資 料

自然放射線に対する建築物遮蔽効果とその 国民線量評価への影響^{*1}

中村尚司^{*2}, 伊藤和男^{*3}, 義村利秋^{*4}

(1979年11月13日受理)

(1980年1月11日再受理)

Shielding Effect of Building to Natural Radiation and Its Influence to Population Dose Evaluation^{*1}

Takashi NAKAMURA,^{*2} Kazuo ITOH,^{*3} and Toshiaki Yoshimura^{*4}

This work investigated the shielding effect of the building which is indispensable for the accurate evaluation of the population dose of external exposure from natural radiation.

At first, the attenuation coefficients of various building materials were measured and found to agree with the calculated values within 10% errors. The shielding factors of these materials were calculated from the calculated attenuation coefficients and buildup factors.

The shielding factors of the wall, window, roof and floor were calculated separately by settling the model houses and combining the shielding factors of the building materials used, and then the shielding factor of the whole building was obtained by use of the opening fraction of the wall and the fractions of the wall, roof and floor areas to the total floor area.

The influence of the shielding effect of the building is well represented by the occupancy factor which is the ratio of the group doses including that shielding effect to those excluding it. The occupancy factor lies between 0.9 and 1.0 for four specified districts, Tokyo, Osaka, Ibaraki and Nagano.

KEY WORD : shielding effect, building, natural radiation, population dose, external exposure, occupancy factor, model house, attenuation coefficient, buildup factor.

^{*1} 本資料は(財)放射線影響協会が放射線医学総合研究所より委託をうけた研究成果(昭和52年¹⁾, 53年²⁾)の一部をとりまとめたものである。

^{*2} 東京大学原子核研究所放射線管理室; 東京都田無市緑町3-2-1 (〒188)
Radiation Control Center, Institute for Nuclear Study, Univ. of Tokyo; Midori-cho 3-2-1, Tanashi, Tokyo.

^{*3} 建築研究所第2研究部; 茨城県筑波郡大穂町立原1 (〒305)
Building Research Institute, Second Div.; Tachihara 1, Oho-cho, Tsukuba, Ibaraki.

^{*4} 政策科学研究所; 東京都千代田区永田町2-4-11 (〒100)
Institute for Policy Sciences; Nagata 2-4-11, Chiyoda, Tokyo.

I 序 論

放射線利用の急激な発展と低線量被曝の影響に関する研究の進展に伴い、人類とその環境への放射線の影響が重要な問題になってきている。この影響評価のためには国民全体にわたる被曝(国民線量)を推定することが必要である。

国民線量推定のための基礎調査委員会の報告書「国民線量推定のための基礎調査」^{1),2)}の中で述べられているように、国民線量の推定にあたっては線量に寄与する放射線源の種類とその大きさを評価することが必要であり、そこでは自然放射線源による外部被曝のみを対象とし

て、多くのパラメータを含む国民線量推定モデルを作成している。本研究では、このモデルに含まれるパラメータのうちの建築物の遮蔽効果に着目し、その遮蔽効果が国民線量推定に及ぼす影響の程度について感度解析を主眼とした評価を行なった。

これまで放射線の物質による遮蔽効果の研究は数多くなされているが、建築物の遮蔽効果に関する研究はほとんどないといっても過言ではない。本研究では、まず建築物に用いられている各種建築材料の減衰係数と遮蔽率を求め、ついで建物構造別にモデルハウスを設定して建築物全体の遮蔽率を推定し、最後にこの建物遮蔽率の国民線量への影響の程度を評価した。

II 自然放射線の種類

建物遮蔽効果の対象となる自然放射線源としては、上記報告書^{1,2)}に示したように線量寄与の大きい宇宙線と大地・大気放射線の2つを考える。

宇宙線は直接電離成分(電子, 光子, μ 中間子)と間接電離成分(中性子)に大別できるが、地上 1,000 m ぐらいまでは後者は無視できる。直接電離成分は MeV 領域から GeV 領域に向って単調減少するエネルギースペクトルを持っているが³⁾、数 MeV 付近から以下では線量への寄与は比較的小さくなるといわれている。つまり宇宙線はその高エネルギー成分が線量に寄与する。また、宇宙線の入射方向の角度分布としては、ガンマ線成分に対する測定値⁴⁾から下向きの成分が主であることが分っている。

大地・大気放射線は ^{40}K および U, Th の崩壊生成物から放出される β , γ 線が主成分である。ガンマ線のエネルギースペクトルは地域ごとに違う可能性が高いが、その差はあまり大きくないものとみて代表的な測定例を第1図に示す⁵⁾。また、入射角度分布は日本⁵⁾およびアメリカ⁶⁾での実測値から、真下からくるものは少なく、下方のほぼ横方向からくる成分が大きいことがわかっ

