総説

断層映像の放射線治療に果たす役割
—回転横断撮影と原体照射から画像誘導放射線治療(IGRT)へ—

田中　良明

日本大学総合科学研究所

The Role of Tomography in Radiation Therapy:
Overview from Axial Transverse Tomography and Conformation Radiotherapy through Image-guided Radiotherapy(IGRT)

Yoshiaki TANAKA

Institute of General Science, Nihon University

Abstract

Axial transverse tomography has been developed to obtain internal organs and lesions with abnormally pathological findings to be visualized on various techniques of rotation tomograms by Prof. S. Takahashi. On its pathway, conformation radiotherapy has been introduced and applied to clinical use for emerging high radiation dose to the target volume and sparing excess dose to critical organs. Many recent advances in the computed technology of radiotherapy have greatly increased the amount of image data that must be obtained with three or four dimensional viewing. With the increasing use of multimodality imaging for target definition in treatment planning and image guidance in treatment delivery, the importance of image registration emerges as key to improving the radiotherapy planning and delivery process on each step. Image registration at treatment delivery can improve the accuracy of therapy by taking greater advantage of images available prior to treatment. This article presents the historical reviewing of clinical application of axial transverse tomography and computed tomography onto conformation radiotherapy, and makes discussion on precision radiotherapy such as intensity modulated radiotherapy using image-guided procedures. Concept of biological gross tumor volume (GTV) will be used more practically on radiotherapy treatment planning instead of anatomical GTV and clinical effects of radiotherapy might be evaluated using functional imaging such as FDG-PET with fusion technique of imaging of actually delivered dose onto human body.

Key words　回転横断撮影、原体照射、線巣横断撮影、コンピュータ断層撮影(CT)、FDG-PET、放射線治療計画、画像誘導放射線治療、Axial transverse tomography, Conformation radiotherapy, Beam focus radiography, Computed tomography (CT), FDG-PET, Radiotherapy treatment planning, Image-guided radiotherapy (IGRT)

別刷請求先：〒173-8610 東京都板橋区大谷口上町30-1
日本大学総合科学研究所　田中良明
TEL: 03-3972-8111（内線2553）FAX: 03-3958-2454

はじめに

断層映像は人体内部の病巣を断層画像としてとらえ、腫瘍や炎症などの存在診断ならびに質的診断を明らかにする。いっぽう放射線治療は、腫瘍病巣に対して放射線を照射して癌細胞の死滅もしくは増殖を抑え、これにより腫瘍制御を図る。放射線治療には外部照射以外に、密封小線源を刺入ないし挿入して治療する方法や、非密封の放射性医薬品を投与して治療する内用療法がある。いずれにしてもこれらの治療の際に重要なのは、腫瘍病巣の悪性度の程度と広がりの度合いを正しく診断し、その部位に的確に照射し、正常組織にはできるだけ照射を避けることである。

画像診断の臨床への応用は、X線単純撮影に始まり、その後、造影剤を用いたX線透視・撮影診断へとその適用が広がっていった。対象となる臓器、部位も、X線像として視認しやすい骨や胸部（肺）の診断から、中枢神経系、頭頸部、心臓・大血管、上部および下部消化管、肝胆膵、泌尿・生殖器などの領域へと対象が広がり、その範囲はほぼ全身をカバーするようになった。しかしながら単純撮影や造影検査で得られた像は、X線の発生源から二次元の平面に投影された像をとらえたものであり、投影された方向からみると重複像としての観察の域を超えていない。この点を解決すべく断層撮影（tomography）が考案され、さらに管球移動方式にさまざまな工夫を凝らした多軌道断層撮影などの方法も用いられたが、撮影台に平行な面での断層面の撮像では観察像としては不十分であった。これを解決すべく、撮影台とは直角をなす面での横断像を観察する方法として回転横断撮影が考案され、その後、コンピュータ技術の応用によってコンピュータ断層撮影（CT）へと発展し、画像診断の主役の一端を担うようになった。

