

第13編 海外事情

第1章	解 説		土 井 邦 雄	1頁
第2章	X線像の問題点	(3 - 1)	佐 柳 和 男	2
第3章	第11回国際放射線学会に出席して		鳥 生 敬 郎	9
		(7 - 2')		
第4章	最近の radiography 研究	(9 - 4)	土 井 邦 雄	21

第13編 海外事情

第1章 解 説

放射線像の定量的な取り扱いにフーリエ解析の手法を始めて用いたのは、1954年にJ. W. Coltman が増感紙と蛍光板のレスポンス関数を矩形波応答から求めた時であり、日本では、1957年に佐柳は拡大撮影の最適倍率がX線管焦点と受容器系のレスポンス関数の乗算されたものの最良なものから求められることを示している。しかし、その後これ等続く研究は1962～3年まで発表されなかったが、この頃から内外共に急にこの分野の研究発表が増加し、国際的な集まりの話題の中心の1つとなってきた。シカゴ大学のR. D. Mosely が主催する“Colloquium on Diagnostic Radiologic Instrumentation”は1962年、1964年、1966年と3回開かれ、第3回目には日本から佐々木、佐柳、土井の3名が参加した。ヨーロッパでは、ミュンヘン大学のF. E. Stieve が主催する“Symposium on radiographic image quality”が1964年に開かれ、次回は1967年10月にHerrenchiemseeで

- (1) Influence of scattered radiation on image quality
- (2) Radiological analysis of movements
- (3) Transformation of the radiation pattern on the different image forming systems”

の3つのテーマについて開かれるそうである。“第10回 International Congress of Radiology”は、1965年にローマで開かれ、その中で“Detection and recording of the radiological image”および“Application of the information theory and of cybernetics to the radiodiagnosis”の2つのシンポジウムが持たれている。次回は1969年に東京で開かれる予定で、K. Rossmannをはじめとして多くの人が集まるそうである。日本で開かれた会議では、1964年に東京と京都で“International Commission for Optics”の“Photographic and Spectroscopic Optics”に関する会議が持たれ、H. Schober, W. Berg, J. Becber, E. Ingelstam 等が集まった。1967年9月には、東京と京都で“International Congress of Photographic Science”が開かれ、image quality の Section も持たれるそうである。

この分野の研究発表がしばしばされた雑誌は、(1) American Journal of Roentgenology, Radium Therapy and Nuclear Medicine (2) Radiology (3) Acta Radiologica (Diagnostic) (4) Journal of the Optical Society of America (5) Japanese Journal of Applied Physics (6) 日本医学放射線学会誌 (7) 応用物理等である。

(土井 記)

第2章 X線像の諸問題

キャンノンカメラ 佐柳和男

1. 序

O. T. F. (Optical Transfer Function) に関する研究はこの10年間、純光学系での結像理論、そしてその応用としての一般写真像の解析の面で注目すべき発展を遂げた。しかしこのような新しい方法の応用も、学会が異なり人の接触が少ない分野に応用されるのには時間とチャンスが必要であるように思われる。これから述べるのはその一例としてのX線像の問題点である。

この領域においても、フィルム上に現われた最終の画像は一般写真とそう変わったものではない。その意味からはこの問題をわざわざ分けて論ずる必要はないかに見える。しかしながら、X線写真を作り出すまでの全体の系を眺めてみる時、後に詳述するように色々な系がカスケードにつらなっていて、問題はそう単純でない。従来の解像力その他の考え方でも、問題の複雑さのゆえに十分な検討の道具になり得なかったし、O. T. F. を今後導入して行く場合にも多くの困難があると思われる。

東西軌を一にしてこの分野の研究が盛んになって来ており、先の国際光学会議においても4つの報告が提出された。その際、それらについての質議応答が非常に活発になされたのだが、十分に納得の行くまでに至らなかったため、あえてインフォーマル・ミーティングを提案し9月6日、京都において関係者が集まり、今後の問題追求の方向を議論した。ここではその議事録に変え、一節をさいて集まりの模様を述べてみたい。我々の当面している問題についての具体的な理解に有効であると思われる。

2. X線像についてのインフォーマル・ミーティングより

9月6日の夜、京都楽友会館において内外13名の参会を得て行った。参会者は、ショーバー教授(ミュンヘン)、バーグ教授(チューリッヒ)、ベッカー博士(デルフト)の外国勢に、土井(大日本塗料)、畑中(富士写真フィルム)、金森(島津)、村田(大工試)、大上(富士写真フィルム)、佐柳(キャンノン)、竹中(東大医放)、鳥生(大日本塗料)、戸谷(名市大)および内田(阪大X線技師学校)以上の国内関係者であった。

座長としてショーバー教授をお願いし、以下のような議論を進めた。

ショーバー 1962および1964年の春、ICRU(International Committee on Radiological Unit)の分科会としてX線写真の画質についての委員会が、シカゴで持たれた。これはシカゴのモスレイ教授が主催し、物理、工学、医学各分野の人が20人ほど集った。その主な人を挙げると、Prof. Rust, Dr. Lohmann, Dr. Rossmann, Prof. Ingelstam, Dr. Morgan, Dr. Raafghlin, Dr. Poweenham, Dr. Bouwer, Prof. Schober, Dr. Schott 等である。

画質について討論し、対照度と鮮鋭度とが問題になり、O. T. F. を導入するのが良いと結論された。

1966年には第3回の会合があるので、その折には日本からも参加してもらいたい。

佐柳 日本においても昨年末より、X線像に関する研究を協力して進める目的で集まりが持たれ、X線イメージ・インフォーマーシオン研究会(RIIと略称)の名で、将来医学放射線学会になる意図を持ち、すでに2回の研究会が持たれた。異なった研究分野の人が集っているため、言葉の定義から問題にしなければな

らないような現実があるが、医学と工学の間をうずめて良い成果をあげるべく各分野の人が集まって努力している。我々も、O. T. F. さらには情報理論とX線像の診断の結びつきを目標にしているし、現段階において画質を問題にする際、対照度(コントラスト)と O. T. F. で考える鮮鋭度とを区別して取り扱わねばならない事を特に強く感じている。

シヨーパー 一般写真とX線写真でのO. T. F. 応用の相違点としては次の4つが大切であろう。

- I 焦点ぼけの問題
- II コンプトン効果や2次X線の影響
- III 組み合わせる要素の数が多し
- IV 被検体の内部を直接調べられない事

そしてこれらの構成要素や問題について、それぞれの定義がはっきりしていない場合が多い。まず、医学関係の人々が我々技術者に何を解決してほしいと望んでいるかを明確に知る必要がある。つぎに、我々の解かねばならぬ問題・領域がはっきりしたならば、色々な要素・問題の定義をし、そして解決して行くべきである。

バーグ シヨーパーさんの指摘された問題の所には、直接X線の寄与約5%も加えて考えなくては行けない。佐柳 対照度向上を考えると、ログ・エレクトロニクスやケルオワットの利用も有効と思うのだが、医者や技師にはどのように受け入れられているのか。

シヨーパー あまり好まれていない。

ベツカー 良いという人もいる。

バーグ そのように人によって意見が非常に違う。X線写真の場合、その評価は心理的な問題も相当に関係してくる。どのようなO. T. F. が良いといえるのか、今のところ、普遍的なものはない。また低コントラストの被写体、高感度スクリーンを問題にする場合、X線の量子雑音が無視できなくなってくる。

土井 いかなる被写体とそのデテールが問題になるのかを明らかにしなければ行けない。言葉を換えていえば、必要とする周波数領域の問題である。

シヨーパー 一応蛍光板上の光像を第1の被写体と考え、そこから出発したらどうか。そこで被写体を分析する。

バーグ 被写体のぶれの問題も忘れる事はできない。

シヨーパー 従来はこの世界でも解像力が使われていたが、それを読み取る時に色々問題があった。たとえばマツハ効果のため、読み取った解像力値が一致しない。また解像力チャートは実際の被写体にほど近いという意味から、色々なファントムが検討されて来た。これには非常に实际的で人体の構造に近いようなものまで開発されているが、使う物質の組み合わせにより、指定された特定の管電圧では適当であるが、管電圧(したがってX線の波長)が変わると使えない。

内田 自分の所ではX線像のインフォーメーション・ポリュームを定義する試みをやっているが、これはどのように定義されるものと考えられるか。

シヨーパー 医学X線写真では情報量の定義が非常にむずかしい。たとえば、ファントムの色々異った条件での写真を数百枚作り、これを多くの医者に見せて、そのどれが良好であるか、また十分な情報を持っていると判断されるかという問いかけでアンケートをやってみたところ、その結果はまちまちであり、一般的な結論は得られなかった。それぞれの判定者が自分自身大切だと考えるものが、人により違っているようだ。

自分の好むものが良く見えた時、その写真を良いというのだ。

大上 個々の問題を議論するのも大切だが、まず全体の構成を明らかにし、つぎにそれぞれの要素の重要度を十分検討してから出発しなければならない。(ここで黒板を使い、X線管から眼までの情報伝達系の図式を色々なX線像の場合について示したが、これについては次節で詳述する)

ショーバー それらのほか、曝射量の問題、自動現像処理、自動露光等、直接画質には関係しない幾つかの問題も全体の系としては考えなくてはならないであろう。

そして我々が写真光学で得ている結果をX線像に応用するのだが、非直線性の取り扱いが問題になって来る。しかし、非常に多くの系がつながっているのだから、直線系として取り扱える所にO. T. F. をどんどん応用して行く事が有効である。

まず、個々の要素や問題についての定義をはっきりする必要があり、それができたら次に、画質の改善など積極的な研究に入る事になる。たとえば写真に関する研究も特性曲線(H・D曲線)というものが定義された後、種々の問題が解決された歴史的な事実をここで思い起す必要があるだろう。

佐柳 具体的にこれを進める方法は、

バーク 世界に幾つかのグループがあるのだから、その間で情報交換をしたらどうか。

ショーバー まずは国際光学会議で問題にする範囲、すなわち物理的な立場の関係者で固めて行くべきだろう。

アメリカのロスマン、ヨーロッパでショーバー、日本では佐柳が窓口となり、それぞれがその属するシカゴグループとかRIIとまたICRUやICOと連絡をとりながら情報交換をする事を提案する。

