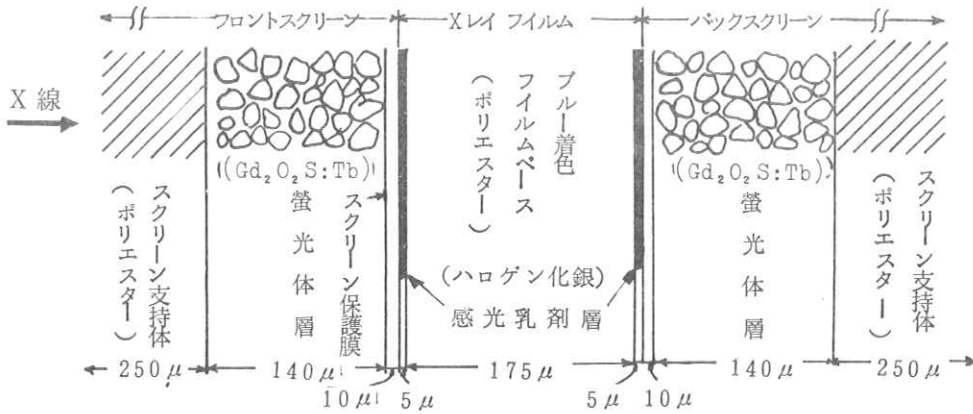


図1. フジGRENEX G-4スクリーン+RXOフィルムの拡大断面図(×100)

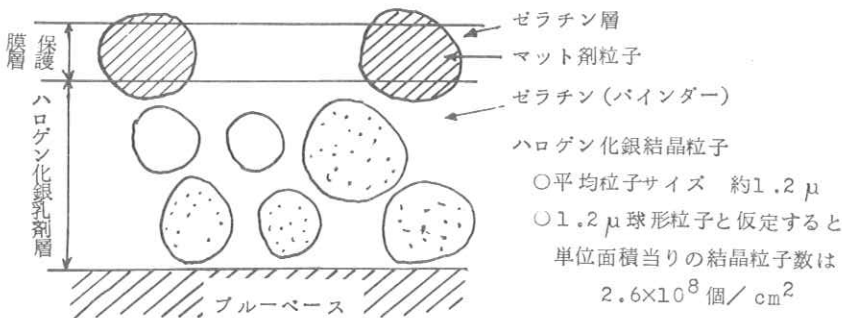


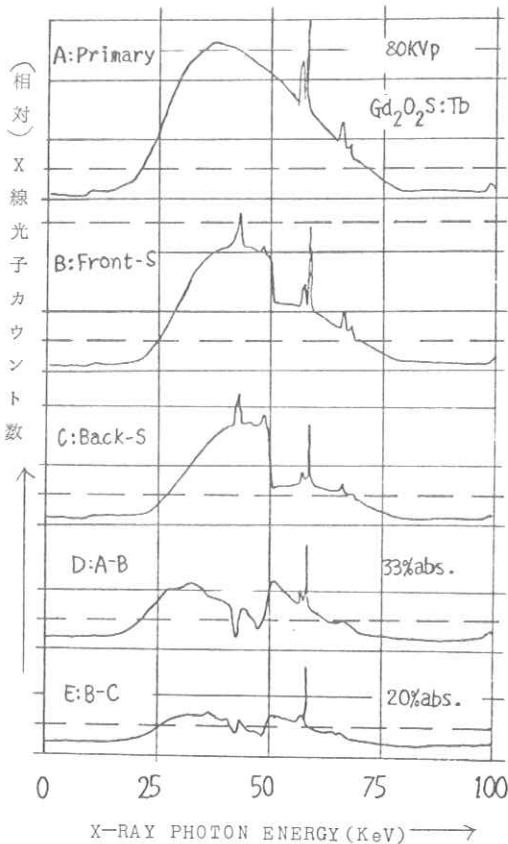
図2. フジRXOフィルム感光乳剤層の拡大断面図(×50000)

