

X線フィルムの進化

Evolution of roentgen film

Fuchs AW*. Am J Roentgenol 75:30-48, 1956

「中でも特記すべきは、写真乾板がX線に感受性であることである。これにより、見誤りやすい現象を裏付けることが可能である。私は可能な限り、蛍光板上のすべての重要な観察を写真撮影して管理した。」

このようにレントゲンの原著[37]は、X線画像を記録する方法として写真乾板の重要性を示唆しており、新たな科学であるX線画像法への道を開いた。レントゲンはこの点を、世界初のX線写真、レントゲン夫人の手の写真、そして金属を透過して撮影した方向磁石と金属ケース内の針の写真で示した。

X線画像法(roentgenography)は写真術(photography)*である。写真と同じように、(蛍光板からの)可視光を利用したり、あるいはX線そのものを利用する。X線は、可視光と周波数が異なるだけである。

X線画像法は、記録媒体として写真乳剤を使用し、X線フィルムの歴史は、ある種の銀塩が光に反応することが知られるようになった写真術の初期に遡るものである。

*写真術photographyとは、光あるいはその他の放射エネルギーの作用によって感光面に画像を得る技術あるいはその過程である[Encyclopedia Americana, 1955]

写真術の始まり

18世紀、ある種の銀化合物に光が当たると黒化することが知られるようになった[27,30]。1727年、ドイツの化学者John H. Shultzは、炭酸銀あるいは塩化銀の石灰ペーストを試験管内で光に当てるとき黒化することを発見した。試験管にステンシルで文字を書いてから日光に当てるとき、ステンシルを剥がしたあとに黒い文字が浮かび上がった。しかしこの像は一過性で、これを恒久化する方法が分らなかったので、光を遮蔽した部分もいざれは黒化しまった。

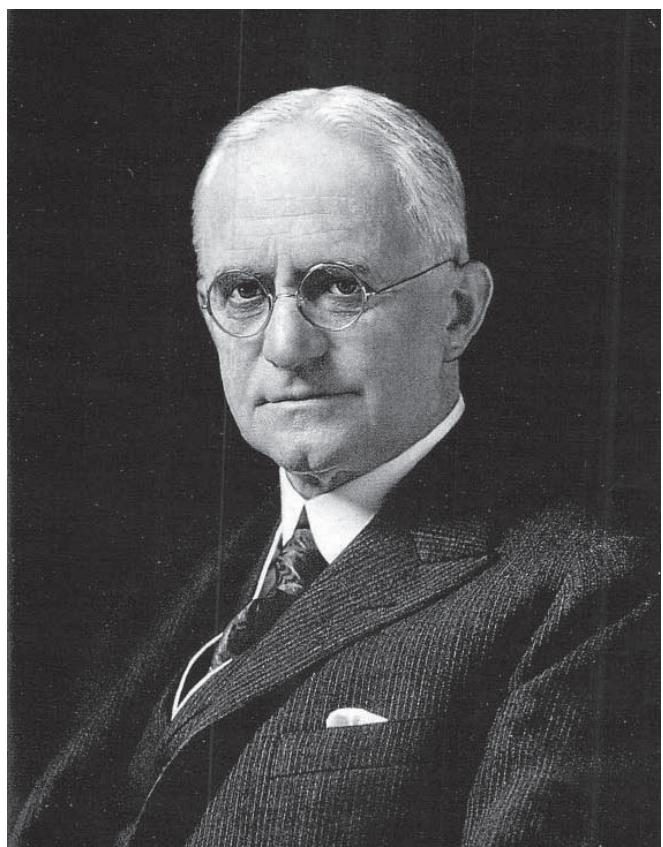
1802年、Thomas WedgwoodとHumphrey Davy卿は、ガラス上の画像を塩化銀を塗った紙に密着焼き付けして記録することに成功した。1816年、Joseph N. Niepceは、宝石箱に顕微鏡のレンズをつけて原始的なカメラを製作した。彼はこれで画像を撮影したが、永久保存することはできなかった。

イギリスのHenry Fox Talbotは、カメラ・オブスクラの画像を塩化銀紙に露光し、塩化ナトリウムで処理することにより恒久化した。またTalbotは1840年

に、銀塩露光後に潜像を現像できることを発見した。つまり撮影したネガ像を、感光紙に印画してポジ像を得ることに成功し、ネガーポジ写真法の発明者となった。当時の著明な科学者John Herschel卿が、1839年2月28日付のTalbot宛ての手紙で、Talbotの仕事に対してphotography(光による描画の意)という造語を使用している点は興味深い。またこれに関連してnegative(ネガ)、positive(ポジ)という言葉も生み出した。以来、photographyという言葉はあらゆる言語に取り入れられることになる。

1819年、Herschelは塩化銀に対するハイポ(チオ硫酸ナトリウム)の溶解作用を発見した。しかし、チオ硫酸を写真の未感光銀塩を溶解するために初めて使用したのは1837年、J. B. Reade師であった。この処理によって、さらに感光して画像が黒化することを防ぐことができた。

1839年、フランス人のLouis J. J. Daguerreは、銀塩を塗ったプレートをヨード蒸気にあててヨウ化銀とした。このプレートを長時間露光すると、淡い不完全な画像が得られる。ある日、彼が食器棚にしまっておいたこの露光プレートを取りだしてみたところ、鮮



George Eastman (1854-1932)

* Medical Division of the Eastman Kodak Company, Rochester, New York

明なポジ画像が写っていることを発見した。棚の中に少量の水銀がこぼれ、その蒸気が画像を「現像」して完全なものとしたのであった。未露光のヨウ化銀は塩化ナトリウム溶液で除去した。Daguerre は「現像」(development) という現象を発見したのである。

当時、ネガには紙が使用されていたが、紙の粗い粒子が印画されてしまう。この問題を解決すべく 1847 年、C. F. A. Niepce de St. Victor はガラス面にヨウ化銀を混ぜた卵白乳液を塗布した。そしてこれを没食子酸で現像すると粒状性の細かい良好な画像を得ることができた。

1851 年、Frederick Scott-Archer は、銀塩をガラス面に塗布する基剤として湿性のコロジオンを利用する方法の詳細を発表した。撮影は、コロジオンが乾燥する前に行なう。この方法はただちに他の方法を駆逐したが、手間のかかる煩雑な方法でもあった。コロジオン法のさまざま変法が試みられたが、いずれも満足なものではなかった。このため、乾燥した基剤を使用して、使用するまで保存しておけるようなさまざま方法が摸索された。

乾板の発明

1871 年、イギリスの Richard L. Maddox による、ゼラチンに臭化銀乳剤を混ぜた乾板 (dry plate) の発明は、近代写真術の基礎を築くものであった。1873 年、J. Burrgess はこのスピードと安定性を改良して、洗浄乳剤を使用した初の実用的な乾板を製作した。同年、H. W. Vogel はこの乾板は青～紫色の光にしか感度を持たないが、ある種の色素を添加することにより全ての色に感度を持つようになることを発見した。

乾板は湿板にくらべて数倍も高速で、まもなくいくつもの国で製造されるようになった。初期には、乳剤の塗布は手作業であった。1879 年、George Eastman がガラス板塗布装置を発明して、初めてガラス板に機械的に塗布することができるようになった。1885 年、Eastman はアメリカンフィルム (American Film) と呼ばれる新たな発明をした。これは、紙を乳剤の仮基剤とする剥離フィルムで、露光、処理後に紙を剥がすと薄い透明な「フィルム」が現われ、これから焼き付けを作る事ができた。またこの頃 Eastman は、Eastman Negative Paper と称する、カメラ用の感光紙の製造を開始した。露光、現像後、感光紙を化学処理すると透明になって焼き付けることができた。1889 年には、ハロゲン化銀乳剤を塗布した硝酸セルロース基剤のフレキシブルな透明フィルムが導入された。この製品は、写真の普及に大きく貢献した。以後、写真科学の知識の蓄積とともに、感光材料はますます高感度なものとなっていました。かくして、写真乳剤が重要な役割を果たすべき人類の最も重要な発見の舞台は準備されたのである。

X 線画像法の誕生

レントゲンはその最初期の実験の中で、「写真乾板」が「新種の光線」によって感光することを発見し、X 線画像法の広大な世界を開いた。

X 線乳剤発展における初期の問題のひとつは、X 線がいかに写真乾板を感光するかという点であった。光電気的なものか、光化学的なものか、どのような性質をもつのか、という問題である。この問題は多くの仮説を生み、その中には興味深いもの、おかしなものもある。レントゲンの原著 [37] では、次のように述べている。