回転横断撮影の発展の足跡

さて、その歴史的な回転横断撮影であるが、本法の考案者である高橋信次は、戦後間もない頃、人体の立体構造を観察する方法について「青森県学術振興研究発表報告書」の中で以下のように述べている[1]。彼の発想の根幹を成す理念が伺えるので、ここでその一部を引用したい。「―（前略）。然し余等の如き放射線医学専門家から見ると現在のレントゲン診断学は更に更に改良すべき余地があると思われる。即ちその一つは現在のX線写真では立体である原物体が平面であるフィルムに撮影されるため、もとの立体的構成が殆ど窺えないという欠点がある。―（中略）余等の欲するのは物体の縦横の関係は勿論、ある特定の方向、特定の深さの層をレントゲン学的に正確且つ具体的に知る事である。余は此はレントゲン線を系統的に駆使すれば不可能でない事を確信し昨年来此の方面の研究を続けている。―（以下略）」

ここで、高橋らが1945年以降に行ってきた回転横断撮影の開発の経緯について概略的に述べると、人体の周囲にX線管を回転させながら撮影する方法、すなわち回転撮影法（Rotation Radiography）から始まり、合計で7種類の方法について発表した(**Fig.1**)。この中で、X線回転撮影法（Rotation Sighting Radiography）の原理から、まず、(1) 断続回転撮影法（Discontinuous Rotatography）と、(2) 流動回転

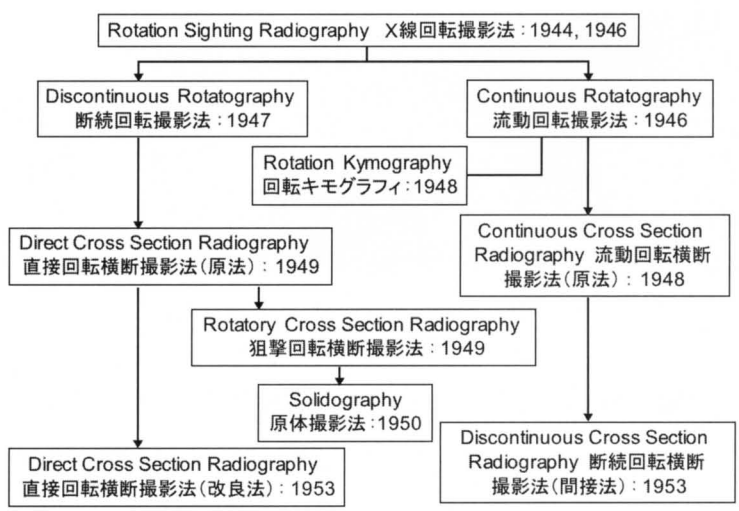


Fig.1
X線回転撮影法の種類と発展、改良の経過
（Takahashi S：Rotation Radiography. Japan Society for the Promotion of Science[2] より）

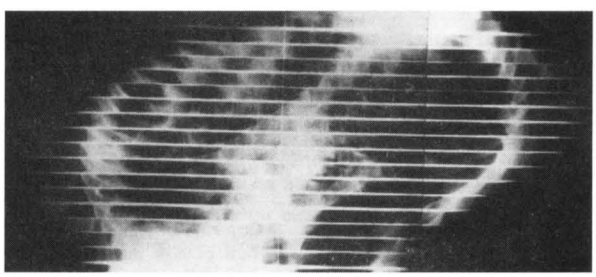
撮影法（Continuous Rotatography）の2つの方法に発展した。前者は、鉛細隙を1～2cmにして被写体を回転しつつ10度もしくは20度おきに一寸静止せしめてX線撮影を行う方法であり、後者は、鉛細隙をより細く（1mm程度）して被写体を回転しながら略190度の間、X線を間断なく照射する方法である。(1) の方法の概念図からみても、その原理は現在のCTで行なわれている逆投影法そのものである（**Fig.2**）。その後これらから以下の5つの撮影法が派生した[2]。それらは、(3) 直接回転横断撮影法（Direct Cross Section Radiography）(1949 原法)、(4) 流動回転横断撮影法（Continuous Cross Section Radiography）(1948 原法)、(5) 狙撃回転横断撮影法（Rotatory Cross Section Radiography）(1949)、(6) 直接回転横断撮影法（Direct Cross Section Radiography）改良法 (1953)、(7) 断続回転横断撮影法（Discontinuous Cross Section Radiography）(1953 間接法) である[2]。これらのうち、(5) の方法はその後、原体撮影法（Solidography）となり、いっぽう (6) の改良型の撮影法は臨床応用機種として製品化され、高橋トモグラフィの装置として広く一般に使用されるようになった。ちなみに、1969年にドイツのSpringer-Verlag社から出版された著書「An Atlas of Axial Transverse Tomography and its Clinical Application」は世界数カ国で翻訳出版されたが、コンピュータ断層撮影（CT）の時代の幕開けとなった際に、Takahashi TomographyとしてCT解剖図譜の原典ともなった[3]。

