

連 載

X線CTの先駆、「X線廻転撮影法」について

佐久間 貞行

今日隆盛を極め、病理解剖の必要性を半減させたといわれる画像診断発展の起爆剤となったのが、X線CTであることに異論はないであろう。この4月2日は高橋信次先生の15回忌であった。CTが出現した1973年の25年まえの1948年に、その先駆といえるX線廻転撮影法がこの高橋信次教授によって考案されていた。そして手作りの装置で実験が行われて、生体の横断面のX線画像が得られていた。この廻転撮影法は、後にX線CTの先駆としてTakahashi-Tomographyと呼ばれるに至った。この廻転撮影法の研究は、日本医師会医学賞や恩賜賞、日本学士院賞の対象となった「X線による生体の病理解剖学的研究」というテーマ、即ち病理解剖で断面をみることに相当する廻転撮影法(横断撮影法を含む)、顕微鏡による観察に相当する拡大撮影法、染色に相当する多色撮影法、鋳型作成に相当する原体撮影法、廻転撮影の治療への応用である原体照射法と線巢撮影法、の中の一つである。今回はこのX線廻転撮影法の研究の経緯と、その意義について考察する。

X線廻転撮影法研究の年譜

- 1945年 X線廻転撮影法の研究が始まる
- 1946年 「流動廻転撮影法」(Continuous Rotatography)を発表
X線廻転撮影法を日本医学放射線学会にて報告
- 1947年 「断続廻転撮影法」(Discontinuous Rotatography)
- 1948年 「廻転キモグラフィ」(Rotation Kymography)
「連続横断撮影法(原法)」(Continuous Cross Section
Radiography-Original Method)
- 1949年 「直接横断撮影法(原法)」(Direct Cross Section Radiography-Original
Method)
「廻転横断撮影法」(Rotatory Cross Section Radiography)
- 1950年 「X線廻転撮影法の研究」東奥日報文化賞受賞

- 「原体撮影法」(Solidography)
- 1951年 「X線廻転撮影法の研究」を日本医学放射線学会で宿題報告
万能X線廻転断層撮影装置(Universal Tomograph)完成(図1)
- 1953年 「断続横断撮影法(間接法)」(Discontinuous Cross Section
Radiography-Indirect Method)
「直接横断撮影法(改良法)」(Direct Cross Section
Radiography-Improved Method)
- 1954年 「断層撮影と廻転横断撮影」(医学書院)出版
- 1957年 「ROTATION RADIOGRAPHY」(日本学術振興会)出版
「X線廻転撮影法の研究」中日文化賞受賞
- 1961年 {W.H.Oldendorf: 透過X線の光子数測定による分解能向上を提示}
- 1963年 {A.M.Cormack: X線CTの理論を数学的に考察}
- 1965年 「Conformation Radiotherapy - Rotation Technique as applied to
Radiography and Radiotherapy of Cancer -」
(Acta Radiologica, Stockholm)出版
- 1966年 臥位式横断撮影装置(360度廻転)(Axial Transverse Tomograph of
Horizontal Type)完成(図2)
- 1969年 「An Atlas of Axial Transverse Tomography and Its Clinical
Application」(Springer-Verlag, Heidelberg)出版
- 1972年 「生体のX線による解剖」日本医師会医学賞受賞
- 1973年 {G.N.Hounsfield: X線CT装置の発表}
- 1979年 「図解コンピュータ断層法」(秀潤社)出版
- 1983年 「Illustrated Computer Tomography」(Springer-Verlag)出版

X線廻転撮影法の意義

1945年から高橋教授は、X線管が体軸を中心に身体の周りを廻転して撮影する廻転撮影法を方法論的にあらゆる視点から新しい発想で展開した。その理論と実験、臨床応用を行って人体の横断面の画像を得た。同じ頃、イタリアのA.Vallebona教授(1948)とドイツのA.Gebauer教授(1949)が、見たい断面の前後の像を暈かして断面像を得る断層撮影法の延長線上の考え方で人体の横断面画像を得ていた。この方法は高橋教授の廻転横断撮影法に相当するものである。これらの撮影法は何れも身体の各部分のX線吸収度に従って減弱した透過X線をフィルム濃度の差としたアナログ画像を得る方法である。この方法では軟部