「X 線が写真乾板上の銀塩の化学反応の直接的な原因か否か、という疑問がなお残る。この作用は、前述のようにガラス板あるいはゼラチン層内で発生した蛍光の結果である可能性がある。なおフィルムはガラス乾板と同じように利用できる」

さまざまな物質が X 線により蛍光を発するというレントゲンの観察から、X 線の乾板効果について多くの見解が提示された Chapman-Jones は 1896 年の Photography 誌で次のように述べている。

「X 線が、その直接作用、二次作用のいずれによってゼラチン-臭素乾板の感光現象を来たすのかという点については、我々は等しく疑問をもつところであろう。例えば、乾板が X 線の刺激によって十分な蛍光を発して光る場合、あるいは光らない場合も、この刺激によって乾板面に (例えば紫外線のような) 不可視光線を生じ、これが既知の効果を発揮しているのかもしれない。このような二次作用によるものであるなら、ここで問題とすべきは何らかの新たな作用力に対する感受性ではなく、単に既知の写真作用をもつ新たな放射力の発生であり、われわれの写真学の知識に新たな基本原理を追加するものではない。一方、光が単にエネルギーのひとつの形に過ぎないことを考えれば、圧力、特殊な化学物質、熱など他の形のエネルギーによって写真効果が発生していると考えることもでき、X 線が直接写真効果を発揮するのであれば、既存の知識に新たなエネルギーの形を追加する必要がある。写真術は既に事実の記録装置であるが、最終的にはおそらく作用力の記録装置となろう。」

乳剤に対する効果は、乾板の裏面における「蛍光」あるいはなんらかの道の作用によって起こるという考え方があった。この説は、Dewar による低温におけるシアノ化白金アンモニアの実験により支持されたものであった。この塩は、通常は可視光で蛍光を発するが、液化空気に浸すとこの性質を失う。しかし X 線を照射すると豊富に蛍光を発する。この事から、X 線の性質が何であれ、可視光に変換しうるものであることが示唆される。従って、ガラス基板が画像形成に何らかの寄与をしていると考えられた。しかし 1898 年、紙の

ような非蛍光性の基板でも写真効果があることが発見され、この説は否定された。

初期には、画像の形成は乾板の裏面から始まると考えられた。しかし、ガラス板から剥離した乳剤を露光する実験で否定された。写真効果は、ほとんどが乳剤内部の蛍光によるもので、ガラス基板の蛍光が補助的に働くと考えられた。X線の乾板への「直接」効果は無いとする説すらあった！

このような議論は、X線の作用は光の作用に類似したもので、放射線がハロゲン化銀粒子の露光の主たる原因であることを示す新しい研究の成果によって次第に収束してきた。乳剤あるいは基板の蛍光は非常にわずかであり、有意の画像を形成するものではない。このことは、もちろんX線の直接作用についてのみ言えることで、透視については画像を作るのは透視スクリーンから発する光である。

パイオニア達の環境

X線発見後、X線に関する議論の場は写真雑誌であった。実際のところ、X線画像法は写真術の新しい一分野と考えられた。X線写真に積極的に関わる人々は、写真家や写真を趣味とする医師であった。アメリカ、ヨーロッパでは、「X線写真」を業務とすることを謳う写真家による「X線スタジオ」が次々と出現し、「X線仕様」の予約を受け付けた。当然のことながら医療用途もカバーされ、このようなスタジオの業務の多くは

内科的、外科的なものであった。時に物好きが彫刻、宝石、真珠、ダイヤモンド、彫金、ミイラ、その他さまざまなものを持ち込んできた。これが近代産業X線画像法の始まりであった。

パイオニア達の中には、手の写真を撮るにも1時間ないし数時間をするような誘導コイル、ガス管球、写真乾板といった貧弱な装置を使って見事な仕事を残している。初期のX線写真は、明らかに濃度、コントラストを欠くものであった。実際、どんなに長く露光しても、満足な焼き付けを手にするにはしばしば後処理が必要であった。初期のX線写真家は職業写真家のやり方に倣ったので、X線写真のポジ印画は、写真用印画紙に焼き付けられた。印画紙は比較的コントラストが良好で、さらに濃度、コントラストを増強することもでき、乾板ではかすかにしか見えない像を強調して焼き付けることができた。焼き付けた写真は、しばしば黄色がかった目にも美しいセピア調ポジ画像であった。

初期の乾板の問題点

1896年、1897年における写真乾板のX線反応性は遅いもので、より感受性の高いものが求められた。このため実験家は、乳剤を高速化するために考えられるあらゆる方法を試みていた。1896年4月、ドイツ、ボンのGeisslerは、露光前に乾板を塩化銀、硝酸ウラン、あるいはキューバウッドの抽出液に浸すと画質が

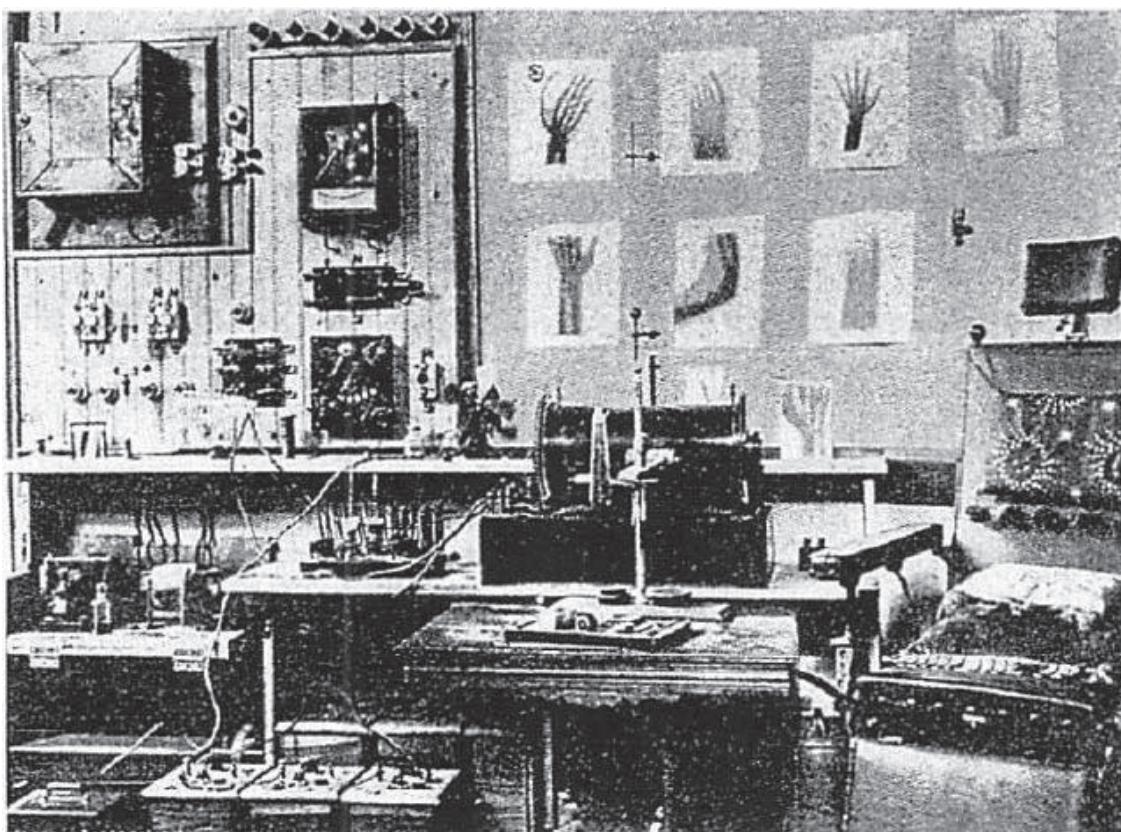


図1. イリノイ州シカゴのWolfram C. FuchsのX線スタジオ。The Western Electrician誌1896年8月号より。初期のX線管、コイル、検査台などが見える。

改善するとした。しかし確実なものではなかった。蛍光物質塩に乾板を浸す方法もあったが、多くの場合感光性が失われ、著しくボケた画像となって役に立たなかった。X線蛍光物質塩を乳剤に混ぜ込む方法も試みられた。実際、イギリスの乾板製造業者 B. J. Edwards and Company 社は、1896年5月に Oliver Lodge 卿推奨のこの種の蛍光物質塩を含有する乳剤の乾板を製造し、これを Cahodal Plate として販売した。