ている。

III 各種建築材料の減衰係数

^{60}Co ガンマ線に対する各種建築材料の線減衰係数 μ を測定した。測定配置を第2図に示す。線源は約 34 mCi の ^{60}Co で、鉛-タングステン製の容器に格納されている。放出されるガンマ線は、厚さ 100 cm の磁鉄鉱コンクリート壁を貫通する直径 2.5 cm の孔によりコリメートされ細いビームとしてとり出された。供試体を透過したガンマ線は、直径 0.5 cm の穴のあいた 5 cm 厚の鉛コリメータで遮蔽された $2''\phi \times 2''$ NaI(Tl) シンチレータで検出し、多重波高分析器で波高分布を測定した。 ^{60}Co のガンマ線エネルギーを 1.25 MeV とし、このエネルギーに対する線減衰係数 μ を

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

の式から求めた。ここで x は供試体の厚さ、 I , I_0 は各

Terrestrial ionization intensity as a function of photon energy at ground level.(5)

第1図 大地放射線のエネルギースペクトル
文献 5) から引用した

第2図 建築材料の線減衰係数の測定配置図

第1表 ^{60}Co (1.25 MeV) ガンマ線に対する各種建築材料の減衰係数

建築材料名	線減衰係数実測値 (cm^{-1})	見かけ密度実測値 (g/cm^3)	質量減衰係数 (cm^2/g)	
			実測値	計算値
化粧合板	0.0348 ± 0.0059	0.59	0.0590 ± 0.010	} 0.0641^*
普通合板	0.0420 ± 0.0081	0.63	0.0667 ± 0.013	
石コウボード	0.0623 ± 0.0054	0.97	0.0642 ± 0.0056	0.0591
石綿セメント板	0.0775 ± 0.0077	1.5	0.0517 ± 0.0051	0.0578
コンクリートブロック	0.0663 ± 0.0021	1.21	0.0548 ± 0.0017	0.0578
日本ガワラ	0.0926	1.73	0.0535	} 0.0582
洋ガワラ	0.134	2.29	0.0584	

* この値は水に対する値である。

各供試体をおいた時とおかない時の測定された波高分布の光電ピーク部の面積である。

^{60}Co (1.25 MeV) に対する各種建築材料の線減衰係数 μ の測定値を見掛け密度 ρ の実測値および質量減衰係数 μ_m とともに第1表に示した。供試体表面の任意の3点を選んで μ の測定を行ない、その3点の平均値をもって μ の値とした。測定誤差は3回の測定値の平均値からのずれの平均値とした。したがってかわらについては測定点が1点のため誤差を示していない。次章でのべる計算法により求めた μ_m の計算値も第1表に示したが、測定値とは約 10% の誤差内で一致しており、測定値の誤差を考慮すると計算値と測定値の一致は十分満足すべきものであることが分った。

IV 建築物遮蔽率の計算

建物の遮蔽率を求める場合、まず代表的な何種類かのモデルハウスを考えるが、その要件となるのは

(i) 各部 (屋根, 壁, 床) の材質, 層数, 各層の厚さ

(ii) 開口率, 壁面積比, 屋根面積比, 床面積比

である。(i) については、壁に対して文献 7) に基づいて、構造別に、さらに各構造毎に仕上げ材 (素材) 別にモデルハウスを設定し、それに基く結果が報告されており¹⁾、第3図に、その構造別壁エレメント構成表を引用している。この図には用途別 (住宅, 非住宅) に仕上げ材別の存在割合も記されている。屋根および床に対しても同じデータが必要であるが、非木造の場合は屋根および床は壁に等しいと考えることにして、木造の場合の屋根, 床だけを考えた。木造家屋の屋根, 床のエレメント構成については文献 8) をもとに作成された報告がなされている²⁾。ただし前に述べたように大地放射線がほぼ下方横方向から建物に入射することを考えると、壁面遮蔽率

が重要で、屋根や床の遮蔽効果はあまり重要でないといえる。(ii) については用途別にえられた結果¹⁾が第2表に引用されている。

(i), (ii) のデータをもとに建物遮蔽率を第4図に示す順序に従って算出した。以下各項目を追って説明する。

1. 放射線源の種類, エネルギースペクトル, 角度分布の決定

大地・大気放射線のみを考えるのでその主成分はガンマ線であり、エネルギースペクトルは第1図に与えられている。角度分布は下方横方向からの入射が大きくなっているため、モデルハウスの遮蔽効果を考える場合、屋根, 壁, 床の全面に対し大地放射線が等方に様に入射する場合と、壁のみに入射する場合の両方が考えられ、実際にはこの両者の値の中間であって後者に近い値をとると考えればよい。

