

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月 25日現在

機関番号：20101

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21791203

研究課題名（和文）

小線源治療線量評価法の開発—実測とモンテカルロ計算の回帰分析による高精度化—

研究課題名（英文）

Development of dosimetry for brachytherapy - toward improvement of precision by regression of Monte Carlo simulation to in-vivo measurement

研究代表者

田中 憲一（TANAKA KENICHI） 札幌医科大学・医療人育成センター・講師

研究者番号：70363075

研究成果の概要（和文）：

ガラス線量計による  $^{125}\text{I}$  線量測定法を整備した。測定値の回帰分析により、線源強度を補正し線量評価する方法を考案した。このための線量計算法として、EGS5 に線源構造を入力する手法を整備した。本手法の有効性を示せたものの、回帰分析後の線量精度に課題が残った。しかし、整備した計算法は線源特性評価に、測定法は他線源モデルに対しこの手法を開発する際に活用でき、研究を継続する予定である。副産物として、線源挿入作業中に強度を見積もる原理を実証した。

研究成果の概要（英文）：

A dose measurement method for  $^{125}\text{I}$  X-ray was validated using glass rod dosimeters. A dosimetry using calculations was also validated, in which the source strength was corrected based on its regression to the measured dose. As a calculation method for this purpose, the combination of the code "EGS5" and the source structure to be input was verified by comparison to the measured values. The dosimetry method still needs improvement in accuracy, however, the validated calculation method is applicable to analyzing the dosimetric properties of the sources. Also, the validated measurement method is applicable to develop this dosimetry for other type of the sources. The research is still ongoing. Furthermore, the real-time estimation of the strength of the source being implanted was demonstrated as to its feasibility.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：内科系臨床医学・放射線科学

キーワード：放射線治療物理学、小線源治療、癌

## 1. 研究開始当初の背景

密封小線源治療は、体内に配置した線源で腫瘍を放射線照射し、死滅させる療法である。この療法は、病巣に限局して

高線量を投与できるという特長を持っている。その一方で、線源の位置と強度が生体線量に直接影響を及ぼすため、それらの正確な評価が求められるという

側面を持つ。

現在、例えば前立腺癌に対する永久刺入では、刺入後に線源位置をCTなどにより同定する方法が一般的である。得られた線源位置と、事前に測定またはメーカー情報より得た線源強度を基に模擬計算で線量が評価されている。即ち、刺入後の線量は実測しない。

しかし治療に用いる線源強度は必ずしも定格通りではなく、ばらつきがある。刺入線源は数十個以上と多数であるが、刺入前にその全ての強度を精度良く測定することは実務上、容易ではない。また、たとえ簡便な事前評価法が整備されても、評価後の線源の取り違いや移動などによる変化は加味できない。そこで線量精度向上のため、刺入後の線量を一定時間測定（モニター）する手法を開発することとした。

## 2. 研究の目的

本研究では、体外線量測定値に関する回帰分析によって線源強度を修正し、それに基づく高精度な線量評価を目指す。この手法は、線源一個ずつを独立な変数として扱うのが理想的であるが、各症例について数十個以上の線源のモンテカルロ計算を個別に行うのは、計算環境によっては困難なことも考えられる。そこで手法の簡便・高速化のため、複数の線源を同一放射能の線源群とみなす方法の開発にも取り組み、精度と簡便さを両立する最適な群数を明らかにする。なお、線源強度は、正確な評価を目指すのではなく、線量測定結果に合うよう線源強度を修正して高精度な線量評価を追求する。

## 3. 研究の方法

まず実験器具（ファントム・TLD・ガラス線量計）を準備する。次に、本研究に必須であるファントム表面を中心に線量測定をし、その結果を精度良く再現できるモンテカルロ計算コードと核データの選択・整備を行う。整備した計算手法を用いて、回帰分析を用いた線量評価の精度を検証し、高精度化を目指して測定・計算法を改良する。最後に精度と評価時間に着目して、線源群としての取り扱いにおける群数の最適化を行う。