しかし最も成功を収めたのは、後述する増感紙（蛍光スクリーン）の採用であった。ここで、乳剤の蛍

光感受性は、蛍光板が発する蛍光の色に依存するという初期の発見について述べておく。露光前に、乾板をエリトロシン銀に4分間浸して、感度を上昇させることが推奨された。このようにした増感乾板は、通常にくらべてわずか1/9の露光時間で十分であるとされた。最も良いX線乾板は、イギリスの Cadett Lightning, Paget xxxxx, (Imperial, 1896年5月), S. W. Roentgen Plates (Sandell Works Co.), フランスの Lumière (1896年), アメリカの Cramer C Plate, Carbutt X-ray Plate (1896年) であった。1896年の時点で常に問われたのは「X線に最適な乳剤は何か?」という問題であったが、市販の乾板はいずれもベストであると主張しており、混沌とした状態であった。

初期のX線写真に推奨、使用された主な乳剤は、シアン化白金バリウム蛍光板が発する黄緑色の蛍光に感度のあるオルソクロマティックタイプであった。コロ



図2. Schleussner社のX線乾板、セルロイドフィルムの広告(1899年)。



図3. 当時非常に広く使われたCramer社のX線乾板の広告(1903年)。



図4. Ilford社のX線乾板の広告(1912年5月)。特別包装の歯科用フィルムのについても書かれている。

Wratten X-Ray Plates

A Wratten X-Ray Plate requires less exposure for a given subject than any other X-Ray Plate.

This is because the emulsion of the Wratten X-Ray plate contains a salt of a very heavy metal.

This salt prevents the powerful X-Rays from passing through the emulsion without serving any useful purpose.

Wratten X-Ray Plates have not been increased in price. Their use means a gain in quality and a saving in cost.

Use Wratten Plates for all your X-Ray Exposures.

Kodak Limited (Wratten Division),
Kingsway, London, W.C.

図5. 乳剤に重金属塩を含む特殊なWratten X線乾板の広告(1914年)。

ジオン(湿式乳剤)はX線にはほとんど感受性がなかつた。臭化銀ゼラチンとヨウ化銀あるいは塩化銀の混合乳剤は比較的満足の行くものであった。その色感受性にかかわらず、X線用乳剤は通常の写真用に比べて非常に厚くする必要があるという点は共通の認識であった。

「新式写真」が何らかの有用性をもつたためには、長時間露光は問題外であり、露光時間の短縮が初期の問題のひとつであった。1901年5月まで、乾板の製造にめだつた改良は見られず、通常の写真乾板として高速な製品は、X線用としても優れているというのが一般的のコンセンサスであった。

最先端の専門家が推奨する方法は、使い慣れているものを使えというもので、これが広く受入れられていたため、乾板製造業者によるX線専用乳剤の開発努力を遅らせた面がある。ユーザーが既存の乾板に満足しているのであれば、それで十分と考えられたのは当然であった。

現像に関する問題のひとつは、十分な濃度を得ることであった。X線写真は一般に濃度が低く、コントラストにも乏しい。この困難を克服し、同時に露光時間を短縮するためには、単層乳剤に比べて多層の方が鮮鋭度、コントラストに優れるということから、多層乳剤の乾板、ゼラチンフィルム、セルロイドフィルムが作られた。特別な乾板やフィルムでは、基板の両面に乳剤を塗布したものもある。フィルムの場合、光線は基板を透過し、その両面の乳剤を同程度に感光するので、一面の画像が他面の画像を増強することになる。現在も使われているこの方法は、画像の濃度を倍増し、X線写真の診断的価値を大きく高めている。

初期の現像法

初期のX線写真家は、古典的な4段階法(four bottle method)によって、X線写真を現像、焼き付けしていた。すなわちまず感光体を現像液を含む液体に浸し、次いで保存剤、促進剤、臭化銀を使う方法である。現像過程では、それぞれの薬品をその時々の判断で適宜加えて現像する。こうすることによって、所望する解剖学的な詳細を浮かび上がらせることができると考えられた。濃度を改良する最も一般的な方法は、ネガの後処理(増強処理)で、当時のX線写真家の多くがこれを使用していた。

X線写真家は、当時の複雑かつ標準化されていない手順に慣れていたので、簡易化などほとんど考えずに不便を受入れていた。この問題に関する典型的な工夫やアイデアが、ジョージア州SavannahのE.R.Corson博士の初期の論文にある次の記載に見られる。

「初期のX線写真では、乾板の現像、焼き付けを専門の写真家に託していた。しかしすぐに、すべてを意の

ままに行なわないとシステムチックに行なうことはできないことがわかった。ネガから焼き付けをつくる写真技術には、私がこうあるべきと考えるところと写真家の方法には一定の隔たりがあり、写真技術の知識や経験のない自分が全体を学ぶ必要があるのと同程度に写真家も学ぶところが必要であった。専門家が良いネガであると考えるものが、必ずしも浅層構造や筋肉ではなく深部の重要構造が詳細にわかる良い焼き付けになるとは限らないことが分った。そして、乾板の現像、定着とともにすべてのネガを増強する必要があることが分った。さらに、焼き付けにあたっては通常の写真にはない困難があった……私はCarbuttのX線乾板と、Seedの超高速乾板No.27を使用していたが、後者はCarbuttと同程度に優れておりかつ安価なので、現在は専らこちらを使用している。Eastmanのハイドロキノン現像パウダーは、他の現像液と同等あるいはそれ以上で、非常に使いやすいことが分った。増強処理には、Carbuttのクロムミョウバン定着浴とCarbuttの処方を使用している。焼き付け紙には、少なくとも私が考えるには他の焼き付け紙のどれよりも優れていると思われるCarbon matt Veloxを専ら使用している。」

ガラス乾板の時代にはあらゆるタイプの現像液が使用され、2つとして同じものはなかった。さまざまな処方に含まれる薬品の量は標準化されておらず、現像処理は専ら技術者の経験に委ねられていた。精度の欠如についてはPreston Hickey博士の一言に集約されよう。どんな現像液だろうとうまく使えば乾板は現像できる！(1907年)

露光時間短縮を目指して

蛍光板

X線管、X線装置の改良は急速に進んだが、写真乳剤は出遅れていた。これはThomas Alva Edisonの蛍光板に関する仕事にまた待つ必要があった[11,15]。

Edisonの科学進歩へのあくなき関心は、彼をしてX線の新領域に莫大なエネルギーと情熱を注ぎ込ませた。彼はX線管、X線装置、蛍光板を開発、改良したのである。

1896年における蛍光板はまだ初期段階で、脆弱、不安定、高価であった。従って透視の精度を向上させるべく多くの人々が独自の蛍光板を製造した。透視像では、人体構造の一部が垣間見えるだけで、実際のところ粗いシルエットに過ぎなかった。このような粗い画像は非焦点管球によって得られるものであったが、焦点管球の登場とともに、まだ理想にはほど遠いと言え、鮮明な画像が得られるようになって蛍光板の利用にもはずみがついた。

1896年の1月から3月にかけて、Edisonは新しい

白熱電球を作るために 8,500 もの物質を試験した。この仕事の中で、1,800 の物質が蛍光を発することがわかった。この中でタンゲステン酸カルシウムがシアノ化白金バリウムに比べて 6 倍の輝度をもつことが明らかとなった。1896 年 3 月、Edison はタンゲステン酸カルシウムを X 線蛍光板に推奨した。

コロンビア大学の Michael Pupin 教授は、ドイツの Goldstein[訳注 : Eugen Goldstein(1850-1930)。ドイツの物理学者。陰極線 (Kathodenstrahlen) の命名者] が示した放電管現象に大きな関心をもった。1896 年初期において、彼は New York 地区で唯一 X 線実験を再現できる装置を備えていた。Pupin はただちにこの新しい光線の研究を開始し、膨大な実験を行なった。医師が送り込んできた多くの患者を検査する中で、装置を効率化して露光時間を短縮すべくあらゆる努力を惜しまなかった。その自伝にはこう記されている [35]。

「良き友人 Thomas Edison が蛍光板を何枚か送ってくれた……私は Edison の蛍光板と写真乾板を組み合わせてみることにした。蛍光板を写真乾板の上に重ね、その上に患者の手を置いた……この組み合わせは予想以上に良い結果を生んだ。数秒の露光で美しい写真が得られた。これが 1896 年 2 月初旬に得られた最初の X 線写真であった。」

蛍光板によるさらなる研究は、X 線検査はすべて透視によって事足りるという面を過剰に強調する嫌いがあった。この傾向は、Edison が 1896 年 3 月に Kelvin 卿に宛てた電文にも影響されているところがある。