回転横断撮影の放射線治療への応用

回転横断撮影の優れている点は、臥位式で撮影されること、身体の頭頂部から体幹部まで幅広い範囲が撮影でき、その横断写真は装置の幾何学的関係から実寸の1.25倍であるが歪みがなく、拡大率を補正すれば治療計画に応用できることである[4]。いっぽう欠点としては、フィルム増感紙系で撮影されていることから、当然のことながら人体の組織分解能において限界があり、せいぜい骨、軟部組織（筋肉と脂肪）、空気との間でコントラストが得られる程度であった。

しかしながら、外部照射において多方向から照射する多門照射や回転照射（運動照射）の際の線量分布計算に、この横断写真が即応用可能であり、病巣周辺の線量や重要臓器の線量などを計算で求め、治療法の最適化に利用することができた[4]。この方法は、その後コンピュータによる放射線治療計画システムの導入と臨床応用において、基本的に取り入れられた。

いっぽう上述の (5) の方法は、回転横断写真を対軸方向に積み重ねて三次元的に元の像を復元するという方法であるが、この原理を放射線治療に応用して、1960年に新しい運動照射法として報告し、これを「原体照射法」と名付けた[5]。その英訳は、当初は撮影法の“solidography”にちなんで“solidotherapy”とする案もあったが、最終的には現在の“conformation radiotherapy”となった[6,7]。この基本的概念は、回転照射の際に、病巣の形状に沿うように放射線のビームを照射し、周囲の



(a) | (b)

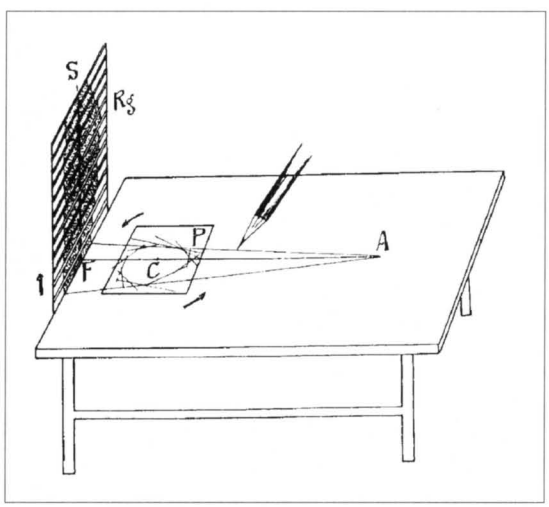
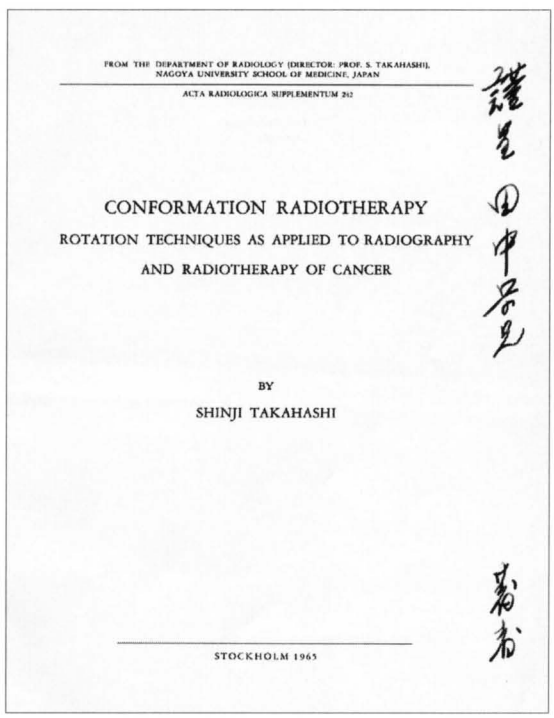


Fig.2
胸部の断続回転写真 (a) と、それを元にして横断像を復元する手法のシェーマ図 (b)
（Takahashi S：Rotation Radiography. Japan Society for the Promotion of Science[2] より）

