

卒業論文

題目：一般撮影における体格指数 BMI による実効線量の推測

—深部量百分率からの解析—

**(Analysis of the effective dose to
body mass index in the diagnosis X-ray imaging)**

大阪大学医学部保健学科放射線技術科学専攻

(指導：医用物理工学講座 松本光弘 准教授)

05C12022 志賀 仁美

(平成 27 年 11 月 24 日 提出)

要旨

【背景・目的】

診断用 X 線検査時の実効線量を推定することは重要である。そのためには、対象部位の臓器線量と組織加重係数を必要とする。我々は深部量百分率(PDD)の近似式より患者の体格を考慮した実効線量の推定を行った。

【方法・対象】

1) 対象臓器の吸収線量を PDD 近似式より算出した。なお、臓器の深度は CT 画像より求め、体格別に換算した。また、PDD 近似式は以下のものを用いる。

$$PDD_{\leq 5cm} = (0.1172E_{eff} + 99.508) \cdot \exp(-(-0.0072E_{eff} + 0.3867) \cdot d)$$

$$PDD_{>5cm} = (2.4492E_{eff} + 54.82) \cdot \exp(-(-0.0042E_{eff} + 0.3231) \cdot d)$$

(E_{eff} : 実効エネルギー[keV]、 d : depth[cm])

2) これらのデータと BMI を変数とした入射表面線量(ESD) 近似式から各種 X 線検査における実効線量を計算し、文献値と比較した。また、実効線量は以下の式のように表される。

$$\text{実効線量} = \sum W_T \cdot D_{T,R} \quad (W_T: \text{組織荷重係数}, D_{T,R}: \text{臓器の平均線量})$$

$$D_{T,R} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{ESD \cdot PDD_i}{n} \quad (PDD_i: \text{臓器深さ})$$

【結果】実効線量の近似式は BMI を変数として作成した結果、

胸部 PA(男) $y = -0.000026x^2 + 0.002787x - 0.015494$ 、

(女) $y = -0.000027x^2 + 0.002634x - 0.013079$ 、

腹部 AP

(男) $y = 0.0000037x^4 - 0.0003826x^3 + 0.0138349x^2 - 0.1765880x + 0.7063094$ 、

(女) $y = 0.0000047x^4 - 0.0005030x^3 + 0.0189357x^2 - 0.2679603x + 1.2635104$

骨盤 AP(男) $y = -0.000068x^2 + 0.004595x + 0.168044$ 、

(女) $y = -0.000131x^2 + 0.009520x + 0.114894$

腰椎 AP(男) $y = -0.00077x^2 + 0.07427x - 0.77258$ 、

(女) $y = -0.00068x^2 + 0.06181x - 0.59881$

と表される。ここで、 y : 実効線量[mSv]、 x : BMI[kg/m²]とする。

【結論】

この近似式を用いて計算した実効線量と各種文献値との相違は-0.001mSv~-1.01mSv、相対値は 33%~165%であった。実効線量は推定値であるため、公表されている文献値との比較からこの範囲に入っておれば十分な精度であると判断した。本手法は患者の体重、身長によりおおよその実効線量を容易に算出することが出来る。被曝線量推定ソフトを使用せずとも、患者個人の被曝線量を推定することができるため、患者の被曝に対する不安を解消する臨床現場で有用なツールになると思われる。

1.背景

近年、日本では放射線診断のニーズが増加傾向にある。それは病変の早期発見、疾患の正確な診断という多大なる恩恵を患者にもたらすが、一方で医療被曝という不利益をもたらすことになりうる。日本における医療被曝は先進諸外国に比べてもきわめて高いため、患者ごとの被曝管理をしていくことは重要である。また、平成 23 年 3 月の東日本大震災による福島第一原子力発電所事故以降、国民の放射線被曝への関心が高まっており、今後は患者個人ごとの被曝線量を把握していく必要があると考える。最近、被曝線量推定ソフトウェア(PCXMC)¹⁾などにより、個人の実効線量の推定が可能となってきた。しかし、このソフトウェアは有料であり、使用できるのは限られた施設であり汎用性に乏しい。

医療被曝線量には、撮影部位の入射表面線量(entrance surface dose :ESD)や臓器の吸収線量、実効線量等がある。実効線量の算出には被曝した臓器ごとに積算して総線量を求めるため、線量計などで測定することは非常に困難である。²⁾

2.目的

本報告の目的は、各 X 線検査における体格指数 **body mass index (BMI)** を変数とした実効線量の近似式の算出と検討である。患者の体格により皮膚表面からの臓器深度は異なり、ESD も異なるため、患者ごとの被曝線量の推定のためには体格を考慮した算出が必要である。

本手法は、CT 画像³⁾をもとに、胸部、腹部、骨盤内の各臓器の平均深度を計測し、体格ごとの入射表面線量と深部量百分率の近似式から臓器吸収線量を求め、実効線量を算出する。本手法を求めるにあたっては大きく 3 ステップ；

- (1)CT 画像から各臓器の平均深度を計測し、BMI 分類ごとに変換する。
- (2)各 X 線検査での実効線量を算出し、文献値と比較検討する。
- (3)BMI と被曝線量変換テーブルの作成、からなる。

3.方法

3-1)臓器深度の計測

CT画像データにより、胸部、腹部、骨盤内の各臓器の平均深度を測定した。胸部はPA方向、腹部、骨盤はAP方向の深度分布を測定した。

body mass index(BMI)は、 $BMI = \text{体重}[\text{kg}] / \text{身長}[\text{m}]^2$ から算出される、人の肥満度を表す体格指数である。世界保健機関(WHO)ではBMIに応じて肥満度を分類している。⁴⁾

痩せ型 under weight	標準体型 normal range	やや肥満 pre-obese	肥満 obese
$BMI < 18.5$	$18.5 \leq BMI < 25$	$25 \leq BMI < 30$	$30 \leq BMI$

この分類に応じて臓器深度を算出した。

BMI 分類による平均体厚は以下のように設定した。

(male)	underweight	normal range	pre-obese	obese
中心 BMI	15	22	27.5	33.5
胸厚[cm]	18	20	22	24
腹厚[cm]	16	18	20	22

(female)	underweight	normal range	pre-obese	obese
中心 BMI	15	22	27.5	33.5
胸厚[cm]	18	20	22	24
腹厚[cm]	14	16	18	20

この BMI と体厚の関係より体厚近似式を求めた。さらに体厚と各臓器の平均深部の割合を求めた。

3-2)実効線量の算出

3-1)で求めた臓器の深度分布、診断 X 線領域における PDD 近似式と、ESD 近似式を用いて、各 X 線検査における実効線量の算出を行った。実効線量は以下のような式⁵⁾で表される。

$$\text{実効線量} = \sum_{\text{tissue}} W_T H_T \quad \dots \text{式(1)}$$

W_T : 組織加重係数(tissue weighting factor)

$$H_T: \text{等価線量} = \sum_R W_R \cdot D_{T,R} \quad \dots \text{式(2)}$$

W_R : 放射線加重係数(radiation weighting factor)

$$D_{T,R}: \text{臓器の平均線量} = \sum_{\substack{i= \\ \text{min} \\ \text{max}}} PDD_i \cdot ESD \quad \dots \text{式(3)}$$

なお、X線の放射線荷重係数は1であり、各臓器の組織加重係数⁵⁾はTable1に示す。

Table1 tissue weighting factor(Wt) ICRP2007, Publ.103

Lung	0.12	Thyroid	0.04
Stomach	0.12	Oesophagus	0.04
Colon	0.12	Bladder	0.04
Bone-marrow (red)	0.12	Liver	0.04
Breast	0.12	Bone surface	0.01
Remainder tissues*	0.12	Skin	0.01
Gonads	0.08	Brain	0.01
		Salivary glands	0.01

* Remainder tissues:

Adrenals, Extrathoracic (ET) region, Gall bladder, Heart, Kidneys, Lymphatic nodes,

Muscle, Oral mucosa, Pancreas, Prostate (♂), Small intestine, Spleen, Thymus,

Uterus/cervix (♀)

実効線量算出の対象臓器は、

胸部 PA 撮影: 食道、肺、乳房(♀)、骨髄、骨表面、皮膚、心臓

腹部 AP 撮影: 肝臓、胃、結腸、骨表面、骨髄、皮膚、膀胱、脾臓、腎臓

骨盤 AP 撮影: 結腸、骨表面、骨髄、膀胱、皮膚、生殖腺(精囊♂、卵巢♀)、小腸、
前立腺(♂)、子宮(♀)

腰椎 AP 撮影: 肝臓、胃、結腸、骨表面、骨髄、皮膚、膵臓、脾臓、腎臓

とする。なお、その他 14 臓器の組織加重係数は 1 臓器あたり $Wt=0.12/14$ の値を用いた。

本手法で用いた PDD 近似式⁶⁾を以下に示す。

$$PDD_{\leq 5cm} = (0.1172E_{eff} + 99.508) \cdot \exp(-(-0.0072E_{eff} + 0.3867) \cdot d)$$

$$PDD_{>5cm} = (2.4492E_{eff} + 54.82) \cdot \exp(-(-0.0042E_{eff} + 0.3231) \cdot d)$$