「適切に結晶化したタンゲステン酸カルシウムは、X



図 6. 蛍光板を増感目的で使用した初めての X 線写真。Pupin 教授、1896 年 2 月。

線によってシアノ化白金を遙に凌ぐ素晴らしい蛍光を発し、X 線写真を無用とする。」

しかしその後の事実は、この尚早な仮説が誤りであることを証明するものであった。

Edison のタンゲステン酸カルシウムの蛍光板の明るい画像は、初期の蛍光板に比べれば多少なりとも改良といえたが、まだ多くの欠点を抱えていた。体の厚い部位では、粒状性のために画像の解釈が困難であった。薄い部分でも、細かい構造はほとんど識別できなかった。その一方で、写真乾板は恒久的な記録を残せるのみならず、蛍光板の画像に比べて鮮明、精細な画像を得ることができた。さらに乾板に対する X 線の作用は蓄積的であることから、蛍光板透視でわずかしか見えない淡い陰影も、単に露光時間を延長すれば十分見えるようになった。このため、成人骨盤の X 線写真を撮影することはできたが、透視ではその詳細を観察できなかった。

ドイツの Max Levy は、1897 年、2 枚の蛍光板で二重乳剤フィルムを挟むことを初めて推奨した。

X 線の歴史の初期の時点で蛍光板が増感目的に導入されたにも関わらず、長年にわたって利用されなかつたことは奇妙な事である。その理由はおそらく、当時の蛍光板は著しく残光が長く、また蛍光物質の結晶が非常に大きく粒状性が粗かったためであろう。このような結晶は非常に明るい蛍光を発するが、透視でも撮影でも粒状性が強く、細かい構造が失われてしまう。透視が広く利用された唯一の領域は、消化管、脊椎、股関節、頭蓋で、これは高濃度が必要とされたり、運動のために短時間露光が必要なためであった。この当時、腎の X 線写真で、増感紙 (蛍光板) を使用しないと何も見えないが、増感紙を使うと腎結石が見えたという報告がある。一方、増感紙なしでも結石が良く見えたという報告もある。失敗例の原因是、当時推奨されていた過剰露光と高透過性によるものであろう。

乳剤の進歩

この初期を通じて、アメリカの研究者は乳剤について広範な実験を行なっている。初の X 線専用乾板は、John Carbutt が Pennsylvania 大学物理学教室の Goodspeed 教授と協力して製作したものである。これは Roentgen X-ray Plate と呼ばれ、通常の乾板よりも厚く重い銀塩乳剤が塗布されており、露光時間を大きく短縮することができる。1896 年 2 月 11 日に Philadelphia の Maternity Hospital にて Princeton 大学の W. W. Magie 教授により試用された。最初の症例は、W. W. Keen 博士の火傷後の指関節強直の患者であった。露光時間は 20 分出会ったが、従前は 1 時間以上要するものであった [16,22]。

X 線装置、乾板の更なる改良により、手の露光時間は

数秒、厚い部分でも30~60秒になった(1896年4月)。しかし軀幹についてはまだ秒単位ではなく分単位の露光が必要であった。

当時、X線用乳剤に求められた条件を、John Carbuttの言葉に見ることができる(1897年6月)。

「中等度の感度、しっかりした乳剤で、X線を吸収して細部から骨まで写ることが必要である」

その10年後、Eugene W. Caldwell博士は、HammerのExtra Fast, CramerのBanner, Seedの26Xあるいは27Xといった中速ないし高速乾板で良い結果を得ている。無ハレーション乾板として販売されていた片面に二重乳剤を塗布した乾板には有利な点があった。HammerのAuroraでは、露光時間短縮のために二重乳剤が必要な場合にはベストであった。

乾板の製造上のキズは、アーチファクトとして診断に影響するため、放射線科医には重大な問題となり始めた。1902年の米国レントゲン学会(ARRS)*では、特に結石の診断についてこの問題が議論された。シカゴのWolfram C. Fuchsの以下のコメントは、乳剤の問題は診断の妨げにならないと述べており興味深い。

*Transactions of American Roentgen Ray Society, pp.172-175, 1902

「何らかのキズがない乾板メーカーを私は未だ知らない。ネガを現像すると、一面にスポットが見える。小

さな結石の診断は最も難しい。大きな結石は遠くからでも分かる。例えばこの写真的に小さな結石を見れば明らかである。明瞭な腎の輪郭の中心に暗い陰影があるが、至るところに黒いスポットがある。これは患者にも分かるのでうまくない。私は通常2枚の乾板を重ねて束ね、同時に撮影している。こうすると、やはりスポットは見えるが、2枚の写真で位置が異なる。これによって乾板のキズの問題を克服できる。私は乾板メーカーの専門家にこのことを話し、彼らもこれを認識して修そうとしているが、未だ成功していない。私は3年にわたってこのことを話しているが、未だに問題を克服できていないようである。初めは、自分が悪いのだと思っていた。おそらく現像液が悪いのだろうと、そこで苦労して異なる現像液の成分を混合し、完璧な溶液を作ったが、それでもまだスポットやストリークが乾板全面に現われた……アメリカ製よりも感度が高いと思われるフランス製乾板を使っている。乳剤を塗ったフィルムを乾板の上に置いて撮影してみた。こうすると乾板の感度が向上するようである。」

X線乾板は当初(1896年)、遮光包装紙に密封されて供給されたが、化学的に紙の不純物と乳剤の相互作用で劣化することが分かり、その後は個別に供給されて、使用者が必要に応じて「装填」するようになった。

1918年の時点でも、タンゲステン酸カルシウムの乾板がMax Levy博士により推奨され、イギリスのImperial Dry Plate Companyで製造されている点は興味深い。この乾板は片面に乳剤を塗布したガラス板で、その上にタンゲステン酸カルシウム結晶の被膜がある。露光後、現像の前に乾板を水道の蛇口の下にかざして被膜を洗い流す。その後、普通の方法で現像する。この乾板は高価で、かなりの粒状性があり、あまり実用的ではない。

X線乾板の大きな需要から、アメリカではParagon X-ray Plate, Forber X-ray Plate, Cramer X-ray Plate,

Amateurs and Professionals
SHOULD USE
THE OLDEST AND BEST
Carbutt Plates, Films
AND Specialties

USE ... UNDOUBTEDLY HAVE THIS DISTINCTION.

"Eclipse" for Portraiture and Hand Camera exposures, and you have a Plate that has Rapidity with Quality.

Orthochromatic Sen. 27, about equal in speed to the Eclipse; gives correct color values.

X Ray Plates for making Radiograph Negatives. These plates have the special quality of absorbing the X Rays of a Crookes' Tube, allowing of short exposures. They are used by Prof. A. W. Goodspeed of the University of Pa., who has produced fine results with exposures as short as 4½ seconds. Nikola Tesla and Dr. William J. Morton, of New York, and many other Scientists also use them.

For View Photography use

Ortho Sen. 23, also for photographing Flowers, Architecture, etc. Can be used with or without a Color Screen as circumstances necessitate.

B Sen. 16, for Landscape and Architecture. Unparalleled latitude of exposure makes it the "Standard" for beginners.

Lantern Plates have no equals for Brilliance and Uniformity.

J. C. Developing Tabloids. Put up in boxes containing 96 Tabloids, enough to develop 8 to 12 dozen 4x5 Plates. Price, 75 cents. Mailed, postpaid, on receipt of price. Sample box, 10 cents.

FOR SALE BY ALL DEALERS.

10¢ Send to factory for full list of PLATES, FILMS and SPECIALTIES.

MANUFACTURED BY

JOHN CARBUTT,
Wayne Junction,
PHILADELPHIA.

KEYSTONE
DRY PLATE AND FILM
WORKS.