正常組織への照射をできる限り避けようとする考え方であり、具体的には、線束方向からみて病巣形状に合わせるように照射口の形状を調整しながら照射する方法である[6,7]。

原体照射の発展

さて原体照射で用いられている概念は、現行の放射線治療技術においても“beam's eye view”として取り入れられており[8]、高橋の優れた着眼点には敬服させられる。さらに、照射口に付設されている多分割絞り（MLC：multi-leaf collimator）からなる原体照射絞りも、その制御機構がアナログ時代のカム方式からコンピュータによるデジタル制御方式に変わったが、基本的な構造は変わっていない[7,9]。いずれにしても、本法は当初^{60}Co遠隔照射装置による治療法として提唱され[5]、その内容は1965年のActa Radiologica, Supplementにまとめられた[6]。この原著「Conformation Radiotherapy-Rotation techniques as applied to radiography and radiotherapy of cancer」は、その後のconformal RTの原典として今でも世界中で数多く引用されている（**Fig.3**）。


FROM THE DEPARTMENT OF RADIOLOGY (DIRECTOR: PROF. S. TAKAHASHI), NAGOYA UNIVERSITY SCHOOL OF MEDICINE, JAPAN

ACTA RADIOLOGICA SUPPLEMENTUM 252

CONFORMATION RADIOTHERAPY

ROTATION TECHNIQUES AS APPLIED TO RADIOGRAPHY AND RADIOTHERAPY OF CANCER

BY

SHINJI TAKAHASHI

謹呈 田中良明 著者

STOCKHOLM 1965

Fig.3
恩師、高橋教授から頂いた署名入りのActa Radiologica, Supplement[6]の表紙

いっぽう、高線量域を得る方法は、治療台を線源ガントリーの回転軸に対して非直交的（non-coplanar）に設置することによって、よりいっそう線量の集中性を高めることができるが、この技術を発展させたのが三次元原体照射法（3-D conformal RT）である。これが登場したのは、定位的放射線照射の治療技術が開発され、臨床に導入されてきたのと時期的にみてちょうど重なっている[9]。その後本法は、標的となる病巣の照射中の位置移動を考慮して、すなわち時間的因子を取り入れて照射する方法に発展し、四次元原体照射法の名称の下に、呼吸性同期照射や動体追跡照射など新しい技術として臨床応用されるようになった[10,11]。

またMLCも、最近ではリーフ幅がアイソセンターで3mmと薄くなり、micro-MLCとも呼ばれているが、コンピュータによって照射中もダイナミックに制御されるようになるなど、より精度の高い照射野設定が可能になってきた[12]。そしてこれらの技術の延長線上に、強度変調放射線治療（intensity modulated radiotherapy：IMRT）がある。本法は、多方向から線束を照射する際に、その線束内の照射線量を変えることによって、高線量域の形状を凹型にしたり、高線量の分布を治療病巣に合わせて不規則にしたりすることができるなど、より高精度の放射線治療ができる方法として考案された[13,14]。臨床応用では、頭頸部腫瘍で耳下腺を防護したり、前立腺癌で直腸線量を減らしたりする際に用いられており、有害事象の発生軽減に効果を発揮している。本法は、コンピュータによる逆解計算法を用いた治療計画（インバースプラン）の開発によるところが大きいが、いずれにしても病巣部に一致した照射野を得る技術は、幾何学的な精度という意味において、近年大幅に向上してきたといってよいであろう。