(E_{eff} : 実効エネルギー[keV], d : depth[cm])

本手法で用いた ESD 近似式⁷⁾を以下に示す。

Chest PA

$$\text{male } y = 0.0145x - 0.0876$$

$$\text{female } y = 0.0126x - 0.0704$$

Abdomen AP

$$\text{male } y = -0.0025x^3 + 0.1388x^2 - 2.272x + 11.651 \quad (\text{BMI} \leq 18.0)$$

$$y = 0.2707x - 3.7206 \quad (\text{BMI} > 18.0)$$

$$\text{female } y = 0.0023x^3 - 0.0746x^2 + 0.8051x - 2.8402 \quad (\text{BMI} \leq 18.0)$$

$$y = 0.2561x - 3.7989 \quad (\text{BMI} > 18.0)$$

Pelvis AP

$$\text{male } y = 0.0517x + 0.8753$$

$$\text{female } y = 0.0674x + 0.4775$$

Lumbar spine

$$\text{male } y = 0.3462x - 4.1416$$

$$\text{female } y = 0.2525x - 2.8131$$

(y : ESD[mGy], x : BMI[kg/m²])

3-3) 過去の文献値との比較

3-2)で求めた各 X 線検査における実効線量を、以下に示す過去の文献値と比較、検討した。

文献①: Public Health. UK.2008⁸⁾

文献②: Effective Doses in Radiology and Diagnostic Nuclear Medicine: A Catalog ⁹⁾

文献③: PEDIATRIC EFFECTIVE DOSES IN DIAGNOSTIC RADIOLOGY ¹⁰⁾

文献④: Estimation of the Exposure and a Risk-Benefit Analysis for a CT System Designed for a Lung Cancer Mass Screening Unit ¹¹⁾

文献⑤: CT 肺癌検診の被曝線量 ¹²⁾

文献⑥: 放射線技師会 別冊医療ひばく特集 VOL.52/2005¹³⁾

文献⑦: 月刊インナービジョン 2010.6 月号 ¹⁴⁾

文献⑧: 2011 年全国調査の一般撮影条件における線量評価 ¹⁵⁾

文献⑨: Doses from Medical X-Ray Procedure ¹⁶⁾

4.結果

4-1) BMI における体厚近似式

BMI における体厚の近似式を以下に示し、BMI における体厚の変化を fig.1~2 に示す。

胸厚 (男・女) $y = 0.0022x^2 + 0.2211x + 14.166$

腹厚 (男) $y = 0.0022x^2 + 0.2211x + 12.166$

腹厚 (女) $y = 0.0022x^2 + 0.2211x + 10.166$

と表される。ここで、y: 体厚[cm]、x: BMI[kg/m²]とする。

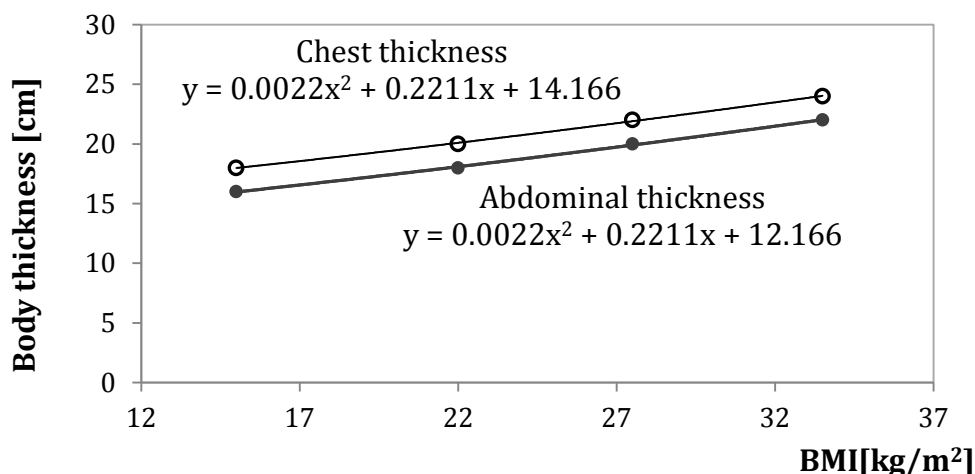


fig.1 Body thickness by BMI (male)

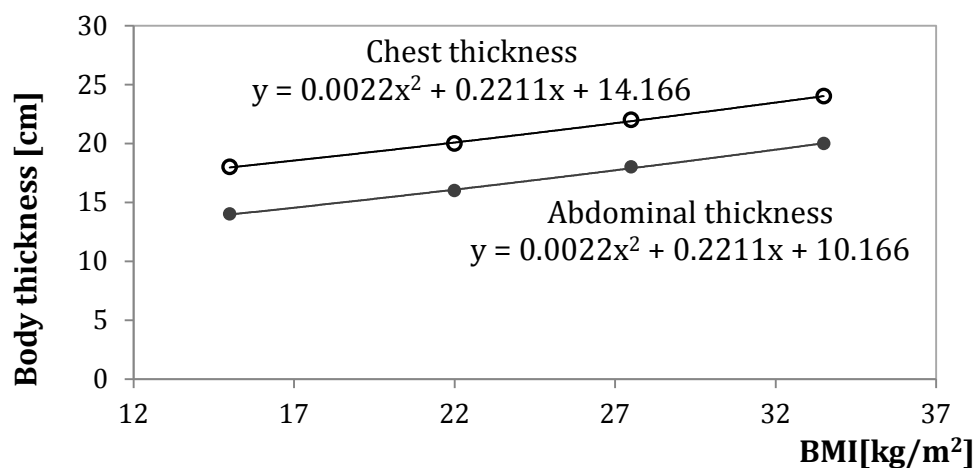


fig.2 Body thickness by BMI (female)

4-2) 臓器深度

測定した各臓器の表面までの平均深度を体厚に対する割合で表し、その結果を Table2 に示す。ただし、X=胸厚、腹厚とする。

Table2 average depth of organ : Chest PA

Oesophagus	X×0.5	Bone-marrow	X×0.25
Lung	X×0.5	Bone surface	X×0.15
Breast	X×0.9	Heart	X×0.6

Table3 average depth of organ : Abdomen/Pelvis AP

Stomach	$X \times 1/3$	Spleen	$X \times 0.65$
Liver	$X \times 0.5$	Kidneys	$X \times 0.7$
Colon	$X \times 0.3$	Bladder	$X \times 0.35$
Bone surface	$X \times 0.6$	Small intestine	$X \times 1/3$
Bone-marrow	$X \times 0.8$	Prostate	$X \times 0.5$
Pancreas	$X \times 0.5$	Gonads	$X \times 0.5$
		Uterus	$X \times 0.5$

BMI における体厚近似式と Table2,3 より求めた臓器の平均深度を Table4～6 に示す。

Table4 average depth of organ : Chest PA [cm]

BMI	Oesophagus	Lung	Breast	Bone-marrow	Bone surface	Heart
12.0	8.57	8.57	15.4	4.28	2.57	10.3
12.5	8.64	8.64	15.5	4.32	2.59	10.4
13.0	8.71	8.71	15.7	4.35	2.61	10.4
13.5	8.78	8.78	15.8	4.39	2.63	10.5
14.0	8.85	8.85	15.9	4.42	2.65	10.6
14.5	8.92	8.92	16.1	4.46	2.68	10.7
15.0	8.99	8.99	16.2	4.49	2.70	10.8
15.5	9.06	9.06	16.3	4.53	2.72	10.9
16.0	9.13	9.13	16.4	4.57	2.74	11.0
16.5	9.21	9.21	16.6	4.60	2.76	11.0
17.0	9.28	9.28	16.7	4.64	2.78	11.1
17.5	9.35	9.35	16.8	4.68	2.81	11.2
18.0	9.43	9.43	17.0	4.71	2.83	11.3
18.5	9.50	9.50	17.1	4.75	2.85	11.4
19.0	9.58	9.58	17.2	4.79	2.87	11.5
19.5	9.66	9.66	17.4	4.83	2.90	11.6
20.0	9.73	9.73	17.5	4.87	2.92	11.7
20.5	9.81	9.81	17.7	4.91	2.94	11.8
21.0	9.89	9.89	17.8	4.94	2.97	11.9