図7. 初期のCarbuttの広告(1896年)。アメリカ初のX線専用乾板に関する記載がある。

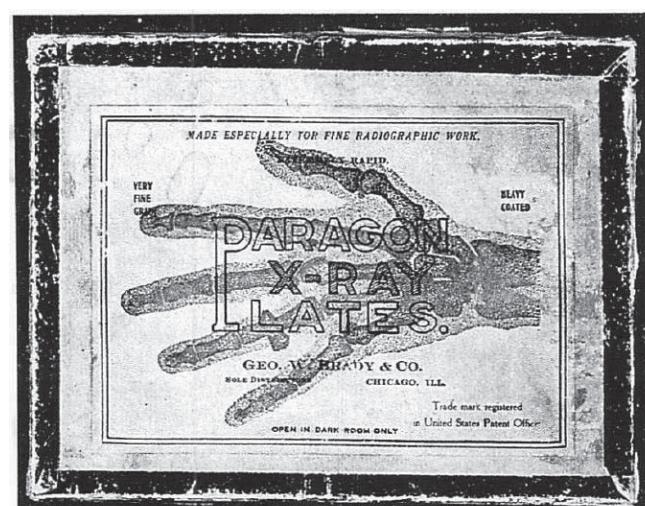


図8. Paragon X線乾板(1914年頃)の箱のラベル。X線フィルムが登場するまで、アメリカでは非常にポピュラーなX線乾板であった。

Central X-ray Plate, Universal X-ray Plate, Diagnostic X-ray Plateなどの数々のブランドがあり、このほかイギリス、フランス、ドイツにも多くの製品がある。1912年、EastmanはWratten X-ray Plateを発売した。これはビスマス塩を混ぜた熱いハロゲン化銀の乳剤を塗布したもので、ビスマス塩の目的はX線を吸収して乳剤中のハロゲン化銀への影響を増強ためである。St. LouisのSeed Dry Plate CompanyはSeed X-ray Plateを専門家向けに販売していたが、これはX線フィルムが登場するまで長年にわたって広く受け入れられていた。

X線フィルム

レントゲンの原著でも、乾板、フィルムとともにX線画像の記録に使用できると記されている。この結果、多くの研究者がX線画像に使用できるものはすべて利用してきた。Eastman Transparent Film - New Formulaは1896年の時点でも製造されており、他の一般写真用フィルムや乾板のように、限られた範囲でX線にも利用されていた。

1901年以前のイギリスで使用されていたフィルムは、Austin-Edwardsのスナップショットフィルム、Sandell Plate CompanyのCristoidであった。後者は基本的にセルロースではなくゼラチン基剤で、2種類の乳剤(非常に高速なものと通常速度のもの)がガラスに塗られており、剥がして使うものであった。フィル

ムは黒い袋入りで供給され、現像は難しく、高速乾板にくらべるとかなり遅かった。

ゼラチン、セルロイドのフィルムは、めくれ上がったりヒビがはいるなど不都合があったが、利点もあった。薄く、1枚ないし2枚の増感紙と併用して露光時間を短縮することができた。またガラス乾板のように割れることもない。ドイツではこの種のX線用フィルムが1896年頃、Schleussner Companyにより製造された。これは「両面」に二重乳剤が塗布されており、あわせて四重乳剤であった。この会社はX線乾板も製造しており、おそらく当時、X線撮影に適した濃度、コントラスト、スピードを持つ乳剤を製造できた唯一の会社であった。このフィルムを使うと最良のX線写真が得られたようであるが、高価格のためあまり普及しなかった。二重乳剤フィルムは、おそらく製造の困難さから、まもなく下火になった。

第一次世界大戦前、写真乾板のガラスはベルギーから調達されていた。戦争によりこのルートが断たれ、ガラスの供給は重大な問題となった。陸軍病院でのX線乾板の需要もほとんど満たすことが不可能となった。仮にガラス乾板が大量に確保できたとしても、その体積と脆弱性を考えると輸送は著しく困難であった。このことから、ガラス以外の乳剤基剤を供給することが必須となった。

X線撮影では、フィルム基剤に特別な条件が求められ

EASTMAN X-Ray Films

EASTMAN X-Ray Films mean—convenience in handling, developing, mailing and filing. They are flexible, light and unbreakable and in quality are *at least* the equal of the best X-Ray plates made.

The present extensive use of cut films for professional portraiture is proof that the film's advantage over glass plates is appreciated by the photographer—the advantages to the Roentgenologist are even more marked.

*For sale by all Supply Houses.
Illustrated booklet, "X-Ray Efficiency" by mail on request.*

**EASTMAN KODAK CO.,
ROCHESTER, N.Y.**

図9. 初期のKodak社(1914年4月), 単層乳剤X線フィルムの広告。



Eastman Dupli-Tized X-Ray Films
"They're Unbreakable"

THERE'S a satisfaction in obtaining perfectly rendered quality when conditions of rare pathological interest are involved. Film negatives not only have unusual diagnostic value, but form permanent records which are readily accessible and conveniently handled and filed.

Ask your dealer for Eastman Dupli-Tized X-Ray Film.

EASTMAN KODAK CO., ROCHESTER, N.Y.

図10. 初期のKodak社(1918年11月), 両面乳剤X線フィルム(Dupli-Tized X-ray Film)の広告。

る。広範囲の感度面が必要で、乳剤を塗布する基剤は、折れることなく乳剤を支持しなくてはならない。また完全に透明である必要がある。唯一可能なことは、一般写真フィルムに使われていた硝酸セルロースを利用することであった。1914年、従来のどのX線乾板よりも高感度の乳剤を使用した単層レントゲンフィルムが製造された。しかしこのフィルムもまだ理想的とは行かなかった。強くめくれ上がって、トレイで現像することが難しかったのである。

第一次世界大戦の時代、野戦病院のポータブルX線装置で使用するX線フィルムにはさらなる効率、スピードが求められた。これによって研究が加速され、両面乳剤フィルムが生まれ、二重増感紙が使えるようになった。

1916年、Patterson Screen Company の Carl V. S. Patterson によって両面乳剤フィルムに適した増感紙が開発された[13]。増感紙のたゆまない改良の功績は彼に帰されるべきものである。とりわけ、純粹で細かい粒状性をもつ蛍光物質、高輝度で均一な蛍光、最小限

の残光といった増感紙に求められる仕様を決定したのは彼の業績である。

当時のトレイによる現像法は、このような両面乳剤フィルムの採用の障害となった。少数の施設では垂直に立てた乾板を処理できる深いタンク式を採用し、1920年頃にフィルムハンガーが利用できるようになると、ただちにこれに移行することができた。新しいフィルムに適合したカセットなどその他のフィルム保持器材も市場に出るようになった。

フィルムの導入は決して易しいものではなかった。X線技術者はガラス乾板に非常に慣れ親しんでいたので、フィルムの利便性が浸透するには時間がかかった。1923年、さらに高速なX線フィルムが登場した。これにより露光時間の短縮、管電圧の低減が可能となった。しかしこのフィルムの基剤も以前と同様、硝酸セルロースであった。