2. 平均エネルギーの決定

第1図の大地放射線のエネルギースペクトルから各エネルギーに対する遮蔽率を求めるのは数多くの計算を必要とするので、ここでは簡単な近似として、線量寄与の重み付き平均エネルギー $\bar{E}$ を求めて、これに対する遮蔽率 $f_k(\bar{E})$ を求めることにした。

$$\bar{E} = \frac{\int_0^{E_0} \mu_a(E) E \phi(E) dE}{\int_0^{E_0} \mu_a(E) \phi(E) dE} \quad (2)$$

である。ここで、 $E_0 = 2.6 \text{ MeV}$

$\mu_a(E)$: 空気のエネルギー吸収係数

$\phi(E)$: 大地放射線のエネルギースペクトル

であり、計算の結果 $\bar{E} = 0.914 \text{ MeV}$ を得た。

3. 化合物, 混合物の質量および線減衰係数の計算

建築材料として使用されている化合物, 混合物の質量

木 造						鉄筋コンクリート 鉄骨鉄筋コンクリート					
外 部			内 部			外 部			外 部		
仕上	断 面 図	住宅 (%) 非住宅 (%)	仕上	断 面 図	住宅 (%) 非住宅 (%)	仕上	断 面 図	住宅 (%) 非住宅 (%)	仕上	断 面 図	住宅 (%) 非住宅 (%)
モルタル		65 75	石コウボード		30 35	コンクリート打放し		10 15			
下見板		15 15	化粧合板・合板		25 30	モルタル		70 45			
土壁+塗壁		5	羽目板		5 10	モルタル+タイル石貼り		20 40			
ボード類		15 10	ラスボード+塗壁		30 15	注1) コンクリートブロック造についてはコンクリート60%を30%として置き換えて、計算し、仕上げおよび構成比は鉄筋コンクリートと同じと考える。					
			土壁+塗壁		10 10						

第3図 建物構造別壁エレメント構成表

(コンクリートブロック)注1.				鉄 骨			
内 部		外 部		内 部		外 部	
仕上	断 面 図	住宅	非住宅	仕上	断 面 図	住宅	非住宅
石コウボード		(%)	(%)	モルタル		(%)	(%)
石コウボード		35	20	モルタル		40	25
化粧合板		30	15	ブロック+モルタル		—	10
化粧合板・合板				ブロック+モルタル			
塗		20	35	ALC版(軽量コンクリートの一種)		20	40
壁				ALC版(軽量コンクリートの一種)			
モルタル		10	25	ボード類		40	25
モルタル				ボード類			
コンクリート打放し(吹仕上げ)		5	10				
コンクリート打放し(吹仕上げ)							

文献 1) から引用した。

第2表 用途別開口率, 壁非開口率, 屋根・床・壁面積比*

		居 住 (m ² /m ²)	公 共 (m ² /m ²)	商 工 (m ² /m ²)
壁面積率	(α)**	1.4~2.5	0.8~2.0	0.2~1.0
開口率	(β)	0.3~0.5	0.2~0.4	0.1~0.3
非開口率	(γ)	1.1~2.0	0.6~1.6	0.1~0.7
屋根面積率	(δ)	1	1	1
床面積率	(δ)	1	1	1

* 文献 1) から引用した。

** $\alpha - \beta = \gamma$. これらの値は延床面積 (m²) に対する面積 (m²) の比である。

第4図 建物遮蔽率計算のためのフローチャート

吸収係数 μ_m (cm²/g) は, 文献 9), 10) に与えられている元素 (Ca, Fe, O, C, Mg, S)⁹⁾, 化合物 (SiO₂, H₂O)⁹⁾, 混合物 (普通コンクリート⁹⁾, ガラス¹⁰⁾, レンガ¹⁰⁾) の μ_m のデータから, 各素材構成成分の重量比 W (%) を用いて

$$\mu_m = \sum_i \mu_{mi} W_i \quad (3)$$

より計算した。計算で求めた化合物は生石灰 (CaO), 石灰 (CaCO₃), 石綿 (3MgSiO₃・CaSiO₃), 石こう (CaSO₄・2H₂O) であり, 混合物は次のようにとり扱った。