21.5	9.97	9.97	17.9	4.98	2.99	12.0
22.0	10.05	10.05	18.1	5.02	3.01	12.1
22.5	10.13	10.13	18.2	5.06	3.04	12.2
23.0	10.21	10.21	18.4	5.10	3.06	12.2
23.5	10.29	10.29	18.5	5.14	3.09	12.3
24.0	10.37	10.37	18.7	5.18	3.11	12.4
24.5	10.45	10.45	18.8	5.23	3.14	12.5
25.0	10.53	10.53	19.0	5.27	3.16	12.6
25.5	10.62	10.62	19.1	5.31	3.19	12.7
26.0	10.70	10.70	19.3	5.35	3.21	12.8
26.5	10.79	10.79	19.4	5.39	3.24	12.9
27.0	10.87	10.87	19.6	5.43	3.26	13.0
27.5	10.96	10.96	19.7	5.48	3.29	13.1
28.0	11.04	11.04	19.9	5.52	3.31	13.2
28.5	11.13	11.13	20.0	5.56	3.34	13.4
29.0	11.21	11.21	20.2	5.61	3.36	13.5
29.5	11.30	11.30	20.3	5.65	3.39	13.6
30.0	11.39	11.39	20.5	5.69	3.42	13.7
30.5	11.48	11.48	20.7	5.74	3.44	13.8
31.0	11.57	11.57	20.8	5.78	3.47	13.9
31.5	11.66	11.66	21.0	5.83	3.50	14.0
32.0	11.75	11.75	21.1	5.87	3.52	14.1
32.5	11.84	11.84	21.3	5.92	3.55	14.2
33.0	11.93	11.93	21.5	5.96	3.58	14.3
33.5	12.02	12.02	21.6	6.01	3.61	14.4
34.0	12.11	12.11	21.8	6.06	3.63	14.5
34.5	12.21	12.21	22.0	6.10	3.66	14.6
35.0	12.30	12.30	22.1	6.15	3.69	14.8
35.5	12.39	12.39	22.3	6.20	3.72	14.9
36.0	12.49	12.49	22.5	6.24	3.75	15.0
36.5	12.58	12.58	22.7	6.29	3.78	15.1

Table5 average depth of organ : Abdomen(male) [cm]

BMI	Liver	Stomach	Colon	Bone surface	Bone-marrow	Bladder
12.0	7.57	5.05	5.05	9.1	12.1	5.3
12.5	7.64	5.09	5.09	9.2	12.2	5.3
13.0	7.71	5.14	5.14	9.2	12.3	5.4
13.5	7.78	5.18	5.18	9.3	12.4	5.4
14.0	7.85	5.23	5.23	9.4	12.6	5.5
14.5	7.92	5.28	5.28	9.5	12.7	5.5
15.0	7.99	5.33	5.33	9.6	12.8	5.6
15.5	8.06	5.37	5.37	9.7	12.9	5.6
16.0	8.13	5.42	5.42	9.8	13.0	5.7
16.5	8.21	5.47	5.47	9.8	13.1	5.7
17.0	8.28	5.52	5.52	9.9	13.2	5.8
17.5	8.35	5.57	5.57	10.0	13.4	5.8
18.0	8.43	5.62	5.62	10.1	13.5	5.9
18.5	8.50	5.67	5.67	10.2	13.6	6.0
19.0	8.58	5.72	5.72	10.3	13.7	6.0
19.5	8.66	5.77	5.77	10.4	13.9	6.1
20.0	8.73	5.82	5.82	10.5	14.0	6.1
20.5	8.81	5.87	5.87	10.6	14.1	6.2
21.0	8.89	5.93	5.93	10.7	14.2	6.2
21.5	8.97	5.98	5.98	10.8	14.3	6.3
22.0	9.05	6.03	6.03	10.9	14.5	6.3
22.5	9.13	6.08	6.08	11.0	14.6	6.4
23.0	9.21	6.14	6.14	11.0	14.7	6.4
23.5	9.29	6.19	6.19	11.1	14.9	6.5
24.0	9.37	6.25	6.25	11.2	15.0	6.6
24.5	9.45	6.30	6.30	11.3	15.1	6.6
25.0	9.53	6.36	6.36	11.4	15.3	6.7
25.5	9.62	6.41	6.41	11.5	15.4	6.7
26.0	9.70	6.47	6.47	11.6	15.5	6.8
26.5	9.79	6.52	6.52	11.7	15.7	6.8
27.0	9.87	6.58	6.58	11.8	15.8	6.9
27.5	9.96	6.64	6.64	11.9	15.9	7.0
28.0	10.04	6.69	6.69	12.0	16.1	7.0

28.5	10.13	6.75	6.75	12.2	16.2	7.1
29.0	10.21	6.81	6.81	12.3	16.3	7.1
29.5	10.30	6.87	6.87	12.4	16.5	7.2
30.0	10.39	6.93	6.93	12.5	16.6	7.3
30.5	10.48	6.99	6.99	12.6	16.8	7.3
31.0	10.57	7.04	7.04	12.7	16.9	7.4
31.5	10.66	7.10	7.10	12.8	17.1	7.5
32.0	10.75	7.16	7.16	12.9	17.2	7.5
32.5	10.84	7.23	7.23	13.0	17.3	7.6
33.0	10.93	7.29	7.29	13.1	17.5	7.7
33.5	11.02	7.35	7.35	13.2	17.6	7.7
34.0	11.11	7.41	7.41	13.3	17.8	7.8
34.5	11.21	7.47	7.47	13.4	17.9	7.8
35.0	11.30	7.53	7.53	13.6	18.1	7.9
35.5	11.39	7.60	7.60	13.7	18.2	8.0
36.0	11.49	7.66	7.66	13.8	18.4	8.0
36.5	11.58	7.72	7.72	13.9	18.5	8.1

BMI	Pancreas	Spleen	Kidneys	Small intestine	Prostate	Gonads
12.0	7.6	9.8	10.6	5.0	7.6	7.6
12.5	7.6	9.9	10.7	5.1	7.6	7.6
13.0	7.7	10.0	10.8	5.1	7.7	7.7
13.5	7.8	10.1	10.9	5.2	7.8	7.8
14.0	7.8	10.2	11.0	5.2	7.8	7.8
14.5	7.9	10.3	11.1	5.3	7.9	7.9
15.0	8.0	10.4	11.2	5.3	8.0	8.0
15.5	8.1	10.5	11.3	5.4	8.1	8.1
16.0	8.1	10.6	11.4	5.4	8.1	8.1
16.5	8.2	10.7	11.5	5.5	8.2	8.2
17.0	8.3	10.8	11.6	5.5	8.3	8.3
17.5	8.4	10.9	11.7	5.6	8.4	8.4
18.0	8.4	11.0	11.8	5.6	8.4	8.4
18.5	8.5	11.1	11.9	5.7	8.5	8.5
19.0	8.6	11.2	12.0	5.7	8.6	8.6
19.5	8.7	11.3	12.1	5.8	8.7	8.7
20.0	8.7	11.4	12.2	5.8	8.7	8.7
20.5	8.8	11.5	12.3	5.9	8.8	8.8

21.0	8.9	11.6	12.4	5.9	8.9	8.9
21.5	9.0	11.7	12.6	6.0	9.0	9.0
22.0	9.0	11.8	12.7	6.0	9.0	9.0
22.5	9.1	11.9	12.8	6.1	9.1	9.1
23.0	9.2	12.0	12.9	6.1	9.2	9.2
23.5	9.3	12.1	13.0	6.2	9.3	9.3
24.0	9.4	12.2	13.1	6.2	9.4	9.4
24.5	9.5	12.3	13.2	6.3	9.5	9.5
25.0	9.5	12.4	13.3	6.4	9.5	9.5
25.5	9.6	12.5	13.5	6.4	9.6	9.6
26.0	9.7	12.6	13.6	6.5	9.7	9.7
26.5	9.8	12.7	13.7	6.5	9.8	9.8
27.0	9.9	12.8	13.8	6.6	9.9	9.9
27.5	10.0	12.9	13.9	6.6	10.0	10.0
28.0	10.0	13.1	14.1	6.7	10.0	10.0
28.5	10.1	13.2	14.2	6.8	10.1	10.1
29.0	10.2	13.3	14.3	6.8	10.2	10.2
29.5	10.3	13.4	14.4	6.9	10.3	10.3
30.0	10.4	13.5	14.5	6.9	10.4	10.4
30.5	10.5	13.6	14.7	7.0	10.5	10.5
31.0	10.6	13.7	14.8	7.0	10.6	10.6
31.5	10.7	13.9	14.9	7.1	10.7	10.7
32.0	10.7	14.0	15.0	7.2	10.7	10.7
32.5	10.8	14.1	15.2	7.2	10.8	10.8
33.0	10.9	14.2	15.3	7.3	10.9	10.9
33.5	11.0	14.3	15.4	7.3	11.0	11.0
34.0	11.1	14.4	15.6	7.4	11.1	11.1
34.5	11.2	14.6	15.7	7.5	11.2	11.2
35.0	11.3	14.7	15.8	7.5	11.3	11.3
35.5	11.4	14.8	16.0	7.6	11.4	11.4
36.0	11.5	14.9	16.1	7.7	11.5	11.5
36.5	11.6	15.1	16.2	7.7	11.6	11.6