態の一例とフィルムの感光層の断面の一例を夫々図1, 図2に示す。

これらの図は、実際の幾何学的関係を拡大したもので、その寸法の比較から、直観的に像形成過程の一面が理解されよう。即ち感光乳剤層よりも約30倍も厚い螢光体層に吸収されたX線像、そしてそれから発する光が散乱されながらフィルムの感光層、ハロゲン化銀結晶粒子に吸収されて像が形成される。従って像の鮮鋭さは、全くこの厚い螢光体層に依存していて、フィルム自体はそれに比し、充分すぎる位の鮮鋭さを持っている。若干フィルムからの寄与があるのは、約175μのフィルムベースを隔て、二つの感光層に像が形成されることで、これはクロスオーバー効果として知られている。

次にX線露出過程のエネルギー収支を概算してみる。入射X線を80kVpとし、フロント、バック両スクリーンを通過した後のエネルギースペクトルは、図3の如くなる。

- 1) エネルギー吸収で表すと、フロントスクリーンは入射X線の33%を吸収、バックスクリーンは20%を吸収。



- 2) 80kVp(平均40keVとする)のX線光子が入射された時、GRENEX G4スクリーンから発する550nmの光子数は： $(40\text{keV} \rightarrow 0.031\text{nm})$

$$1 \times 0.53 (\text{入射X線吸収率}) \times 0.15 (\text{発光効率}) \times 550 / 0.031 = 1400 \text{ 個光子 / 入射X線光子}$$

- 3) R X Oフィルムを、光露光後標準現像して1.0の黒化濃度を生ぜしめるのに必要な光エネルギー(吸収)量は

図3. フロント、バックスクリーン透過前後のX線エネルギースペクトル

- A: 入射X線
B: フロントスクリーン透過後
C: バックスクリーン透過後
D: フロントスクリーンに吸収されたX線
E: バックスクリーンに吸収されたX線

約 0.10 erg/cm^2 , これを 550 nm の光子数に換算すると 3×10^{10} 個光子/ cm^2 となる。

4) 従って, R X O フィルムに 1.0 の黒化濃度を与えるに必要な 40 keV 光子の数は, 2×10^7 個/ cm^2 となる。

以上の概算から, フィルムに同じ 1.0 の黒化濃度を生ぜしめるのに, 光で露光した場合に比し, X線の場合は情報担体のX線光子の数が約 1000 分の 1 となって, X線写真における量子モトルの発生がうなずける。(上記3)と4)の比較)

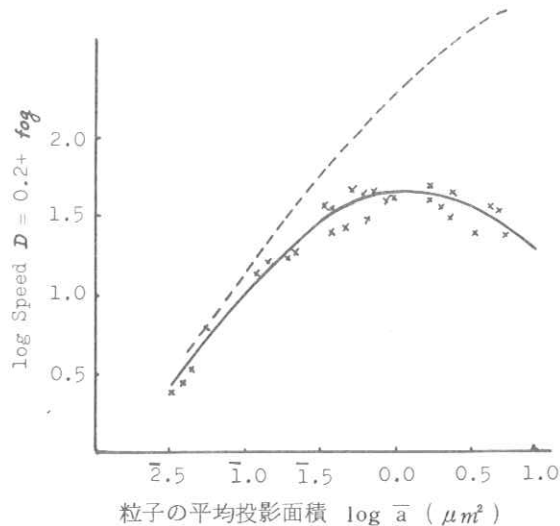
§2. ハロゲン化銀の感光過程の概略と近年の物性物理の進歩

ハロゲン化銀結晶粒子に吸収された光子によって, 電子が価電子帯より伝導帯へ励起され, その電子が感光中心(結晶表面上の格子欠陥か, 化学増感によって生じた電子捕獲中心)に捕えられる。その電子の価電を結晶中の格子間銀イオンが中和して銀原子が出来る。そこへ更に電子が捕獲され又格子間銀イオンが中和するという具合にして, 5原子以上の銀核が出来て安定すると, それが現像中心となって現像液中で粒子全体が黒化現象される。ガーネーモットの理論が出て, 多少の修正詳細化が進んだが, 本質的には今の所上記の概念が認められている。

こゝ約十年間の進歩のいちじるしい事は, 上記感光過程の理論を裏付けるべき多くの実験事実と理論が出された事で, 特に結晶のバンド構造の理論計算から, 写真乳剤中又はそれと同等なマイクロオーダーの微細結晶粒子の固体物性が明らかにされて来た事である。