- i) セメント—CaO 30 wt%, SiO₂ 70 wt%
- ii) モルタル—水 10 wt%, 砂 (SiO₂) 20 wt%, セメント 70 wt%
- iii) コンクリート—文献 9) に用いられた組成は H 0.56 wt%, O 49.83 wt%, Na 1.71 wt%, Mg 0.24 wt%, Al 4.56 wt%, Si 31.58 wt%, S 0.12 wt%, K 1.92 wt%, Ca 8.26 wt%, Fe 1.22 wt% である。
- iv) 鉄筋コンクリート—コンクリート 96wt%, 鉄 4 wt% (この重量比率は用途別構造別建築材料使用量

表¹⁾より推定した)

- v) 鉄筋モルタルーモルタル 96 wt%, 鉄 4 wt% (この重量比率は鉄筋コンクリートに等しいと仮定した)
- vi) レンガー文献 10) に用いられた組成は O 47.8 wt%, Si 28.0 wt%, Al 10.9 wt%, Ti 0.6 wt%, Fe 4.2 wt%, Ca 3.6 wt%, Mg 2.6 wt%, K 1.8 wt%, Na 0.5 wt% である。
- vii) プラスターおよびしっくいー石灰 90 wt%, 水 10 wt%
- viii) セメントボードーセメント 85 wt%, 石綿 15 wt%
- ix) タイルー同じ成分を持ち密度だけが異なるレンガの μ の値¹⁰⁾から求めた。
- x) 木材ー第 1 表に示したように、普通合板に対する 1.25 MeV ガンマ線の実測値 $\mu_m = 0.0667 \text{ cm}^2/\text{g}$ が水の値⁹⁾ $\mu_m = 0.0641 \text{ cm}^2/\text{g}$ にほぼ等しいこと、さらに文献 11) にある木 (Ash) の μ_m 値が同様に水の値に近いことから水でおきかえ、密度 ρ のみをかえて μ を求めた。
- xi) 土ー文献 10) に与えられているが、實際上この μ_m 値は SiO_2 のそれとほとんど等しいので、データの足りない所は SiO_2 でおきかえた。
- xii) 軽量コンクリートー $\mu(\text{軽量コンクリート}) = \mu_m(\text{普通コンクリート}) \times \rho(\text{軽量コンクリート密度})$ として求めた。
- xiii) コンクリートブロッケーブロッケー空洞部を体積比で全体の 1/2 と考え、壁厚 t を実際の厚さの 1/2 ととることにして、 μ_m や μ は普通コンクリートの値を用いた。
- xiv) 石綿セメント板・フレキシブルボードーセメントボードと同じと考えた。
- xv) 石コウボードー石コウと同じと考えた。
- xvi) ラスボードー石コウとみなすが、石コウボードに穴があいている (22 cm × 22 cm × 0.9 cm の板に 0.55 cm ϕ の貫通孔 100 個を持つ) ので、それによる密度の減少を考慮して μ を求めた。
- xvii) 屋根がわらー土と同じと考えた。
- xviii) 金属板屋根ー鉄と同じと考えた。
- xix) たたみー木材と同じと考えた。
- xx) ガラスー文献 10) の RS 253 クラウンガラスの μ 値を用いた。

以上の考えに基づいて建築材料に対して求められた質量吸収係数が密度とともに第 3 表に示されている。なおこれらの wt% や密度は文献 12), 13) から推定した。

また厚さは第 3 図の壁エレメント構成表から求めた。この表から水、タイルを除くとほとんど μ_m の値は等しいことが分るが、これはコンプトン散乱が主反応である 1 MeV 近辺のエネルギーでは質量吸収係数 μ_m が物質によらずほぼ一定であるという事実を反映している。

4. 線量ビルドアップ係数の計算

水、鉄、ガラスの 3 物質に対する線量ビルドアップ係数 B は文献 10), 14) にそのものが与えられており、普通コンクリートに対しては、文献 10) に線量ビルドアップ係数に関する Taylor の式

$$B(\mu t) = A e^{-\alpha_1 \mu t} + (1-A) e^{-\alpha_2 \mu t} \quad (4)$$

のパラメータ A , α_1 , α_2 が与えられている。この 4 つの物質に対する B ですべての建築材料に対する B を第 3 表に示すようにおきかえた。また、水、鉄に対しては、点等方線源と平面一方向線源の両方に対する線量ビルドアップ係数が文献 14) に与えられており、大地放射線に対しては後者の方がより適切なので後者の B 値を採用した。コンクリート、ガラスについては点等方線源に対する B 値しか文献 10) に与えられていないのでそれを用いた。コンクリートの場合はパラメータ A , α_1 , α_2 を、水、鉄、ガラスの場合は B そのものを、平均エネルギー E に対して直線内挿により求めた。