Table6 average depth of organ : Abdomen(female) [cm]

BMI	Liver	Stomach	Colon	Bone surface	Bone-marrow	Bladder
12.0	6.57	4.38	4.38	7.88	10.5	4.60
12.5	6.64	4.42	4.42	7.96	10.6	4.65
13.0	6.71	4.47	4.47	8.05	10.7	4.69
13.5	6.78	4.52	4.52	8.13	10.8	4.74
14.0	6.85	4.56	4.56	8.22	11.0	4.79
14.5	6.92	4.61	4.61	8.30	11.1	4.84
15.0	6.99	4.66	4.66	8.39	11.2	4.89
15.5	7.06	4.71	4.71	8.47	11.3	4.94
16.0	7.13	4.76	4.76	8.56	11.4	4.99
16.5	7.21	4.80	4.80	8.65	11.5	5.04
17.0	7.28	4.85	4.85	8.74	11.6	5.10
17.5	7.35	4.90	4.90	8.83	11.8	5.15
18.0	7.43	4.95	4.95	8.92	11.9	5.20
18.5	7.50	5.00	5.00	9.01	12.0	5.25
19.0	7.58	5.05	5.05	9.10	12.1	5.31
19.5	7.66	5.10	5.10	9.19	12.3	5.36
20.0	7.73	5.16	5.16	9.28	12.4	5.41
20.5	7.81	5.21	5.21	9.37	12.5	5.47
21.0	7.89	5.26	5.26	9.47	12.6	5.52
21.5	7.97	5.31	5.31	9.56	12.7	5.58
22.0	8.05	5.37	5.37	9.66	12.9	5.63
22.5	8.13	5.42	5.42	9.75	13.0	5.69
23.0	8.21	5.47	5.47	9.85	13.1	5.75
23.5	8.29	5.53	5.53	9.95	13.3	5.80
24.0	8.37	5.58	5.58	10.04	13.4	5.86
24.5	8.45	5.63	5.63	10.14	13.5	5.92
25.0	8.53	5.69	5.69	10.24	13.7	5.97
25.5	8.62	5.74	5.74	10.34	13.8	6.03
26.0	8.70	5.80	5.80	10.44	13.9	6.09
26.5	8.79	5.86	5.86	10.54	14.1	6.15
27.0	8.87	5.91	5.91	10.64	14.2	6.21
27.5	8.96	5.97	5.97	10.75	14.3	6.27
28.0	9.04	6.03	6.03	10.85	14.5	6.33

28.5	9.13	6.08	6.08	10.95	14.6	6.39
29.0	9.21	6.14	6.14	11.06	14.7	6.45
29.5	9.30	6.20	6.20	11.16	14.9	6.51
30.0	9.39	6.26	6.26	11.27	15.0	6.57
30.5	9.48	6.32	6.32	11.37	15.2	6.63
31.0	9.57	6.38	6.38	11.48	15.3	6.70
31.5	9.66	6.44	6.44	11.59	15.5	6.76
32.0	9.75	6.50	6.50	11.70	15.6	6.82
32.5	9.84	6.56	6.56	11.81	15.7	6.89
33.0	9.93	6.62	6.62	11.91	15.9	6.95
33.5	10.02	6.68	6.68	12.03	16.0	7.01
34.0	10.11	6.74	6.74	12.14	16.2	7.08
34.5	10.21	6.80	6.80	12.25	16.3	7.14
35.0	10.30	6.87	6.87	12.36	16.5	7.21
35.5	10.39	6.93	6.93	12.47	16.6	7.28
36.0	10.49	6.99	6.99	12.59	16.8	7.34
36.5	10.58	7.06	7.06	12.70	16.9	7.41

BMI	Pancreas	Spleen	Kidneys	Small intestine	Uterus	Gonads
12.0	6.57	8.54	9.20	4.38	6.57	6.57
12.5	6.64	8.63	9.29	4.42	6.64	6.64
13.0	6.71	8.72	9.39	4.47	6.71	6.71
13.5	6.78	8.81	9.49	4.52	6.78	6.78
14.0	6.85	8.90	9.58	4.56	6.85	6.85
14.5	6.92	8.99	9.68	4.61	6.92	6.92
15.0	6.99	9.09	9.78	4.66	6.99	6.99
15.5	7.06	9.18	9.89	4.71	7.06	7.06
16.0	7.13	9.27	9.99	4.76	7.13	7.13
16.5	7.21	9.37	10.09	4.80	7.21	7.21
17.0	7.28	9.46	10.19	4.85	7.28	7.28
17.5	7.35	9.56	10.30	4.90	7.35	7.35
18.0	7.43	9.66	10.40	4.95	7.43	7.43
18.5	7.50	9.76	10.51	5.00	7.50	7.50
19.0	7.58	9.85	10.61	5.05	7.58	7.58
19.5	7.66	9.95	10.72	5.10	7.66	7.66
20.0	7.73	10.05	10.83	5.16	7.73	7.73
20.5	7.81	10.16	10.94	5.21	7.81	7.81

21.0	7.89	10.26	11.05	5.26	7.89	7.89
21.5	7.97	10.36	11.16	5.31	7.97	7.97
22.0	8.05	10.46	11.27	5.37	8.05	8.05
22.5	8.13	10.57	11.38	5.42	8.13	8.13
23.0	8.21	10.67	11.49	5.47	8.21	8.21
23.5	8.29	10.77	11.60	5.53	8.29	8.29
24.0	8.37	10.88	11.72	5.58	8.37	8.37
24.5	8.45	10.99	11.83	5.63	8.45	8.45
25.0	8.53	11.09	11.95	5.69	8.53	8.53
25.5	8.62	11.20	12.06	5.74	8.62	8.62
26.0	8.70	11.31	12.18	5.80	8.70	8.70
26.5	8.79	11.42	12.30	5.86	8.79	8.79
27.0	8.87	11.53	12.42	5.91	8.87	8.87
27.5	8.96	11.64	12.54	5.97	8.96	8.96
28.0	9.04	11.75	12.66	6.03	9.04	9.04
28.5	9.13	11.87	12.78	6.08	9.13	9.13
29.0	9.21	11.98	12.90	6.14	9.21	9.21
29.5	9.30	12.09	13.02	6.20	9.30	9.30
30.0	9.39	12.21	13.15	6.26	9.39	9.39
30.5	9.48	12.32	13.27	6.32	9.48	9.48
31.0	9.57	12.44	13.39	6.38	9.57	9.57
31.5	9.66	12.55	13.52	6.44	9.66	9.66
32.0	9.75	12.67	13.65	6.50	9.75	9.75
32.5	9.84	12.79	13.77	6.56	9.84	9.84
33.0	9.93	12.91	13.90	6.62	9.93	9.93
33.5	10.02	13.03	14.03	6.68	10.02	10.02
34.0	10.11	13.15	14.16	6.74	10.11	10.11
34.5	10.21	13.27	14.29	6.80	10.21	10.21
35.0	10.30	13.39	14.42	6.87	10.30	10.30
35.5	10.39	13.51	14.55	6.93	10.39	10.39
36.0	10.49	13.63	14.68	6.99	10.49	10.49
36.5	10.58	13.76	14.82	7.06	10.58	10.58

4-2) 実効線量の算出

入射表面線量(ESD)近似式を用いて求めた、ESD を Table7 に示す。

Table7 The calculated entrance surface dose [mGy]

BMI	Chest PA		Abdomen AP		Pelvis AP		Lumbar spine AP	
	male	female	male	female	male	female	male	female
12.0	0.09	0.08	0.05	0.05	1.50	1.29	0.01	0.22
12.5	0.09	0.09	0.06	0.06	1.52	1.32	0.19	0.34
13.0	0.10	0.09	0.08	0.07	1.55	1.35	0.36	0.47
13.5	0.11	0.10	0.12	0.09	1.57	1.39	0.53	0.60
14.0	0.12	0.11	0.19	0.12	1.60	1.42	0.71	0.72
14.5	0.12	0.11	0.27	0.16	1.62	1.45	0.88	0.85
15.0	0.13	0.12	0.36	0.21	1.65	1.49	1.05	0.97
15.5	0.14	0.12	0.47	0.28	1.68	1.52	1.22	1.10
16.0	0.14	0.13	0.59	0.36	1.70	1.56	1.40	1.23
16.5	0.15	0.14	0.72	0.47	1.73	1.59	1.57	1.35
17.0	0.16	0.14	0.86	0.59	1.75	1.62	1.74	1.48
17.5	0.17	0.15	1.00	0.73	1.78	1.66	1.92	1.61
18.0	0.17	0.16	1.15	0.89	1.81	1.69	2.09	1.73
18.5	0.18	0.16	1.29	0.94	1.83	1.72	2.26	1.86
19.0	0.19	0.17	1.42	1.07	1.86	1.76	2.44	1.98
19.5	0.20	0.18	1.56	1.20	1.88	1.79	2.61	2.11
20.0	0.20	0.18	1.69	1.32	1.91	1.83	2.78	2.24
20.5	0.21	0.19	1.83	1.45	1.94	1.86	2.96	2.36
21.0	0.22	0.19	1.96	1.58	1.96	1.89	3.13	2.49
21.5	0.22	0.20	2.10	1.71	1.99	1.93	3.30	2.62
22.0	0.23	0.21	2.23	1.84	2.01	1.96	3.47	2.74
22.5	0.24	0.21	2.37	1.96	2.04	1.99	3.65	2.87
23.0	0.25	0.22	2.51	2.09	2.06	2.03	3.82	2.99
23.5	0.25	0.23	2.64	2.22	2.09	2.06	3.99	3.12
24.0	0.26	0.23	2.78	2.35	2.12	2.10	4.17	3.25
24.5	0.27	0.24	2.91	2.48	2.14	2.13	4.34	3.37
25.0	0.27	0.24	3.05	2.60	2.17	2.16	4.51	3.50