組織間の僅かな吸収差を、視認できる対比度の差とすることは難しい。1961年に W.H.Oldendorf はX線吸収差をフィルムの濃度として観察するよりも、透過X線の光子の数の差として記録した方がX線吸収差を細かく観察できることを実験をもって示した。1973年の G.N.Hounsfield のX線CTの原理は、体軸の周りを廻転するX線管から発するX線を薄層に絞り、透過したX線を光子量として順次記録してこれを逆投影、コンピュータで計算して横断面各部位の吸収値を求め、これをもとに横断面のデジタル画像を得る方法である。これに対して、X線を薄層に絞って人体を透過したX線をフィルム上に濃度として記録、これを元に光源を用いてX線束の拡がりによる歪みを修正しながら（これはCTの再構成における **back projection** の手法に相当する）逆投影して、フィルム上に横断面をアナログ画像として再構成したのが 1953年の高橋教授の第7法の断続横断撮影法（間接法）である。従ってX線源と人体の相対的關係は、CTも断続横断撮影法も同じである。これが **Takahashi-Tomography** と呼ばれる所以である。異なるのは受像系で、フィルム・増感紙系のアナログ画像では、ダイナミックレンジが狭く、入射方向を順次変えて投影していくと飽和してしまっていて、よい画像が得られない。そこで蛍光増倍管を受像系に用い、走査線の値から横断面の合成を試みた。デジタルコンバータを用いたかったが当時入手できず、アナログコンバータを用いたのでダイナミックレンジを十分に確保できなかった。それに対してCTはX線検出器を用いた計測値を、コンピュータによって計算したデジタル画像である。従ってダイナミックレンジが広く、組織間のわずかなX線吸収差を表現できる。因みに 1963年 A.M.Cormack はすでにCTの理論的考察を数学的に解析して、簡単な実験も行ったがコンピュータなど周辺の機器が十分ではなかったので実用には至らなかった。現在のX線CTはハード、ソフトとも改良、改善が進み、納得のいく画像が得られている。

廻転撮影法の概略

I. 断続廻転撮影法

X線管、撮影台、X線フィルムの順に直線上に配置する。X線管の被写体側とフィルムの被写体側に求める横断面に合わせて水平かつ平行に鉛のスリットを置く。撮影台の周囲を一定の角度でX線管を廻転させながら断続的に狙撃撮影する。それに合わせてスリットの裏のフィルムを廻転軸に垂直にフィルムが移動する。フィルム上には階段状にX線画像が得られる。この画像をもとに線源とフィルムの距離に合わせて逆投影によって横断面を作図する。この横断面

の表示は、仰臥位の患者の横断面を足方から見るように定めた。すなわち一般撮影のフィルムは患者と対面した位置で観察するが、このときと同様に患者の右はフィルム上では向かって左にある。後年 CT 画像の表示をどうするか国際的に話題になった。頭部については脳手術時の術者の立つ位置である頭側から見た表示が一般的であるが、体部については高橋の表示法が採用されている。

II. 流動廻転撮影法

断続廻転撮影の狙撃撮影の代わりに X 線を連続照射し、被写体の廻転も X 線フィルムも連続的に移動する。フィルム上には階段状ではなく流動的な X 線像が得られる。

III. 間接横断撮影法

流動廻転撮影法で得られたフィルムをもちいて、光によって間接的に横断像を得る方法である。すなわち光源、流動廻転撮影フィルム、乾板用廻転台の順に配置し、流動廻転撮影フィルムの光源側に斜入射される光に合わせてスリットを置く。その延長線上に廻転台の廻転軸を垂直に置き、廻転台の上に横断画像用の乾板を水平に置いて、流動廻転フィルムのスリット上の移動とともに同期的に廻転させて間接的に横断画像を作成する。

IV. 直接横断撮影法

X 線管、被写体用廻転台、フィルム用廻転台の順に配置する。被写体の廻転台と同期的に廻転する X 線フィルム用の廻転台を、被写体用廻転台の廻転軸と直交するように配置する。X 線を求める横断面に対してスリットを通して水平に入射する。横断面に対して X 線フィルムの廻転軸は一直線上にあり、フィルムは直交して廻転する。被写体、フィルムを同期的に廻転しながら照射すれば横断面の X 線画像が直接的に得られる。