## 4. 研究成果

(1) 測定系の整備を行った。ファントムの作成・線量計の校正、ファントム内外の線量の測定・計算値の比較を行った。ファントムは、線量計の校正実験・計算の比較が行いやすいよう、シンプルな円柱形のアクリル製ファン

トム（18 cm φ × 20 cm）で水を注入できる構造として作成した。ファントム表面と内部には線量計・線源を固定できるようにした。次に、線量測定に用いるガラス線量計及びTLDを校正した。校正は札幌医科大学付属病院第3放射線治療室の電子線加速器でX線照射を用い、校正した。校正では、6MVで10.0MUの照射（電離箱測定で $7.7 \times 10^{-2}$ Gy程度に相当）を行なった。その結果より、測定安定性に優れたガラス線量計（旭テクノグラス製素子GD-302M、及び低エネルギーγ線測定用Snフィルター付き素子（GD-352M用））を第一候補に、研究を進めることとした。

(2) ファントム表面と内部での線量計算精度の高い計算法を整備するため、ガラス線量計をファントム表面と内部に配置し測定した。線源は治療用の $^{125}\text{I}$ シード（Oncra Inc. Oncoseed No. 6711）とした。次にこの体系を模擬したモンテカルロ計算を行った。計算コードとしては、MCNP-4C、PHITS2.16、EGS5を用いた。このうちEGS5にKennedy et al. (Medical Physics 33: 2010, 1681-1688)を用いた場合に、AAPM TG43U1の枠組みでの $^{125}\text{I}$ シード線量分布の評価精度とされる13%程度で実験と計算が一致することを見出した。これより、本線源に対しては、この計算コード-線源構造の組合せを用いる事とした。また、小線源治療の線量測定において、ガラス線量計が有効である事を明らかにした。ここでは、前述のように校正は6MV-X線で行い、吸収線量の媒質変換（ガラス→水）と照射場のエネルギー補正には、質量エネルギー吸収係数比を用いる方法を最終的に採用した。

(3) 複数の $^{125}\text{I}$ 線源をファントム内に配置し、ガラス線量計によるファントム外からの測定により、回帰分析で線源強度を評価する手法を検討した。線源としては、強度差が1~50%となる組合せを20個程度準備した。昨年度の測定・計算法の精度検証を続けた結果、ガラス線量計としてSnフィルターなしの旭テクノグラス製素子GD-302Mをファントム表面に24個配置する手法を取っている。その結果、回帰分析なしでは線源強度ずれにより線量精度が最大60%程度となる所を、開発する回帰分析補正により25%程度に維持できる事を示した(図1、図2)。これは線源1個に対する計算精度と等しく、従って線源強度ずれの影響を排除できた事になり、これにより本手法の有効性を証明した。なお、本来の目的とは異なるが、線源強度評価にも本手法は活用できる事を示した。現在の所、4%差のある2線源の強度を4%程度の精度で評価するに至っている。また、非侵襲的な評価という方向性には反するが、体内の線源周りに

ガラス線量計を9個配置すれば、1%程度の精度で評価できた。なお、線量精度25%は、当初想定したよりも大きなずれを含む結果となっているが、ポイントとなっているのは計算手法自体の精度である。2011年度に文献調査をして判明した事であるが、治療の線量計算に現在用いられている手法

(AAPM-TG43U1)が策定される段階で、線源の個体差や整形の不均一により、数十%程度のずれを内包する可能性が示唆されており、また10~15%程度の精度であるとする報告もある。現在の治療線量精度と照らして、本手法は有用なものと考えられる。このように、まずは2線源について、体外で実測した線量を再現するように回帰分析して線源強度を調整し計算で線量を評価する手法を整備できた。