25.5	0.28	0.25	3.18	2.73	2.19	2.20	4.69	3.63
26.0	0.29	0.26	3.32	2.86	2.22	2.23	4.86	3.75
26.5	0.30	0.26	3.45	2.99	2.25	2.26	5.03	3.88
27.0	0.30	0.27	3.59	3.12	2.27	2.30	5.21	4.00
27.5	0.31	0.28	3.72	3.24	2.30	2.33	5.38	4.13
28.0	0.32	0.28	3.86	3.37	2.32	2.36	5.55	4.26
28.5	0.33	0.29	3.99	3.50	2.35	2.40	5.73	4.38
29.0	0.33	0.30	4.13	3.63	2.37	2.43	5.90	4.51
29.5	0.34	0.30	4.27	3.76	2.40	2.47	6.07	4.64
30.0	0.35	0.31	4.40	3.88	2.43	2.50	6.24	4.76
30.5	0.35	0.31	4.54	4.01	2.45	2.53	6.42	4.89
31.0	0.36	0.32	4.67	4.14	2.48	2.57	6.59	5.01
31.5	0.37	0.33	4.81	4.27	2.50	2.60	6.76	5.14
32.0	0.38	0.33	4.94	4.40	2.53	2.63	6.94	5.27
32.5	0.38	0.34	5.08	4.52	2.56	2.67	7.11	5.39
33.0	0.39	0.35	5.21	4.65	2.58	2.70	7.28	5.52
33.5	0.40	0.35	5.35	4.78	2.61	2.74	7.46	5.65
34.0	0.41	0.36	5.48	4.91	2.63	2.77	7.63	5.77
34.5	0.41	0.36	5.62	5.04	2.66	2.80	7.80	5.90
35.0	0.42	0.37	5.75	5.16	2.68	2.84	7.98	6.02
35.5	0.43	0.38	5.89	5.29	2.71	2.87	8.15	6.15
36.0	0.43	0.38	6.02	5.42	2.74	2.90	8.32	6.28
36.5	0.44	0.39	6.16	5.55	2.76	2.94	8.49	6.40

式(1)~(3)、PDD 近似式と ESD 近似式を用いて求めた実効線量を Table8,9 に示す。

Table8 effective dose (male) [mSv]

BMI	Chest PA	Abdomen AP	Pelvis AP	Lumbar spine AP
12.0	0.014	0.0091	0.21	0.0022
12.5	0.015	0.0093	0.21	0.031
13.0	0.016	0.013	0.22	0.059
13.5	0.017	0.020	0.22	0.087
14.0	0.018	0.031	0.22	0.11
14.5	0.019	0.043	0.22	0.14
15.0	0.020	0.058	0.22	0.17
15.5	0.021	0.075	0.22	0.19
16.0	0.022	0.093	0.22	0.22
16.5	0.023	0.11	0.23	0.24
17.0	0.024	0.13	0.23	0.27
17.5	0.025	0.15	0.23	0.29
18.0	0.026	0.17	0.23	0.32
18.5	0.027	0.19	0.23	0.34
19.0	0.028	0.21	0.23	0.36
19.5	0.029	0.23	0.23	0.38
20.0	0.030	0.25	0.23	0.41
20.5	0.031	0.26	0.23	0.43
21.0	0.032	0.28	0.23	0.45
21.5	0.032	0.30	0.24	0.47
22.0	0.033	0.31	0.24	0.49
22.5	0.034	0.33	0.24	0.51
23.0	0.035	0.35	0.24	0.53
23.5	0.036	0.36	0.24	0.55
24.0	0.036	0.38	0.24	0.57
24.5	0.037	0.39	0.24	0.58
25.0	0.038	0.41	0.24	0.60
25.5	0.039	0.42	0.24	0.62
26.0	0.039	0.43	0.24	0.63
26.5	0.040	0.45	0.24	0.65
27.0	0.041	0.46	0.24	0.67

27.5	0.042	0.47	0.24	0.68
28.0	0.042	0.49	0.24	0.70
28.5	0.043	0.50	0.24	0.71
29.0	0.044	0.51	0.24	0.73
29.5	0.044	0.52	0.24	0.74
30.0	0.045	0.53	0.24	0.76
30.5	0.045	0.54	0.24	0.77
31.0	0.046	0.56	0.24	0.78
31.5	0.047	0.57	0.24	0.80
32.0	0.047	0.58	0.24	0.81
32.5	0.048	0.59	0.24	0.82
33.0	0.048	0.60	0.24	0.84
33.5	0.049	0.61	0.24	0.85
34.0	0.049	0.62	0.25	0.86
34.5	0.050	0.63	0.25	0.87
35.0	0.050	0.64	0.25	0.88
35.5	0.051	0.65	0.25	0.89
36.0	0.051	0.65	0.25	0.90
36.5	0.052	0.66	0.25	0.91

Table9 effective dose (female) [mSv]

BMI	Chest PA	Abdomen AP	Pelvis AP	Lumbar spine AP
12.0	0.015	0.010	0.21	0.041
12.5	0.016	0.011	0.21	0.065
13.0	0.017	0.013	0.22	0.088
13.5	0.018	0.017	0.22	0.11
14.0	0.019	0.022	0.22	0.13
14.5	0.020	0.029	0.23	0.16
15.0	0.020	0.039	0.23	0.18
15.5	0.021	0.050	0.23	0.20
16.0	0.022	0.065	0.23	0.22
16.5	0.023	0.082	0.24	0.24
17.0	0.024	0.10	0.24	0.26
17.5	0.025	0.13	0.24	0.28
18.0	0.026	0.15	0.24	0.30

18.5	0.027	0.16	0.25	0.32
19.0	0.027	0.18	0.25	0.33
19.5	0.028	0.20	0.25	0.35
20.0	0.029	0.22	0.25	0.37
20.5	0.030	0.24	0.26	0.39
21.0	0.031	0.26	0.26	0.40
21.5	0.031	0.27	0.26	0.42
22.0	0.032	0.29	0.26	0.43
22.5	0.033	0.31	0.26	0.45
23.0	0.033	0.33	0.26	0.47
23.5	0.034	0.34	0.27	0.48
24.0	0.035	0.36	0.27	0.50
24.5	0.036	0.37	0.27	0.51
25.0	0.036	0.39	0.27	0.52
25.5	0.037	0.40	0.27	0.54
26.0	0.037	0.42	0.27	0.55
26.5	0.038	0.43	0.27	0.56
27.0	0.039	0.45	0.28	0.58
27.5	0.039	0.46	0.28	0.59
28.0	0.040	0.47	0.28	0.60
28.5	0.040	0.49	0.28	0.61
29.0	0.041	0.50	0.28	0.62
29.5	0.041	0.51	0.28	0.63
30.0	0.042	0.53	0.28	0.64
30.5	0.043	0.54	0.28	0.65
31.0	0.043	0.55	0.28	0.66
31.5	0.044	0.56	0.28	0.67
32.0	0.044	0.57	0.28	0.68
32.5	0.044	0.58	0.29	0.69
33.0	0.045	0.59	0.29	0.70
33.5	0.045	0.60	0.29	0.71
34.0	0.046	0.61	0.29	0.72
34.5	0.046	0.62	0.29	0.73
35.0	0.047	0.63	0.29	0.74
35.5	0.047	0.64	0.29	0.75
36.0	0.047	0.65	0.29	0.75
36.5	0.048	0.66	0.29	0.76

BMI における実効線量の近似式を以下に、また BMI と実効線量の関係を fig.3~6 に示す。

Chest PA

$$\text{male } y = -0.000026x^2 + 0.002787x - 0.015494$$

$$\text{female } y = -0.000027x^2 + 0.002634x - 0.013079$$

Abdomen AP

$$\text{male } y = 0.0000037x^4 - 0.0003826x^3 + 0.0138349x^2 \\ - 0.1765880x + 0.7063094$$

$$\text{female } y = 0.0000047x^4 - 0.0005030x^3 + 0.0189357x^2 \\ - 0.2679603x + 1.2635104$$