バーク スクリーンやフィルムについては色々わかって来ているのだから、被写体の周波数スペクトルをはやく調べるべきでしょう。

村田 ショーバーさんの所では眼に関する研究を色々進めておられます。X線像の場合には観察という事から眼の問題も大切だと思います。

金森 対照度の問題についても十分検討しなければならない。

ショーバー 写真フィルムの粒状性も相当大きな問題です。

大上 同様な問題として量子雑音も大きな影響を持っている。

ショーバー 色々実験をしていると、良いニュートラル・フィルターが無いのが困る。

等々と活発な議論が展開された。以上の議事から、日本のRII研究会における発表は佐柳が抄録して外国の関係者に送る事、X線像に関する要素と問題点に関してのまとめをして、定義についての提案を日本より送る事を申し合わせた。

上に述べた個々の議論は、ともすると各人が現在関心を持っているそれぞれの問題点にとらえられる傾向にあり、この分野の研究の困難さを如実に示していると思われる。それだからこそ、ここで全体の系についての総合的な観方を確立して行く事が必要とされる。

3. X線像再現系

以下種々の場合について組み合わされる要素と、その問題点について説明する。

3.1 X線管、焦点

陽極としてタングステン・ターゲットを用いるが、ターゲット上での電子ビームに従ってX線源の大きさ

を焦点と呼ぶ。古くは固定陽極で焦点の大きさは5mmから3mm位であったが、最近では回転陽極を用いる事により0.3mmあるいはそれ以下の小焦点が実現されている。この焦点の大きさは普通ピンホール写真法によって測定される。またはっきりした焦点以外に、ターゲットから発生した2次電子が原因となり、焦点外の部分に発生する焦点外X線も、レンズでいうフレアーと同じような効果を与える。

X線撮影は一般にこのX線源からのX線に対する被写体の影絵を記録するのであり、被写体とスクリーンまたはフィルム間に距離があると影絵は倍率のかかったものとなり、また半影効果が生じてぼけの原因となる。また厚みのある被写体の場合には、当然そのスクリーンに近い部分と遠い部分とでは倍率とぼけ量が違って来る。このぼけは、被写体の位置に置かれたピンホールによりスクリーン上に作られた焦点のピンホール像が点像であるとして、O. T. F. で取り扱い事ができるのである。

現在焦点に関する研究が活発に進められている⁽¹⁾。特に焦点はスクリーンに平行な面に作られているのではなく、焦点とスクリーン中央を通る軸に斜交したターゲット面に出来ているため、スクリーン上の位置、写真でいう画角に対応する、によって異なった半影効果を与える事が見出されている⁽²⁾。

3.2 被写体とX線の線質

被写体は多くの場合内部の不明なものである。特にX線に対する影絵として取り扱われるものであって、それは必ずしも分解して(解剖して)目で見える形や質感と一致するとはいえないという意味で多くの問題をかかえている。これに関しては骨がアルミに、筋肉や組織が水とかアクリル樹脂に大体対応するといわれ、そのような対応関係を利用して、実際の身体構造に実効的に一致するよう模型(ファントム)が作られている。

ところが、こういった対応関係はX線の線質が、したがってX線管に印加する電圧が変わると変って仕舞う。その結果として我々が写真として得る身体内部の諸構造の影絵は、そのコントラストの関係が異なって来る。一般に高圧撮影によれば全体としてコントラストは低下するので、写真に再現し得る被写体の範囲(骨と重なった所等)は広くなるとされていて、診断域が拡がったといわれる。このような面から鮮鋭度とは分離して対照度(コントラスト)が重要な問題として議論されているのである⁽³⁾。

また、被写体をX線が通る場合、コンプトン効果や2次X線の発生によりいわゆる散乱線と呼ぶ影絵にかぶりとして影響を与えるようなものが生じ、これも線質によって発生量が異なり、高圧ほど多い。散乱線はスクリーンに重ねて置く格子構造を持ったリスホルムブレンデによって取り除く事が可能である。しかし、0.4mm位のピッチで作られたリスホルムブレンデは画質の方に影響を与える結果になる。

3.3 スクリーンおよび増感紙と量子雑音

以上述べた順序で空間的に作られたX線の影絵はスクリーンとか増感紙またはイメージインテンシファイヤー(I. I.)等蛍光板に到達して光像に変換される事になる。

X線作業の従事者に対する危害防止のため、高感度の蛍光板を導入し、さらにI. I.等電子技術の導入により、極力曝射X線量を減少するようになると、X線の量子効果が問題になって来る。結果としては写真の粒状性と同じ現われ方をするのであり、特にI. I.関係で大きな問題となるであろう。筆者が確かめたところ、明るいレンズ(F/0.63)と明るい蛍光板を用いた間接撮影でも、現在の所では写真フィルムの粒状性の方がはるかに大きな影響を与えているようである。

間接撮影や透視、すなわち大体実物大の影絵をレンズを用いて撮影したり、視察する場合の蛍光板はスクリーンと呼ばれ、現在すでにO. T. F.の測定結果も発表されている。⁽¹⁾この場合にはあまり問題が無い

のだが、直接撮影と呼ばれ、実物大のネガを得る撮影方法では、両面に感光層を持つフィルムを増感紙と呼ぶ蛍光板2枚にはさんでX線像を撮影する。この場合には、写真感光層に対するX線自体の影響、およびそれ自体に向きあってはいない他の増感紙の影響等複雑な関係があり、鮮鋭度をO. T. F. で考える時に種々の困難がある(4)。

3.4 非直線性の問題

以上述べた問題点は、一般写真における像再現とは異なる新しい問題であり、蛍光板にできた光像を出発点として考えればそれから後は従来通りO. T. F. を適用できるかに見える。しかしながら、一般写真においてもまだ十分には研究の進んでいない非直線性の取り扱いがここでも問題になってくる。写真の場合には全系の特性が直線的になるポジ再現を一応仮定する事が可能であるし、そこで低コントラストの被写体の再現を考えれば良いといった抜けみちもあるのだが、X線写真はすべての場合ネガのまま観察されるのでここにもう一つの問題が出て来る。

といった意味では、蛍光板上の光像を出発点にするという立場も実はあやしい事になる。

X線が物質を通る場合、その減衰はBeerの法則に従い、厚さに対しては指数的に減少する。その結果、X線の影絵におけるX線の強度分布は、物体の厚さに対しては直線的でない事になる。つきに蛍光板上の光像から考えると、これが記録されたネガ像は光像強度の対数とネガ像の濃度すなわち透過率の逆数の対数とが一応直線的な関係になっているのである。もちろんこの直線関係はネガ材料の特性曲線が直線と考えられるある範囲でしか成立しない。以上の2段階を結合して考えると、特性曲線が直線である範囲では、物質の厚さとネガ上の濃度或は厚さの差と濃度差との間に直線的な関係が成立する事になる。

一般写真の像再現を問題にする時、我々は強度についての直線性を考えていた。その意味からいうと、X線像で得ているネガ上の透過率の分布は非直線的なものである。少なくともネガを作る際に蛍光板やレンズフィルムで与えられるほけが、強度について直線的な領域で、O. T. F. で取り扱われるという原則の便利さが失われる結果となる。一方、蛍光板上の光像は透視の際直接観察されるし、I. I. 関係の像伝送系の場合にもやはりそのまま再現する事を目標にしていて、ポジで用いられている。この場合にはO. T. F. がそのままの形で有効に応用できるのである。

ここで個々の系でのほけを考えないで、対照度の伝送のみに着目すると、問題は幾分簡単になり、眼の特性が上記ネガポジの問題に解決を与えてくれそうである。まだこの分野においての妥当性が十分に検討されてはいないが、古典的なWeber Fechnerの法則を応用してみると、眼はネガまたはポジフィルムの濃度差に直線的に应答する事になり、上記すべての問題が一応すべて物質の厚さ・蛍光板またはポジ上での濃度差・ネガ上での濃度差相互間の近似的な直線関係になるのである(1)。

このように考えて来ると、X線像の総合的評価にO. T. F. を応用するには、非直線の取り扱いを今後十分に検討する必要がある。また逆に、一般写真の応用においても、同様な問題を解決して行かねばならない。たとえば、従来撮影レンズのほけと引伸しレンズのほけのそれぞれが最終画像にどのように影響するかについて正確な議論がされていなかった。これはソフトフォーカス・フィルターを撮影時と引き伸し時のいずれに用いるかで、その効果が全然違う事実として良く知られている事であるのに、その十分な説明は与えられていない。さらには、O. T. F. で記述した像を評価する時、先に述べた眼の非直線性を考慮する必要があると考える。

4. 結 び

以上で指摘した以外まだ多くの問題点がある。ここではあえて問題を絞り、O. T. F. を導入するについての問題を示す事を目標にした。

X線像への応用は数ある応用のうちの一つに過ぎないかもしれないが、医学放射線写真としての具体的な目的ゆえに、総合的な解答が考え方によっては性急に望まれる傾向があり、それがO. T. F. の応用を進展させるのに拍車をかける働きをするなら非常に喜ばしいのではないかと考えている。

文 献

- 1) K. Doi et al. : ICO Tokyo and Kyoto, Preprints 1, 63(1964)
 - 2) K. Doi: to Am. J. Roentgenology 94, 712(1965)
 - 3) H. Kanamori :J. J. A. P. 3, 132(1964)
 - 4) K. Rossmann et al: J. Opt. Soc. Am. 54, 187(1964)
- 土井邦雄: 応用物理 33, 50(1964)
- H. A. W. Schober: ICO Tokyo and kyoto, Preprints 1, 271(1964)
- W. F. Berg et al: ibid 71(1964)

