

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：82502

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K19873

研究課題名(和文)CT線源の汎用的モデル化と臓器被ばく線量評価システムWAZA-ARIの高度化

研究課題名(英文)General-purpose modeling of CT radiation source and sophistication of organ exposure dose evaluation system WAZA-ARI

研究代表者

古場 裕介(Koba, Yusuke)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所 放射線防護情報統合センター・主任研究員(定常)

研究者番号：10583073

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：CT撮影における患者被ばく線量を評価できるWebシステム「WAZA-ARI」は無料で使用できる医療被ばく評価ツールであるが、対応可能なCT装置が限定的であることが問題であった。本研究ではWAZA-ARIシステムが任意のCT装置に対して線量計算が行えるように、多くの既存のCT装置の線源モデルの解析し、汎用的な線源モデル及び計算手法を開発した。開発を行った線源モデル及び計算手法をWAZA-ARIシステムに実装し、公開することによってシステム利用者が任意のCT装置における患者被ばく線量の評価が可能となった。

研究成果の概要(英文)：Web system "WAZA-ARI" which can evaluate patient exposure dose in CT imaging is a free medical exposure assessment tool. However, in this system, it was a problem that the available CT apparatuses are limited. In this research, in order to calculate dose for arbitrary CT apparatus in WAZA-ARI system, we analyzed source model of many existing CT apparatus and developed general purpose source models and calculation method. By installing and disclosing the developed source model and calculation method in the WAZA-ARI system, it became possible for the WAZA-ARI system user to evaluate the patient exposure dose in an arbitrary CT apparatus.

研究分野：医学物理

キーワード：医療被ばく CT 線量評価 WAZA-ARI

1. 研究開始当初の背景

(1)近年、医療現場でCT撮影は有用な診断技術として広く普及しているが、撮影に伴う被ばく線量は胸部のレントゲン撮影と比較して高いことが知られている。そのため、IAEA等は特に若年層への撮影や同一の患者に対する繰り返し撮影について、被ばく線量へ注意を払うことを提唱している[1]。日本国内のCT装置の台数は世界的にも多く、日本人のCT被ばく線量は世界的に見ても高いと考えられているが、実際の医療現場での撮影状況や受ける総被ばく線量を着実に把握する体制は確立されていない。

以上の背景から、大分県立看護科学大学(以下、大分看護科学大)と日本原子力研究開発機構(以下、原研機構)は、CT撮影における患者の被ばく線量を評価できるWebシステムWAZA-ARIを開発した。既に、欧米ではCT撮影における被ばく線量を評価できるシステムがいくつか開発されているが患者体型やAEC(Auto Exposure Control)機能に対応していないことが問題となっている。WAZA-ARIは標準的な日本人体型を考慮した線量計算が可能であることやAEC機能に対応している点が特徴である。2012年度からは放射線医学総合研究所(以下、放医研)もWAZA-ARIの開発に協力し、同12月には放医研のサーバーを利用してWAZA-ARIシステムの試験運用を開始した。さらに2015年1月からは、利用データを蓄積して統計解析する機能や小児から成人までの患者の年齢や体格に応じた線量計算ができる機能を追加し、「WAZA-ARIv2」という名称で新たに公開行った(図1)[2]。2015年10月現在、国内外を含め医学物理士、臨床放射線技師など約600名のユーザが登録されており、無料で使用できるCT撮影による医療被ばく評価ツールとして非常に多くの注目を集めている。申請者はこのWAZA-ARIの開発グループのメンバーであり、その機能拡張や運用を行っている。

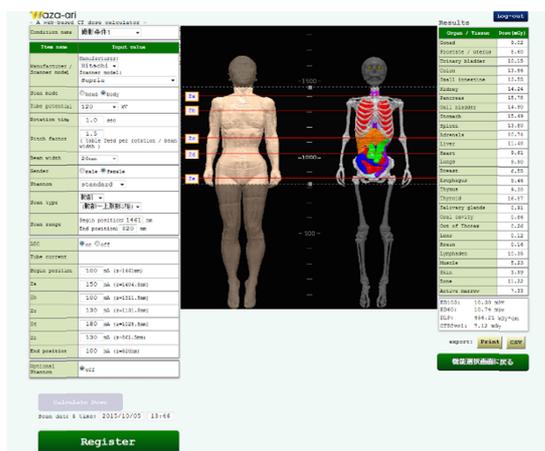


図1. WAZA-ARIv2の線量計算画面

(2) WAZA-ARIシステムでは、利用者が線

量評価の対象とするCT撮影の条件等を入力し、被ばく線量の計算を行う。この線量計算では、CT撮影でのX線放出や患者を想定したモデルを用いてシミュレーション計算を行い、その解析で得た被ばく線量に基づき整備したデータベースを使用している。このシミュレーションには実測に基づく線源のデータが用いられている。これには個別のCT装置を用いた線質測定や線量分布測定が必要であり、新規開発の著しいCT装置全てに対応することは難しいのが現状であり、WAZA-ARIの対応するCT装置の種類が十分でないことが問題として挙げられている。

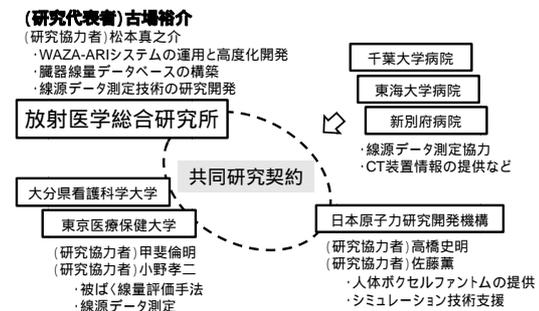
さらに、現状の線質・分布測定法ではCT装置の管球を固定した照射が必要など特殊な方法が必要であることや臓器被ばく線量データ作成のためのモンテカルロシミュレーションに非常に時間を要することが問題となっている。より多くのユーザがWAZA-ARIシステムを用いてCT撮影による被ばく線量の計算と管理を可能とするためには、対応するCT装置の拡充が重要である。しかし、有限な人手と予算において使用されている全ての種類のCT装置の実測は不可能であるため、汎用的なCT装置の線源モデルの作成が必要である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、WAZA-ARIシステムを任意のCT装置に対して線量計算可能とすることである。そのために汎用的なCT装置の線源モデルを作成し、臓器被ばく線量データベースの構築を行う。また、医学物理士、臨床放射線技師などの一般的なユーザが開発したシステムを容易に利用できるようなCT装置に対応する線源パラメータを容易に設定できる手法の確立を行う。

3. 研究の方法

(1)図2に本研究の研究協力体制を示す。WAZA-ARIシステムの開発に関して放医研、大分看護科学大、東京医療保健大学、原研機構の4組織において共同研究契約を結び、図2中に示すような項目について支援を得ることによって研究を行った。また、千葉大学病院、東海大学病院、新別府病院などの研究協力者から線源データ測定の協力やCT装置情報の提供を受けた。



(2) WAZA-ARIシステムでは、利用者が線

図 2. 研究協力体制

(2)本研究の1年目では主に以下の2項目を行った。

・実測データを汎用的に表せる CT 装置の線源モデルの作成

・モデル化した線源を用いた臓器被ばく線量データベースの構築

すでに WAZA-ARI 開発グループでは国内導入台数 40% 程度の種類の CT 装置に対して実測データを取得済みであったため、これらの実測データを基に汎用的に表せる線源モデルを作成した。その際、必要に応じていくつかの CT 装置の線源の実測を行い、データの追加を行った。CT 装置の線源は主にその線質と分布によって定義できたため(図3)、作成する線源モデルは線質と分布に対応した2つのパラメータを用いて表すこととした。また、取得した実測データを参考に普及している CT 装置の線源に対してこれらの2つのパラメータの取り得る範囲を決定する。その後、パラメータによりモデル化した線源を用いて、従来の WAZA-ARI システムと同様に人体ボクセルファントムとモンテカルロシミュレーションにより臓器被ばく線量データベースの構築を行った。

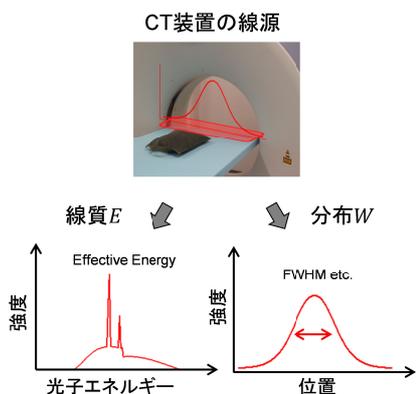


図 3. CT 装置の線源を定義するパラメータ

(3) 2年目では主に以下の2項目を行った。

・臓器被ばく線量データベースの構築と WAZA-ARI システムへの実装

・ユーザが各自の CT 機種に対応する線源パラメータを容易に選択できる方法の確立

予め想定した線質パラメータと分布パラメータの範囲で臓器被ばく線量データベースを構築し、任意の CT 装置の臓器被ばく線量データを計算できることを確認した。撮影条件毎の患者被ばく線量の計算手法は従来の方法[3][4]と同様とした。

WAZA-ARI のユーザが本研究成果である任意の CT 装置の被ばく線量手法が利用できるように公開上のシステムに実装を行った。また、医学物理士、臨床放射線技師などの一般的なユーザが開発したシステムを容易に利用できるよう CT 装置に対応する線源パラメータを容易に設定できる手法の確立を行

った。

4. 研究成果

(1) 本研究内において追加で線源の測定を行った CT 装置を含め、WAZA-ARI システムで利用可能となった CT 装置のメーカー・モデル名の一覧を表 1 に示す。現在、臨床現場で主に利用されている CT 装置を選択可能となり、国内に導入されている CT 装置の 60% 以上に対応した。

表 1. WAZA-ARI システムで利用可能となった CT 装置のメーカー・モデル名一覧

メーカー	モデル名
GE	LightSpeed 16/Ultra
	LightSpeed VCT
	Discovery 750HD
	Revolution HD
	Optima CT660
	Revolution EVO
Siemens	Sensation 16
	Sensation 64
	Emotion 6/16
	Perspective
	Definition Flash/Edge/AS
	Force
Toshiba (現 Canon)	Aquilion 16/64/CX/CXL
	Alexion -/Access Edition
	Aquilion Prime
	Aquilion ONE(TSX301)
Hitachi	Eclis 4/8/16
	Scenaria
	Supria シリーズ全種
Philips	Brilliance 64
	Brilliance iCT

(2) 取得した CT 装置の線源データの解析を行い、線質・分布と CTDI (CT Dose Index) の比について相関が得られることが分かった。図 4 に解析した CT 装置の線質(実効エネルギー)と CTDI の比 $CTDI_{center/air}$ (中心/空気カーマ)のプロットを示し、図 5 に解析した CT 装置の分布(FWHM)と CTDI の比 $CTDI_{peripheral/air}$ (周辺/空気カーマ)のプロットを示す。 $CTDI_{center/air}$ は CT 装置の線質を良く表す指標になることがわかった。一方、 $CTDI_{peripheral/air}$ は CT 装置の分布を良く表す指標になることが分かった。これらの結果から、CT 装置の線源の線質や分布を直接測定することなく、CT 装置のマニュアルなどに記載されている CTDI の値を利用することにより、線源の線質や分布を推定することが可能であることが示された。

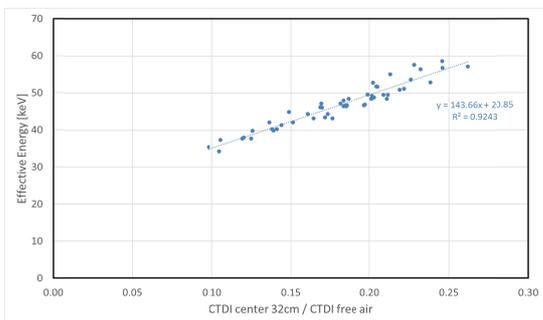


図 4. 解析した CT 装置の線質（実効エネルギー）と CTDI 比（中心/空気カーマ）のプロット

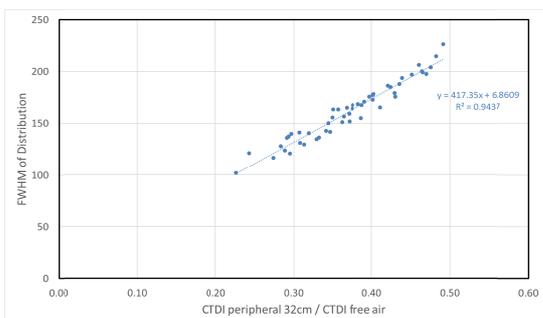


図 5. 解析した CT 装置の分布（FWHM）と CTDI 比（周辺/空気カーマ）のプロット

(3)本研究で解析を行った CT 装置にて成人男性の胸腹部撮影を行った際の実効線量を人体ボクセルファントムとモンテカルロシミュレーションにより算出した。CTDI_{air}（空気カーマ）あたりの実効線量と(2)で利用した CTDI 比の相関を図 6 に示す。CTDI_{center/air}と CTDI_{air}あたり実効線量には相関があることが示され、同様の CTDI 比をもつ CT 装置は線量計算を行う際に同様な被ばく線量データを用いることで撮影時の被ばく線量を近似できることが示された。

既存の被ばく線量データは広い範囲の CTDI 比をカバーしていることから、任意の CTDI 比を持つ CT 装置に対して、既存の被ばく線量データを用いて、撮影時に被ばく線量を近似できることが示された。

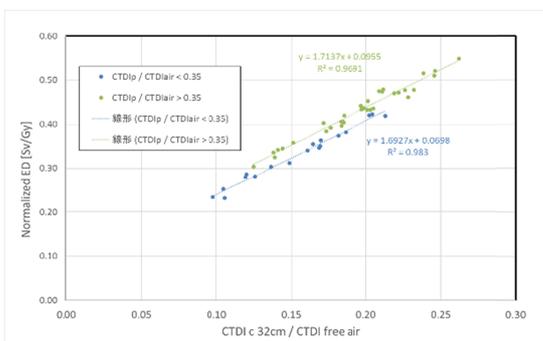


図 6. 成人男性の胸腹部撮影条件の規格化した実

効線量と CTDI 比の関係

(4) 本研究成果を WAZA-ARI システム内で利用するために、システム上で任意の CT モデルの被ばく線量データを模擬的に作成できるユーザモデル機能を開発し、実装を行った。図 7 に実装したユーザモデル機能の画面を示す。ユーザは本画面上で使用したい線源モデルと CTDI_{air}を入力することにより、任意の CT モデル・撮影条件の被ばく線量を計算できるようになった。ユーザは利用したい CT 装置の CTDI 比を装置マニュアルなどから取得し、ユーザモデル機能で示される各線源モデルの CTDI 比を参考に選択できるような仕様とした。

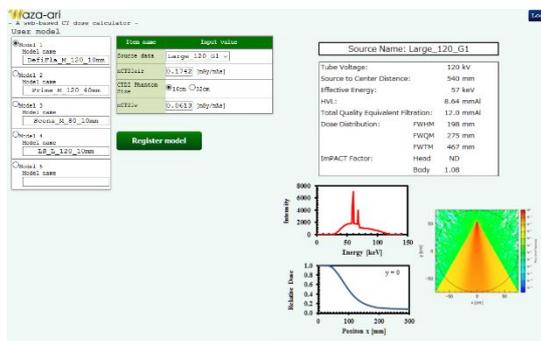


図 7. WAZA-ARI システムに実装したユーザモデル機能の画面

< 引用文献 >

- [1] IAEA, Radiation Protection of Patients (RPOP), <https://rpop.iaea.org/RPoP/RPoP/Content/index.htm>.
- [2] WAZA-ARI - A web-based CT dose calculator-, http://waza-ari.nirs.go.jp/waza_ari_v2_1/.
- [3] Takahashi F, et al., Health Phys., 109(2), 104-112, 2015.
- [4] Ban N, et al., Radiat. Prot. Dosim., 147, 333-337, 2011.

5. 主な発表論文等

- 〔雑誌論文〕(計 5 件)
- 古場裕介, 「医療被ばくにおける患者の線量評価システムの開発に向けて」, Medical Imaging Technology, 36 (2018) 15-20, 査読有り
DOI: <https://doi.org/10.11409/mit.36.15>
- 古場裕介, 松本真之介, 「最近の放射線医療分野におけるモンテカルロ計算」, 応用物理学学会放射線分科会誌「放射線」, 43 (2017) 69-73, 査読無し
<https://annex.jsap.or.jp/radiation/houshasen.html>
- 古場裕介, 「診断 X 線 CT 撮影時の被ばく線量評価ツール WAZA-ARIv2 の概要説明」, 放射線生物研究, 51 (2016) 141-154, 査読有り
<http://rbrc.kenkyukai.jp/special/index.asp?id=22>

古場裕介, 「CT 撮影による被ばく線量を評価する WEB システム「WAZA-ARI」の概要と今後の展望」, インナービジョン, 2016 年 12 月号 (2016) 48-50, 査読無し

<http://www.innervision.co.jp/sp/publication/innervision2016/innervision201612>

古場裕介, 「モンテカルロ計算を用いた CT 撮影の被ばく線量評価」, 応用物理学会放射線分科会誌「放射線」, 24 (2016) 43-48, 査読無し

<https://annex.jsap.or.jp/radiation/houshasen.html>

〔学会発表〕(計 9 件)

古場裕介, モンテカルロ計算用 X 線 CT 線源の汎用化に関する研究, 第 113 回日本医学物理学会学術大会, 2017 年

古場裕介, CT 撮影による被ばく線量評価システム WAZA-ARI v2 の現状と今後の展望, 日本保健物理学会第 50 回研究発表会, 2017 年

古場裕介, 医療分野における放射線防護のためのシミュレーションの活用 CT の被ばく線量評価への活用, 日本保健物理学会第 50 回研究発表会 (招待講演), 2017 年

古場裕介, CT 撮影による患者被ばく線量計算システム WAZA-ARI に関する CT 線源測定技術と被ばく線量計算手法, 放射線治療と放射線防護のための放射線計測に関する研究会, 2017 年

Yusuke Koba, Organ dose calculation for arbitrary CT models using the user model function in WAZA-ARIV2 system, the 8th Japan-Korea Meeting on Medical Physics (国際学会), 2017 年

古場裕介, PHITS を用いた粒子線治療時の 2 次被ばく線量評価, 粒子輸送シミュレーションの医療応用に関する研究会, 2017 年

Yusuke Koba, Study on the relationship between exposure dose and CT dose index for various CT scanners using Monte Carlo simulation and human voxel phantoms, International Conference on Monte Carlo Techniques for Medical Applications (MCMA2017) (国際学会), 2017 年

Yusuke Koba, CT dosimetric calculator, Joint ICRP-RERF-JHPS Workshop on Recent Progress in Radiation Dosimetry for Epidemiology and Radiological Protection (招待講演), 2017 年

古場裕介, CT 装置から発生する X 線の泉質・分布の指標に関する研究, 日本保健物理学会第 49 回研究会, 2016 年

古場裕介, モンテカルロシミュレーションを用いた X 線 CT の被ばく線量評価と WAZA-ARI の紹介, 第 111 回日本医学物理学会学術大会 (招待講演), 2016 年

〔その他〕

ホームページ等

CT 撮影による被ばく線量を評価する Web システム WAZA-ARIV2

<https://waza-ari.nirs.qst.go.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古場 裕介 (Koba Yusuke)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所放射線防護情報統合センター・主任研究員

研究者番号: 10583073