Pelvis AP

$$\text{male } y = -0.000068x^2 + 0.004595x + 0.168044$$

$$\text{female } y = -0.000131x^2 + 0.009520x + 0.114894$$

Lumbar spine AP

$$\text{male } y = -0.00077x^2 + 0.07427x - 0.77258$$

$$\text{female } y = -0.00068x^2 + 0.06181x - 0.59881$$

と表される。ここで、y: 実効線量[mSv]、x: BMI[kg/m²]とする。

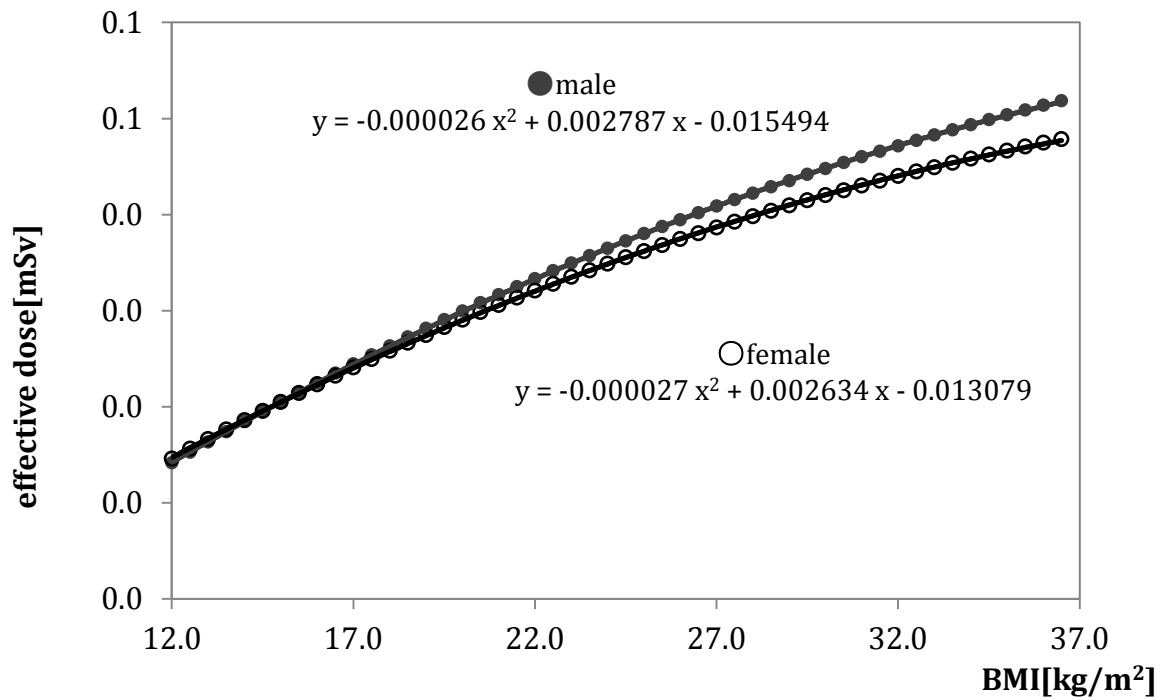


Fig.3 effective dose by BMI : Chest PA

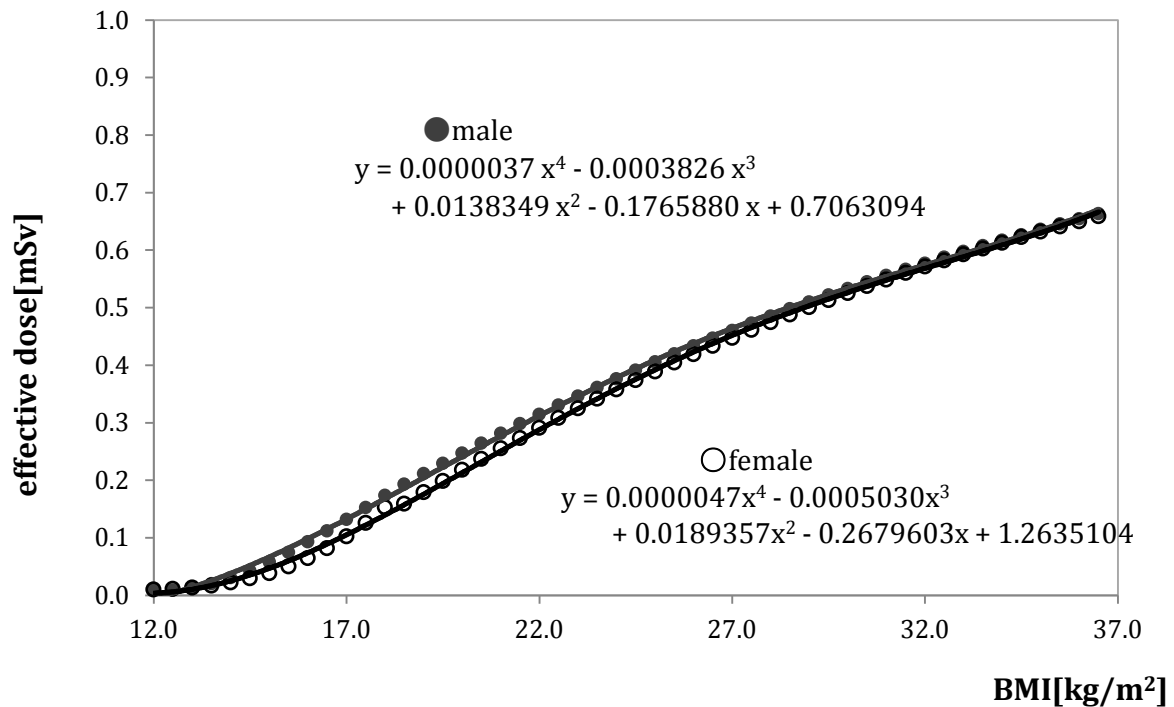


Fig.4 effective dose by BMI : Abdomen AP

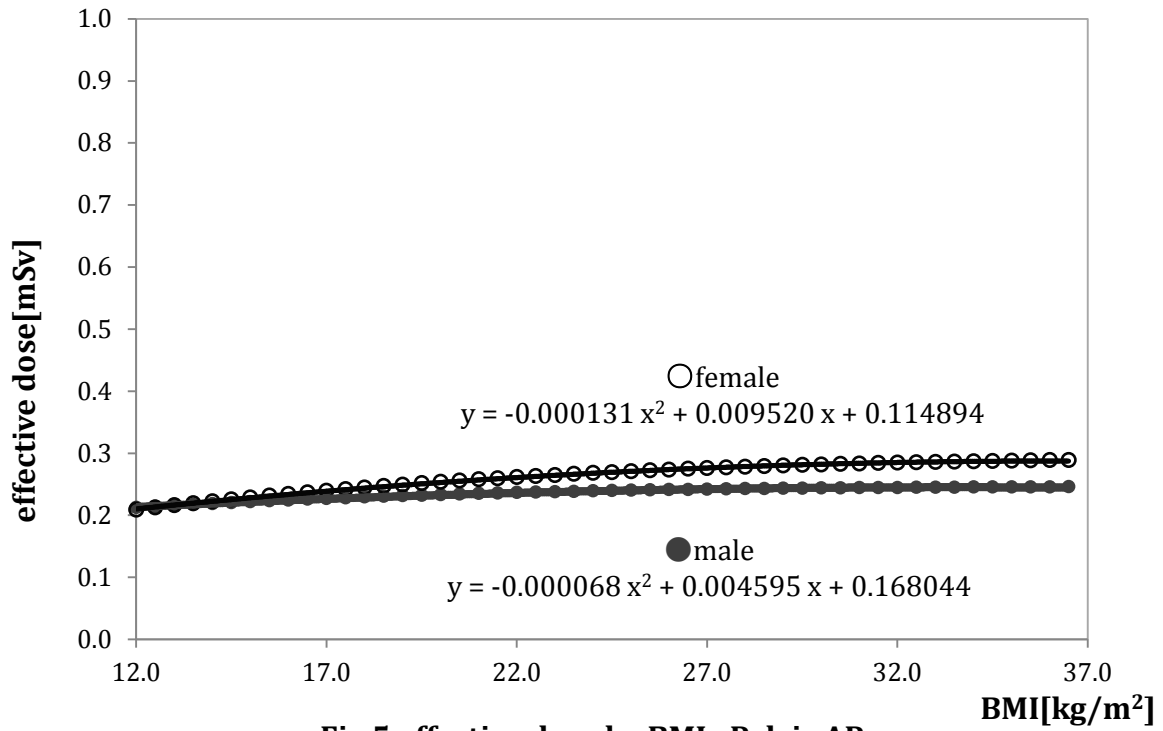


Fig.5 effective dose by BMI : Pelvis AP

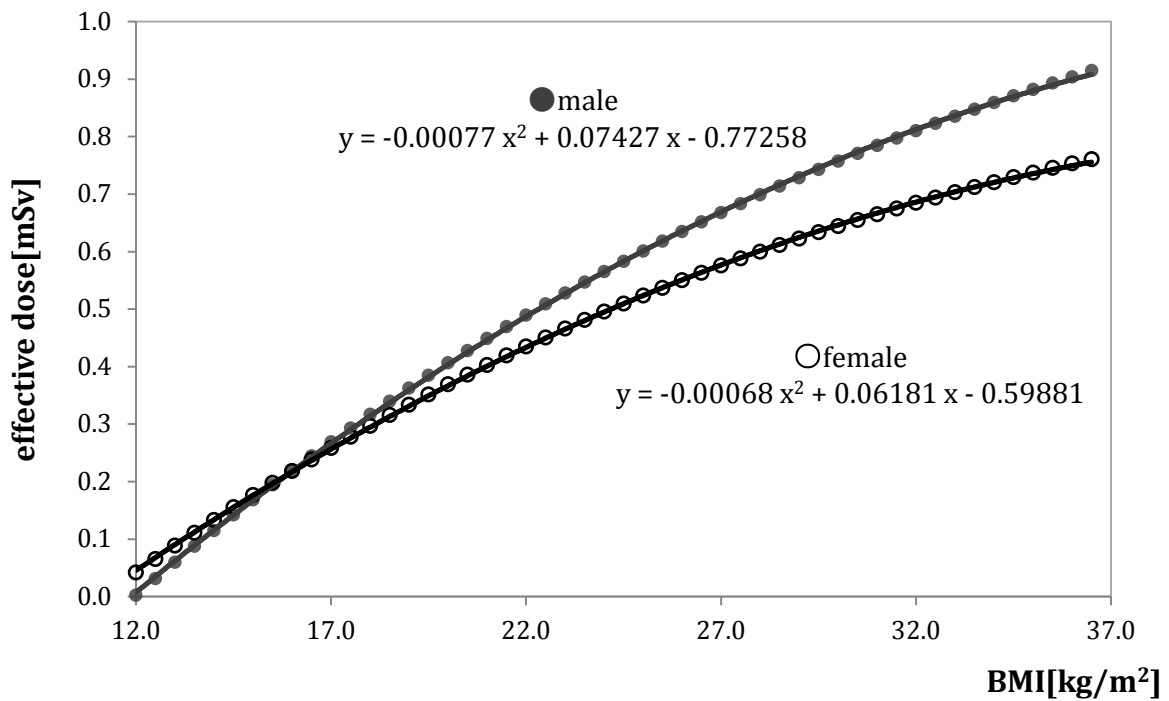


Fig.6 effective dose by BMI : Lumbar spine AP

4-3) 過去の文献値との比較

実効線量の近似式により算出した各種検査での実効線量の計算値と、過去の文献値を Table10 示し、その相違(計算値－文献値)を Table11、相対値(計算値／文献値)を Table12 示す。なお、文献値の値は標準体型(BMI=22)として比較する。

Table10 our study and papers [mSv]

	Our study	①	②	②'	③
Chest PA	0.033	0.02	0.02	0.007~0.050	0.034