V. 廻転横断撮影法

被写体の廻転台と同期的に廻転する X 線フィルム用の廻転台を、被写体用廻転台の廻転軸と平行に配置する。X 線を求める横断面に対して斜めにスリットを通して入射する。X 線軸の延長線上にフィルム用廻転台の廻転軸があるように配置し、X 線フィルムは横断面に平行に置く。被写体、フィルムを同期的に廻転しながら照射すれば横断面の断層像が得られる。A.Vallebona および A.Gebauer と同じ方法である。

VI. 原体撮影法

廻転横断撮影のX線フィルムを多層にして、入射するX線のスリットの開口部を広げると、多層の横断断層像が得られる。この断層像の輪郭をトレースして切り抜いた厚紙や石膏板を積み重ねると、求める臓器の原体像が得られる。今流行りのCTの三次元画像に匹敵するものである。

VII. 断続横断撮影法（間接法）

間接横断撮影法の改良法である。先ず流動廻転撮影を行う。これを元に間接的に横断像を求めるが、平行に配置された流動廻転撮影フィルムおよび横断画像用乾板に対して斜めではなく垂直に光を断続的に入射する。流動廻転撮影像はX線線錐の拡散に対応して歪んでいる。この歪を修正するように線錐に合わせるように乾板は斜めに距離を変えて平行移動する。流動廻転撮影フィルムの移動に合わせて廻転し、露出をしながら繰り返すと横断画像が得られる。以上7つの廻転撮影法が「ROTATION RADIOGRAPHY」としてまとめられている。

VIII. 廻転横断撮影法（改良法）

A. 万能X線廻転断層撮影装置（図1）

当初の流動廻転撮影法はX線管が撮影台の周りを廻転するように作られていた。その後の撮影法は機械の精度などからX線管は固定しており、被写体とフィルムが廻転したり移動した。これに対して再び患者は撮影台上に臥位をとり、X線管と体軸にたいして垂直におかれた横断撮影用フィルムがその周囲を廻転したり移動するようにした装置が試作された。このX線管と横断撮影用フィルムの支持枠を利用して、X線管とフィルムが体軸に平行に移動して、体軸方向のいろいろな断層撮影もできるようにしている。万能X線廻転断層撮影装置の名称の所以である。しかしよい画像を得るには線源やフィルムの廻転や移動にむらがあってはできない。きわめて高い精度が装置に要求される。また横断面の輪郭を得るには180度以上廻転すればよいとのことでX線管の廻転角度は190度としてあった。いろいろと工夫がなされたが、この二点でこの装置には無理があった。

B. 臥位式横断撮影装置（360度廻転）（図2）

横断撮影に限定して廻転の精度と廻転による線源の位置の歪みを減らし、かつ線源が360度廻転する臥位式横断撮影装置が試作された。そしてこれに線源の

絞り装置、フィルムの絞り装置、斜入射による線量の不均一を補正する補正板などがいろいろ工夫されて追加された。その結果、横断断層像としてはよい画像が得られるようになった。これを元に上梓されたのが「An Atlas of Axial Transverse Tomography and its Clinical Application」である。それまで屍体を基に作られた横断面の解剖図譜は存在したが、生体の横断写真を基に作られた横断図譜は無く、これが世界で初めての出版である。しかしフィルム・増感紙系の感度と特性ではダイナミックレンジに限界がある。これが光子の数としてデジタル化されると、広いダイナミックレンジすなわち広いウィンド幅や自由度の高いウィンドレベルがとれるようになる。これが今日のCTの基である。

(名古屋大学名誉教授)

文献

- (1) 高橋信次: X線廻転撮影法の研究, 青森県学術振興研究発表 第1輯 1948.
- (2) Vallebona,A: I nuovi orizzonti della Stratigrafia nei vari campi della medicina, Estratto da L'informatore medico, sez. Clin.Scient.2:4, 1948.
- (3) Gebauer,A: Koerpershunittaufnahmen in transversalen Ebenen, Fortshr.Roentgenstr.71:5, 1949.
- (4) Takahashi,S: ROTATION RADIOGRAPHY, Japan Society for the Promotion of Science 1957.
- (5) Oldendorf,W.H: Isolated flying spot detection of structural pattern of a complex object, J.R.E. Transactions on Biomedical Electronics 8:68-72, 1961.
- (6) Cormack.A.M: Representation of a function by its line integrals, with some radiological applications. J. appl. Physics 34:2722-2729, 1963.
- (7) Takahashi,S: Conformation radiotherapy. Rotation technique as applied to radiography and radiotherapy of cancer. Stockholm: Acta radiologica.Suppl.242,1965.
- (8) Takahashi,S: An Atlas of Axial Trnsverse Tomography and its Clinical Application, Springer-Verlag 1969.
- (9) Hounsfield,G.N: Computerized transverse axial scanning(tomography). Part 1. Description of system, Brit. J. Radiol. 46:1016-1022, 1973.
- (10) 燦一高橋信次教授退官記念, 名古屋大学医学部放射線医学教室同窓会