5. 建築材料別遮蔽率の計算

第 3 図の壁エレメント構成表および文献 2) に与えられている屋根、床エレメント構成に従って、建築材料別エレメント構成別 (suffix; n) の遮蔽率 f_n は

$$f_n = B[\mu_m(\bar{E})\rho t] e^{-\mu_m(\bar{E})\rho t} \quad (5)$$

より求めた。この計算に必要な μ_m , ρ , t , B の値は第 3 表に示した。

6. 壁、窓、屋根、床遮蔽率の計算

(1) 壁遮蔽率 f_{wall}

これは外壁遮蔽率 f_{out} と内壁遮蔽率 f_{in} の積で与えられる。 f_{out} と f_{in} は建物構造別 (suffix; m) と仕上げ材料別 (suffix; n) に第 3 図および第 3 表から計算した。

(2) 窓遮蔽率 f_{window}

これは材料がガラスのみであるから、窓が閉っている時はガラスの f_n の値に等しくなり、窓が開いている時は 1.0 となる。

(3) 屋根遮蔽率 f_{up}

木造の場合のみ仕上げ材料別に第 3 表から計算した。非木造の場合は $f_{\text{up}} = f_{\text{wall}}$ と考えた。

(4) 床遮蔽率 f_{down}

木造の場合のみ仕上げ材料別に第 3 表から計算した。非木造の場合は $f_{\text{down}} = f_{\text{wall}}$ と考えた。

第3表 建築材料別遮蔽定数表

建築材料	質量減衰係数		密度 ^{12,13)} $\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$	層の厚さ* $t(\text{cm})$	線量ビルドアップ率		遮蔽率 (f)
	相当物質	μ_m (cm^2/g)			相当物質	(B)	
木材 (杉材)	水	0.0741	0.4	1.0	水	1.04	1.01
				1.2		1.05	1.01
				1.8		1.07	1.02
木材 (床材)	水	0.0741	0.6	0.5	水	1.03	1.01
				2.0		1.12	1.02
モルタル	モルタル**	0.0675	2.0	1.8	コンクリート	1.28	1.01
				2.5		1.40	0.996
				3.0		1.48	0.985
				3.2		1.51	0.980
鉄筋モルタル	鉄筋モルタル**	0.0673	2.1	3.5	コンクリート	1.58	0.966
土	水分 10% の土 SiO_2	0.0679	1.2	2.5	コンクリート	1.24	1.01
タイル	レンガ**	0.0739	2.14	1.0	コンクリート	1.18	1.01
ガラス	ガラス**	0.0667	2.5	0.3	ガラス	1.06	1.01
				0.5		1.11	1.02
コンクリート	コンクリート**	0.0668	2.35	3.0	コンクリート	1.56	0.971
				6.0		2.13	0.830
				12.0		3.33	0.506
鉄筋コンクリート	鉄筋コンクリート**	0.0668	2.57	6.0	コンクリート	2.23	0.800
				12.0		3.56	0.456
軽量コンクリート	コンクリート	0.0668	1.6	12.0	コンクリート	2.56	0.709
ALC 版	コンクリート	0.0668	0.6	12.0	コンクリート	1.57	0.969
プラスター	プラスター**	0.0675	1.6	1.3	コンクリート	1.16	1.01
				2.0		1.25	1.01
しっくい	プラスター	0.0675	1.1	1.3	コンクリート	1.11	1.01
				1.5		1.13	1.01
				2.0		1.17	1.01
石綿セメント板	セメントボード**	0.0667	1.6	0.5	コンクリート	1.06	1.01
フレキシブルボード	セメントボード	0.0667	1.75	0.63	コンクリート	1.09	1.01
石コウボード	石コウ**	0.0683	1.1	0.9	コンクリート	1.08	1.01
ラスボード	石コウ	0.0683	1.0	0.7	コンクリート	1.06	1.01
				0.9		1.07	1.01
かわら	水分 10% の土	0.0673	2.0	1.5	コンクリート	1.24	1.01
石綿スレート板	セメントボード	0.0667	1.5	0.63	コンクリート	1.07	1.01
モルタルスレート板	モルタル	0.0675	2.0	1.5	コンクリート	1.24	1.01
金属板	鉄	0.0626	7.86	0.5	鉄	1.23	0.964
たたみ	水	0.0741	0.23	6.0	コンクリート	1.14	1.03