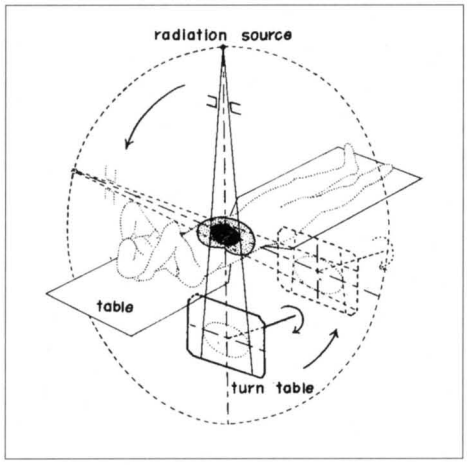
放射線治療における照準確認法

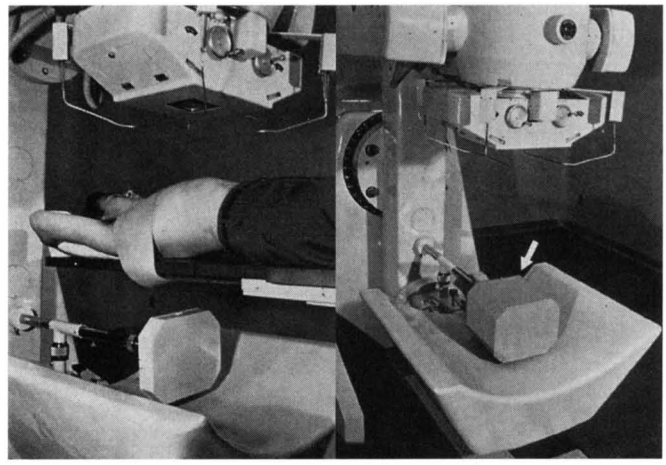
しかしながら、実際に原体照射を行う際に問題となるのは、照準した部位が正しく病巣、すなわち肉眼的腫瘍体積（gross tumor volume：GTV）に当たっているかということである。これを確認する方法として、古くは先の高橋らは、回転照射装置に回転横断撮影が可能となるフィルムカセッテを取り付けて、実際の臨床に供するようにした[15]。さらに^{60}Co遠隔照射治療装置において、治療寝台の裏側に同様の器具を取り付け、治療の実ビームで

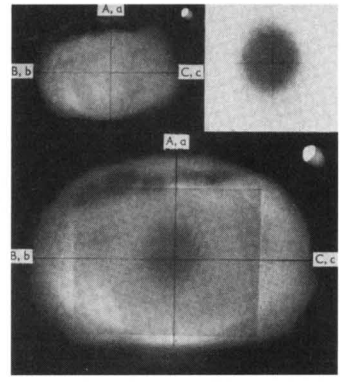
横断像を得る方法、すなわち線巣横断撮影（beam focus radiography）を考案し、臨床にも応用した（**Fig.4**）[6,16]。その後この方法は、高エネルギーX線治療装置において、中川らにより、タングステン酸カドミウムシンチレータ素子からなる検出器を用いて治療ビームでCTを得る方法に発展し、標的位置の確認を実際の照射中にリアルタイムで行なえるようにした[17]。

以上のような方法はあるが、実際の放射線治療において照射野を確認する方法としては、通常のリニアックグラフィやポータルイメージングの方法であり、後者は最近になって電子情報による照合システム（EPI：electronic portal imaging）として臨床に供されている[18～20]。いっぽうこれらの二次元平面像に対して、新たに治療体位での照準精度を確認する方法として、治療ビームと直交する方向にX線管球とフラットパネル検出器を搭載し、コーンビームCTが撮影できるシステムも登場してきた[21]。こういった流れは、最近の高精度な放射線治療の実施に当たり、治療ビームの照準を確かめる方法として、その重要性が再認識されてきているが、新たな概念として画像誘導放射線治療（image guided radiotherapy：IGRT）として脚光を浴びている。しかしながらその概念は、回転横断写真とCTを治療計画に用いられていた頃から提唱されていたことである[22,23]。

ここで改めて述べると、IGRTとは、放射線治療において画像診断情報を積極的に取り入れて治療計画を行い、これに線量分布の最適化計算や臓器別の線量体積ヒストグラム（dose volume histogram：DVH）による解析を行い、さらに照射時の位置決め、治療中の照射位置の確認など、画像情報を利用して一連の精度確認を行なう方法であると言える。これらの内容のそれぞれは、以前はアナログ的な方法で行なわれており、その応用には言わば職人的な技術に頼っていたのが、近年はコンピュータ技術の導入により医用画像がデジタル化され、三次元画像などの再構築画像も容易に得られるようになったことで、再現性、客観性のある放射線治療が可能になったと言えよう[24]。こうしてみると、断層映像の技術的進歩が、高精度な放射線治療の発展に大いに寄与していることがわかる。







(a) (b)
(c)