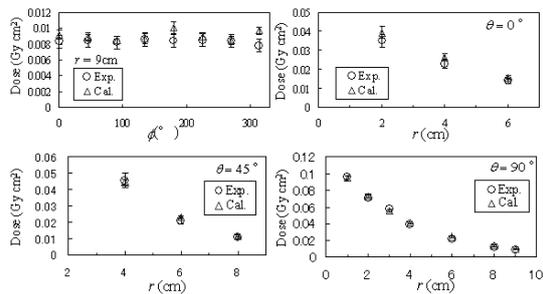


図1 ファントム内・表面線量の比較  
計算値/実測値は0.89~1.25となった。

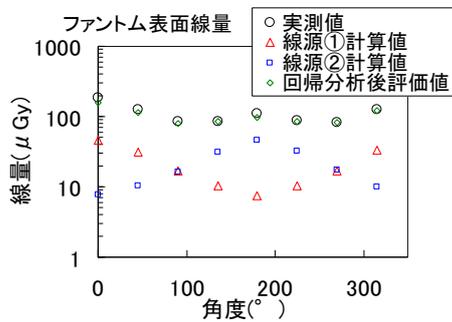


図2 回帰分析によるファントム表面線量  
線源個々に対する計算値を組合せ実測値を再現できた。

(4) しかしながら、4個以上の線源の強度・線量評価については、芳しい結果が得られなかった。具体的には、回帰分析補正を用いても、線量精度を70%程度にしか改善できていない。本来の目的とは異なるが、線源強度推定についても、5%程度の強度差の4つの線源の評価精度は概ね10%程度であるが、一部50%程度に及ぶことがわかった。これらの原因として①X線エネルギーが低いためファントム内で減衰し、ガラス線量計実測値が小さくバックグラウンドの影響を受けやすい事、②上記(3)の状況ではありながら計算方法自体の精度が低いこと、③上記(3)の線源個体差

による線量分布ばらつきが考えられる。当初計画した対策として、ファントム表面を生体透過物質で覆い、ファントム表面での計算精度を向上する事があったが、これをして①の改善があまり期待できないため、実行しなかった。また、線源の群取り扱いも、評価可能な線源個数が少ないため実行しなかった。X線エネルギーがより高い<sup>192</sup>Irや<sup>198</sup>Auでは、精度が改善する可能性がある。また、<sup>125</sup>Iにおいても線源モデルによって計算精度が異なる事が考えられる。②の対策として、バードソース<sup>125</sup>I線源に対して模擬計算手法の整備を始めるべく、ファントム内外の線量分布測定をした。現在、模擬計算に取り組んでいる。

(5) 一方、ガラス線量計による測定の補助として、本計画のための物品を利用し、生体へ挿入作業中の線源強度をリアルタイムで評価する手法の整備にも取り組んだ。これは言わば、本研究の副産物であるが、現状では10%程度の精度で評価できる可能性があることを明らかにした。線源強度の事前評価の必要精度は、日本・米国における勧告ではともに3%ずれを許容、5%ずれでは原因究明が必要、となっている。5%精度への向上に向け、また臨床上の取り回しなど実用課題の克服へ向け、開発を継続しており、一部これが実現する条件も明らかにしている。

(6) 上記(4)、(5)で示した両方の評価手法について精度向上を目指し、研究を継続している。また、本研究で整備した計算手法を利用し、複数線源間の相互干渉を評価する予定である。以上の成果を通して、精度は向上途上であるが、本計画で提案した体外線量測定による線源強度補正と線量評価が原理的に可能である事を、本研究で示すことができた。また、オンコシード6711モデルの<sup>125</sup>I線源にモンテカルロ計算コードEGS5を用いる場合について、本手法への適用可能性と限界を示す事ができた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計8件)

- ① K. Tanaka et al. (10人中1番目)、Development of a method to evaluate the activity of the source moving in unknown velocity、Proceedings of 2012 Annual Meeting of AESJ、査読無し、2012、679
- ② K. Tanaka et al. (11人中1番目)、A dosimetry study of the Oncoseed 6711 using glass rod dosimeters and EGS5 Monte Carlo code in a geometry lacking radiation

equilibrium scatter conditions、Medical Physics、査読有り、38、2011、3069-3076 DOI: 10.1118/1.3590370