	Emulsion Grains	Large Crystals
Ionic Conductivity	$\sim 10^{-6} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$	$\sim 10^{-8} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$
Drift Mobility of Photoelectrons	$0.2 \text{ cm}^2/\text{V sec}$	$60 \text{ cm}^2/\text{V sec}$
Drift Mobility of Positive Holes	$10^{-3} \text{ cm}^2/\text{V sec}$	$\sim 1 \text{ cm}^2/\text{V sec}$
Lifetime of Photoelectrons	$\sim 3 \mu\text{sec}$	$\sim 0.1-10 \mu\text{sec}$
Lifetime of Positive Holes	$15 \mu\text{sec}$	$\sim 0.1-10 \mu\text{sec}$

表 1. ハロゲン化銀物性(イオン伝導度, 電子, 陽孔の易動度と寿命)を大結晶と乳剤中の微結晶とで比較



(破線は一定の量子感度を仮定した時の感度の理論上の変化を示す)

図 4. 粒子サイズと感度の関係

その主な手段と明らかにされた物性を以下に例示してみると、

1. 乳剤膜での誘電損失の測定による微結晶中のイオン伝導度の測定。
2. マイクロ波測定による微結晶中の電子伝導の測定。
3. デンパー効果光起電力測定による、電子、イオン伝導度の測定。
4. 電子顕微鏡、イオンエッチングとESCAによる結晶微細構造解析。
5. 極低温(～4°K)蛍光、ESR測定による光物性、フォノンの影響測定。

大結晶と微結晶(写真乳剤中)の物性がいかに大きく異り、写真感光過程はこの微結晶の性質を利用した甚だ巧妙な仕掛けであることを理解する意味で、物性の比較を表1に示した。

所で、実際問題として、X線用フィルムの感度は今後どの位上げられるかを考えると、図4に示した様に、写真フィルムの感度は或る程度迄は、含まれるハロゲン化銀結晶粒子のサイズに依存している。しかしX線用フィルムに用いられている粒子サイズは約1.5μにおよび、殆どサイズと感度の関係の極大点になっており、これ以上の感度上昇は甚だむづかしいものと考えている。

§3. 現像過程

上述の様に、感光過程で形成された潜像即ち現像核は、銀原子から5個以上集った銀核と考えられており、この様な核を粒子表面か極く表面近くに有している粒子と、有していない粒子を現像液は

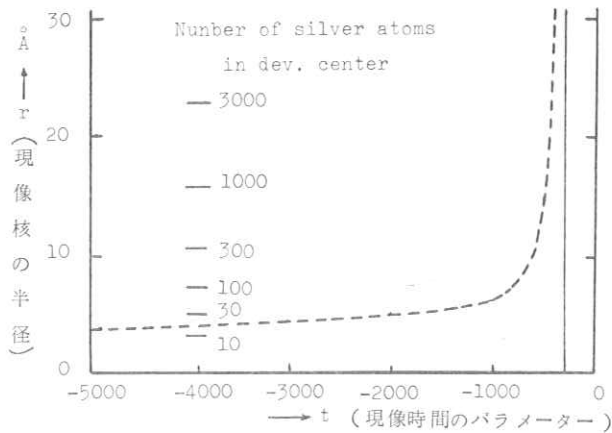


図5. 極く微小な現像核が短時間の中に急速に成長して黒化銀となる初期段階(誘導期)を示す図

微妙に選り分け、核を有する粒子はそこを起点にして全粒子が銀フィラメントの塊りとなるまで還元する。この間の増巾度は 10^9 に達し、ハロゲン化銀写真フィルムが高感度な記録材料である理由の一つと言える。極く微小な銀核が現像時間と共に大きく成長する過程で、初期に殆んど黒化銀としては見えない誘導期の段階のサイズを図5に示した。

実用的な現像の問題点は、近年

90秒処理という迅速処理が実用化されてX線フィルム膜(ゼラチン)の現像液中での膨潤が高温

のため大きくなり、この事が還元過程で生じる黒化銀フィラメントの膜中での空間的拡がりを大きくした事にある。この銀フィラメントが拡がると一般に黒化濃度が上昇するが、画像の粒状性が悪化する。従って、迅速処理においては、現像液の温度管理をより厳正にする必要が生じて来た。