Fig.4

(a) 線巣横断撮影の原理図

放射線治療の回転照射において、線源が患者の回りを回転し、それに合わせて対側のフィルムカセッテ台（turn table）が同期的に回転し高線量域を撮像する。

(b) 線巣横断撮影の実況

左図は通常の線巣横断撮影用、右図は多層の線巣横断撮影（beam-focus solidography）用のフィルムカセッテ（矢印）。多層の方がカセッテ箱が厚い。

(c) 第5腰椎のレベルで撮影した線巣写真の臨床応用

左上図が回転横断写真、右上図が線巣横断写真、下図が両者を重ねた写真。重ね合わせには位置合わせ用の照準線を一致させる。（Takahashi S：Acta Radiol Suppl[6]より）

機能的画像診断の放射線治療に果たす役割

ところで、これまで述べてきた断層映像の放射線治療計画への有効活用は、そのほとんどは解剖学的にとらえられた病的所見に基づく標的体積、すなわちanatomical GTVに基づく治療計画であった。確かにこれらの解剖学的位置情報は、二次元画像から三次元画像になるにしたがって、より具体的な描出画像として視認できるようになり、これに高精度な放射線治療技術を駆使することにより、病巣部に対して高線量を的確に照射し、かつ周囲の正常組織には線量軽減を図ることが、以前よりも可能になってきた[24]。しかしながらより重要なのは、病変そのものの有する生物学的な機能ならびに活動状況の把握であり、例えば、腫瘍の悪性度、増殖速度や局所浸潤の程度、将来における再発や遠隔転移の発生予測、治療後の反応変化の評価（治療後の瘢痕か再発かの鑑別を含む）、放射線治療における放射線感受性の程度、放射線抵抗性である低酸素細胞組織の存在の有無など、広い意味での機能的情報に基づいて放射線治療計画を実施することであろう。これらの項目の内容を考慮して設定した標的体積が生物学的標的体積（biological GTV）であり、より悪性度の高い領域や低放射線感受性の部位に対して線量の上乗せを図るなど、腫瘍生物学的要素を加味した線量配分の設定など、新たな概念による治療計画が必要になろう[25]。実際、既にIMRTにおいて、そのような生物学的因子、機能的情報を加味した治療計画の必要性が提案されている[26～28]。

いっぽう核医学の分野では、これまでの通常の骨シンチグラムやガリウムシンチグラム以外に、近年^{18}F-FDG-PETで代表されるPET画像が積極的に治療計画に利用されるようになってきた[27～29]。また装置面では、PET-CTを導入する施設が増えており、治療計画に便利な状況が整ってきた[30]。さらに腫瘍イメージングとして、^{11}C-acetateなど新たな放射性医薬品を用いたPET診断の治療計画への応用が進んでいる[31]。また低酸素細胞を画像化する試みも[18F] fluoroazomycin-arabinoside（FAZA）を用いて行なわれている[32]。今後は、こういった分子イメージング領域の研究がさらに進むであろうし、臨床における有用性が認められれば、放射線治療計画への応用もさらに具体化の段階に入っていくであろう[33,34]。

今後の展望

画像情報がデジタル化されたことにより、断層像も二次元の平面像から三次元の立体像へと発展してきた。さらにこれらの画像情報が標準のDICOM規格で統一されていれば、相互の情報の伝達や癒合も行なうことができる。このことは、画像診断情報と放射線治療計画とその照準確認の過程が一体化の段階に入ってきたと言っても良いであろう。複数の異なる機種の画像情報データの保存や検索が容易となり、遠隔転送もリアルタイム的に可能となったことで、治療計画のグローバル化が一挙に進む可能性がある。

いっぽう放射線治療に用いる線質も、従来の高エネルギーX線以外に、新たに陽子線や炭素線で代表される重粒子線治療の実用段階に入ってきた。ブラッグピークの特長を生かして、さらに高LET放射線の特性を生かせば、より理想的な放射線治療ができるといってよい。いずれにしても、断層映像は間違いなく放射線治療に不可欠であり、特に精度の高い治療になればなるほど、画像情報の重要度は増してきており、診断と治療の一体化がますます進んでいくであろう。今後は、形態診断のみならず、分子イメージングなど、機能的画像を基にした診断がさらに進展し、これらを総合的に取り入れた放射線治療の時代が到来するに相違ない。この分野における今後の更なる発展を期待したい。