* 文献 1) から引用した第3図の値を使用した。

** 組成については本文参照のこと。

7. 建物遮蔽率の計算

実際の建物を考えた場合は、建物全体は壁、窓、屋根床の4部分から成立っているから、上記4種の遮蔽率を組合わせて建物遮蔽率 f_K を求めねばならない。これら4部分が延床面積に対し、各々どれ位の割合を占めているのかを示す、単位延床面積当りの壁面積比 α (m^2/m^2)、開口率 β (m^2/m^2)、非開口率 γ (m^2/m^2)、屋根・床面積比 δ (m^2/m^2) が必要であるが、これらは前述のように第2表に用途別 (suffix; i) に示されている。この値を用いることにより、 A を延床面積とすると建物遮蔽率 f_K は次式のように表わされる。

$$f_K(m, n, i) = \frac{\gamma_i f_{\text{wall}} + \beta_i f_{\text{window}} + \delta_i \{f_{\text{up}} + f_{\text{down}}\}}{\alpha_i + 2\delta_i} \quad (6)$$

もし屋根および床の遮蔽効果を考えないことにすると、

$$f_K(m, n, i) = \frac{\gamma_i f_{\text{wall}}(m, n) + \beta_i f_{\text{window}}(m, n)}{\alpha_i} \quad (7)$$

となる。

V 計算結果と検討

以上述べてきた計算方法によって求めた、平均エネル

ギー $\bar{E}=0.914 \text{ MeV}$ のガンマ線に対する建築材料の遮蔽率 f_n を第3表に示す。表より、 f_n の値はコンクリートを除いてはほとんど1.0に近く、遮蔽効果がほとんどないことがわかった。また、第3表から窓(ガラス)、木造建物の屋根(かわら、石綿スレート板、モルタルスレート板、金属板)、木造建物の床(たたみ、フローリング材)の遮蔽率 f_{window} , f_{up} , f_{down} はいずれも1.0と考えてよいことがわかった。

以上の結果と、前にのべたように大地放射線が主として横方向つまり壁面から入射することとを考えると、今回の集団線量推定に際しては、すべての建物構造に対して屋根および床の遮蔽効果は無視することとして、(7)式を用いて建物遮蔽率 f_K を求めた。この f_K の計算は建物構造別に居住用、公共用、商業用の3つの用途に対して、各々第2表の α , β , γ の最大値と最小値の2つの値について、仕上げ材別に行なった。この計算結果から、木造建物に対しては、仕上げ材および用途に無関係に f_K の値はすべて1.0に等しいとみなすことができ、鉄筋コンクリートの場合はコンクリート壁(打放し、モルタル張り、モルタル・石張り)と補強コンクリートブロック壁の2つに f_K の値が大別でき、また鉄骨の場合はモルタルおよびALC版壁、ボード類

第4表 集団線量推定に用いた遮蔽率

木 造		鉄筋コンクリート		鉄 骨			その他
		I	Ⅱ	I	Ⅱ	Ⅲ	
居 住	1.0	0.568	0.847	0.986	0.779	1.0	0.990
公 共	1.0	0.579	0.850	0.987	0.784	1.0	0.990
商 業	1.0	0.733	0.907	0.995	0.864	1.0	0.990
工 業	1.0	0.622	0.866	0.989	0.805	1.0	0.990
その他	1.0	0.678	0.887	0.992	0.835	1.0	0.990

鉄 筋*		鉄 骨*		
用 途	I	Ⅱ	I, Ⅲ	Ⅱ
居 住	90%	10%	80+ α %	20- α %
非居住	80%	20%	60+ α %	40- α %

鉄 筋	I	外 壁	コンクリート打放し, モルタル, モルタル・石張り
	Ⅱ	〃	補強コンクリートブロック
鉄 骨	I	〃	モルタル, ALC 板
	Ⅱ	〃	軽量コンクリート
	Ⅲ	〃	ボード類
その他		〃	ブロック造り