質問討論

山根：Informal Meetingの目的は？

佐柳：X線像についてのdiscussionでI. C. O.でのdiscussionの不足を補足しR. I. Iとの関係をつける。

金森：R. I. I.での発表を英訳して出すか又は雑誌にabstractだけでも出したらどうか。

佐柳：英文抄録をつけておけばよい。

内田：既発表のものを送るのか？

佐柳：既、未いずれでも良い。動向を伝えるのが目的である。

永井：今日の研究発表のabstractを窓口(佐柳)に送って下さい。

佐柳：次回からは研究会のとき持参してもらおう。abstractはA4版1枚又は250字に決めたい。

内田：必ずしも出さなくてよいか？

佐柳：動向を伝える意味では必ず必要である。

村田：全部送るのは反対でprivate communication程度のものが良い。R. I. I.の責任は？

田中：この会がinformalなものだから個人にまかせたらよい。

佐柳：個人の業績を伝えるのが目的でなく会の動向を伝えるのが目的である。

永井：informalに外国との交流を目的とする。

山根：学会との結びつきは？

内田：日本医学放射線学会が目的

佐柳：いままでのものは土井氏と一緒にabstractを作る。

第3章 第11回国際放射線学会に出席して

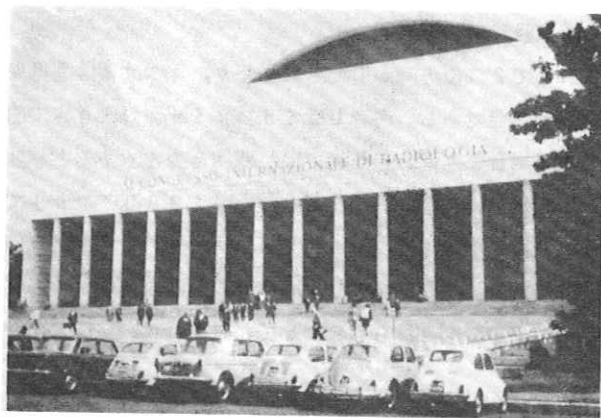
(極光) 鳥生敬郎

昭和40年9月、当社の関係する2つの国際学会がヨーロッパにて開催された。1つは9月22日より9月28日までの間、イタリア、ローマにて行なわれたXI International Congress of Radiologyであり、これに当社からは、“Optical Transfer Treatment of Image Transfer in Radiology”(土井、坂本)が招待講演として採択され、他にそれより前9月5日より9日までの間西ドイツ、ミュンヘンにてInternational Symposium on Luminescenceが行なわれ、我々はこれに研究報告“Excitation and Emission of Europium Activated Molybdate Phosphors”(鳥生、小沢、十枝内)を発表した。筆者は上記両学会に出席することを主目的として併せてこの期間にヨーロッパの大学、研究所、会社等を視察するため各地を駆け歩いて来たものであるが、ここにXIICRを中心として当RIIに関連する問題に限って見聞と印象を報告する。言うまでもなく巨象を撫でる群盲の一人に過ぎず、筆者のパーソナリティを通じて得られた一例として、会員各位の海容を仰ぎたい。

A. XI International Congress of Radiology(ローマ)

既によく知られている通りこの会議は、3年に1回開催される、医学放射線学に関する診断、治療はもとより障害、核医学、生物学、遺伝学、物理学、工学から制度、訓練にまで亘る広範囲の大学会で、9月22日より9月28日までの7日間行なわれ今回は第11回、次回開催地は日本とあって日本からの出席者は、40名余の多きにのぼった。会場にはイタリア人の特質を象徴する新ローマ市街EURの壮大な国際会議場Palazzo dei congressiがあてられ講演件数1,108件、他に展示発表115件、映画発表66件、著者の数のみで約1,700人に及び、出席者総数は6,7千人と推定される。

夜会服による出席を要求する初日の夕食会にもまず見られた様に、9つの講堂に分かれて行なわれた報告討論その他、前記ミュンヘンのシンポジウムとは万事対照的に、格式の高いものであった。ミュンヘンにおいて感じられたとは別な様相での国際舞台の感を深くしたが、質疑応答においてはミュンヘンに見られた活発さ、率直さを欠く憾があった。ただしここにおいても質問が質問者自身の意見を背景として行なわれていたことは学びたい。会全体の運営の仕方は後記付設展示会を含め、次回日本開催に際して取捨



写真A Palazzo dei Congressi(International Congress of Radiology会場)

大いに参考とすべきものがある。

“Detection and Recording of the Radiological Image”と題するシンポジウムが24日および25日のそれぞれ午後を当てて11件の講演によって行なわれ、日本からは、既述の通り土井等による“Optical Transfer Treatment of Image Transfer in Radiology”

(No. 192)が招待講演計305件のうちに採択されたもので、筆者はこれを代読した。招待講演には20分の講演時間と5分の討論時間が与えられ英、独、仏、伊、西5カ国語の同時通訳が付けられる。そのまま学術の地位を示すものでは必ずしもないが、日本語が含まれないのは不都合以外に残念である。

上記の研究は、既にR.I.I.(第6回研究会)に報告されたところであるが、3次元の被写体から2次元のX線像への転換を、被写体を不連続層に分割しX線管焦点のOTFを考えて理論的に再現できることを示し、放射線写真撮影系のボケの諸要素のOTF測定に当社開発の直接走査法によるフーリエ変換器を用い、単純化した被写体につき理論と実験を比較して、上記の考え方の正しいことを実証したものである。この分野への情報通信理論を導入する世界的趨勢において、その先駆的研究と評されて、講演後、数名の質問者に壇上で取り巻かれ討論がなされたのは快心であったが、質議の内容は研究内容の補足説明にて足るものであり、特に今後の研究に示唆するものを含まなかったことは、R. H. Morgan (Johns Hopkins Univ.)等の顔振れが見られなかったことと共に遺憾であった。

多岐に亘る本学会のうち、我々に関係の深い講演としては、筆者の講演の属する放射線像の検出および記録に関するもの11件以外に放射線診断工学に関するもの31件、線量測定に関するもの23件等がある。このうち特に注目された固体像変換器、螢光体線量計、画質再現特性および間接撮影螢光板に関し、要点を以下に紹介する。

W. Stürmer (Siemens-Reiniger-Werke) No. 592

“Der Gegenwärtige Entwicklungsstand des Röntgen-Festkörperbildwandlers”

X線用として、FKBWとドイツ語では略称される固体像変換器の彼等自身の開発の現状を率直に述べたもので注目に値する。

これまで2つの方向が追究されており、1つは蓄像型像変換器の開発であり、他の1つは診断用即時型像変換器の開発である。前者では35cm×35cmの大きさに感度はノンスクリーン撮影よりは高いが増感紙を使用する場合より低い。後者では、残像を少なくすると感度は普通の螢光板程度となり、低周波数(50 cps)では r が約2、高周波数(数百~1000 cps)では $r=6$ 以上となる。即時型半導体の製作に困難があって未解決であり、このため現状では診断目的には使えないとしている。経験的に言えることは、この問題の解決には長期を要し、固体像変換器の応用は近い将来には見込みはない、と言い切る態度は、後記する同社での見聞と照らし合わせて、Stürmer氏等の執念と自信を窺わせる一面を示すものである。

J. R. Cameron (Univ. of Wisconsin) No. 149

“Progress in Radiation Thermoluminescent Dosimetry”

以下4件の螢光体線量計に関する報告中、本報告はoriginalityに欠く感みがあるが、introduction又はtext book的なものとして有用である。

thermoluminescence の放射線線量計への利用はここ数年急増しなお研究段階にあるが多くの medical centers で種々の応用に日常作業的に用いられている。基本的特性を下記の通り列挙し、この方法の長所と短所を少々詳細にわたり論じた。

1. 粉末又は小さい単結晶であるため、用途の融通性が大である。
2. 小型であるため放射線照射野の効果がほとんど無い。
3. LiF が最も一般的で X 線または γ 線に対し依存性極めて小さい。
4. 長期にわたりほとんど情報の低下無しに積分出来る。
5. 有用な線量範囲が大きく約 $10^{-3}R$ から 10^5R 以上にわたる。
6. 大線量をあてない限り再使用が可能である。
7. 読み取りは原理的に単純で 2, 3 の商業モデルが現在既に出ている。
8. 感度は熱および放射線の履歴で変るため、使用の都度較正が必要である。
9. 読み取り装置および蛍光体粉末がなお比較的高い。
10. 再現性は繰り返し読み取りでは $\sigma = 1\%$, routine では $\sigma = 3\%$ 程度である。

J. H. Schulman, R. D. Kirk and E. J. West (U. S. Naval Res. Lab) No. 150

"The Thermoluminescence of Li-Borate and its Use in Dosimetry"

ここ数年固体線量計(すなわち蛍光体)として盛んに利用される様になった CaF_2 と LiF の特性を比較し、これ等に対して新たに彼等の開発した Li-Borate :Mn を提示したものである。

LiF は感度と損傷では CaF_2 に劣るが、線量依存性が著しく小さいため、Vivodosimetry および約 200 KeV 以下の低エネルギー測定に適しているが Li-Borate :Mn はさらにすぐれている。なかでも $Li_2B_4O_7 : Mn$ (0.1 wt%) が最も良い。glow peak が 55°C と 200°C にあり、その後者が 96 時間後でも減衰しない。発光極大波長が 6050 Å であるため、光電子増倍管の分光感度と加熱源の白熱光による干渉の点では好ましくない。いま一つ興味深いのは、 Li^6 , B^{10} , の様な同位体でこれを作ると中性子用の線量計として有望としていることである。

F. Wachsmann (Univ. Erlangen-Nürnberg) No. 151

"Festkörperdosimetrie in der Therapie mit Konventioneller und Ultraharten Strahlungen"

エルランゲン・ニュルンベルグ大学の放射線防護研究所長による発表であり、固体線量計とされる各種の系の物理的基礎諸特性と測定技術の特性を検討しイオン化線量計と比較したものである。

低線量および線量分布の測定結果から、特に LiF thermoluminescence 線量計が線質依存性がない点で推奨され、個々の結晶の感度の不均一性と非恒常性に実用上の難点があるとされている。一方ガラス線量計は、硬 X 線および γ 線の測定に適し、人体線量測定に可能性大とされる。

R. J. Ginther (U. S. Naval Res. Lab) No. 869

"Thermoluminescent Tb-Activated Glass for Dosimetry"