Abdomen AP	0.31	0.7	0.7	0.04~1.1	0.29
Pelvis AP	0.24	0.7	0.6	0.2~1.2	-
Lumbar spine AP	0.49	1.3	1.5	0.5~1.8	-

④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
0.04	0.021	0.056	0.06	0.04	0.02
-	-	-	-	0.54	0.53
-	-	-	-	-	0.7
-	-	1.490	-	0.39	0.7

Table11 difference between our study and papers [mSv]

	①	②	②'	③
Chest PA	0.01	0.01	範囲内	-0.001
Abdomen AP	-0.39	-0.39	範囲内	0.02
Pelvis AP	-0.46	-0.36	範囲内	-
Lumbar spine AP	-0.81	-1.01	範囲内	-

④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
-0.01	0.01	-0.02	-0.03	-0.01	0.01
-	-	-	-	-0.23	-0.22
-	-	-	-	-	-0.46
-	-	-1.00	-	0.10	-0.21

Table12 relative percentage of our study and papers[%]

	①	②	②'	③
Chest PA	165%	165%	範囲内	97%
Abdomen AP	44%	44%	範囲内	107%
Pelvis AP	34%	40%	範囲内	-
Lumbar spine AP	38%	33%	範囲内	-

④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
83%	157%	59%	55%	83%	165%
-	-	-	-	57%	58%
-	-	-	-	-	34%
-	-	33%	-	126%	70%