§4. 分光増感（オルソシステムについて）

ここ数年、緑色に発光ピークを有するより発光効率の高い、稀土類化合物を蛍光体とする蛍光増感スクリーンが開発された。フジグレネックスシステムもその一例である。これに用いられるX線フィルムは、当然緑色の光に感じなければならない。しかるにハロゲン化銀結晶は紫外～青の波長の光しか吸収しない。そこで分光増感という技術が用いられる。これは図6に示すような、有機色素をハロゲン化銀粒子表面に吸着せしめ、それら色素が緑色の光を吸収し、吸収したエネルギー又は吸収して色素分子中に生じた電子を、ハロゲン化銀結晶中にトランスファーさせて、ハロゲン化銀が紫外～青光を吸収して起る現象と同じ事を起させるものである。この分光増感に関する技術

およびその基礎理論は近年いじりしく進歩した。例えば、分子軌道法による色素分子のエネルギーレベルの計算で、その色素が分光増感を起こさせるかどうか、大凡の判定を付けることが出来るし、又色素分子中で生じた電子-正孔対の挙動についても、その写真感光過程に及ぼす効果が種々明らかになって来ている。色素のエネルギーレベルとハロゲン化銀結晶のそれとの関係については図7に模式的に示した。現在では、色素中に生じた電子がハロゲン化銀に注入されるという電子移動説が、エネルギー伝達説よりも、より妥当な理論と考えられている。

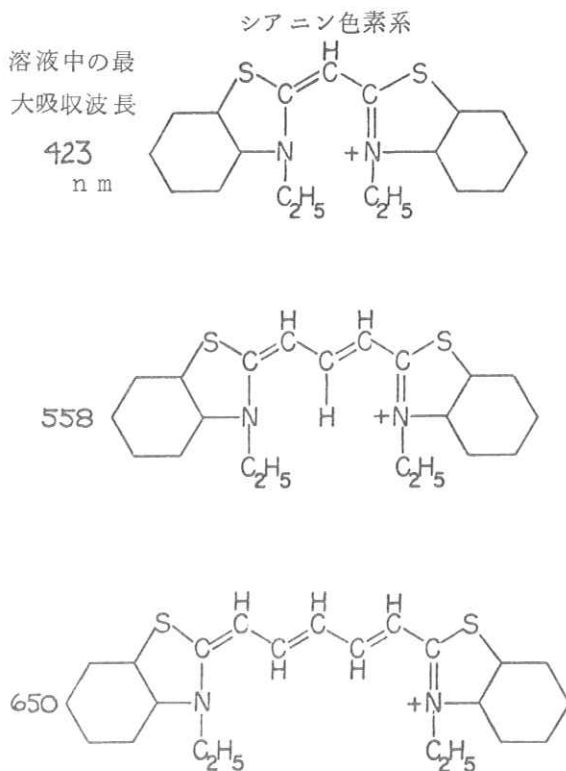
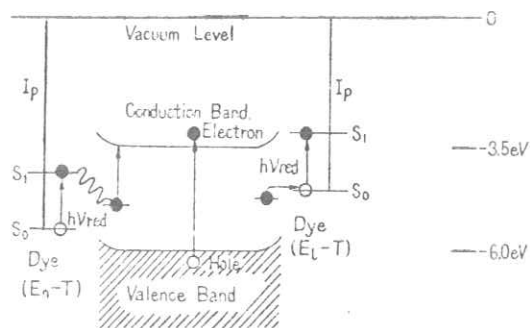


図6. 分光増感色素の例



Energy levels for silver bromide grain and adsorbed dyes.

S_0 : Grand state of dyes, S_1 : Excited singlet state of dyes, I_p : Ionization Potential of dyes

図 7. 分光増感色素とハロゲン化銀結晶の電子エネルギーレベルの相対関係を表す模式図

Computed Tomography 装置における 重み関数の画質への影響

矢仲 重信^{*}, 小池 功一^{*}, 瀬尾 邦彦^{*}, 高橋 俊二^{*}, 河野 秀樹^{**}
戸村 光一^{**}
^{*} ㈱日立メディコ 柏工場, ^{**} ㈱日立製作所 中央研究所

