

研究論文

吸収線量計算のための人体ファントムの画像化

山口 寛*¹, 本郷昭三*², 竹下 洋*³, 丸山隆司*¹, 千葉美津恵*¹

(1984年5月31日受理)

Three-dimensional Digital Representation of Human
Phantom for Organ Dose CalculationHiroshi YAMAGUCHI,*¹ Syozo HONGO,*² Hiroshi TAKESHITA,*³
Takashi MARUYAMA*¹ and Mitsue CHIBA*¹

Estimation of organ dose from ionizing radiations requires mathematical human phantoms. However, there are some technical difficulties in determining the parameters for mathematical phantom from the actual data on human physique even if we can use the MIRD phantom as a good reference. Difficulties are mostly due to complexity in mathematical expressions of organs. A method proposed here for avoiding this difficulty is to express human body with a system of 3-dimensional picture elements. Each element is assigned to a symbol that corresponds to an organ according to the location of the element in the body. A specific spatial configuration of those symbols composes a "symbol phantom." The symbol phantom is useful and flexible from the following reasons, 1) its transversed section image can be readily compared with that obtained by medical imaging devices like NMR-CT, 2) modification of the phantom can be done by using usual word-processor technique and 3) a more convenient and faster sorting procedure can be achieved in a Monte Carlo calculation.

KEY WORDS : phantom, organ dose, radiation, MIRD, imaging, Monte Carlo

I 緒 言

体内に取り込まれた放射性核種による体内吸収線量の計算法は確立されつつある。計算は放射性物質の体内代謝にかかわる部分と、設定された体格上での吸収線量の計算の部分に分けられる。われわれは後者の吸収線量の体格依存性の問題を、MIRD 値からの変換という形で検

討してきた^{1,2)}。得られた変換法は日本人の体格のデータを与えれば、その吸収線量を推定できるものである。この方法においても、日本人の体格のデータは基本的なパラメータである。他方、日本人の体格に関するデータも解剖のデータ等から検討されている³⁾。しかし、標準日本人の体格を包括的に設定するにはいたっていない。その原因の一つは、設定に際して後述するような解決しなければならぬ技術的困難があることが考えられる。一方、この問題をこれまでとは違った角度から考える状況も生じている。すなわち、最近の診断医学での画像化の進歩は著しく、これらが標準日本人の設定にあたるインパクトは大きいと思われる。一例をあげれば、NMR-CT のような、非侵襲的な測定装置からの画像が入手できる状況になってきており、これらの情報は日本人および、その各年齢層の体格を設定する上できわめて有益であると思われる。

- *¹ 放射線医学総合研究所物理研究部; 千葉市六川 4-9-1 (〒260)
Division of Physics, National Institute of Radiological Sciences; 9-1 Anagawa 4-chome, Chiba 260.
- *² 放射線医学総合研究所環境衛生研究部; Division of Environmental Health, National Institute of Radiological Sciences.
- *³ 放射線医学総合研究所化学研究部; Division of Chemistry, National Institute of Radiological Sciences.

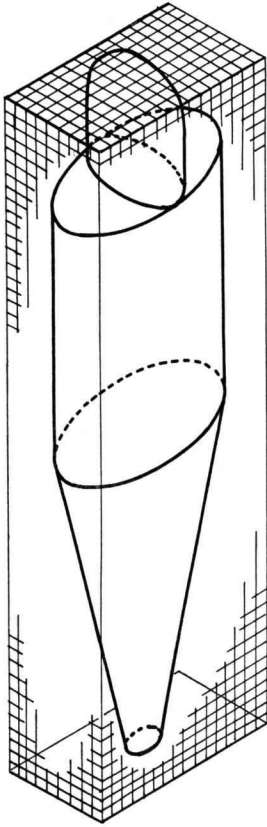


Fig. 1 Three-dimensional display of the MIRD phantom in a picture element system.

もし MIRD 法とまったく同じ方法で、日本人の体格についてモンテ・カルロ計算を実行しようとするれば、日本人の体格の数式表現が必要である。したがって、そのためには各種画像情報を数式表現に変換するという作業が必要である。しかし、それは考えるほどやさしいことではない。質量・形・位置が同時に決まるように数式表現とその数値パラメータを試行錯誤で求めていかなければならないからである。われわれはこの作業を軽減する方法を検討して来た。得られた一方法は、次節で述べるごとく、人体ファントムを文字データで表現する方法で、人体ファントムを画像情報と結びつけやすい形にしておくことができるものである。しかも、この文字データ表現は、モンテ・カルロ計算時にも有用な新しいデータ・ソーティング手法を提供するものである。