Table11 より、文献値との最小差は-0.001mSv、最大差は-1.01mSv であった。

Table12 より、相対値としては 33%~165%の範囲であった。

fig.7~fig.10 に、計算値と文献値との比較を示す。

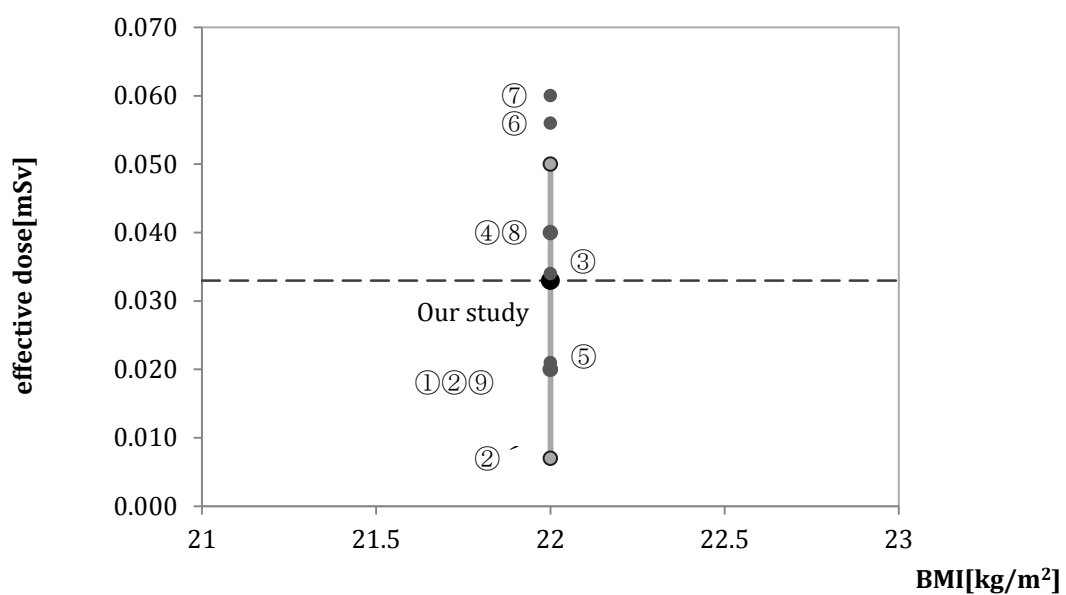


fig.7 our study and papers : Chest PA

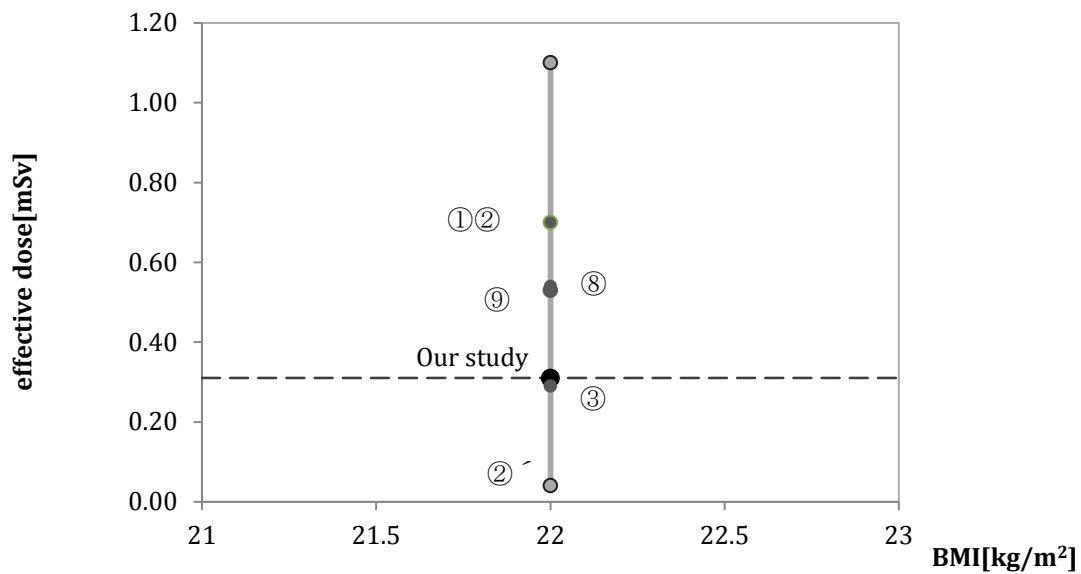


fig.8 our study and papers : Abdomen AP

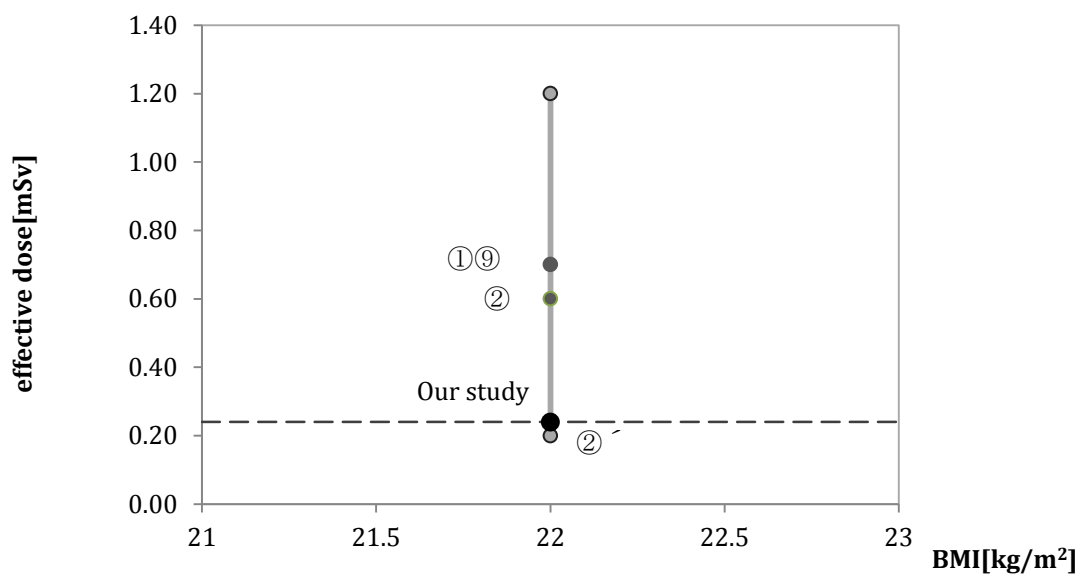


fig.9 our study and papers : Pelvis AP

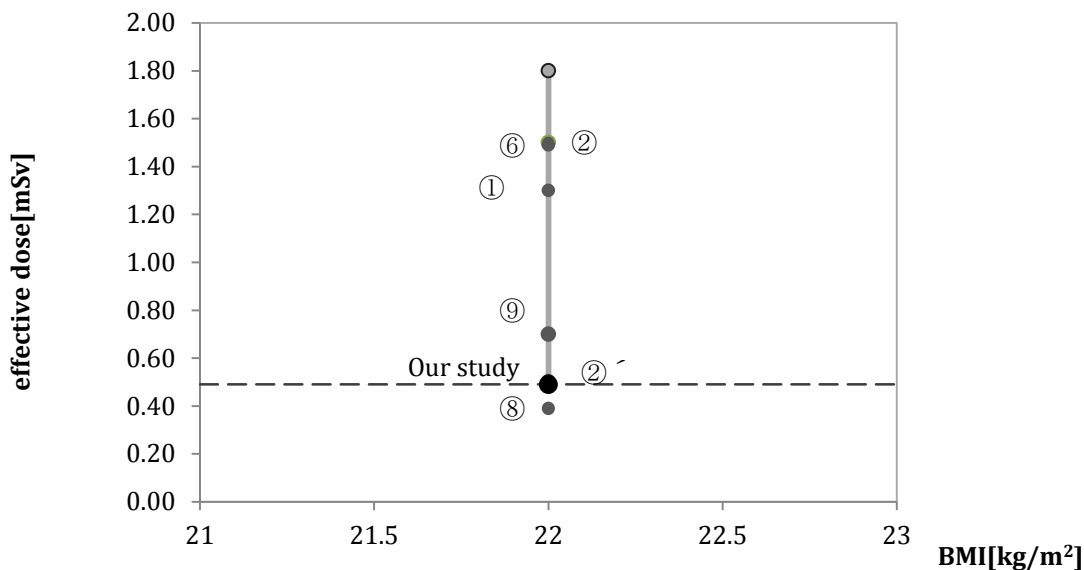


fig.10 our study and papers : Lumbar spine AP

5.考察

5-1) 計算値と文献値との比較

文献値には患者の体格に関する記載がなかったため、標準体格 BMI= 22 として比較した。その相違は-0.001mSv~-1.01mSv であった。また相対値としては 33%~165%の範囲であった。fig.7~fig.10 より、今回の計算値より高い値を示す文献値が多かった。

計算値に対して文献値が高い値となった原因として、各 X 線撮影の様式の変化が考えられる。文献値の出版年数が 2010 年以前のもの比較的、計算値を上回る傾向にあり、2010 年以降のものは計算値と近い値となった。これは X 線撮影が完全デジタル化したのが 2010 年頃以降であることを考慮すると、増感紙/フィルムを用いたアナログ撮影では現在の FCR や FPD を用いたデジタル撮影よりも高い入射表面線量で撮影が行われていたため今回のような結果となったと考えられる。

今回はデジタル撮影時の入射表面線量を用いた近似式であるため、概ね実効線量は低い値となった。また、実効線量は測定値ではなく、真値の存在しない推定値であるため、公表されている文献値との比較からこれらの範囲に入っておれば十分な精度であると判断し

た。以上より、今回の計算近似式は実効線量の推定に有効であると考えられる。

6.結論

本研究では、PDD 近似式から BMI における実効線量を求めることが出来る個人被曝線量推定方法を提案した。これにより被曝線量推定ソフトを使用せずに、患者個人の身長、体重がわかれば、撮影前及び診察時において実効線量を容易に推定することが出来る。本手法は汎用性があり、他の施設でも簡便に使用できるため、臨床現場で有用なツールとなると考えられる。東日本大震災以降、国民の放射線被曝に関する関心は高まっており、検査前におおよその実効線量を示すことが出来るため、患者の被曝に対する不安を解消することが出来るツールになると思われる。

7.参考文献

- 1)前川昌之、一般撮影における被ばく線量推定ソフト PCXMC について、第 26 回計測分科会討論会(1)
http://ci.nii.ac.jp/els/110003381596.pdf?id=ART0003894737&type=pdf&lang=jp&host=cinii&order_no=&ppv_type=0&lang_sw=&no=1447995728&cp=
- 2)坂元健太郎、患者個人の被曝線量推定方法の検討、仙台市立病院医誌、p59-65、2013
<https://hospital.city.sendai.jp/pdf/p059-065.pdf>
- 3)片田和広、森田紀之、CT 画像解剖ハンドブック、宮下宗治、p74-103,116-157、株式会社オーム社、〒101-8460 東京都千代田区神田錦町 3-1、2007
- 4)World Health Organization、BMI classification
http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro_3.html
- 5)社団法人日本アイソトープ協会、ICRP Publication103 国際放射線防護委員会の 2007 年勧告、pG5,140、2012
- 6)三宅綾香、診断 X 線領域における深部量百分率の近似関数の作成、2015
- 7)Matsumoto Mitsuhiro、Analysis of entrance surface dose in general radiographies using body mass index classification、医学物理、第 23 巻 第 4 号、p232-242、2003
- 8)Public Health. UK.2008
(<https://www.gov.uk/government/publications/medical-radiation-patient-doses/patient-dose-information-guidance>)
- 9) Effective Doses in Radiology and Diagnostic Nuclear Medicine: A Catalog 2008
(<http://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/radiol.2481071451>)
- 10)Huda W, Gkanatsios NA, Botash RJ, 他:Pediatric effective doses in diagnostic radiology. Proceedings of the Canadian Organization of Medical Physics、1998
(<http://nersp.osg.ufl.edu/~nikos/Downloads/COMP98.pdf>)

- 11) Nishizawa K, Iwai K, Matsumoto T, 他 : Estimation of the Exposure and a Risk-Benefit Analysis for a CT System Designed for a Lung Cancer Mass Screening Unit, 67 巻, 2 号, p101-8, 1996
- 12) 岡本英明、宮崎正義、米田晃敏、他 : CT 肺癌検診の被曝線量、2001
- 13) 放射線技師会 別冊医療ひばく特集 VOL.52/2005
- 14) 赤羽恵一、医療被曝の現状、月刊インナービジョン、6月号、p46-49、2010
- 15) 松永雄太、川口愛、小林謙一、他 : 2011 年全国調査の一般撮影条件における線量評価、日本放射線技術学会雑誌、Vol.69, No.12, p1372-1378、2013
- 16) Health Physics Society、Doses from Medical X-Ray Procedure
(http://hps.org/physicians/documents/Doses_from_Medical_X-Ray_Procedures.pdf)