* 文献 1) から引用した第3図の値に基いて算出した。

第5表 平均個人線量とそれに及ぼす宇宙線および大地放射線の寄与率

対象地域	宇宙線 線量 ¹⁵⁾ ($\mu\text{rem/hr}$)	大地放射 線線量 ¹⁶⁾ ($\mu\text{rem/hr}$)	平均個人 線量 (mrem/y)	宇宙線の寄与 (mrem/y)	大地放射線の寄与 (mrem/y)					
					合 計	自宅 内存在時	職場 学校存在時	その他施設存在時	車中 存在時	屋外 存在時
東京都	3.0	2.96								
最小値			49.8	26.3	23.5	16.8	2.4	1.8	0.4	2.1
最大値			51.5	26.3	25.2	17.9	2.8	2.1	0.4	2.1
最確値			50.2	26.3	23.9	17.0	2.6	1.9	0.4	2.1
寄与率(%)			100	52.4	47.6					
					その内訳(%)	71.1	10.8	7.7	1.6	8.7
大阪府	3.0	4.96								
最小値			65.8	26.3	39.5	28.8	3.8	3.0	0.6	3.5
最大値			68.5	26.3	42.2	30.5	4.4	3.4	0.6	3.5
最確値			66.6	26.3	40.3	29.1	4.1	3.1	0.6	3.5
寄与率(%)			100	39.5	60.5					
					その内訳(%)	72.2	10.0	7.6	1.4	8.6
茨城県	3.0	4.24								
最小値			61.6	26.3	35.3	25.8	2.7	2.5	0.4	3.9
最大値			62.9	26.3	36.6	26.3	3.1	2.8	0.4	3.9
最確値			62.0	26.3	35.7	25.9	2.9	2.6	0.4	3.9
寄与率(%)			100	42.4	57.6					
					その内訳(%)	72.5	8.2	7.2	1.2	10.8
長野県	3.8*	4.24								
最小値			69.0	33.5	35.5	25.6	3.0	2.5	0.5	3.9
最大値			70.1	33.5	36.6	26.0	3.5	2.8	0.5	3.9
最確値			69.3	33.5	35.8	25.7	3.3	2.6	0.5	3.9
寄与率(%)			100	48.3	51.7					
					その内訳(%)	71.8	9.1	7.2	1.3	10.8

* 長野県の宇宙線線量は平均高度 (500 m) に対する実効値。

壁, 軽量コンクリート壁の3つに分けることができた。鉄骨のボード類壁およびその他の構造 (ブロック造り) に対する f_K は用途によりほとんど変化しないので, 用途に無関係に平均値を求めた。なお計算結果が1.0をほんの少し越えた (1.01~1.04) 木造および鉄骨ボード類壁の f_K の値は計算上の誤差とみなしてすべて1.0とした。鉄筋コンクリートおよび鉄骨 (ボード類壁を除く) については, 居住用, 公共用建物の場合 α, β の最大値と最小値に対し f_K の値がたがいによく似ているのでその平均値を f_K とし, 商工業用建物の場合はかなり違っているため, 商業用建物は一般に工業用建物より開口

部が大きいことから α, β の最大値 ($\beta/\alpha=0.3/1.0=0.3$) を工業用, α, β の最小値 ($\beta/\alpha=0.1/0.2=0.5$) を商業用としてふり分け, さらに両者の平均値をその他の用途の建物とした。

以上の仮定に基いて, 最終的に集団線量の推定に用いた建物遮蔽率 f_K の一覧表を第4表に示す。ただし鉄骨のⅠ (モルタル・ALC版) とⅢ (ボード類) は f_K の値がほとんど等しいので実際上一つにまとめても十分である。第4表には, 第3図の用途別仕上げ材別の存在割合¹⁾ から得られる鉄筋Ⅰ (コンクリート打放し, モルタル張り, モルタル・石張り) とⅡ (補強コンクリートブ

第6表 対象地域別 Occupancy Factor

	東京都 (%)		大阪府 (%)		茨城県 (%)		長野県 (%)	
	OF-1*	OF-2*	OF-1	OF-2	OF-1	OF-2	OF-1	OF-2
最小値	95.4	90.5	94.5	91.0	97.0	95.1	97.9	95.4
最大値	98.5	97.1	98.3	97.3	99.0	98.5	99.3	98.5
最確値	96.2	92.3	95.5	92.8	97.8	96.1	98.2	96.5

* OF-1, OF-2 についての定義は本文参照のこと。

ロック)および鉄骨Ⅰ、ⅢとⅡ(軽量コンクリート)の存在割合を与えた。この数値からみて、大部分の鉄筋、鉄骨建造物は鉄筋Ⅰおよび鉄骨Ⅰ、Ⅲであるといえよう。したがって遮蔽率の最小値として鉄筋Ⅰ、鉄骨Ⅱの組合せ、最大値として鉄筋Ⅱ、鉄骨Ⅲの組合せ、代表値(最確値)として鉄筋Ⅰ、鉄骨Ⅰの組合せを選べばよいことが結論づけられた。

VI 集団線量への建築物遮蔽効果の影響

第4表に示した鉄筋コンクリートⅠ、Ⅱおよび鉄骨Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの計6とおりの遮蔽率の組合せに対し、東京都、大阪府、茨城県、長野県の4地域における集団線量が推定された。このうち最小値(鉄筋Ⅰ、鉄骨Ⅱ)、最大値(鉄筋Ⅱ、鉄骨Ⅲ)、最確値(鉄筋Ⅰ、鉄骨Ⅰ)の3つの場合について平均個人線量をまとめると第5表のようになった。なおこの計算に使用した宇宙線線量、大地放射線線量、人口分布・生活時間等は、各々文献(15)、(16)、(2)の値を引用している。