II 人体ファントムの文字データ化

人体ファントムの文字データ化の試みとして、MIRD 数学ファントム⁴⁾を例にとり、その文字データ化を行

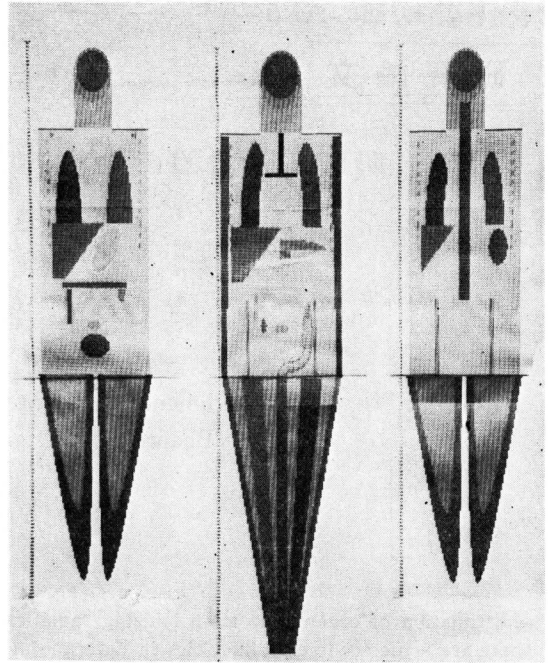


Fig. 2 Longitudinal sections of the MIRD phantom.

う。

MIRD ファントムに外接する $40 \times 20 \times 174 \text{cm}^3$ の直方体を考える (Fig.1)。この直方体を、単位画素の三次元での積み重ねとみなす。単位画素をどのくらいの大きさの立方体とするかは、必要とする画像の鮮明さと、後に述べるようにコンピュータのメモリ容量との兼ね合わせで決まる。ここでは画素を1辺が1cmの立方体としてみよう。すなわち、XY平面では、 40×20 個の画素からなり、Z方向は174個の画素の積み重ねとなる。この1画素はファントム内ならば、体内臓器と一対一に対応しているはずである(臓器の境界にかかったものは大きい方に含める)。その体内臓器ごとに文字(または記号)を設定すれば、画素ごとに文字が対応する。したがって、XY平面上の任意の画素の点を、頭の頂点から読んで行けば一つの記号または文字列が得られる。すなわち、Z方向の1画素の1列を174バイトの1文章として定義しなおすことになる。この文章を 40×20 個の配列にスタックしておけば、この1組の配列はMIRDファントムと同等の情報を持つことになる。

MIRD ファントムの文字列は、MIRD の数式表現⁴⁾をプログラム化し、全画素を端からスキャンして臓器ごとの文字を出力させる。すなわち、XY平面の1画素ごとにZ方向をスキャンして1文字列を作り、配列変数に