前々項と同じ場所で行なわれた研究であり、同所のこの方面における活発な開発研究を表わすものである。

螢光体の立場からはむしろ前3項の招待講演より興味深い内容を含んでいる。

体積内で発生した thermoluminescence 光が散乱による減弱なしに検出される点が粉末に対するガラスの利点であるとし、多くの系を取り扱った上、最も有望なのはLi-Alumino-Silicate: Tbであるとする。Tb濃度は0.002~0.005%が最適で甚だ小さく、かつ組成イオンの原子番号が小さいことから、線質依存性が比較的良いと期待される如く、LiF, $Li_2B_4O_7$ よりは悪いが $CaF_2, CaSO_4$ より遙かに良い。感度は Co^{60} の γ 線に対し $CaF_2: Mn$ の約 $1/4$, LiFの約4倍である。主glow peakは $260^\circ C \sim 265^\circ C$ であるため蓄積安定性が良く、2週間以上保たれる。発光色が青で、測定時の白熱光との識別が容易なる点も利点としてあげられるが、欠点としては高線量でsuperlinearなことが挙げられる。

C. Albrecht and J. Proper (Philips Res. Labs.) No. 132

"The Limits of Detail Rendition in X-Ray Image: Theory and Experimental Results"

X線写真撮影における像形成系としての解像性を各物理的パラメータ既知のとき、どこまで予言出来るかを論じた招待講演で、土井等の報告の主要部分をなす不連続層モデルと共通する問題に対する別な角度からのアプローチとして興味深い。

物理的パラメータとしてはX線吸収、伝達関数およびノイズ生成をとっている。単純な被写体として孤立した点、線、周期的線図形等を取り上げ、種々のノイズレベルと伝達関数でのX線形成過程をsimulateする装置での実験も加え、放射線写真特にノンスクリーンフィルムにつき物理測定の定量的解析および知覚実験を行なった。吸収率、伝達関数曲線および初期ノイズから理論的コントラスト・ディテール曲線を求め、これをディテール視覚度と実験結果を対比している。

J. A. Hay (Univ. of Leeds) No. 374

"An Objective method for the measurement of Statistical Deficiencies in X-Ray Image Detectors"

X線像検出器の出力像のディテールを制限する動作上の諸欠陥をtechnical deficiencyとStatistical deficiencyに区別し、特に後者の客観的測定法を論じた同大学医学物理研究室の一連の特異な業績の一端である。なお演者Hay氏は筆者の講演に対して活発な質問を寄せた一人である。

完全かつ厳密に考えて、像の統計的性質を表わす理論的方法および入力像のパラメータを計算して出力像の性質を測定する実験的方法と並んで、系の粒状性伝達の動作を比の形で表わす"noise transfer function"なるものを提唱しているが、さらにこの概念の詳細をProceedingsその他に求めたい。また量子効率の低いことがstatistical deficiencyの原因とされる点についても確かめたいところである。

K. Rossmann (Eastman Kodak) No. 377

"Comparison of Several method for Evaluating Image Quality of Radiographic Screen-Film System"

前2件の演者と共にX線写真系の画像再現特性の研究における常連であり、草分けの一人でもある演者 Rossmann氏は、特に日本のこの分野の研究を高く評価している。

画質に重要な影響を与える要因として、増感紙-フィルム系における光散乱、量子モットル、フィルムのコントラスト、像のコントラストおよび像の配位が挙げられるが、どれも1つが支配的でないとし、コントラスト・ディテール・ダイアグラム、MTFおよび金網試験の結果を相互比較して、これらを胸部フロントーム写真の視覚評価と対比したが、これらの結果は著しく不一致であった。2種の市販の増感紙-フィルム系で、フィルムコントラスト、光散乱およびX線量子数を変化させて実験している。増感紙-フィルム系の画質を単一の数値で表示する事は、一般に不可能であると結論していることが注目される。

G. A. Scheltema de Heere, A. Nawijn and D. J. Groot (Techn. Univ. of Delft) No 376

“Improved Fluorescent Screens”

本研究は次項の研究と共にオデルカカメラで知られる、デ・オーデ・デルフト社と連繫して行なわれたものと思われる。医科大学でなく工科大学であるのが興味深い。

Cinelix および Delcalix に用いる蛍光板の特許に関する報告で新蛍光板は、高度の平滑度従って解像力の向上、台紙のX線吸収の低減、効率の向上および散乱の低減を特長とし、更に新蛍光板には特殊応用向けのものがあり、周辺のぼけを補償する蛍光板を特記している。間接撮影カメラに数枚の互換性の蛍光板を具えることを奨める他、蛍光板特性の絶対測定の出来る装置にも触れている。

A. Nawijn (Techn. Univ. of Delft) No 379

“A New ODELCA X-Ray Camera with a Flat Screen”

蛍光板に直接関係する報告は前項と本項の2件のみであるがここでもMTFの手法がとられている。オデルカカメラによる間接撮影の直接撮影に対する挑戦の1つと見ることが出来る。因みに演者はデ・オーデ・デルフト社に兼職(又は前職)がある。

ミラー方式のその後の改良と平滑蛍光板の使用により、像の歪みが無くなり、解像力が向上し、かつ線量が低減された。ディテール、線量および実用性から直接撮影の写真と比較し、理論および実際上の結論を放射線診断における標準方式として10cm×10cm版の一層普及することを推奨するとしている。

以上10件のうち、不意ながら日程の都合により、筆者が直接聴講したものは1件もないのが実際である。abstractsを中心とし演者との面談および事後の書信によって補足したものであるが、後日出版されるProceedingsに期待するところ大きい。また以上に見る如く、世界に知名の増感紙・蛍光板メーカー10指に余るうち、そのメーカー自身による研究発表は蛍光以外に例がないことはむしろ意外であった。

B. Technical Exhibition, XI International Congress of Radiology (ローマ)

XI ICRに付設されたこの展示会は、前記のPalazzo dei Congressiの、この種の催し物のために設計された宏大なホール、回廊等を用いて、同会議日程と合わせて、9月22日より28日の間開催さ

れ、世界各国よりレントゲン機械メーカーを主とする約130社が研を競った。筆者はおよそ半日をこの視察に当てる事が出来たが、なお全てを尽していない。

増感紙・蛍光板メーカーとして参加したのは以下の16社であるが、このうち印刷物を用意したのは(3)、(6)、(7)、(15)および(16)の5社のみであり現品を展示したメーカーはほとんど無い。世界の大部分としての放射線機器材料業界における当製品の比重を思わせ、また当製品のメーカー各社間および内での意欲の軽重を窺うことが出来る。日本での同種の展示会でも同様であるが、レントゲン機械と伍して当製品を訴えるには餘程の工夫が必要である事を、次回日本開催時の出品方法のために、特に痛感した。今回この点で優れたメーカーは1社もなかった。

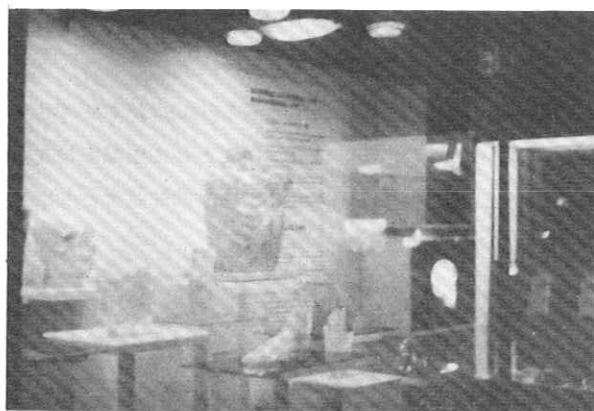
- (1) Ansco(アメリカ)
- (2) Auergesellschaft(西ドイツ)
- (3) Cawo(西ドイツ)
- (4) Della Volpe(イタリア)
- (5) Escorts(インド)
- (6) Goos(西ドイツ)
- (7) Ilford(イギリス)
- (8) Kruppa(西ドイツ)
- (9) Massiot Philips(フランス)
- (10) Philips(オランダ)
- (11) Picker(アメリカ)
- (12) Siemens(西ドイツ)
- (13) Siper(イタリア)
- (14) Thomson-Houston(フランス)
- (15) U. S. Radium(アメリカ)
- (16) Du Pont(アメリカ)

以上各社の謳う製品のうち、特に注目すべきものとしては、まず(3)Cawo、(6)Goos ならびに(8)Kruppa 各社の競って提示した一連の感度補償または不均等感度増感紙である。上記それぞれにつき(3) Graded、(6) Differential ならびに(8) Progress および Synoptan とされるものである。同時多層断層撮影用は(3)Cawo および(7)Ilford 両社により出され、他に(3)Cawo社のflexible Plastic(但し特注による)、(7)Ilford社の工業用、(8)Kruppa社の青色蛍光板および(15)U. S. Radium社のAluminizedが注目される。

増感紙、蛍光板以外の展示品は日本における場合と規模とデザイン以外に変わる所は少ない様に思われたが、数社より出品されていたファントームのうち特に、透明プラスチックで骨部以外を形作って実物を模した、Ferrania 3M社の人体各部位のファントームが目をひいた。画像再現特性研究の最終段階における臨床との照合に、また各製品の实用特性の訴求力としても甚だ有効と思われるが甚だしく高価なのが難である。すなわち、頭(L. 376,000)、歯(L. 342,000)、手および手首(L. 86,000)、胴体(L. 420,000)、足および足首(L. 137,000)、肘(L. 106,000)、膝(L. 106,000)、胸郭(L. 248,000)ならび乳房(L. —)が極めて印象的に示されたものである。

この会場でSiemens社のELを応用した展示は、筆者には別の意味で印象的であった。ただし一般出席者に効果的であったかは疑問である。増感紙、蛍光板等の画面サイズを緑色のEL板で順次点滅させる表示であるが、同社Stürmer氏等のELへの不撓の熱意に再び対面した思いであった。

出品会社中特に広大な面積を占有していたのは流石に上記のSiemensとPhilips, Eastman Kodak等の各社である。日本のメーカーでは富士写真フィルムが中2階の回廊を一杯に占めて日



写真B Ferrania 3Mのフロントーム(Technical Exhibition, XI ICR)

本のためによく気を吐いた。他に東芝および島津が参加したが後者は奥まった個所に小間を当てられ効果的とは言えず遺憾であった。放射線学に直接関係のない出品のほとんど見られない事は敬意を表してよい。筆者の目に付いたのはゼロックスの複写機のみであり、日本の同種学会の展示場に見られる家庭電化製品の出品を反省させるものがある。