- 1974.
- (11) 高橋信次編: 図解コンピュータ断層法—基礎原理から診断図譜まで—
秀潤社 1979.
- (12) Takahashi, S ed.: Illustratrd Computer Tomography. A Practical Guide
to interpreations, Springer-Verlag 1983.
- (13) 高橋正樹編: 回生—他叙伝の中の高橋信次— 高橋信次記念奨学基金
1986.

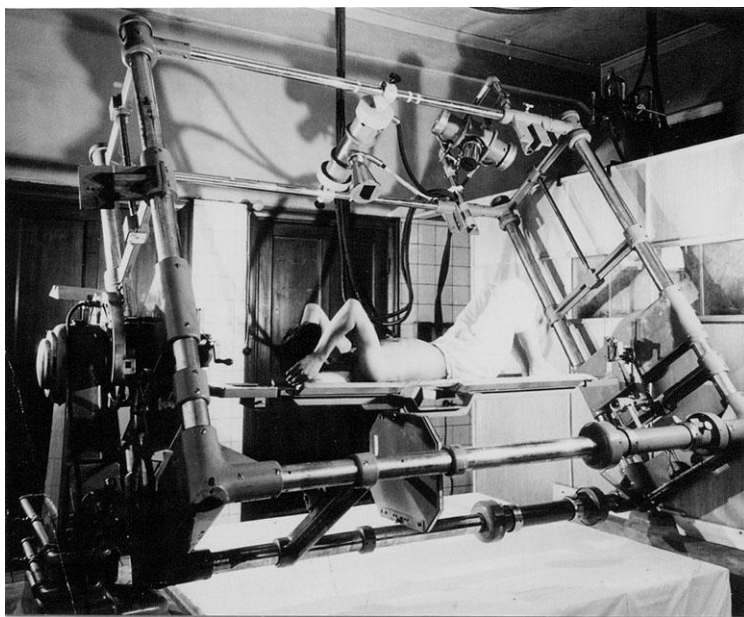


図1. 万能X線廻転断層撮影装置(1951)

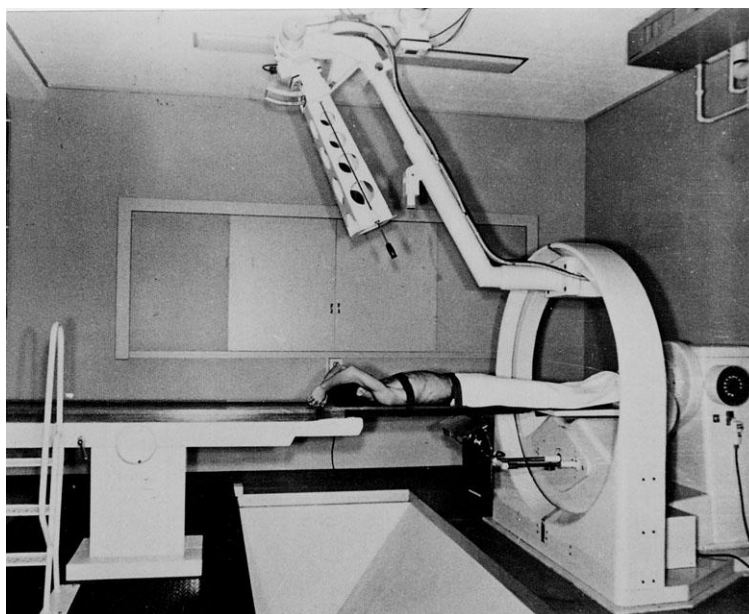


図2. 臥位式横断撮影装置 (360度廻転) (1966)