謝辞：
本論文をまとめるに当たり、多摩南部地域病院名誉顧問 松田忠義氏、浜松医科大学名誉教授 金子昌生氏から資料の提供を受けた。感謝の意を表す。

本論文の要旨は、第35回断層映像研究会（平成18年9月1-2日、福島市）のシンポジウム「原点を探る、高橋トモグラフィと原体照射」において発表した。

参考文献

1. 高橋信次：回転横断撮影．県教育課主催学術振興研究発表会（昭和22年11月15日、八戸市）、特別講演要旨報告書、青森県学術振興研究発表報告書1：45-53, 1948.
2. Takahashi S：Rotation radiography in general. [In] Rotation Radiography (ed. by S. Takahashi). Japan Society for the Promotion of Science, Tokyo, pp.3-18, 1957.
3. Takahashi S：An Atlas of Axial Transverse Tomography and its Clinical Application. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1969.
4. 松田忠義，渡辺令：廻転集光照射に於いて病巣への放射線の的中に対する廻転横断写真の役割．Co^{60}遠隔照射法の研究（第2報），廻転撮影法の研究（第49報）．日本医放会誌18：1584-1591, 1959.
5. 高橋信次：コバルト60回転照射における新しい工夫．臨床放射線 5：653-658, 1960.
6. Takahashi S：Conformation radiotherapy. Rotation techniques as applied to radiography and radiotherapy of cancer. Acta Radiol, Suppl 242, 43-46 & 77-82, 1965.
7. 森田皓三：原体照射法（conformal RT）とその発展．癌の臨床．40：33-46, 1994.
8. Vijayakumar S, Low N, Chen GT, et al.：Beams eye view-based photon radiotherapy I. Int J Radiat Oncol Biol Phys 21：1575-1586, 1991.
9. 田中良明：原体照射発展の足跡と今後の展開．日放腫会誌 15：251-262, 2003.
10. Shirato H, Shimizu S, Kitamura K, et al.：Four-dimensional treatment planning and fluoroscopic real-time tumor tracking radiotherapy for moving tumor. Int J Radiat Oncol Biol Phys 48：435-442, 2000.
11. Seppenwoolde Y, Shirato H, Kitamura K, et al.：Precise and real-time measurement of 3D tumor motion in lung due to breathing and heartbeat, measured during radiotherapy. Int J Radiat Oncol Biol Phys 53：822-834, 2002.
12. Kubo HD, Wilder RB, Pappas CT：Impact of collimator leaf width on stereotactic radiosurgery and 3D conformal radiotherapy treatment plans. Int J Radiat Oncol Biol Phys 44：937-945, 1999.
13. Boyer AL, Yu CX：Intensity-modulated radiation therapy with dynamic multileaf collimators. Semin Radiat Oncol 9：48-59, 1999.
14. Teh BS, Woo SY, Butler EB：Intensity modulated radiation therapy (IMRT)：a new promising technology in radiation oncology. Oncologist 4：433-442, 1999.
15. 大沼勲：廻転照射廻転横断兼用装置．廻転撮影法の研究 第54報．日本医放会誌 22：739-742, 1962.
16. 佐久間貞行，高橋信次：線巣横断撮影法と線巣原体撮影法．^{60}Co遠隔照射法の研究 第24報，原体照射法の研究 第13報．日本医放会誌 22：871-876, 1962.
17. 中川恵一、青木幸昌、赤沼篤夫，他：超高圧X線CT装置を利用した原体照射の照合法の開発．日本医放会誌 55：1053-1056, 1995.
18. Dong L, Boyer AL：An image correlation procedure for digitally reconstructed radiographs and electronic portal images. Int J Radiat Oncol Biol Phys 33：1053-1060, 1995.
19. Thompson V, Bidmead M, Mubata C：Pictorial review: comparison of portal imaging and megavoltage verification films for conformal pelvic irradiation. Br J Radiol 69：1191-1195, 1996.
20. Hatherly KE, Smylie JC, Rodger A, et al.：A double exposed portal image comparison between electronic portal imaging hard copies and port films in radiation therapy treatment setup confirmation to determine its clinical application in a radiotherapy center. Int J Radiat Oncol Biol Phys 49：191-198, 2001.
21. Amer A, Marchant T, Sykes J：Imaging doses from the Elekta Synergy X-ray cone beam CT system. Br J Radiol 80：476-482, 2007.
22. 松田忠義，作家計満，守安正樹，他：CTフィルムの拡大観察装置（CTとATTとを組み合わせて観察する方法）．断層撮影法研究会雑誌 8：83-89, 1980.