- ③ K. Tanaka et al. (11 人中 1 番目)、Dosimetry with glass rod dosimeters and EGS5 in a geometry lacking radiation equilibrium scatter conditions for brachytherapy using the Oncoseed 6711、Jpn. Jour. Med. Phys.、査読無し、31 Sup. 4、2011、173
- ④ K. Tanaka et al. (11 人中 1 番目)、Dosimetry of brachytherapy by Oncoseed 6711 using glass rod dosimeters and EGS5 in a geometry lacking radiation equilibrium scatter conditions、Abstracts of EPSM-ABEC conference、査読無し、2011、57
- ⑤ K. Tanaka et al. (10 人中 1 番目)、Feasibility study of a novel technique to measure instantly the strength of  $^{125}\text{I}$  seeds being implanted、Medical Physics、査読無し、38、2011、3578
- ⑥ K. Tanaka et al. (10 人中 1 番目)、Development of strength evaluation method of moving sources for brachytherapy、Jpn. Jour. Med. Phys.、査読無し、31 Sup. 2、2011、209
- ⑦ K. Tanaka et al. (9 人中 1 番目)、A study on dosimetry of brachytherapy – Dose measurement for  $^{125}\text{I}$  seed-、Jpn. Jour. Med. Phys.、査読無し、30 Sup. 2、2010、275-276
- ⑧ 田中憲一、他 (11 人中 1 番目)、密封小線源治療線量モニター法に関する研究—水ファントム中の  $^{125}\text{I}$  シード線量のガラス線量計による測定—、日本放射線腫瘍学会小線源治療部会第 11 回研究会抄録集、査読無し、2009、24

[学会発表] (計 7 件)

- ① K. Tanaka et al. (10 人中 1 番目)、Development of a method to evaluate the activity of the source moving in unknown velocity、日本原子力学会 2012 年春の年会、2012 年 3 月 20 日、福井
- ② K. Tanaka et al. (11 人中 1 番目)、Dosimetry with glass rod dosimeters and EGS5 in a geometry lacking radiation equilibrium scatter conditions for brachytherapy using the Oncoseed 6711、第 11 回アジアオセアニア医学物理学大会、2011 年 9 月 29 日、福岡
- ③ K. Tanaka et al. (11 人中 1 番目)、Dosimetry of brachytherapy by Oncoseed 6711 using glass rod dosimeters and EGS5 in a geometry lacking radiation equilibrium scatter conditions、Abstracts of EPSM-ABEC conference、EPSM-ABEC conference (The Engineering and Physical Sciences in Medicine and the Australian

Biomedical Engineering Conference)、2011 年 8 月 16 日、ダーウィン(オーストラリア)

- ④ K. Tanaka et al. (10 人中 1 番目)、Feasibility study of a novel technique to measure instantly the strength of  $^{125}\text{I}$  seeds being implanted、アメリカ・カナダ合同医学物理学大会、2011 年 7 月 31 日、バンクーバー
- ⑤ K. Tanaka et al. (10 人中 1 番目)、Development of strength evaluation method of moving sources for brachytherapy、日本医学物理学会第 100 回大会、2011 年 4 月 7~10 日、横浜(震災のため web 開催)
- ⑥ 田中憲一、他 (9 人中 1 番目)、密封小線源治療線量モニター法に関する研究— $^{125}\text{I}$  シード線量の測定—、日本医学物理学会第 99 回大会、2010 年 4 月 10 日、横浜
- ⑦ 田中憲一、他 (11 人中 1 番目)、密封小線源治療線量モニター法に関する研究—水ファントム中の  $^{125}\text{I}$  シード線量のガラス線量計による測定—、日本放射線腫瘍学会小線源治療部会第 11 回研究会、2009 年 6 月 13 日、札幌

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称：放射線源強度測定装置  
及び 線源強度測定方法  
発明者：田中憲一、館岡邦彦、浅沼治、  
加茂憲一、高田純、晴山雅人、遠藤暁  
権利者：札幌医大・広島大  
種類：特許権  
番号：特願 2010-220061  
出願年月日：2010 年 9 月 29 日  
国内外の別：国内

○取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]

ホームページ等 なし

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

田中 憲一 (TANAKA KENICHI)  
札幌医科大学・医療人育成センター・講師  
研究者番号：70363075

(2)研究分担者 ( )  
研究者番号:

(3)連携研究者 ( )  
研究者番号: