

CT 検査からの臓器線量を計算する Web システム (WAZA-ARI) の開発



甲斐 倫明

Kai Michiaki

(大分県立看護科学大学)

1 はじめに

物理的実体である電離放射線が生体に作用するとき、そのエネルギーの大きさとその空間的・時間的な付与の分布が生体影響と深く関係している。したがって、放射線の発生源が自然放射性物質によるものでも、人工の放射線源であっても生体にとっては区別がない。しかし、人が了解の上で計画的に受ける放射線と、望まない放射線を知らずに受けるとでは倫理的に扱いは異なってくる。患者として診断治療のために計画的に受ける放射線からの被ばくは医療被ばくと呼ばれ、職業被ばくや公衆被ばくと放射線防護の点から区別されている。

自然放射線からの年実効線量が 2.1 mSv に対して、我が国における医療被ばくは国民 1 人当たり 3.9 mSv と報告されている。全被ばくの 65% を医療被ばくが占める計算になる。しかし、この数値は平均化したものであって個人の実態を必ずしも表したものではない。米国のデータではあるが、医療施設による線量の違いが同じ目的の CT 検査で最大で 13 倍あった。このような実態は我が国では十分に把握されていないだけでなく、それを把握する公的なシステムはない。

医療被ばくの線量が 1 回の検査で大きいのが CT 検査である。我が国における CT 検査件数は 2,000 万件を超えていて、人口 1,000 人当

りで比較すると、米国が 207 件、日本が 166 件である¹⁾。検査件数と 1 回当たりの線量の大きさを総合した集団線量で比べると米国では CT 検査が最大で 49% を占める。CT はコンピュータを駆使した画像技術進歩によって適用範囲を拡大し医療の進展に大きく貢献してきた。このため、CT 検査のリスク評価は国際的にも関心事が高く、様々な報告が行われてきた。これらのほとんどが線量推定と検査件数を推定したり、その結果を用いてがん生涯リスクを計算したものであり、疫学的にリスクを検出したという報告ではなかった。しかし、2012 年に *Lancet* 誌に報告された論文では、CT 検査を受けた患者の白血病と脳腫瘍の罹患率が線量とともに増加傾向にあり、CT 検査による低線量放射線のリスクの有意な増加を検出した報告として注目されている。このような研究の基礎には CT 線量の再構築が必要である。

医療被ばくの増加、その中でも比較的高い線量を与える CT 検査に注目して線量や検査件数を把握していくことは、疫学的な視点からも放射線防護の点からも現代の注目される課題となっている。

2 WAZA-ARI の開発

英国では CT 線量を計算するソフトがいち早く整備されていた。ImPACT と呼ばれ、我が国

の臨床現場でも利用が進んでいた。各メーカーのあらゆるマシンを対象に計算できる画期的なソフトであった。英国のNRPB (National Radiological Protection Board) のグループが、人体数学ファントムであるMIRDファントムを用い、モンテカルロシミュレーション計算によって、空気カーマ当たりの臓器線量を計算した結果が利用されている。ImPACTは、エクセル上で計算できる手軽なソフトではあるが、完全にフリーなソフトではないこともあって、これと同じことをWeb上で計算できるツールがあれば、臨床現場で有用なツールになると考えた。そこで、JAEA (日本原子力研究開発機構) の線量評価の研究グループと共同研究でスタートした。CTに関するモンテカルロシミュレーションは数多くの報告が出始めていたが、CT装置が持つボウタイフィルターによるX線スペクトルの出力の評価や、日本人標準体型での線量計算、更には肥満型などの異なる体型に対応して計算を目指して開発を始めた(図)。

X線源のモデル化は、NRPB-R208等を参考に、管電圧、アノード角度、フィルタ材質・厚みなどを考慮して発生X線スペクトルを計算で求め、実際のCT装置ごとに実験的に得られた線量減衰測定から、ボウタイフィルターを逆推定する方法によって最適なX線発生スペクトルを推定した。

日本人の標準体型のボクセルファントム(JMファントム、JFファントム)は、CT画像から全身を約1mm角サイズ(0.98×0.98×1.0mm³)のボクセルファントムで表現したもので、JAEAが既に開発をしていたものをベースに、白血病の標的組織である赤色骨髄を更に精緻した骨のモデル化を行った。

線量計算には、JAEAが開発したPHITSコードでモンテカルロシミュレーションを行い、任意の照射範囲での臓器線量を推定するために、CT検査でX線源が360度回転する際に与えられる各スライスの線量係数を、ボクセルファントムの種類、メーカーごとの機種や管電圧など

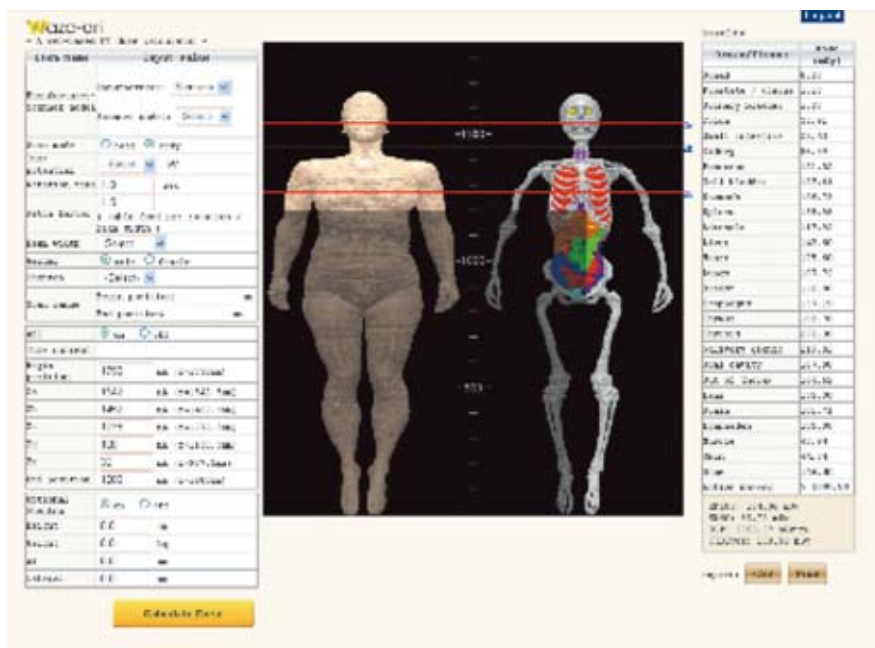


図 CT線量計算システム 肥満型体型

の種々の計算条件でデータベース化した。Web上では、照射範囲をGUIベースに選択することが可能となっていて、計算条件を選択すれば直ちに線量計算結果が表示される。医療被ばくの基本は、臓器線量であるが、ほかのモダリティと比較ができるように実効線量も出力する。WAZA-ARIでは、ImPACTでは対応していなかったAECモード（自動露出機構）に対応して計算ができるようにした。現在、WAZA-ARIは、(http://waza-ari.nirs.go.jp/waza_ari/)上で使用できる²⁻⁴⁾。

3 WAZA-ARIが目指すもの

現在、肥満型の体型など標準と異なる体型の患者のボクセルファントムを作成し、臓器線量を計算することで、異なる体型の臓器線量への影響を調べている。さらに、体型を類型化することで、WAZA-ARIに組み込む作業を進めている。これによって、臨床現場で、CT検査に際して患者の臓器線量を推定することで、線量の把握や線量の最適化に利用することが期待される。

一方で、WAZA-ARIが広く臨床現場で利用されるようになれば、その線量を登録してもらい、各機関での線量情報を統計情報として共有したり、比較したりすることが可能になる。また、線量情報と共に検査件数も登録することで、我が国のCT検査の動向を把握するシステムとして発展する可能性を期待している。

最後に、WAZA-ARIの開発研究は文部科学

省科学研究費補助金（課題番号H20-22年度：20591484，H23-25年度：23591825）で実施したものであり、伴 信彦，小野孝二（以上，公立大学法人大分県立看護科学大学，現在 東京医療保健大学），亀井 修（大分県立看護科学大学博士課程大学院生），遠藤 章，高橋史明，佐藤 薫（以上，（独）日本原子力研究開発機構），長谷川隆幸（東海大学医学部附属大磯病院），勝沼 泰（東海大学医学部附属病院），吉武貴康（国家公務員共済組合連合会新別府病院）との共同研究の成果である。

参考文献

- 1) Ono, K., Yoshitake, T., Hasegawa, T., Ban, N., and Kai, M., Estimation of the number of CT procedures based on a nationwide survey in Japan, *Health Phys*, **100**, 491-496 (2011)
- 2) Ban, N., Takahashi, F., Sato, K., Endo, A., Ono, K., Hasegawa, T., Yoshitake, T., Katsunuma, Y., and Kai, M., Development of a Web-based CT dose calculator: WAZA-ARI, *Radiat Prot Dosimetry*, **147**(1-2), 333-337 (2011)
- 3) Takahashi, F., Sato, K., Endo, A., Ono, K., Yoshitake, T., Hasegawa, T., Katsunuma, Y., Ban, N., and Kai, M., WAZA-ARI: computational dosimetry system for X-ray CT examinations. I. Radiation transport calculation for organ and tissue doses evaluation using JM phantom, *Radiat Prot Dosimetry*, **146**(1-3), 241-243 (2011)
- 4) Ban, N., Takahashi, F., Ono, K., Hasegawa, T., Yoshitake, T., Katsunuma, Y., Sato, K., Endo, A., and Kai, M., WAZA-ARI: computational dosimetry system for X-ray CT examinations II: development of web-based system, *Radiat Prot Dosimetry*, **146**(1-3), 244-247 (2011)