最後に、この会場に表わされた国際企業合同に一言ふれる。前出のFerrania 3M社は、著名なイタリアの感材メーカーFerrania社が世界に強大な販売網を持つ3M社の傘下に入ったものであり、また同じく前記のMassiot Philips社は、オランダのPhilips社に隷属したフランスの化学会社の元Massiot社である。同様にPhilips社に対してドイツのMüller社およびイタリアのMetalix社が同じ立場にある。ドイツのAdox-Dupontなる社名も見られた。筆者の知識から感材メーカーの例に偏るが、イギリスのIlford社はスイスのCIBA社のもとにCIBA-Ilfordとも名乗り、さらに驚くべきことに、世界一流の感光材料を誇ったベルギーGevaert社と西ドイツAgfa社とはこの年の8月1日対等合併してGevaert-Agfaとして本会場に登場していた。(国によって上記の2重の社名のいくつかはその国での力関係と敬意から2者の順序を逆にして呼ばれる由である。)国際市場競争の厳しさを映す以外のものではない。狭い日本国内の視野に囚われて国際市場に落伍する会社を生まねば幸いである、との感を深くしたところであった。

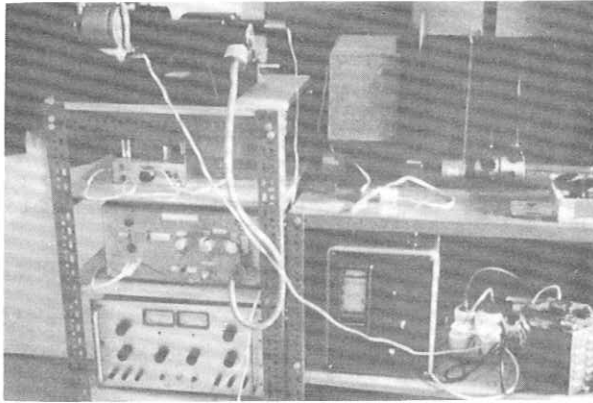
C. Institut für medizinische Optik der Universität München(ミュンヘン)

ミュンヘン工大と並んでこの地を文教都市としている、ミュンヘン大学の、標記の異色の研究所は、この年新しく建築された6階建ての、工大と共用する建物の3階と4階を占めている。前年International Conference of Opticsの際来日したH. Schober教授は、筆者の訪ねた9月6日前後折悪しく出張中であったが、助手のH. Munker氏、S. Bosek氏によって懇切にその研究室を案内され、かねて確かめたく思っていた独特のOTF測定法等について見学討論することが出来た。

医学光学に関する各事項の研究はそれぞれ独立した実験室で行なわれ、かつそこで用いられる装置のすべてがこの研究室の創意による独特のものである点にまず敬意を表す。我々と同じく粒状性とOTFの研究

に重点がおかれている。

粒状性の測定にはここでは回転円板式でなく回転円筒式の走査装置を用いていた。直径20cm程度の円筒に約3cm×4cmのフィルム試片を取り付け内側にランプハウスをおいているが、この方式は機械的精度さえ充分にとれば、走査速度を範囲広く変えられる点およびスリットの部分的速度の不均一のない点で回転円板式より優れていると思われる。彼等は精度として振幅につき2~3%、周波数につき2%を目標としているとのことである。上記の試片の大きさに統計的性質をとり出せることにつき疑問であったが、充分とのことである。



写真C Prof. Dr. H. Schoberの粒状性測定装置 (Institut für Medizinische Optik der Universität München)

OTFの測定にあたって、前年Schober 教授来訪時X線強度を変化させるための様に説明された油圧ポンプは、フィルムの線型運動を保持するためのものであった。X線強度は別に同期電動機により回転する、斜に円筒を切断した形のアルミニウム円板によって正弦波状に、しかも連続的に異なる強度水準で変化させる極めて巧妙な設計であった。教授は装置の詳細は承知されなかったものの様である。ただしこの設計ではアルミニウム円板を透過したX線の線質の変化をまぬがれない難が残る。

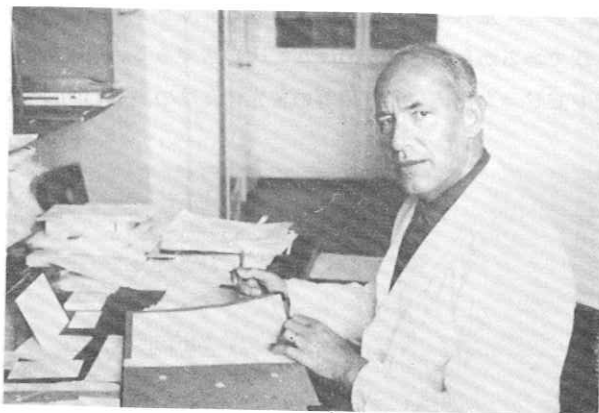
同じくOTFの別な測定法に使用するX線用の矩形波チャートも目新しいものであった。50 μ 厚の純鉛製左右対称に周波数の小さくなる形のもので、一方向に周波数を変化させると高周波数側で振幅の中心線が上昇する欠点があるからと説明されたが、この種のチャートは彼等の指導のもとすでにエルランゲンのFunk社にて市販されている。

他に両面乳剤型である直接撮影用X線フィルムの感度測定に用いる装置も質素ながら独特のものである。半身が入れる程の暗箱の中央に試片をおき両側よりタングステン電球の光を硫酸銅溶液フィルターを通して照射するものである。増感紙間での光の往復についての疑問に対しては、相対的な感度を測定すればよく、ここでは考慮していない、との答であった。その他多数の参考になる装置と研究の説明をうけたが最後に粒状性のうちX線量子モットルの測定に適するとしてこの研究室で用いているPertz Photowerke社製の特注高感度フィルム(30DIN)、およびOTF測定に適用する同社製高鮮鋭度フィルムを各1罐提供された好意は深謝のほかない。

D Photographisches Institut, Eidgenössische Technische Hochschule (チューリッヒ)

9月11日、土曜日は休日であるに拘らず筆者の前日の申し出を受け入れ同研究所のW. F. Berg教授は出勤して迎えてくれた。同教授も、前年東京および京都で開催された、International Conference of Opticsに出席している。この国立工科大学写真研究所は威風堂々たる同大学本館とは別棟であるが同じく古色豊かな堂々たる構えのうちにある。内部の機械設備類は例えば千葉大学等日本の大学の写真印刷関係の講座とさして大差のない各種のものが揃えられていたが、他を見聞した比喩では大学およびメーカー研究所を含めた中最も既製品が原型のまま用いられている研究所の部類に属するであろう。Berg教授の研究室は他にドクター1名と学生5名から成りカラー写真の色再現を物理的側面より追究しているという。

当所訪問の主目的であったBerg教授の増感紙間の光の多重相互反射過程の解析に関する実験方法の詳細とその後の展開に対する期待は予想に反した同教授の答によって迎えられた。同教授の主課題は前記の色再現にあり、かのオリジナリティに富んだ東京での講演内容は餘技であった。増感紙写真の研究は東京IC0で終りであるという。それ以上問題はあがるがやる意志はない。増感紙は大学の講義に必要なので調べたところ従来の考え方に疑問があるのでやってみると、全くaccidentallyに行なったものである、とのことに別な意味で感歎する。従ってあの研究のために使った特別に見せるべき装置はなくX線源もX線回折カメラを使った。電圧は50 kVpであるが本質的に問題はない筈である、ともの静かに語るBerg教授に一流の餘技を生む一流の研究者の姿を見出だすものであった。



写真D Prof. Dr. W. F. Berg (Photographisches Institut, ETH)

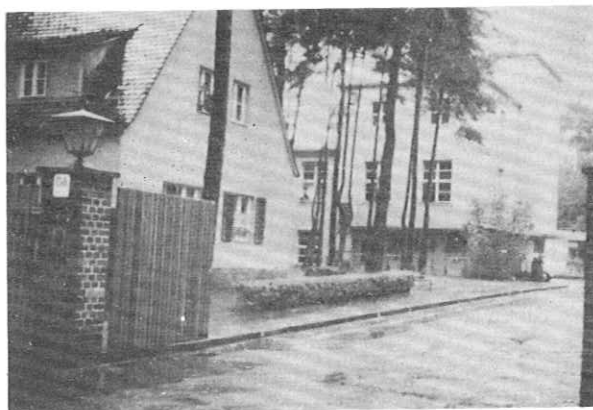
相互反射に関する論文は用意してあるが、ドイツSiemens社の論文と一緒に出すのが効果的であると考え、自分だけでも出せるが今のところ控えているとのことで、その未完の原稿を筆者に提供された。この後少しあるが本質的部分はこの中に尽されており、その内容は東京IC0と同じといわれる通りのものであった。そのSiemens社との関係は特別な繋がりではなく、彼の理論面と同社応用面との組み合わせから一緒に公刊されることを希望しているものであるが、Siemens社の応用面とは同社がAgfa社と共同で開発した黄色ベースフィルムを指している。日本でもBerg教授の講演から類似の着想に及んでいることであろう。

なおBerg教授のもとを辞して後、C. Panski 嬢に案内された国立工大の全容は世界一流と自称するに相応しいものであった。また同じチューリッヒの街に並ぶUniversitätとは区別して伝統と權威を誇る風であった。

E. Siemens-Reiniger-Werke (エルランゲン)

同社化学工場長兼化学開発部長W. Stürmer氏は、先年学術振興会EL研究第125委員会より日本へ招待された折以来の知己であるが、氏を訪ねて筆者は9月7日Siemensの町エルランゲンへ赴いた。ここにはSiemens-Reiniger, Siemens-Schuckert両社があり、市の人口約7万人のうち約2万5千人がSiemensの従業員とその家族であるという。X-ray screensを含む螢光体部門は、瀟洒な一部2階建てで、市の中心部にある13階建ての本社社屋とは別に郊外の松林の中にある。Stürmer氏は前日ミュンヘンのInternational Symposium on Luminescenceの帰途筆者のホテルを訪ねて当日の予定を打ち合わせ、エルランゲンの駅に自ら出迎えに来てくれ、また永く日本に駐在したA. Schenz氏も、研究室長格としてこの研究所に戻って居て筆者を迎え、見学討論のあと自宅へ招待し子息と共にニュールンベルグまで送ってくれた。この地方全般に感じた篤い人情以上の彼等の好意に深謝する。

Stürmer氏によればこの部門はResearch Laboratory(Entwicklung Chemie)とFactory (Chemie-Werke)とよりなり、前者はA, B, C3部分に分かれそれぞれBasic Research, Development, Testを担当、後者はFluorescent ScreensとIntensifying Screensとに分かれる。Cは工場に直結し工場を止める権限を持っているが、その事例はまだ無い。工場と研究所が同じ構内にあって見解の対立する場合があってもうまく調整がとれているとのことである。それは長が共にStürmer氏であるからだとSchenz氏の言である。規模組織共に1958年頃の“極光”に類似している。但しテレビジョン用、螢光灯用等の螢光体だけの製造部門はない。



写真E Entwicklung Chemie und Chemie-Werke,
Siemens-Reiniger-Werke

増感紙は一般用の曝射時間1に対し高感度用および高鮮鋭度用はそれぞれ0.5および2でこの順に鮮鋭度は飽和的に上る。これらは厚さによって変化させていると説明されたが実際は螢光体層の着色をも併せている。その3種Diamant, SaphirおよびRubinを提供されたが、彼は悠然として、これは試験しても意味な

い、10年前試験されたものと同じ結果が出るだけだから、と言う。これに対して他社は大きく変動し、時には品種相互に交叉することさえある、と満々たる自信を見せられた。

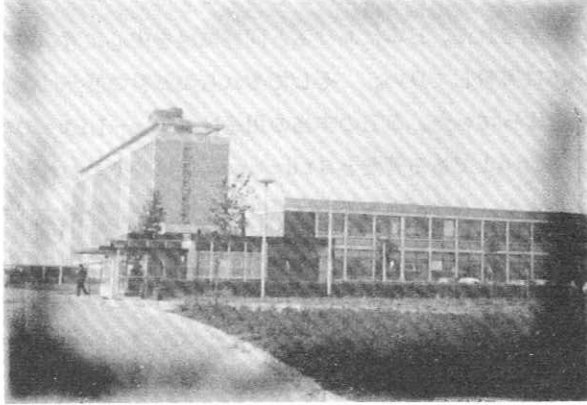
満々たる自信と息の長さはヨーロッパの研究と工業に、と言うよりはヨーロッパの文化に、共通のものであったが、それは彼等のELにも示された。日本におけると同様に緑を中心に青、橙、紫、白等があるが黄と赤はない。しかし面の美しい事は賞賛して良い。そしてそれらの試料の展示は、狭いながら多様であり、動作状態は商品としての安定感をもっていた。ELの本当の用途はNite-Liteの如きものではなく、ここに展示する様をdisplay panelである筈だとStürmer氏は説く。われわれが考えつくあらゆる形のdisplayが網羅されていたが、意表に出たものは見当らなかった。特筆すべきものとしては、British aircraft社(BAC)が操縦席のダッシュボード等にSiemens社のELを用いているとのことである。またベルリンの交通局が交叉点の管制に採用しているという、信号と交通の流れを示す表示盤が同じ場所に模型で示されていた。結合剤と密封の改良によって塩水中18,000時間以上の連続点灯に耐えることが出来たことは先述ミュンヘンのシンポジウムにも発表されている。

筆者の最も関心があったX線固体像変換器(FKBW, SSIC)は更に感銘させるものであった。彼Stürmer氏がこれを最初に発表したのは1952年のことである。以来嘗々として延々として彼等はこの商品化されたことのない研究を続けている。光電導体の時定数は彼等にとっても抜き難い問題であったが、今彼等はこれを逆用して録画用に開発しようとしていることは、興味深いまた優れた方向である。X線を遮断して少なくとも討論していた数分間殆ど曝射中と区別つかない画を残して居り、電圧を下げて再び上げると同じ画が再現される程のものである。構造は最も単純なELと光電導体を重層したもので、光電導体はやはりCdSである。その機構はまだ解明されていないが、多分部分的には分極が寄与しているものであろうとの説明であった。明るさは特に驚く様なものではないが、その画面の均質さは敬服すべきものである。silk screeningの特殊な方法を開発したのがポイントとのことであった。解像力としては、この種のデモンストレーションの常である様に、真空管、金属部品が被写体であったため判断し難い。なおこのSSICの研究は前記のBasic Research部に属するものである。

他に蒸着薄膜EL、直流ELの研究も行なわれているが、扱っている物質はII-VI族化合物のみである。最近各所で研究されているIII-V族化合物は理論的には面白いが実用的可能性からII-VIに限る、と担当研究員のこれまた然たる返答であった。X線フोटタイマーについては、前記のDevelopment部でやっているが、イオン化方式のみとのことであった。光学伝達関数等の情報通信理論的手法は、この研究所にはとり入れられてない。希土類蛍光体には関心が少ない。彼等の研究所は比較的小規模のものであったが、帰途路上から案内された8階建の壮大なSiemens-Schuckertの研究所に、近い将来、現在のSiemens 3社が合併してその基礎研究部門をここに統合する予定であると説明された。

F. Philips Research Laboratories (アイントホーヘン)

前記のエルランゲンがSiemensの町である如く、このアイントホーヘンはPhilipsの町である。この地区のみに同社の約半分4万人の従業員を擁し、市中到る所同社の事業所、施設が建ち、Philips社にないものは教会と大学のみであると説明された。特に市の北部に新しく開拓された地域にある本社および営業部の建物と周辺の敷地は壮大である。研究所はまた別の一角に、前年竣工した新しい2階建てで1万坪程度に感じられる独立した敷地にある。



写真F Philips Research Laboratories

ここではC. Albrecht 氏等のもとにX線像形成系についての研究が活発に行なわれているが、遺憾ながら旅程の都合により、A. Brill氏等の蛍光体研究に対象を絞らざるを得なかったため、詳細はここに省略する。ただ、かねてより日本の商社公館等を通じて正面から見学を申し入れた場合は公共機関の研究者でも拒絶されるのが通例と聞いていたのに対し、研究者に直接連絡をつけて訪問した場合その研究者の所管する限りにおいては全く自由に見学討論が行なえるということを、後日の参考までに付記しておこう。

第 4 章 最近の radiography 研究

大日本塗料・研究部 土 井 邦 雄

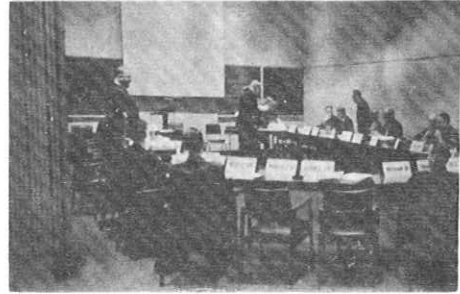
1. 緒 言

Radiography に用いられる画像変換系の目的は、被写体への minimum exposure によって、診断的に重要な画像から maximum information を引き出すことである。つまり、放射線の障害が個人の生命をおびやかす、あるいは民族の興亡にも影響を与えるという重大な命題のゆえに、得られる information の中に esthetics は、全く不要で、exposure を最少限に保つのが強い要求である。画像から得られる information の量は、写真の画質と強い関係があり、また画質を支配する物理的性質は、鮮鋭度、粒状性および階調である。そこで、radiography の画像に関する研究は、従来から上記の目的に従って鮮鋭度、粒状性および階調を独立に、あるいはこれらと一緒に取り扱ってきているが、現在もこの目的に変化はない。しかし、最近の radiography 研究のトピックスの一つは、鮮鋭度と粒状性の評価にフーリエ解析的手法、すなわちレスポンス関数（以後 OTF と略）とウィーナスベクトル（以後 WS と略）がとり入れられ²⁴⁾、さらに従来抽象的に information と呼ばれていた量が、情報理論の根拠に立って明確にされようとしていることである。フーリエ解析的手法自身は、先に光学で発展していたために、これを画像解析の手法として応用しているわけだが、radiography での要求が非常に強いために、この方面の研究は現在急速に進展しつつあり、一般写真光学系と共通の問題も多い。そこで、最近シカゴで開かれた The Third Colloquium on Diagnostic Radiologic Instrumentation に提出された論文で、画像に関係のあるものを 2. で紹介し、3. では 1964 年の本ニュースに佐柳和男氏の指適した問題点²⁵⁾以後の進展を述べる。

2. The Third Colloquium on Diagnostic Radiologic Instrumentation 報告

今回の会議は、シカゴ大学の The Center for Continuing Education で、4月15～17日に開かれたが、同じ目的の会議は、すでに 1962 年、1964 年に 2 回開催され proceeding^{26),27)} も出版されている。前 2 回の主テーマは、“Image intensification device” および “Modulation transfer function” だったが、今回は “Application of TV system to fluoroscopy” であった。こ

れらは、いずれもシカゴ大学の Prof. R.D. Moseley が主催し、今回の参加者は物理、工学、医学各分野の人が世界 6 ヶ国から約 30 名集まった。日本からは佐々木常雄先生（名大医放）と筆者および在米の佐柳和男氏（キャノン）の 3 名が参加し、光学に関係の深い人では、Prof. E. Ingelstam, Prof. H. Schober らが集まった。会議は、closed conference で、参加者が小人数



であるため写真のごとく馬蹄形に席を並べ、政治の国際会議のような感を受けたが、会議の実利を上げるために discussion は、ほとんど無制限に近く続けられ、長いものは約 1 時間にもわたった。参加者は、会議場のセンター内に投宿し、会議のプログラム外にも朝から晩まで informal discussion が続いた。なお、proceeding は明年出版予定とのことである。研究発表は、内容から以下 5 項目に分類してその一部を簡単に抄録する。

2.1 被写体および情報量

(1) The x-ray pattern and its properties as input parameters in x-ray television.

O. Schott (独)

診断的に重要な被写体をいくつか選定し、これを電気的低周波フィルターを用いて周波数分析し、被写体のスペクトルを求めた。これを TV 系および screen-film 系の OTF と比較すると、いくつかの被写体では、TV 系でも十分な画像再現が得られる。

2) Adequate diagnostic information.