1. 緒 言

コンピュータ処理によるX線断層撮影装置(Computed Tomography 以下CTと略す)による診断は、無侵襲な手法でありながら、在来X線検査法による画像に比べてX線吸収係数分解能が格段に優れ、定量性があり、頭蓋内疾患に対する診断上の評価は、完全に確立されたと考えてよい。現在では、全身各部、特に胸部や腹部臓器を対象に臨床的価値についての評価が進められている。

CTでは多方向からのX線ビームによる透過量の投影(Projection data)から、断層面のX線吸収係数値に対応した断層像を再構成するが、画像再構成アルゴリズムに関しては、当初種々のものが検討されたが、現在では、ほとんどの装置がConvolution法を採用していると見られる。

本方式は、測定された各投影に対して、逆投影(Back Projection)を行う前に、これを逆投影した結果が丁度正しい画像になるような補正関数、いわゆる重み関数を重畳積分して一連の補正された投影を作成し、これを逆投影して正しい再生画像を得るものである。本方式では全ての計算を実空間で行える上に、必要な計算は重畳積分と逆投影だけであり、処理時間が短かく、画像精度も優れている。

本報告は、重み関数が画質に与える影響について述べたものである。

2. 重み関数の意義

Convolution法による画像再構成アルゴリズムは(1)式で与えられる。

$$f(x, y) = \int_0^\pi d\theta \int_{-\infty}^{\infty} P(t-\tau, \theta) \psi(\tau) d\tau \dots\dots\dots (1)$$

ここで

$f(x, y)$; 再生像 $P(t)$; 投影像 $\psi(t)$; 重み関数

$\int_0^\pi d\theta$; $0^\circ \sim 180^\circ$ の逆投影

重み関数 $\psi(t)$ は、周波数空間における補正関数の逆フーリエ変換で与えられるが、離散的な値では(2)式で与えられる。

$$\psi(na) = \begin{cases} \frac{\pi}{2a^2} \\ -\frac{1}{\pi a^2 n^2} \{1 - (-1)^n\} \end{cases} \dots\dots\dots (2)$$

a ; サンプルング間隔

しかし、(2)式は投影像が無限にある時導き出された関数であり、投影像が有限である時は、多少高周波成分を押えた重み関数として(3)式が提案されている。

$$\psi(na) = \frac{4}{\pi a^2 (1 - 4n^2)} \dots\dots\dots (3)$$

通常(2)式は Ramachandran の重み関数、(3)式は Shepp & Logan の重み関数と呼ばれている。しかし重み関数は、上記で考慮した逆投影時に本質的に発生するボケ（再生点からの距離の逆数に比例して発生）の修正だけでなく、走査X線ビームが有限であるために生じるボケの修正（テレビジョンカメラにおけるアパーチャ補正）という物理的意味を有しており、現実にはこの両者を考慮した重み関数を考える必要がある。

3. 実験方法

重み関数は(3)式を基本形として、任意の周波数特性のものを作ることが可能であり、ここではいくつかの改良形を製作し、画質に与える影響を検討した。実験に用いた重み関数の周波数領域における特性を図-1に示す。図-1は Ramachandran の重み関数で正規化して表現している。