フィルム基剤としての硝酸セルロースは、常に火災の危険をはらんでいることはメーカーもユーザーも認識していた。従って可燃性の低い他の材料が模索された。

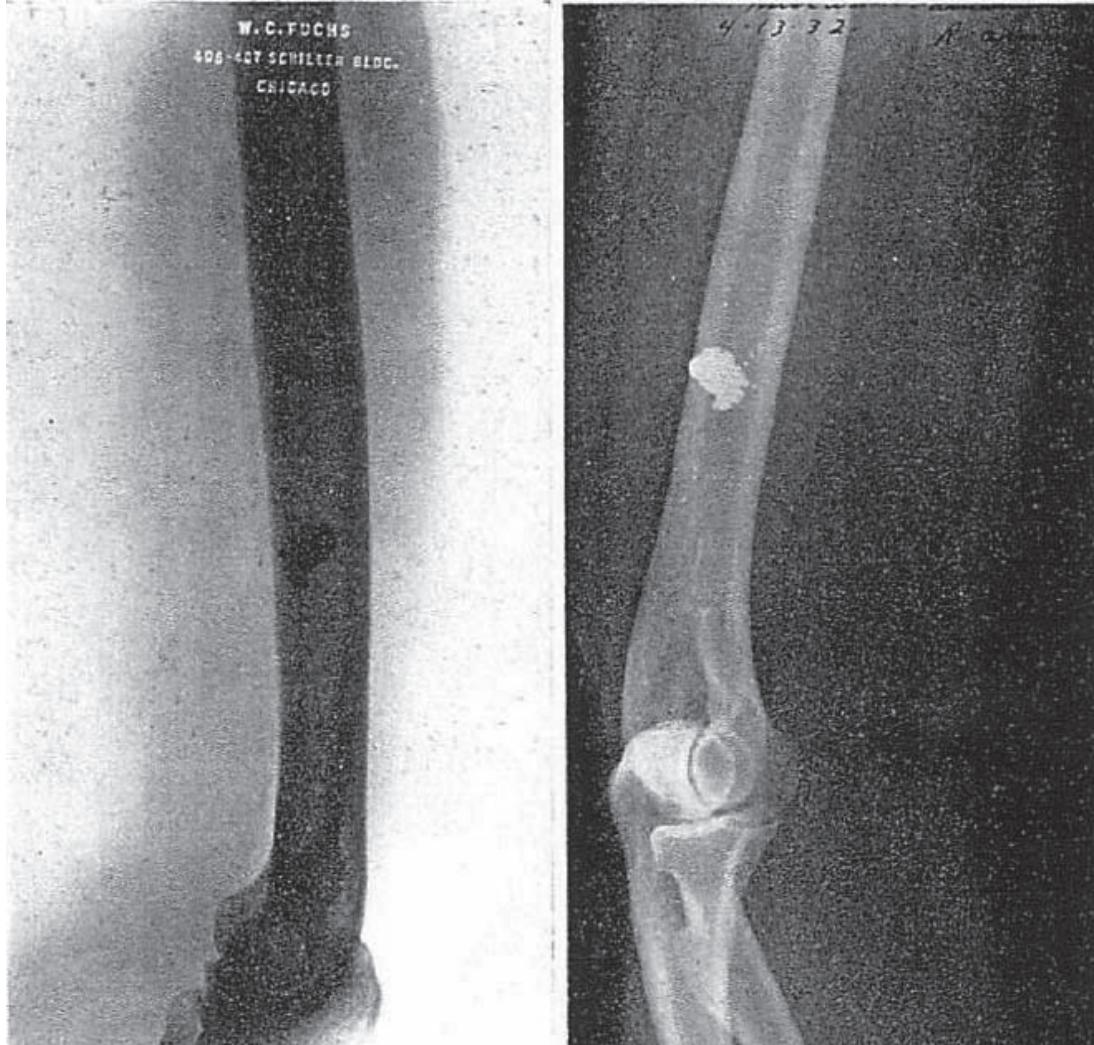


図 11. 初期のX線写真と35年後に撮影されたフォローアップ写真が得られた稀な歴史的症例。1897年にライフル銃で撃たれた少女は、シカゴの Wolfram C. Fuchs のX線スタジオでX線検査を受けた。検査後、ガラス乾板から金色調の焼き付け写真が作成され、その1枚は主治医に送られ、もう1枚患者に手渡されたものが左図である。原本の焼き付け写真の状態は現在も驚くほど良好である。1932年に患者は最新のX線フィルムで再検査を受けた(右図)。弾丸はもの位置にとどまっている(Miss Margarett Hoing, Chicago の御厚意による)。

1906年には、酢酸セルロースがその答えであることがわかったが、実際に利用可能な酢酸セルロース基剤のフィルムが使えるようになるには、長年の研究開発が必要であった。その基本的な発明、技術的改良には多くの人々が関わっているが、この点に関する George Eastman とその会社の貢献には絶大なものがある。問題点としては、脆弱性の減少、透明度の改善、強度の増加などがあった。

酢酸セルロースの製造における副産物の回収プロセスにも大きな進歩があり、これによって価格が低く抑えられた。第一次世界大戦は、写真以外の目的でも酢酸セルロースの生産を飛躍的に増加させた。大量の消費は、効率的な製造工程に関する知識を大きく前進させた。この研究結果から、1924年に安全な酢酸セルロース基剤の X 線フィルムが上市されるに至った。

1925年、高コントラストで、X 線にも増感紙の蛍光にも高感度なフィルムが発売された。1930年代前半には、感度その他の性能の更なる改良が行なわれた。またこの時期、Du Pont Film Manufacturing Company はブルーベースのフィルムを導入し(1933年)、Ansco は直接 X 線感光フィルム(ノンスクリーンフィルム)を上市した(1936年)。まもなく他のアメリカ、ヨーロッパのメーカーからも同様な製品を発売された。

さらなる患者被曝低減の要求に応えるべく、コントラストの改善、品質保持、かぶり濃度の低減とともに感度上昇の努力が続けられた。

歯科用 X 線乾板・X 線フィルム

歯科用 X 線乾板・フィルムの発達は、X 線写真黎明期以来の医科用乾板、フィルムのそれと密接に並行するものであった。歯科の要求を満たすには、特殊な乳剤、サイズ、実用的な包装が問題となる。

おそらく初の歯科 X 線写真は、レントゲンの X 線発見の報の 2 週後に、ドイツ、Braunschweig の Otto Walkhoff 博士が撮影したものである。この X 線写真は、Walkhoff 博士自身のはで、露光時間は 25 分であった。彼は通常の写真乾板を開小さく切って黒い紙に包み、歯科用ラバーダムで覆ったものであった。

イギリスの Frank Harrison は、英国歯科医師会誌 1896 年 9 月号に初めて歯科 X 線撮影の方法を記載し、New York の W. J. Moron 博士は、1896 年 4 月以前にアメリカで初めて、Eastman NC ロールフィルムを使って歯科 X 線撮影を行なった。

これら初期の X 線写真は原始的で診断的意義には乏しかったが、歯科医師に貴重な補助診断法の基礎が存在することを知らしめることになった。骨と歯の濃度差は小さいことから、コントラストが良好な X 線写真が必要とされる。初期の歯科 X 線写真は、写真乾板、フィ

ルム、プロマイド紙などを使用した。しかしルイジアナ州 New Orleans の C. Edmund Kells, Jr. 博士の指導によって、フィルムが好まれた。

1900 年頃、オハイオ州 Cleveland の Weston Price 博士は、セルロイド基剤の歯科用フィルムを開発した。セルロイドは厚いのでめくれ上がりにくいと言われていたが、口腔内に入れるには十分フレキシブルであった。歯の組織とその周囲の歯槽のコントラストを大きくするために、基剤には単層ではなく三層の乳剤が塗布されていた。この製品は、Seed Dry Plate Company から市販された。フィルムは大きなシートからサイズに応じて切り出すもので、黒い未加硫歯科用ゴムに包まれていた。

ガラス乾板は、歯の曲面が過度の歪みを強いない口腔前部については満足の行くものであったが、口腔後部では歪みが問題となつた。フィルムは、特にその薄さとフレキシビリティにおいて、口腔内に入れるには多くの利点があった。まもなくフィルムが広く使われるようになり、Kodak のロールフィルム、Seed の二重乳剤、三重乳剤フィルムが好まれた。

歯科用フィルムの特別パッケージへの需要は重要なものであった。さまざまなパッケージがあったが、最も成功したのは黒とオレンジあるいはルビー色の紙と、当時ラバーダムとして使われるようになった黒い歯科用のゴムシートであった。2 枚のフィルムを撮影して 1 枚を紛失したり紹介医に郵送しても良いように、ひとつのパッケージに 2 枚の歯科用フィルムを収める方法を初めて提唱したのはおそらく Kells 博士である。当時、1 回の撮影時間は 20 ~ 90 秒であった。

1913 年、赤い防湿の蝶紙を使って手作業で包装した

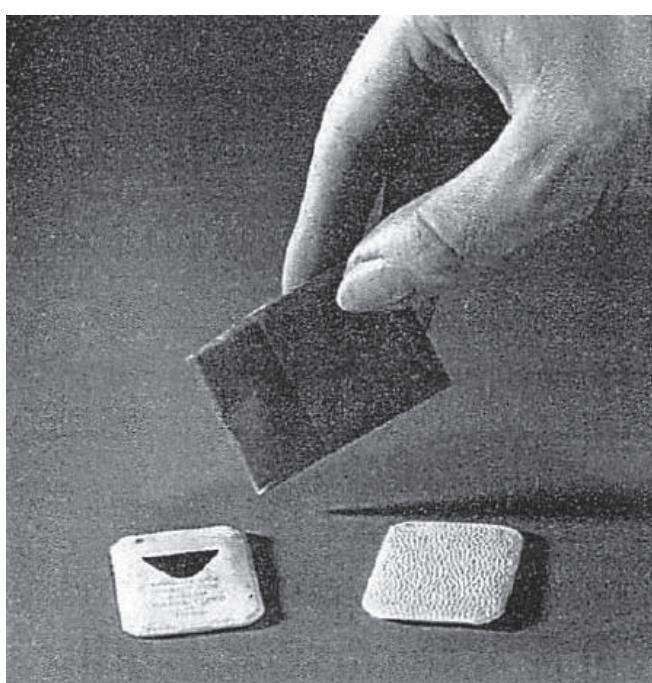


図 12. 手作業で包装された古い歯科用 X 線フィルム(上)。現代の外装(下)とは隔世の感がある。

ものが発売された。中には黒い紙に包んだ2枚の単層歯科用フィルムが収められていた。さまざまスピードの乳剤があった。しかしこれは1921年には単層フィルムを機械包装したものに取って代わられた。機械化された作業の方が衛生的で、患者の口に入れるには適していた。

1925年、細粒子性、高コントラストの両面乳剤("radia-tized")の製品が発売され、細かい構造の描出が大きく改善した。1926年には、Howard R. Raper博士による歯間カリエスを診断するための咬翼法フィルムパッケージが発売された。