J. Feddema (オランダ)

13 種類の診断例について、人工的に 6 段階の OTF の写真を作成し、これを心理実験した。Pathology 認識、最終診断および要求される画質の 3 つの観点から妥協できる OTF の段階を求めると、いずれも原画よりか

なり悪い OTF でも診断の目的は達せられていた。

(3) A method for measuring one-dimensional spatial frequency spectra of objects in medical radiology. K. Rossmann (米)

Absorption unsharpness²⁸⁾ の方法で、像面における被写体の空間分布を計算し、これをフーリエ変換して、像のスペクトルを求めた。アルミの円筒についての実験結果は、理論とよい一致が得られた。

(4) Experiment for recording and computing the image structure in all kinds of x-ray photography and cinematography including x-ray television. H. Schober (独)

画像の空間周波数成分を測定する周波数分析器を、電気フィルターを用いて作成し、直接撮影、間接撮影(オデルカ・カメラ使用)等で得られるフィルムのスペクトルを測定した。

(5) Consideration of nonlinearity in image transfer systems. K. Sayanagi (日)

Radiography の system analysis から、この系に含まれる OTF に関係する非線型の step は、唯 1 つしかないので、全系の評価の merit として線像の原点における高さをを用いることが提案された。拡大撮影の最適倍率を、焦点と結像系の OTF の極大条件から求めた。

2.2 Image Intensifier-TV 系

(6) The MTF of an electrooptical x-ray image intensifier. E. Fenner (独)

入力として鉛の bar pattern を用いて I.I. (Image Intensifier) の OTF を測定した。I.I. の結像系の構成要素の OTF を独立に求め、全体の OTF を計算し、実測と比較するとよい一致を示した。I.I. の画像伝達特性を特徴づける空間周波数として実験から、0.05, 0.3, 0.7, 1.2L/mm を選びだした。

(7) Measurement of x-ray image intensifier characteristics. A. Anderson (米)

I.I. 系の基本特性として、conversion factor, OTF および noise figure を用いることが提案された。ただし、noise figure は、入力の S/N 比と出力の S/N 比の割合から求める。OTF は矩形波入力を用いて測定した。

(8) Image-motion MTF of TV camera tubes and the effect of camera tube persistence on the quantum noise level. J. Marquerink (オランダ)

運動の OTF が aperture 効果として取り扱われ、その大きさを決めるものは、運動体の速度および camera tube の過渡特性と TV 系の frame rate である。実験

結果は、理論とよく一致した。

(9) X-ray television macrofluoroscopy. T. Sasaki (日)

I.I.-TV 系の拡大透視の効果を OTF の実測と臨床実験の結果から明らかにした。50 μ の微小 X 線管焦点を用いると最適拡大倍率は 25 倍で得られるが、0.3 mm の管球では 4 倍であった。拡大倍率を最適値より大きくすると、いずれも低空間周波数の特性が急激に減少した。

(10) Properties of camera tubes and their effect on signal to noise ratio in x-ray TV. P. Marhoff (独)

Vidicon の lag に関する特性を temporal な OTF として表現し、時間的に正弦波状に変化する可視光(P-20 の発光に相当)を入力として用いて、この特性を実測した。非常に短い lag の場合、temporal な OTF は、frame rate で決まり、標準化関数で与えられる。S/N 比を決定する因子と、OTF の関係式が示された。

(11) Image processing in an experimental televised fluoroscopy system: progress in radiologic ("inner space") perception studies. H. Stauffer (米)

2 個の焦点の X 線管と 1 個の I.I. 系を用いて立体透視を行なった。観察には、偏光板を用いて 2 個の monitor を左右に見分ける方式をとり、monitor の像は、X 線の発生と同期させて、左右を独立に display する。Depth discrimination には、さらに S/N 比の向上が必要であったが、これを実現するための線量率の増加は、それほど多くないので、high gain の I.I. を使用すれば臨床的にも実現可能である。

(12) Test equipment for diagnostic radiologic research. T. Holm (スウェーデン)

(13) Some aspect of x-ray TV from radiation source to observer. P. Botden (オランダ)

2.3 Noise

(14) Wiener spectrum analysis of quantum statistical fluctuation and other noise sources in radiography. K. Doi (日)

Radiography の粒状性の原因を占める X 線量子の統計的ゆらぎ、増感紙の構造およびフィルムの各成分の割合を、WS 解析の手法を用いて求めた。X 線量子のゆらぎによる成分は、三者の中で最も低空間周波数を占めるが、そのパワーは逆に全体の 83~92%にも及び最も支配的な粒状性の原因であることがわかり、長い間定性的に考えられていた事実が明らかにされた。

(15) Quantum mottle and intrinsic noise sources in radiographic systems.

C. Albrecht (オランダ)

粒状性の表示に、フィルムを走査する時の円形開口の関数としての標準偏差値を用いて粒状原因の検討を行なった。結果は筆者の結論¹⁴⁾と異なり、増感紙の構造による成分も無視できないとされたが、後日筆者との discussion²⁹⁾ から、この両者の相違は用いた増感紙が異なったためにこのような結論となったであろうと、現在のところ推定している。

(16) Objective measurements of noise in x-ray television systems.

G. Hay (英)

粒状性の WS と数学的に等価なものに、自己相関々数と noise area function (開口の関数としての標準偏差値) がある。これらを TV 画面の粒状性の測定に応用すると、moving aperture を用いる WS ではラスターの妨害により、また noise area function では noise の把握が WS よりも insensitive なことと、monitor の安定性が実験を支配することから、実現が困難である。そこで可能な方法として、2 個の開口を用いて測定する自己相関々数および正弦波マスクを用いる WS の 2 者が提案された。

(17) Spectral distribution of noise in x-ray TV.

E. Zieler (独)

TV 系の video signal 中にある noise の周波数分析を行なった。X 線管電圧、線量率、I.I. の変換効率および vidicon のターゲット電圧等を変化させて noise のスペクトル分布を測定した。

(18) The visibility of structures in the presence of optical noise and its dependence on noise spectrum, presentation time and repetition frequency.

R. Röhler (独)

光学像が noise の中にうずまわっていて、これを肉眼観察する時、これの提示が空間的に広がりがある場合あるいは時間的に持続する場合は、その検出力が向上する。この観察の空間的および時間的な summation capability について、X 線透視像に現れる quantum noise を近似する 2 種類の noise model pattern を用いて心理実験した。時間的には、5 秒までは summation が有効に働いて、信号検出力が向上した。

(19) Noise contrast in diagnostic radiologic systems.

R. Morgan (米)

1964 年の Colloquium で、Morgan³⁰⁾ 自身の提出した視覚識別に関するモデル (視覚識別が、空間および時間的周波数特性と、受容器に吸収される X 線量子の数で定

まる) を実験的に検討した。実験は、視覚系の noise は、空間的特性の雑音等価帯域中によってきまること、および最少識別コントラストは noise contrast に比例することを示し、理論に対する実験の裏づけが得られた。

2.4 Video tape recording

(20) Magnetic video tape recording techniques in radiology.

J. Roizen (米)

(21) Quality requirement for clinical use of video tape recording.

J. Lissner (独)

2.5 Dose

(22) Patient dose received during fluoroscopy.

G. Ardran (英)

(23) A commercially available instrument for radiation measurements associated with diagnostic x-ray procedures.

E. Trout (米)

3. X 線像再現系の各要素

3.1 X 線源

X 線管焦点分布の画像の鮮鋭度に対する影響は、従来幾何学的半影と呼ばれていたが、画像に対する作用は、物理的にはレンズ、フィルム等とは異質のものであるが、形式的には全く同じ効果を与えることから、焦点分布のフーリエ変換が OTF として取り扱われている。金森³¹⁾、内田³²⁾、土井³³⁾らは、フーリエ変換法によって X 線管焦点の OTF を測定した。この OTF は X 線管電流によって変化し³¹⁾、画角特性はかなり大きい^{33,34)}。木下³⁵⁾は、焦点分布の形と OTF との関係を積極的に求め、分布形式の規格化の試みを行なっている。佐柳³⁶⁾は、焦点の効果は他の結像系の特性にも強く依存し、たとえば、拡大撮影等の optimum の分布の形は、特定空間周波数におけるコントラストの極大条件から求められると述べている。井上³⁷⁾、前田³⁸⁾は、線源の OTF を neutron radiography にも応用し、中性子取り出し口の効果を求めた結果、反対の結論を得ているが、今後は測定精度の検討等も必要と思われる。

3.2 被写体

被写体から X 線強度分布への変換は、今まで幾何光学的に取り扱われており、実験との対応も良いようである。回折の効果は、結像の立場から論じられたものはないが、Laue spots を生じて、noise となる場合が見つかっている³⁹⁾。X 線強度分布の計算法には、二つの方法が試みられており、一つは、被写体中の X 線の吸収 path を求める absorption unsharpness の方法^{3,28)}と、他は、被写体を像面に平行に薄く輪切りにして各 element に焦点の OTF を作用させる不連続層モデル⁴⁰⁾で

ある。前者は、大きな被写体に、後者は、小さな被写体に適用できる。被写体中で発生する散乱線の分布については、畑中⁴¹⁾が、monte carlo 法によって水ファントームの場合の Compton 効果と光電効果による成分を計算した。津田⁴²⁾、村田⁴³⁾は、実験的に散乱線の OTF を測定した。撮影後のフィルムに記録された被写体の像のスペクトルについては、O. Schott⁴⁾、H. Schober⁴⁾は、電気的周波数分析器を用いて、また竹中⁴⁴⁾は、フランクホーファー回析を利用して測定した。

3.3 増感紙およびフィルム

増感紙とフィルムを組み合わせた系の OTF は、多くの人達によって測定された⁴⁵⁾が、H. Schober⁴⁶⁾は厳密には非線型であること、また W. Berg⁴⁷⁾は増感紙とフィルムの間かなりの相互反射光があることを1昨年の ICO で指摘し、OTF の定義が困難であることを示した。K. Doi は、増感紙の OTF を写真フィルムと分離して単独に測定することを試み⁴⁸⁾、さらにこの系の非線型は、両面乳剤フィルムを用いる写真測光の問題に起因するものであることを示して、新たにこの系の画像再現特性としての線型に取り扱える OTF を定義した⁴⁹⁾。大上⁵⁰⁾は、相互反射の成分について両面乳剤フィルムが近似的に増感紙に密着された状態を作り、相互反射の成分が含まれた写真フィルム OTF のを測定したが、結果は2つの成分からなる変曲点をもった曲線が得られ、相互反射の成分が無視できないものであることを示した。土井⁴⁹⁾は、異なった増感紙の系の実験から、相互反射光による OTF は用いた増感紙によらず一定で、この OTF 曲線を支配するのは、フィルムベースの厚さであることを求めた。K. Rossmann⁵¹⁾は、70 kvp の X 線によるフィルムの OTF を測定し、これが現像銀の粒子のオーダーであり、X 線による写真像の形成の原理から推定される結果と一致することを示した。C. H. Dyer⁵²⁾は、10 Mev の X 線で、Pb foil とフィルムの組み合わせた系の OTF を測定し、従来この系では解像力を支配するものは主として Pb foil であると考えられていたが、フィルムの種類にも依存することを明らかにした。

3.4 その他

I.I.-TV 系の問題が、2. に示したように、最近多く取り扱われているが、この系は、多くの画像変換過程を含んでいるので OTF は特に有利である。I.I. だけを取り上げても、input screen, glass foil, electron optics, output screen と結像系が cascade に連なっている。長谷川⁵³⁾、E. Fenner⁶⁾は、これらの elements を独立に測定して、最終的な OTF を求めているが、その結果を比べると、前者では input target が支配的であ

るが、後者では output screen が最も悪い OTF を示している。しかし、各 elements を乗じて得た最終結果はあまり異っていない。そこで、両者についてそれぞれ良い方の elements を取り出して全体を構成すると、かなり良い I.I. ができるかも知れない。

非直線性の問題に関しては、H. Kanamori⁵⁴⁾は、写真特性から定めた information volume を、OTF と視覚を考慮してさらに拡張定義した。K. Sayanagi⁵⁾は、非直線な系が、全体を通して一つか二つの場合には、image performance の尺度として線像の原点における値を用いることを提案した。非線型な step がいくつも連なっている被写体から視覚までの像伝達では、マクロな変換だけを考えると直接撮影では直線的な関係が、透視では符号が逆になるがやはり直線的な関係が近似的に成立する⁴⁸⁾。

Burger phantom を運動させながら透視すると、静止の場合よりも識別度が上昇⁵⁵⁾、これは眼の temporal な特性のためと考えられたが、O. Bryngdahl⁵⁶⁾は、眼の temporal な OTF を測定し、2c/s 附近に大きな enhance のあることを示した。

断層撮影⁴⁰⁾、拡大撮影⁹⁾等の特殊な画像抽出方式に対しても、optimum な動作条件の設定に OTF 手法は応用され、新しい撮影方式⁴⁰⁾、あるいは撮影受光系の修正⁵⁷⁾等が考察されている。

Noise に関しては、量子効果による視覚識別の A. Rose⁵⁸⁾の理論を X 線透視に応用した R. E. Sturm and R. H. Morgan⁵⁹⁾の古い論文があまりに有名であったため、X 線量子の統計的ゆらぎを noise として、この量と微細構造の検出力との関係に関する研究は大きな分野になっている⁶⁰⁾。G. A. Hay⁶¹⁾は、これらの取り扱いが、今までは主として主観的判断を最終検知器として用いていること、あるいは系の周波数特性の考察も必要であること等から、OTF や WS 等の基本的特性をまず把握する必要があると云っている。そこで、微細構造の検出力あるいは像変換系の情報容量のようなものを、noise の性質、階調、周波数特性等から明確に定めることが今後の問題である。Radiography の粒状性の WS は、K. Rossmann⁵²⁾、H. Schober⁴⁾、高野⁶²⁾、土井¹⁴⁾らによって測定され、低周波に異常な成分を持つ性質が明らかになってきており、その原因は X 線量子の統計的ゆらぎに基づくものである¹⁴⁾。この X 線量子のゆらぎが、透視の場合だけでなく、radiography で得られる写真にも存在すると始めて主張したのは、G. M. Ardran で、今から12年前のことだったが、彼の主張は当時 revolutionary として受け入れられず、editor

からはねつけられ、わずかに Atomic energy research establishment⁶⁴⁾ に brief report が載っただけであった。また 4 年前のシカゴの第 1 回 Colloquium でふたび彼が discussion で取り上げても, proceeding から除外されるという目にあっている。しかし, 3 年前に, Eastman Kodak がこの問題をとりあげてから始めて脚光をあびることになったと云う歴史的な背景がある⁶⁵⁾。

粒状性,あるいは空間周波数特性に関する基本的データは,以上のように段々と集積されつつあり, 今後は R. H. Morgan^{19,30)} のモデルあるいは写真の information capacity⁶⁶⁾ の研究が,最終的に radiography で得られる information の量を明らかにする基となると考えられる。

4. 結 言

Radiography の特徴の一つは, 画像変換要素が多数あること, 非線型が含まれていること等であるが, 本質的には一般写真光学系の問題と共通である。しかし, radiography の最終目的は, 緒言にふれたように深刻な面を含んでおり, 多くの問題点の解決は早急に望まれている。そこで, 画像に関する国際的な集まりもわりとひんぱんに開かれており, たとえば 1962, 1964, 1966 年のシカゴの集まり, あるいはミュンヘンでも 1964 年に “Symposium on radiographic image quality” が開かれ, 今年中にその proceeding が “Bildgüte in der Radiologie” (Gustav Fisher Verlag) として出版され, また明年は, 第 2 回の Symposium が開かれるとのことである。国際放射線学会でも, この問題は取り上げられており, 昨年ローマで第 11 回の会議があり, 次回は 1969 年に東京で開かれることになっている。米国では, ICRU (International commission on radiological units and measurements) が主体になって, OTF 手法等の実用的応用が考慮されている。日本ではこれらに関する光学の分野が非常に進んでくれたお蔭で, 光学関係者の協力を得て radiography への応用も抵抗なくすみやかに進められつつあり, 1 昨年物理, 工学, 医学関係者によって設立された放射線イメージ・インホームーション研究会(略称 RII)も第 9 回をむかえ, 近く研究資料集が出版される予定である。

文 献

- 1)–23) の文献は, 2 項を参照
- 24) 土井邦雄: 非破壊検査 **14**, 201, 245 (1965)
- 25) 佐柳和男: 光学ニュース No. 76, 1 (1964)
- 26) R. D. Moseley and J. H. Rust (ed.): The reduction of patient dose by diagnostic radiologic instrumentation. (1964) Charles C. Thomas.
- 27) R. D. Moseley and J. H. Rust (ed.): Diagnostic radiologic instrumentation, Modulation transfer function. (1965) Charles C. Thomas.
- 28) K. Rossmann *et al.*: Am. J. Roentgenology **85**, 366 (1961); K. Rossmann: *ibid* **87**, 387 (1962).
- 29) C. Albrecht: private communication.
- 30) R. H. Morgan: (27) の文献中 p. 61–91.
- 31) 金森仁志 *et al.*: 日本医学放射線学会誌 **24**, 935 (1964), H. Kanamori: J. J. A. P. **4**, 227 (1965).
- 32) 内田勝: 応用物理 **34**, 93 (1965).
- 33) 土井邦雄: 応用物理 **34**, 190 (1965); K. Doi: Am. J. Roentgenology **94**, 712 (1965)
- 34) H. Kanamori: J. J. A. P. **5**, 178 (1966)
- 35) 木下幸次郎 *et al.*: 第 9 回 (大阪) RII 研究会 (1966).
- 36) 佐柳和男: private communication.
- 37) 井上多門 *et al.*: 応用物理 **34**, 801 (1965).
- 38) 前田頌: private communication.
- 39) R. H. Arndt *et al.*: Materials Evaluation **23**, 445 (1965).
- 40) 土井邦雄: 応用物理 **34**, 663 (1965); K. Doi *et al.*: Proc. XI ICR (in press).
- 41) 畑中勇: 第 12 回(東京)応物連合講演会(1965).
- 42) 津田元久: 第 6 回(大阪) RII 研究会(1965).
- 43) 村田和美 *et al.*: 第 12 回(東京)応物連合講演会(1965).
- 44) 竹中栄一: private communication.
- 45) K. Rossmann: Phys. in Med. & Biol. **9**, 551 (1964); R. H. Morgan *et al.*: Am. J. Roentgenology **92**, 426 (1964); M. Höfert: Acta Radiologica **1**, 1111 (1963); 土井邦雄: 応用物理 **33**, 50 (1964).
- 46) H. Schober *et al.*: J. J. A. P. **4** (Supple. 1), 178 (1965).
- 47) W. Berg *et al.*: *ibid* 196.
- 48) K. Doi *et al.*: *ibid* 183
- 49) 土井邦雄: 応用物理 **35**, 559 (1966)
- 50) 大上信吾: 第 3 回(大阪) RII 研究会(1964).
- 51) K. Rossmann *et al.*: Radiology **86**, 235 (1966).
- 52) C. H. Dyer: private communication (to be published in Materials Evaluation).
- 53) 長谷川伸: 応用物理 **35**, 103 (1966).
- 54) H. Kanamori: J. J. A. P. **4**, 778 (1965).
- 55) 津田元久: 第 2 回(東京) RII 研究会(1964).
- 56) O. Bryngdahl: J. O. S. A. **56**, 706 (1966).
- 57) 内田勝: private communication (投稿中).
- 58) A. Rose: J. O. S. A. **38**, 196 (1948).

- 59) R.E. Sturm *et al.* : Am. J. Roentgenology **52**, 617 (1949).
- 60) G.A. Hay : Radiology **83**, 86 (1964); H.S. deBen : J. phot. Sci. **12**, 148 (1964).
- 61) G.A. Hay: private communication.
- 62) K. Rossmann : (27) の文献中 p.350—369
- 63) 高野正雄 *et al.* : 日本放射線技術学会 (鹿児島) (1966).
- 64) G. M. Ardran *et al.* : Atomic energy research establishment report. MED/R 1385 (1954).
- 65) G.M. Ardran : private communication.
- 66) R.C. Jones : J.O.S.A. **51**, 1159 (1961); R. Shaw : J. Phot. Sci. **11**, 313 (1963).