また実験方法を図-2に示す。即ち同一の計測データに対し、Convolution 演算を

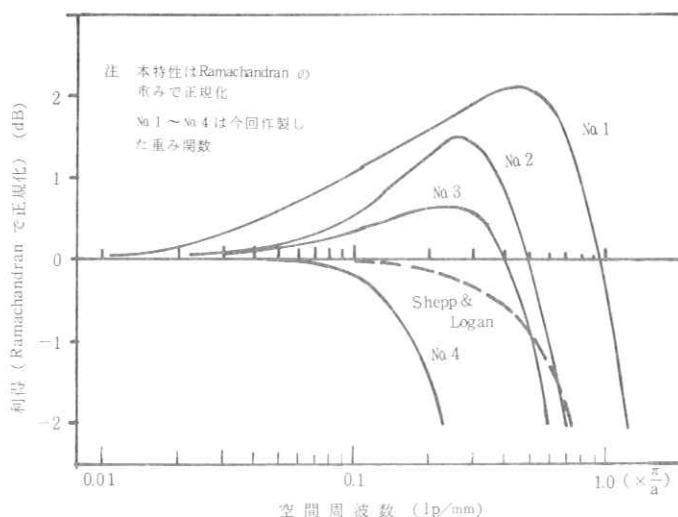


図-1. 重み関数の周波数特性

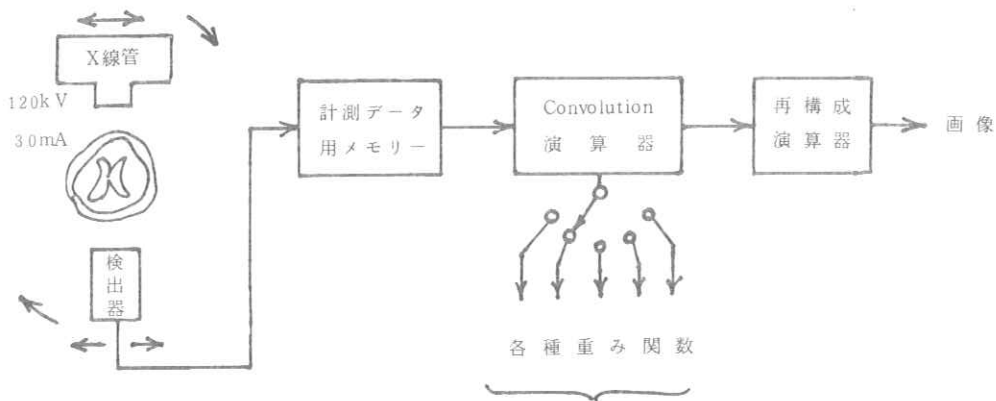


図-2. 実験方法

off-lineにより行い、その都度重み関数を変化させて、画質評価を行った。

4. 実験結果

重み関数が画質へ与える影響として、雑音、MTF、コントラスト分解能、アーチファクト等について検討する必要がある。雑音に対する影響を知るために180φアクリル円筒(ただし外側6mm厚さのテフロン)の中央部に50φの水を設けたファントームにより、最終画像における水およびアクリルのCT値の標準偏差を求めた。なお重み関数を変化させた時の水およびアクリルのCT値は常に同一になるよう利得の補正は行っている。測定結果を表-1に示す。

図-1における重み関数の高域特性に対応して当然ながら雑音レベルは変化している。本実験に用いたCT値のコントラストスケールは±500であるので今回用いた重み関数の範囲でCT値の精度は、0.3%~0.8%(水レベル)の範囲で変化している事が判る。

またアクリルに埋め込んだ2%のX線吸収係数差をもつ3.0mmφロッドはいずれも明らかに識別している。また10%のX線吸収係数差をもつMTFファントームを用いて測定した矩形波MTF

特性を図-3に示す。図-3からも表-1の結果はほぼ妥当である。一方、図-3の結果からは明らかではないが、No.4の重み関数では、被写体のedge特性において、under shootを生じる特性を有している。

次に、頭蓋内疾患を対象に、計測データを求め各種重み関数の臨床的な効果について検討した。右後頭葉部の脳腫瘍例に対するNo.1とNo.4の応用例を図-4に

表-1. 重み関数と標準偏差

重み関数	水レベル	アクリルレベル
No.1 *	4.12	3.53
No.3	2.28	2.12
Shepp & Logan	2.76	2.39
No.4.	1.55	1.41

* : 番号は図-1参照

示す。No.1では高域の雑音が目立つが、No.4では高域の雑音成分が少なく、しかもコントラスト分解能が向上しているように思われる。しかし骨の内側に黒レベルの落ち込みが見られるが、これはundershootによるアーチファクトと見なされる。これらの結果からCT