23. 田中良明, 西村哲夫, 後藤修一, 他：中咽頭癌の頭蓋底再発症例の検討 —CT検査ならびに原体照射の有用性について—. 日本医放会誌 45：356-363, 1985.
24. Dawson LA, Jaffray DA：Advances in image-guided radiation therapy. Int J Clin Oncol 25：938-946, 2007.
25. Ling CC, Humm J, Larson S, et al.：Towards multidimensional radiotherapy (MD-CRT)：biological imaging and biological conformality. Int J Radiat Oncol Biol Phys 47：551-560, 2000.
26. De Meerleer G, Villeirs G, Bral S, et al.：The magnetic resonance detected intraprostatic lesion in prostate cancer：planning and delivery of intensity-modulated radiotherapy. Radiother Oncol 75：325-333, 2005.
27. Paulino AC, Koshy M, Howell R, et al.：Comparison of CT- and FDG-PET-defined gross tumor volume in intensity-modulated radiotherapy for head-and-neck cancer. Int J Radiat Oncol Biol Phys 61：1385-1392, 2005.
28. El-Bassiouni M, Ciernik IF, Davis JB, et al.：[18FDG] PET-CT-based intensity-modulated radiotherapy treatment planning of head and neck cancer. Int J Radiat Oncol Biol Phys 69：286-293, 2007.
29. Grégoire V, Haustermans K, Geets X, et al.：PET-based treatment planning in radiotherapy: a new standard? J Nucl Med 48 Suppl 1：68S-77S, 2007
30. Greco C, Rosenzweig K, Cascini GL, et al.：Current status of PET/CT for tumour volume definition in radiotherapy treatment planning for non-small cell lung cancer (NSCLC). Lung Cancer 57：125-134, 2007.
31. Sun A, Sörensen J, Karlsson M, et al.：1-[11C]-acetate PET imaging in head and neck cancer--a comparison with 18F-FDG-PET：implications for staging and radiotherapy planning. Eur J Nucl Med Mol Imaging 34：651-657, 2007.
32. Grosu AL, Souvatzoglou M, Röper B, et al.：Hypoxia imaging with FAZA-PET and theoretical considerations with regard to dose painting for individualization of radiotherapy in patients with head and neck cancer. Int J Radiat Oncol Biol Phys 69：541-551, 2007.
33. Schinagl DA, Kaanders JH, Oyen WJ：From anatomical to biological target volumes：the role of PET in radiation treatment planning. Cancer Imaging 6：S107-116, 2006.
34. Jarritt PH, Carson KJ, Hounsell AR, et al.：The role of PET/CT scanning in radiotherapy planning. Br J Radiol 79 Spec No 1：S27-35, 2006.
35. Payne GS, Leach MO：Applications of magnetic resonance spectroscopy in radiotherapy treatment planning. Br J Radiol 79 Spec No 1：S16-26, 2006.

ダウンロードされた論文は私的利用のみが許諾されています。公衆への再配布については下記をご覧下さい。

複写をご希望の方へ

断層映像研究会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。
本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、（社）学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター（（社）学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体）と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません（社外頒布目的の複写については、許諾が必要です）。

権利委託先　　一般社団法人学術著作権協会
〒107-0052　東京都港区赤坂 9-6-41　乃木坂ビル 3F　FAX：03-3475-5619　　E-mail：info@jaacc.jp

複写以外の許諾（著作物の引用、転載、翻訳等）に関しては、（社）学術著作権協会に委託致しておりません。
直接、断層映像研究会へお問い合わせください

Reprographic Reproduction outside Japan
One of the following procedures is required to copy this work.

1. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has concluded a bilateral agreement with an RRO （Reproduction Rights Organisation）, please apply for the license to the RRO.
Please visit the following URL for the countries and regions in which JAACC has concluded bilateral agreements.
http://www.jaacc.org/
2. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has no bilateral agreement, please apply for the license to JAACC.
For the license for citation, reprint, and/or translation, etc., please contact the right holder directly.
JAACC （Japan Academic Association for Copyright Clearance） is an official member RRO of the IFRRO （International Federation of Reproduction Rights Organisations）.
Japan Academic Association for Copyright Clearance （JAACC）
Address 9-6-41 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan
E-mail　info@jaacc.jp　Fax: +81-33475-5619