当時の医科用フィルムと同様、歯科用フィルムも硝酸セルロース基剤であった。しかし1929年に酢酸セルロースの安全基剤の利用が開始された。この頃から、包装も黒から白に変化した。

1938年、「高速処理」歯科用フィルムが発表された。1941年には非常に高速なフィルムが発売され、1955年にはさらに改良された。この高速フィルムは患者の被曝量を低減し、特に全歯撮影には好適であった。他

の歯科用乳剤の速度も、この理由で高速化された。数年にわたってさまざまなパッケージが登場したが、最も効率的であったものは防湿紙の機械包装で、簡単に開封できるタイプのものであった。初期の粗雑な包装の乾板に比べ、こぎれいで衛生的な現在の歯科用パッケージには隔世の感がある。

X線感光紙

感光紙の最初の使用は、レントゲンもその論文で触れているように、レントゲンが実験していた時代に遡る。アメリカでは、1896年1月27日にYale大学Sloane物理学研究室のA.W.Wright教授が初めて使用した。

ガラス乾板よりも感度の高い材料を求めて、多くの研究者がブロマイド紙の実験を行なった。初のX線専用感光紙は、1896年12月の写真業界誌Kodak Newsで発表されている。宣伝文句には「EastmanのX線ブロマイド紙は放射線の乾板にとって替わります」とあり、この時期の新しい記録媒体への期待のほどがうかがわれる。この感光紙の乾板に対する優位性として次のような点で謳われている。壊れない、体型に合わせて曲

AN IMPORTANT RADIOGRAPHIC DISCOVERY.

EASTMAN'S ...X-RAY PAPER

ENTIRELY SUPERSEDES DRY PLATES WITH THEIR ATTENDANT DRAWBACKS.

Of Unparalleled Advantage in Surgical Diagnosis by means of the Röntgen Rays.

Being NON-BREAKABLE, the patient can lie down upon it without injury to himself or the paper.
When Distorted Limbs or Curved Parts of the Body are to be radiographed, the X-Ray Paper can be bent to form the perfect contact necessary to a sharp picture.
Positives are made direct on the paper; no after-printing necessary.
Unlike Glass Plates, there is no limit as to size.
No Reversal is needed to obtain a correct print. The first results are accurate, both as to right and left, and as to the lights and shadows of the picture.
Bones appear White, Muscles and Flesh form the Half-tones, and the Background is Black.
Eastman's X-Ray Paper is as rapid as the most rapid X-Ray plate on the market, while the latitude of exposure is greater.
One dozen or more prints can be made and finished at one exposure.
The whole process from the commencement of exposure to the attainment of perfect prints need not occupy more than five minutes.
A Dark Room is not essential prior to development, each sheet of Eastman's X-Ray Paper being packed in a special envelope.

Size.
8½ x 6½
10 x 8
12 x 10
15 x 12

Price.
4/3 per Packet of 1 doz. sheets.
7/3
10/6
18/6

Other sizes in proportion.

MANUFACTURED SOLELY BY THE

EASTMAN

Photographic Materials Co. Ltd.,
115-117 Oxford Street, London, W.

60 Cheapside, London, E.C.

PARIS: 4 Place Vendôme.

BERLIN: Eastman Kodak Gesellschaft, m.b. H., Markgrafen Strasse 91.

ROCHESTER, N.Y., U.S.A.

Eastman Kodak Co.

図13. Kodak社による初の特別なX線用乳剤の感光紙の広告(Kodak News, 1897年2月)。

げられるので密着度が高い、必要線量が少ない、ラティュードが広い、安価である、取扱いが容易である、ネガ不要で簡単に印画できる、サイズの制限がない、5



図 14. 医用 X 線フィルムには多くのサイズがあった。最も大きなもの (32 × 72 インチ) による 33 歳女性の全身 X 線写真。股関節に病変がある。撮影条件: 露光時間 1 秒, 75kVp, 150mA, 12 フィート, 高速増感紙と組織補正フィルター使用。

分以内に写真が得られる。感光紙は工場で 1 枚ずつ特別な袋に包装されており「装填」の手間がない、X 線に対して非常に透過性が高いので 1 回の撮影で複数の「焼き付け」ができる。

X 線感光紙が失敗に終わった基本的な理由は疑いなく、ガラス乾板やフィルムにくらべて解像度、コントラストが劣っていたことにあった。X 線写真を観察するための平均的な照度環境では、X 線フィルム上の輝度の範囲はおよそ最小 1 から最大 200 程度である。この範囲は照明を明るくすることで拡大できる。実際、特に濃度の高いところを観察するとき、細部が写ってはいるが単に観察するための照度が不足しているような状況では、小さな高輝度光源を使うこともある。こうすると、X 線写真で観察可能な輝度の範囲は 1:1,000 まで拡大することができる。X 線感光紙の場合、最大輝度範囲は照度にかかわらず 1:30 程度である。つまり、感光紙に描出できる濃度の範囲は、フィルムにくらべてはるかに狭い。

その他の応用

ポラロイド写真

市場にある最新の X 線用記録媒体の 1 つが、ポラロイド法 (Polaroid-Land process) の応用である [25,36]。これは、紙に印刷した乾燥ポジ X 線像が、撮影後約 1 分で見られるようになるというものである。この方法は、携帯性や高速性が重要な場合、例えば野戦病院、手術室などで応用が考えられる。

X 線間接撮影法 (Photoroentgenography)

X 線透視画面の写真撮影は、1897 年に J. M. Bleyer が胸部疾患の研究で初めて試みている [4]。以来多くの研究者が装置やカメラを開発してこれを成功させている。1938～39 年、ブラジルの M. de Abreu, A. de Paula は、35mm 写真フィルムを使い、この方法で大規模な X 胸部スクリーニングを実施した [9]。

1938 年頃、Holis E. Potter 博士は、4 × 5 インチの両面乳剤フィルムを使った間接撮影装置を開発した。1940 年、アメリカ陸軍はこの装置を全隊員の胸部検査に採用した。まもなくステレオ撮影装置が追加され、4 × 10 インチフィルムにステレオ像が記録できるようになった。画像解像度、特に多くの病変の辺縁部については二重乳剤フィルムでは必ずしも満足なものではなかった。1941 年、この問題を克服するために、4 × 5 インチ、4 × 10 インチの単層、青色感度のフィルムが作られた。静止グリッドと標準化撮影条件を使用してたいへん良い結果が得られた [10,14]。以来、さらに乳剤は進化して、35mm あるいは 70mm の緑～青色感度のロールフィルムを使用するさまざまな間接撮影システムに対応できるようになった。

オートラジオグラフィー

オートラジオグラフィーは、放射性元素の分布を、写真に撮影することにより同定、計測する方法である。この方法は長年にわたって、ラジウム、アクチニウム、トリウムなど鉱物の自然放射能の研究に用いられてきた。

この現象は、X線の発見後間もなく発見された。1896年、Henri BecquerelはX線が蛍光に影響を及ぼすと考え、多くの蛍光物質を調べて遮光した乾板への影響を調べていた。彼はウラン鉱石が、蛍光がない状態でも写真乾板を感光することを発見した。彼自身はそのように認識していなかったが、ウラン塩に内在する放射能が画像を作ったという意味で、これはオートラジオグラフィーであったといえる。この現象が放射能によるものであることを明らかにしたのは Marie Curie であった。

オートラジオグラフィーの生物学的利用を初めて報告したのは、1904年、E. S. London であった[5]。彼は、ラジウムエマネーションに曝露したカエルを写真乾板の上に置き、カエルの姿を写し出した。他でも同様な実験が行なわれた[5]。Kotzareffはラジウムを注射した動物の全臓器のオートラジオグラフィーを撮影し、Lacassagneはポロニウム、Lomholtは放射性鉛で実験している。

使用する放射性物質が少數の自然放射能に限られていれば、オートラジオグラフィーの応用範囲は限定されたものであり、特別なフィルムの需要もなかったであろう。しかし、サイクロトロンの登場、原子炉の開発によって、事実上すべての元素の放射性同位元素を豊富に手にできるようになった。このような同位体と写真乾板の利用によって、元素をさまざまな物質、化学反応で追跡できることになり、医学研究社、化学者、金属学者、生物学者は著しく強力なツールを手中にしたのである。Fast roentgen-ray film, Nuclear Track Plate, Stripping Film, 顕微鏡切片に載せる nuclear track emulsionなど、非常に多くの特殊フィルムが開発された[訳注: いずれも Kodak 社の商品名]。

シネ撮影 (Cinematography)

レントゲンのX線発見の数ヶ月後には、X線撮影による動きの研究が始まった。Glasgowの医師 John Macintyre は、カエルの脚の動きの観察に成功した。彼は、フィルムに記録する直接法、透視像を写真撮影する間接法を試みたが、間接法は透視スクリーンが暗いために不成功に終わった。この試みは動画というよりも連続X線写真であったが、以来動きの記録は実験家の関心を捉えてきた。

その後[18], Köhler (1907), Eykman (1909), Cole (1910), Levy-Dorn(1912), Groedel(1913)らが直接

法の改良に取り組んできたが、当時の機械的な制約から進歩は非常に困難かつ遅々たるものであった。初期には写真乾板が使用されたが、その後 Cole と Groedel はそれぞれ独立に、幅広い写真フィルムを利用する特殊な装置を開発した。

第一次世界大戦によって数年間の中斷を余儀なくされたが、1920年代になると研究が再開された。過去30年間は間接法が関心を集めており、一般にシネ透視法 (cinefluorography) と呼ばれている。装置、蛍光板、レンズ、フィルムの改良に伴い、世界中で研究が加速されている。

シネ透視法の初期には、映画用高速フィルムが利用された。その後は特別な蛍光板の開発により、蛍光色に最も感度の高いオルソクロマチックフィルムが使えるようになって、満足なコントラスト、粒状性が得られるようになった。

画像増倍システムの導入により、さまざまなシネフィルムを使って最適なものを選ぶ実験が始まった。この実験は現在も続いている、まもなく、他の目的に開発されたフィルムを利用できるようになるであろう。

結語

ここに記した医用X線撮影法における乾板とフィルムの進化の物語は、全体の小さな一部でしかない。関連するX線装置、管球、増感紙の開発、化学処理の研究がすべて、記録媒体の特性に大きく寄与している。このような進歩は、ひとえに多くの人々の努力の積み重ね、そしてX線学のめざましい発展のさらなる推進を目指す企業の研究の賜である。

【参考文献】

REFERENCES

1. ACKERMAN, C. W. George Eastman. Houghton, Mifflin Company, Boston, 1930.
2. BARNARD, M. W. The adaptability of paper roll film in roentgenography. *Quart. Bull. Millbank Mem. Fund.*, 1932, 10, No. 3.
3. BARNARD, M. W., AMBERSON, J. B., Jr., and LOEW, M. F. Technique of using paper films for roentgenograms of chest. *Am. Rev. Tuberc.*, 1932, 25, 752-766.
4. BLEYER, J. M. An original research on the fluoroscopic diagnosis of certain forms of lung, throat, and heart disease. *Med. J. N. C.*, 1897.
5. BOYD, G. A. Autoradiography. Academic Press, Inc., New York, 1955.
6. BRYAN, G. S. Edison—The Man and His Work. A. A. Knopf, New York, 1926.
7. CHRISTIE, A. C. Evaluation of methods for mass survey of chest. *AM. J. ROENTGENOL. & RAD. THERAPY*, 1942, 47, 76-82.

8. COLE, L. G. The bromide paper screen technique. *AM. QUART. ROENTGENOL.*, 1911, 3, 200.

9. DE ABREU, M. Collective fluorography. *Radiology*, 1939, 33, 363-371.

10. DE LORIMIER, A. A. Mass roentgenography of chest for United States Army. *Radiology*, 1942, 38, 462-472.

11. DYER, F. L., and MARTIN, T. C. Edison—His Life and Inventions. Harper & Brothers, New York, 1929.

12. FITZGERALD, P. J. SIMMEL, E., WEINSTEIN, J. and MARTIN, C. Radioautography: theory, technic, and applications. *Lab. Invest.*, 1953, 2, 181-222.

13. FUCHS, A. W. Radiographic Recording Media and Screens. In: *The Science of Radiology*, Otto Glasser, Editor. Charles C Thomas, Publisher, Springfield, Ill., 1933.

14. FUCHS, A. W. Military photo-entgen technique employing optimum kilovolt (peak) principles. *AM. J. ROENTGENOL. & RAD. THERAPY*, 1945, 53, 587-596.

15. FUCHS, A. W. Edison and roentgenology. *AM. J. ROENTGENOL. & RAD. THERAPY*, 1947, 57, 145-156.

16. GOODSPED, A. W. Radiography and its application. *Photographic Times*, 1896, 28, 305-316.

17. HOUSTON, E. J., and KENNELLY, A. E. The röntgen rays. *J. Franklin Inst.*, 1896, 141, 241-278.

18. JARRE, H. A. Roentgen Cinematography. In: *The Science of Radiology*, Otto Glasser, Editor. Charles C Thomas, Publisher, Springfield, Ill., 1933.

19. JONES, F. A. The Life Story of Thomas Alva Edison. Thomas Y. Crowell Company, New York, 1907-1908.

20. KASSABIAN, M. K. Röntgen Rays and Electro-therapeutics. J. B. Lippincott Company, Philadelphia, 1907.

21. KAYE, G. W. C. X-rays. Longmans, Green & Company, London, 1918.

22. KEEN, W. W. The use of the röntgen x-rays in surgery. *McClure's Mag.*, 1896.

23. KIRKPATRICK, S. D. Building an integrated industry in times of depression. *Chem. and Metal Eng.*, 1933, 40, 236.

24. KÖHLER, A. Ärztlicher Röntgenbetrieb um die Jahrhundertwende. *Strahlentherapie*, 1937, 60, 283-289.

25. LAND, E. H. New one-step photographic process. *J. Opt. Soc. Amer.*, 1947, 37, 61-77.

26. MARTIN, F. C., and FUCHS, A. W. Historical evolution of roentgen-ray plates and films. *AM. J. ROENTGENOL. & RAD. THERAPY*, 1931, 26, 540-548.

27. MATTHEWS, G. E. Technical highlights of the past fifty years. *Amer. Photo.*, 1951, 45, 93-100.

28. MEADOWCROFT, W. H. The ABC of the X-Rays. American Technical Book Company, New York, 1896.

29. MYERS, J. A. Progress in diagnosis of tuberculosis, with special reference to x-rays. *J.A.M.A.*, 1933, 100, 2004-2006.

30. NEWHALL, B. History of Photography. Simon and Schuster, New York, 1949.

31. Photographing the unseen—A symposium on the roentgen rays. *Century Mag.*, 1896, 52, 120.

32. POTTER, H. E., DOUGLAS, B. H., and BIRKELO, C. C. Miniature x-ray chest film. *Radiology*, 1940, 34, 283-291.

33. POTTS, C. S. Electricity. Lea & Febiger, Philadelphia, 1911.

34. PULLIN, V. E. and WILTSHERE, W. J. X-Rays Past and Present. Ernest Benn, Ltd., London, 1927.

35. PUPIN, M. From Immigrant to Inventor. Charles Scribner's Sons, New York, 1930.

36. ROBBINS, L. L. and LAND, E. H. Application of the Land method of film processing in roentgenology. *J.A.M.A.*, 1951, 147, 1217-1219.

37. RÖNTGEN, W. C. Eine neue Art von Strahlen. *Sitzungsberichte der Würzburger Phys.-Med. Ges.*, 1895 and 1896.

38. ROWLAND, S. Report on the application of the new photography to medicine and surgery. *Brit. M. J.*, Feb. 8, 1896, p. 361.

39. TOUSEY, S. Medical Electricity and Röntgen Rays. W. B. Saunders Company, Philadelphia, 1910.

40. TR. AM. ROENTGEN RAY SOCIETY, 1902, 1903, 1907.

41. WALSH, D. The Röntgen Rays in Medical Work. William Wood & Company, New York, 1898.

42. WEBB, J. H. The latent image. *Physics Today*, 1950, 3, 8-15.

43. WEBB, J. H. Theory of the photographic latent image formation. *J. Appl. Physics*, 1940, 11, 18-34.

44. WEIGEL, L. A. Practical points in use of x-ray. *Philadelphia M. J.*, 1900.

45. WILLIAMS, F. H. The Roentgen Rays in Medicine and Surgery. Second edition. The Macmillan Company, New York, 1903.

The majority of facts relating to the roentgen rays in the early years following their discovery was contained in news items that appeared in the following publications:

American Journal of Photography
Anthony's Photographic Bulletin
British Journal of Photography
British Medical Journal
Chicago Medical Record
Electrical Engineer
Journal of the American Medical Association
Journal of the Franklin Institute
Kodak News, The
McClure's Magazine
Photogram, The
Photographic Journal, The
Photographic Times