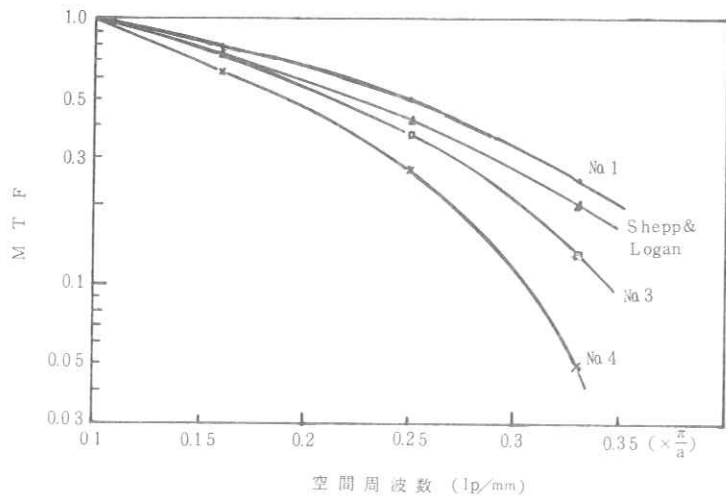


図-3. 10%コントラストにおける矩形波MTF特性

画像の重み関数の選定は非常に重要であることが判る。頭部用CT装置を用いて種々の重み関数について臨床的に検討した片田氏等の報告⁽¹⁾では、骨付近の小病変は重み関数の影響を受け易く、No.4の特性は不適當で、血管など高コントラストの小病変では空間解像度の優れたNo.1のようなものが適しており、更に白質の変化を伴う疾患ではNo.4のようなコントラスト分解能を重視した重み関数が望ましいとの結論が得られている。

5. 結 言

CT画像再生時のConvolution法における重み関数の画質に及ぼす影響について報告した。診断部位に応じて使い分けが必要と思われる。

* (1) 片田他 7., CT画像再生アルゴリズムの臨床的検討 (53.1/23~25のCT物理シンポジウム)

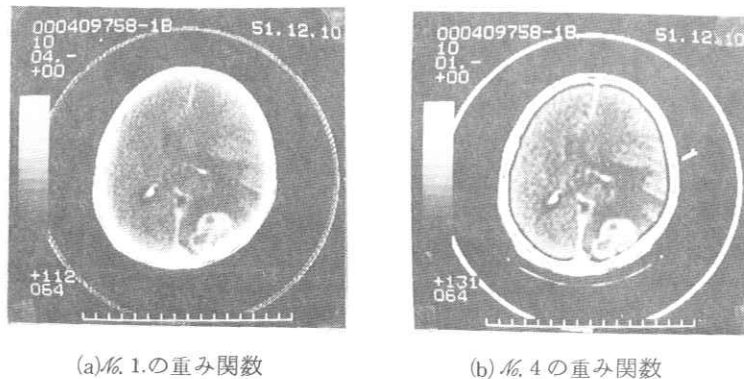


図-4 重み関数の相違の画質への影響

R. I. I. 研究会

会 長	高 橋 信 次								
顧 問	立 入 弘								
常任委員	佐々木 常雄	竹 中 栄 一	津 田 元 久	長谷川	伸				
委 員	飯 沼 武	一 岡 芳 樹	内 田 勝	梅 垣 洋一郎					
	金 森 仁 志	木 下 幸次郎	佐 柳 和 男	佐々木 常雄					
	竹 中 栄 一	高 野 正 雄	滝 沢 正 臣	津 田 元 久					
	恒 岡 卓 二	長谷川 伸	松 田 一	三 浦 典 夫					
	矢 仲 重 信								

編 集 後 記

春を迎えると1本の桜が旬日のうち数十kgの花びらと若葉を生産する生命力、我が校庭の何十本かの桜が1日の前後もなく揃って開花する生物の制御機構の不思議さを感じないわけにいきません。視覚についての記事はNHK研究所長の樋渡氏をわずらわして動物の不思議の一つについて解説をお願いしたものです。もう一つの特別講演は多くの会員の日常業務に関係の深いフィルム・物性について Mott - Gurney 以来の理論の解説をフジフィルム・園田部長にお願いしました。いずれの講演も好評で今後もこのようなとり合わせをという要望も頂きました。また現在会員の最も大きな話題の全身用CTについて横河電機の御好意でGE社のものを見学させて頂きました。以上御担当の方々に厚く御礼申し上げます。

新年度、新学期を迎え会員諸氏には御繁忙と存じますが、御健勝のほど。

印刷所	〒113	発行者	発行所	〒182	編者集	発行日			放 射 線 像 研 究
東京文京区湯島二一七 株式会社 コスモス 電話 〇三二八三一〇九五五	東京文京区本郷七三一一 東京大学医学部放射線 医学教室内 電話 〇三一八一五五四一一 内線 八六七六	竹 中 栄 一	R I I 研 究 会	調布市調布ヶ丘一五一一 電気通信大学電子工学科内 電話 〇四二四一八三一二六一 内線 四二〇	長 谷 川 伸	昭和五十二年十一月			