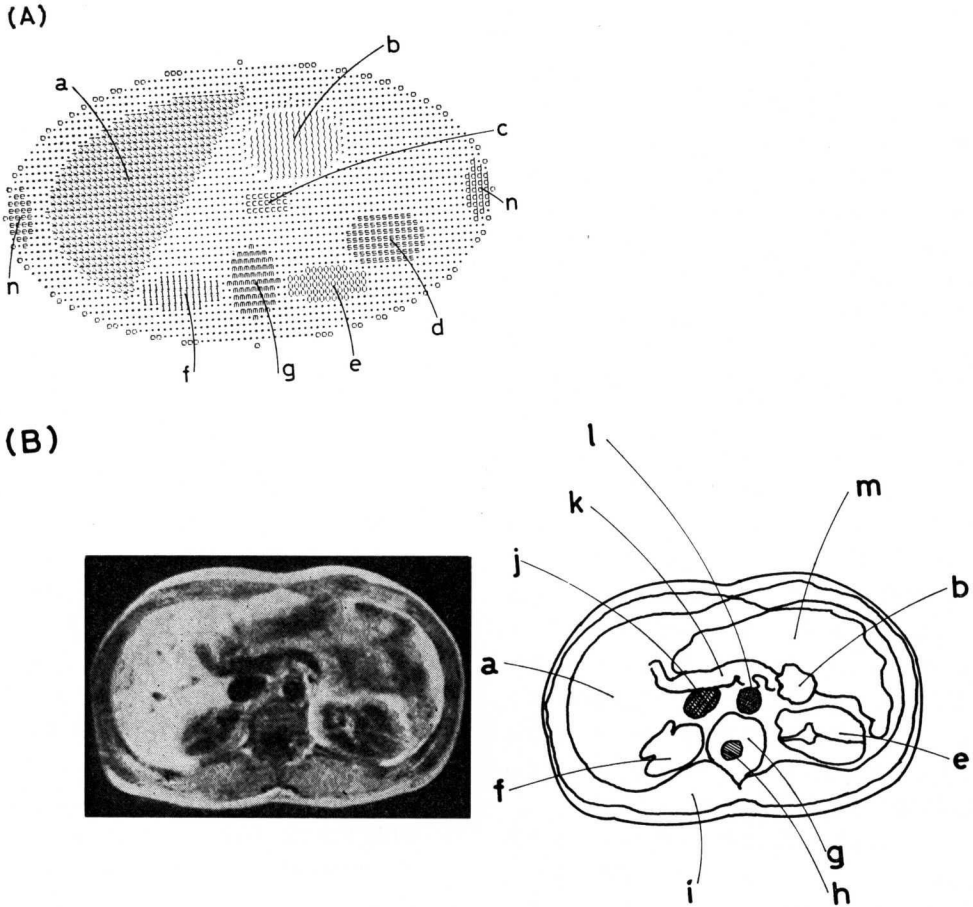


Fig. 3 Comparison of phantom transversed section (A) with human transversed section (B) obtained by a NMR imaging device (ASAHI NMR-CT MARK-J). a=Liver, b=Stomach, c=Pancreas (膵臓), d=spleen (脾臓), e=Left kidney, f=Right kidney, g=Spinal column (脊柱), h=Spinal cord (脊髓), i=Muscle, j=Inferior vena cava (下部大静脈), k=Portal vein (門脈), l=Abdominal aort (腹部大動脈), m=Small intestine, n=Arm.

入れ、最後に全文字列をデータファイルとして格納する。このデータファイルさえあれば、MIRDの数式表現を経ることなく MIRD ファントムをコンピュータ上にのせることができる。

III 考 察

このファントムのデータファイルは便利な側面をいくつか持っている。

1) ファントムの画像表示がたやすい。すなわち、ファントムの任意の断面での画像を表示することができる。その1例を Fig.2 に示す。MIRD ファントムの座標系での、 $Y=0$ および $Y=\pm 4\text{cm}$ での縦断面の画像である。

2) ファントムの横断面の画像は、医療画像で得られる横断面の画像と対応付けられる。その例を Fig.3 に示す。図中の NMR 画像との対比から考えられるように、日本人のファントムは、MIRD ファントムの単位画素の適当な縮小などでグローバルに変換して表現できるものなのか、または、相違点の大きい画像の文字だけを部分ごとに変更すればよいのか等の検討ができる。しかも、画像の修正・変更は通常のワードプロセッサでの作業と同じく、データ文の修正・変更と同様の手続きで行うことができる。もちろん、臓器質量も(同じ記号の総数) \times (画素の重さ)で得られるので、位置・形・質量を同時に考慮することができる。この方法で、日本人のファントム設定はかなり容易に行えるようになるはずであ

る。

また、人体ファントムの目的に応じた精密化が可能である。もちろん、その精密化は、コンピュータの容量がどれだけ使用可能であるかに関係している。ここでの例では文字ファントムは 139.2 キロバイト (=40×20×174) の容量が必要だが、1 辺が 0.5cm の立方体を画素とした場合には約 1.12 メガバイト必要になる。しかし、現在のコンピュータでは補助記憶媒体を使うことができるので、かなりの容量をカバーできるようになっている。通常、医療画像情報は磁気テープ、またはディスクにストアされているので、そこから直接データを読んで、文字ファントムを作成することも難しいことではない。

3) モンテ・カルロ計算の高速化に役立つものと思われる。ファントムの数式表現は、もともとモンテ・カルロ計算のために必要であった。すなわち、放射線の体内での相互作用点が、どの臓器の中で生じたかを、その X , Y , Z 座標値から求めるために数学ファントムは必要であった。したがって、モンテ・カルロの計算プログラムの中で、そのサーチを実行するサブルーチンは相互作用点ごとと呼ばれ、そのルーチン内では原理的に全臓器を参照することになり (実際はもう少しサーチのエコノミーが考慮されているが)、この部分のエコノミーが全計算時間の長さを決めることになる。

文字ファントムを使えば、このサーチ・ルーチンの部分は単純に文字データの読み込みルーチンに置き換えられる; XY 座標は配列番号に対応し、 Z 座標は文字列の文字の端からの番号に対応するので、何の臓器かはたどこに出力することができる。これは全計算の高速化にかなり寄与するものと思われる。

この手法は、ここでは人体ファントムの画像化ということに限って考えられたが、「任意の構造物の文字データ化」という、より一般的な側面をもっている。すなわち、他のモンテ・カルロの計算においても、関与するファントムの設定の部分がこの手法で相当に容易になるはずである。

この画像化には、16ビットパーソナルコンピュータを使用した。

この研究を行うにあたって、放医研・指定研究「NMR-CT による生体内臓器の立体的輪郭と体積の推定」(代表: 福田信男氏) から援助を受けたことを感謝する。

参 考 文 献

- 1) 山口 寛; 大きさの異なる人体へ MIRD 法を適用する際の変換法, 日本医放会誌, **39**, 252 (1979).
- 2) 山口 寛, 西沢かな枝, 丸山隆司, 千葉美津恵, 福久健二郎, 橋詰 雅; 日本人の MIRD 表の作成プログラム, 保健物理, **18**, 43 (1983).
- 3) 田中義一郎, 河村日佐男, 中原義行; 規格日本人 (Reference Japanese) の設定, 日本原子力学会誌, **19**, 674 (1977).
- 4) W.S. SNYDER, M.R. FORD, G.G. WARNER and H.L. FISHER; Estimation of absorbed fraction for monoenergetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom, MIRD Pamphlet, No. 5 (1969).