表からわかるように、建物の遮蔽効果の差異による平均個人線量の偏差(したがって集団線量の偏差)は東京都大阪府で約4%、茨城県、長野県で約2%である。集団線量の偏差がこのように小さいのは、遮蔽効果が大きく異なる鉄筋、鉄骨建造物の利用度が小さいためである。このことは、大地放射線の線量への寄与のうち、自宅内存在時の寄与が表に示したように4都府県とも70%強と大部分を占めており、かつ自宅の構造別存在率は、東京・大阪で木造が75%強、茨城・長野で90%強と大部分を占めているという調査報告²⁾から裏付けられる。また、東京・大阪の偏差が茨城・長野の偏差よりやや大きいことも上記の木造建物存在率の差異に帰せられるであろう。

また、野外で1年間宇宙線や大地放射線を受けることを想定して算出される集団線量と、本研究のように建築物の遮蔽効果、生活時間等を考慮した実際の集団線量との比を occupancy factor という。ここでは次の2つの

occupancy factor を考えた。

[OF-1]

$$= \frac{\text{本研究による推定集団線量}}{\text{野外における宇宙線、大地放射線起因集団線量}}$$

$$[\text{OF-2}] = \frac{\text{本研究による大地放射線起因集団線量}}{\text{野外における大地放射線起因集団線量}}$$

本研究で推定した集団線量のうち、遮蔽率の最大値、最小値、最確値に対する OF-1, OF-2 の値を第6表に示した。4都府県とも、OF-1 は 95% を越えており、OF-2 は 90% を越えていて、わが国の場合、大都市地域といえども遮蔽効果の大きい鉄筋、鉄骨建築物に存在している割合が小さく、建築物遮蔽効果の影響が小さい(最大でも10%程度)ことがわかった。相対的にみると、都市部の東京・大阪では OF-2 が 92~93%、茨城・長野では 96~97% となっていて、建築物遮蔽効果の地域差の影響が見られた。

本研究の遂行にあたり、この研究計画を立案され、その方向づけをされ、また結果の検討をしていただいた放射線影響協会の中に設けられた「国民線量推定のための基礎調査委員会」の委員長、山県登氏(公衆衛生院放射線衛生学部長)および委員諸氏市川龍資氏(放射線医学総合研究所環境衛生部長)、吉沢晋氏(公衆衛生院建築衛生学部長)、飯島敏哲氏(原子力研究所安全解析部環境調査解析室長)、浜田達二氏(理化学研究所主任研究員)、村山義彦氏(根本特殊化学株式会社副社長)、阿部史朗氏(放射線医学総合研究所環境衛生部第一研究室長)、竹下寿英氏(政策科学研究所主任研究員)に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 財団法人放射線影響協会; 国民線量推定のための基礎調査(Ⅰ), (1978)。
- 2) 財団法人放射線影響協会; 国民線量推定のための基礎調査(Ⅱ) (1978)。

- 3) K.P. BEUERMANN; *J. Geophys. Res.*, **76**, 4291 (1971).
- 4) J.D. Thompson; *J. Geophys. Res.*, **79**, 1309 (1974).
- 5) 湊 進; 環境放射線測定の実状と将来, 放射線医学総合研究所環境セミナー報文集, p. 28 (1975).
- 6) H.L. BECK; The Natural Radiation Environment II, Proc. 2nd. Intern. Symp. on Natural Radiation Environment, p. 101 (1972).
- 7) 日本建築学会; 建築物荷重規準案, 同解説, 1975, 丸善, 東京.
- 8) 松下清夫; “各種建築構造図説”, (1972), 理工学社, 東京.
- 9) J.H. HUBBELL; Photon Cross Sections, Attenuation Coefficients and Energy Absorption Coefficients from 10 keV to 100 GeV, NSRDS-NBS-29 (1969).
- 10) R.G. JAEGER *et al.* Ed.; “Engineering Compendium on Radiation Shielding,” Vol. II, Shielding Materials, 1975, Springer-Verlag, Berlin.
- 11) C.R. TIPTON Jr. Ed.; “Reactor Handbook,” Vol. I, Materials, p. 1096 (1960), Interscience Publ., New York.
- 12) 藤井正一; “建材の実際知識”, 1975, 東洋経済新報社, 東京.
- 13) 日本建築学会; “建築設計資料集成”, p. 119 (1978), 丸善, 東京.
- 14) 兵藤知典; “放射線遮蔽入門”, p. 71 (1966), 産業図書, 東京.
- 15) 国連科学委員会報告 1977 年より阿部史朗氏が内挿して求めたもの.
- 16) 阿部史朗: 私信.