

空気中の放射性物質による体内被曝について

吉 村 精 治・西 田 常 夫

On the internal exposure of radioactive material in the atmosphere

Seizi YOSHIMURA ; Tsuneo NISHIDA

The Committee Meeting advises the following idea from ICRP^{*}, "We should avoid any unnecessary exposure, and should keep all dosages as low as practicable after economic and social considerations."

However, there are natural radioactive nuclides and decay products which form a part of permanent environmental radioactivity. These are contained in the earth's crust so they are very close to human life. We are absorbing radioactive material which is diffused gas in the atmosphere or which adheres to the dust in the air which we breathe.

I have measured the radioactivity which includes Radon, Thoron and its decay products in the atmosphere by means of a dust removal-filter. Furthermore I predicted the internal exposure in the human body.

1 諸 言

地球が誕生したのは、およそ45億年前であるが、その頃いろいろな放射性元素が相当多く存在していたと考えられる。そして現在では大部分が崩壊してなくなっている。それでも現在の時点で、地球に存在する原子力エネルギー源は、他のエネルギー源に比べて一番豊富であると思われる。又、その反面、人間は人工的に造られた放射性同位元素、天然からの放射性同位元素、そして宇宙から降ってくる宇宙線等からいろいろな影響を受けると考えられる。すなわち、それら放射性同位元素を呼吸によって吸引して体内被曝、又皮膚をとおして体外被曝等と、微弱ではあるが、様々な経路で放射線を浴びている。

そこで、私は大気中に浮遊する放射性物質を空気、塵とともに集塵して、その集塵時間、吸引量、濾紙に付着した放射性物質の放射エネルギー、又その濾紙からの放射線量等の測定をした。これら

ICRP Publication 22⁵⁾……どんな被曝でもある程度の危険を伴うことがあるので、委員会は、いかなる不必要な被曝も避けるべきであること、および経済的および社会的な考慮を計算にいれたうえで、すべての線量を容易に達成できるかぎり低く保つべきであることを勧告する。

ICRP Publication 26⁶⁾……確率的影響を制限するための線量当量限度は自然放射線源または医療上の被曝からの寄与には適用されない。しかしながら、非確率的影響の問題は考察に値する。

の測定結果より人間が呼吸に伴い吸入する浮遊放射能量と、それによる体内被曝線量を推定した。そして更に、浮遊放射能は地質等によって、そうとう差があると言われているので福井県嶺北地区一帯での測定を実施した。

環境放射能についての研究は各方面で実施されているがそれらの殆んどは自然界に常時存在すると考えられる天然の放射性物質を除外した形で行なわれている。

そこで我々は微量ながらも人体に影響を与えるのではないかと予想される天然放射性同位元素も含めた環境放射能について研究しようとするものである。

2 理 論

大気中には、数種類の放射性同位元素が微量ではあるが浮遊している。人間はそれらを呼吸と同時に体内に吸引することになる。体内に入った放射性物質は、それぞれの実効半減期をもって減少していく為、体内に存在する放射能量は、吸収開始後ある時間を経過した後にはほぼ一定値になると考えられる。

その一定値に達するまでの時間 t を、ある半減期 T の核種について求めてみる。壊変率の式 $N = N_0(\frac{1}{2})^{t/T}$ を用いて、 N_0 に対して無視されるような background の値を B.G. とすれば t は $N < \text{B.G.}$ になる時間である。即ち

$$t > -\frac{T}{0.301} \log \frac{\text{B.G.}}{N_0} \text{ となる。}$$

ただし大気単位容積中の放射能量を一定と仮定する。

そこで、数種の核種が同時に吸引される場合の t の値は、一番半減期の長い核種についての t の値になる。

すなわち、人体内に吸引された放射性物質による単位時間当りの放射能量は、ある時間呼吸しつづけた後にはほぼ一定値を示すものと仮定することができる。

そこで、人体内に存在するほぼ一定量と考えられる放射能量 $C(\text{cpm})$ を求めてみる。体内に吸収される核種の数 n 、それぞれの核種の体内沈着率（一定値とする）を k_1, k_2, \dots, k_n 、空気単位体積当りの各核種の放射能量（一定値とする）を c_1, c_2, \dots, c_n とすれば C は次式のようになる。

$$C = \frac{1}{2}(c_1^2 k_1^2 + c_2^2 k_2^2 + \dots + c_n^2 k_n^2) \quad [\text{cpm}]$$

次に、 T_m 年間で、人体内に影響を及ぼすであろうと予測される放射能の積算量 C は、呼吸量を一定とすれば次の式で求められる。

$$C = T_m \cdot C \quad [\text{cpm}]$$

そこで各核種の単位放射能当りの被曝線量を

$$r_1, r_2, \dots, r_n \quad [\text{rem/cpm}]$$

とするならば、 T_m 年間の浮遊放射能による体内被曝線量 R は

$$R = \frac{T_m}{2} \sum_{i=1}^n c_i^2 k_i^2 r_i \quad [\text{rem}]$$

となる。

即ち空気中にある放射能が体内に吸収、沈着することにより、人体に何らかの影響が生ずると考えられるがそれらの要因は、放射能の量、放出される放射線のエネルギー、実効半減期、体内での分布、人体の年齢等である。

そこで上記要因による影響を時間の関数として表わすならば、総合的影響は次のような式でえられる。

$$G(t) = f\{g_1(t), g_2(t), g_3(t) \cdots \cdots\}$$

総合的影響…………… $G(t)$

物理的要因による影響…………… $g_1(t)$

化学的要因による影響…………… $g_2(t)$

生理学的要因による影響…………… $g_3(t)$

⋮ ⋮

3 実験と結果

空気中に含まれている放射性物質には、天然放射性元素、人工放射性元素などいろいろ考えられるが、その一部を記すと次のようなものがある。

ウラン系元素、トリウム系元素、アクチニウム系元素、カリウム、

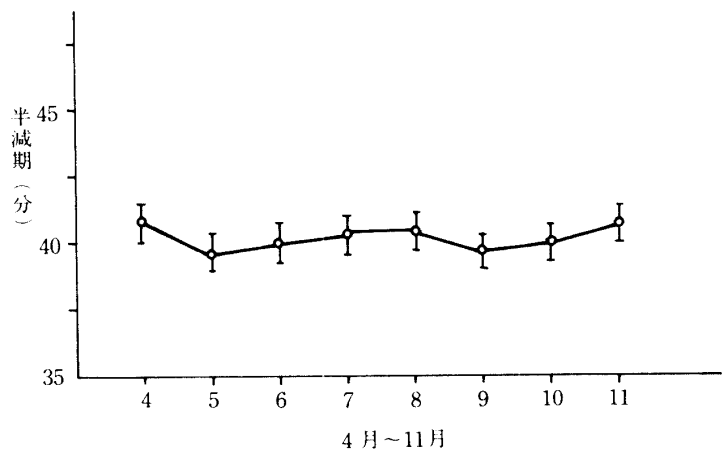
ルビジウム、サマリウム、……

トリチウム、カーボン……

これらは種類も多く、それぞれ微量であるので、ここでは分離せず浮遊放射エネルギーを総合的に測るものとした。

図1) 浮遊放射能の半減期

まず、空気中に含まれる放射性物質の種類、性質等を調べるために濾紙上に集め、その半減期を測定した。空気中の浮遊放射性物質が日時、季節などにより相当変化するのではないと思われるので、4月より11月の8ヵ月の間、一定量の空気中に含まれる放射能の減衰曲線より半減期を求める実験をくり返し月毎の平均値をグラフにしたものが図1である。



日時による変化は少しあったものの、各月の平均値には大きな変化がないことは、平均してほぼ同じ放射性物質が存在していたと考えられる。これはラドン、トリウムとその崩壊生成物が大部分をしめているといえる。

次に空気単位体積当り (cpm/ℓ) の放射エネルギーを求めるために、次のような方法を考えた。まず、浮遊放射能の量が微量であり、

半減期が短いために、集められ

た放射能の測定にあたり集塵時

間及び、測定器の測定時間の補

正をする必要がある。そこで、

集塵時間をいろいろ変えて、そ

れぞれの減衰曲線を描き、その

曲線によって補正することとし

た。試料の減衰曲線を描けば次

の図2のようになる。実線の部

分が測定値によるグラフであるが、微量

の放射エネルギーのため測定に時間を要し集塵

直後の測定値を求めることができないた

めに図の点線をもって、集塵終了直後の

放射エネルギー P_x を推定した。集塵時間 $t_1, t_2,$

$t_3 \dots$ と変えてそれぞれの減衰曲線 (図

2のような) から集塵終了直後の放射能

量 (cpm/ℓ) $p_1, p_2, p_3 \dots$ を求めた。こ

の t と p との間の関係をグラフにすれば、

図3のようになるが、このグラフを $t=0$

まで外挿した p_0 の値が瞬間的に集塵した

場合の放射エネルギー (cpm/ℓ) といえる。

図3を実際の測定値によって描いた曲

線が図4である。

図4を点 p_0 の放射エネルギー (cpm/ℓ) = 1 と

したグラフに描き変えて集塵時間 t_x での

値を Q_x とするならば、 t_x 時間集塵したとき

の放射エネルギー D_x (cpm/ℓ) に $1/Q_x$ を乗じる

ことにより、瞬間的に吸引した 1 ℓ の空

気中に含まれる放射エネルギーに換算すること

図2) 浮遊放射能の減衰曲線

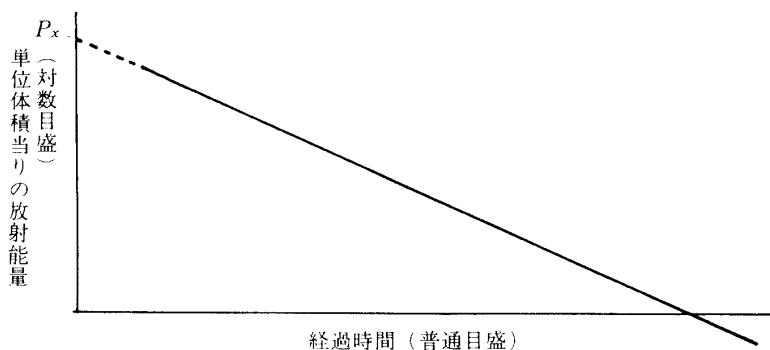


図3) 集塵時間・単位体積当りの放射エネルギー

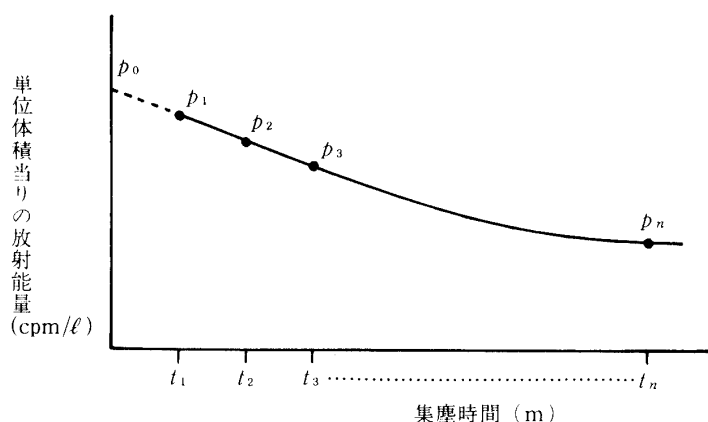
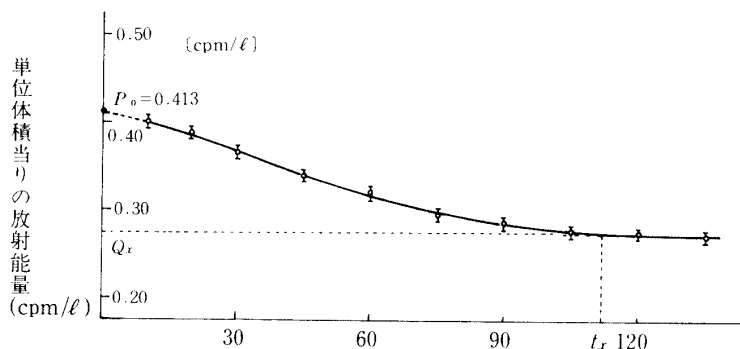


図4) 集塵時間・単位体積当りの放射エネルギー



ができる。

$$C = D_x \times \frac{1}{Q_x} \quad [\text{cpm}/\ell]$$

我々は $1/Q_x = K_c$ としこの値を集塵時間補正係数と名づけて今回の測定値を補正することとした。

次に、濾紙に集められた放射性同位元素の放射能と放射線量について述べる。集塵した濾紙の表面より放出される放射線量を測定するために、濾紙に TLD 素子を当てて、素子に被曝された線量を測定した。先に述べたように、浮遊放射性物質の半減期は短かいために、素子と濾紙の密着時間はある時間以上になれば、その被曝線量はほぼ一定値に達する。その様子は図 5 になる。

図 5 の飽和値 R_c が濾紙からの総放射線量と考えられる。放射線量 R_c のいろいろな値を実験により得て放射能と総放射線量との関係をグラフにしたものが図 6 である。

次に、これまでの測定結果より人間が浮遊放射能により受ける体内放射線被曝線量を予想してみる。

まず、人間の呼吸は、人、年齢、生活状態等によってこととなるが、ここでは平均的人間とその状態についての呼吸に関する資料を文献から引用すれば

人間の呼吸…………… 4 秒に 1 回

人間の呼吸量…………… 1 回に 558cc

呼吸器道への粉塵沈着率…………75%

とされている。これらの沈着率は粉塵の物理的、化学的性状又、呼吸生理学的要因等によって変わるが一定値と仮定して進める。

以上の資料と実験結果等によれば、濾紙に集められた放射能の計数値 $a(\text{cpm})$ 、吸引空気量 b

図 5) 素子の被曝時間－被曝線量

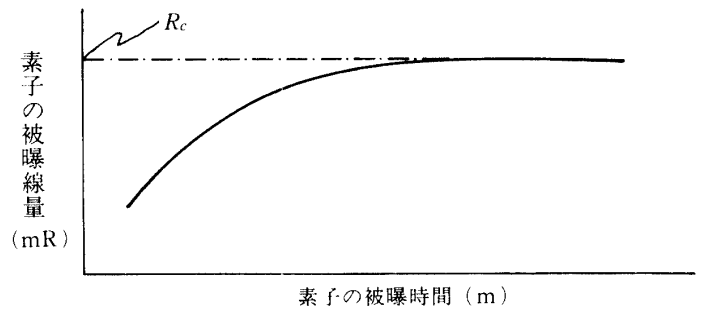
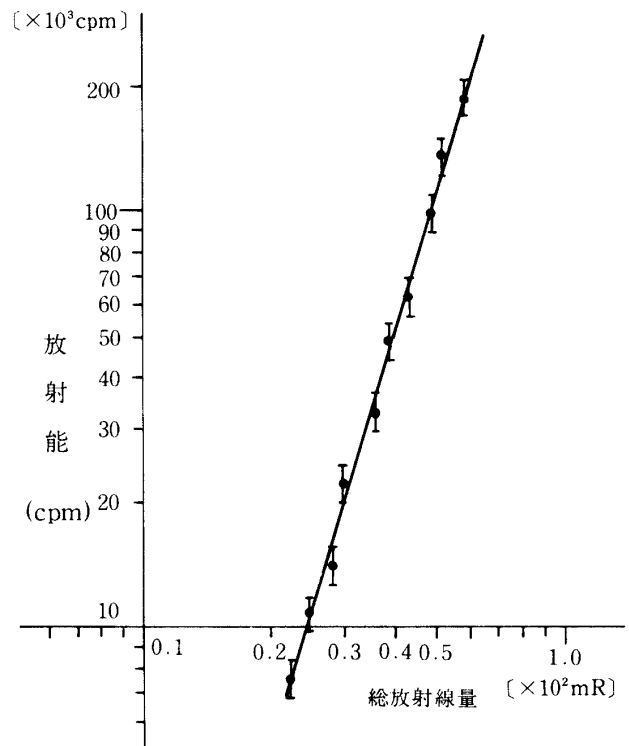


図 6) 総放射線量－放射能



(ℓ), 集塵時間補正係数 K_c , 人間一回の呼吸量 $V(\text{cc})$, 全沈着率 P とすると, 人間が一回の呼吸によって体内に沈着する浮遊放射エネルギー $A(\text{cpm})$ は

$$A = \frac{a}{b} \cdot K_c \cdot V \cdot P \cdot 10^{-3} \quad [\text{cpm}]$$

となる。

この A の値が分れば, 図6を用いて人間が一回の呼吸によって吸引する放射能からの体内被曝線量 $R_m[\text{mR}]$ を求めることができる。また, T_m 才の人が現在までに浮遊放射能により受ける体内被曝線量 R は

$$R = 7.88 \times 10^6 R_m T_m \quad [\text{mR}]$$

以上のような方法に従い, 福井県下嶺北地区の20地点で, 集塵, 測定を行ない, その地域に住む人達が浮遊放射能により受ける体内被曝線量を推定し別表のようにまとめた。

別表 福井県嶺北地区での体内被曝線量推定値

No.	測定場所	大気中 放射能濃度 cpm/ ℓ	体内被曝 線量推定値 $\times 10^{-3} \text{mR/H}$	No.	大気中 測定場所	大気中 放射能濃度 cpm/ ℓ	体内被曝 線量推定値 $\times 10^{-3} \text{mR/H}$
1	福井市 市地	0.412	6.32	11	越前町	0.418	6.31
2	鷹巣町	0.640	7.23	12	河野村	0.661	7.29
3	武生市	0.559	7.09	13	今庄町	0.629	7.19
4	鯖江市	0.675	7.35	14	今立町	0.575	6.99
5	大野市	0.423	6.38	15	三国町	0.438	6.45
6	勝山市 市地	0.512	6.76	16	池田町	0.552	6.92
7	勝山市 山間部	0.688	7.38	17	美山町	0.549	6.90
8	丸岡町	0.377	6.16	18	坂井町	0.372	6.14
9	織田町	0.368	6.12	19	永平寺町	0.550	6.90
10	国見町	0.339	5.97	20	芦原町	0.619	7.16

結 言

原子力開発の進展に伴い放射能汚染の問題が日増しに高まってきている。しかし, 人間が生きるために欠くことのできない呼吸と共に体内に持ち込んでいるところの自然界に存在する放射性同位元素による体内放射線被曝は, 当然のことであるかのように無視されている。我々は環境放射能測定の研究の一環として, 原点にもどりすべての人が受けている被曝線量を見直すこととした。自然界において解明のできない現象, 医学的に究明のできない病気等まだまだ自然の様子を追究する必要がある。この研究の結果, 人間が日常生活の中で, 予想以上に多くの放射線被曝をしていることを知り認識を新たにするものである。この研究は物理的に集めることのできる放射性物質についてのみ測定されたデータを基にしているが, 実際の環境放射能としてはまだまだ複雑であり, その量も多く, 人体に及ぼす影響は更に予想を絶するものがある。

生まれながらにして、一般の人間が受けている影響は当然という考えが今日までの考え方かも知れない。しかし当然とされていたマイナスの影響を少しでも除去するための研究開発が要求されてきている。この意味において研究が今後の環境測定、環境管理を行なう上で意義あるものになると信ずる。

参 考 文 献

1. Radiation protection in uranium and other mines. A report of ICRP Committee 4. ICRP Publication 24, Pergamon Press, Oxford (1977)
2. Report of the Task Group Reference Man. A report prepared by a Task Group of Committee 2 of ICRP. ICRP Publication 23, Pergamon Press, Oxford (1975)
3. 国際放射線防護委員会勧告 (1962年改訂), ICRP publication 6, 日本アイソトープ協会・仁科記念財団
4. 国際放射線防護委員会勧告 (1965採択), ICRP publication 9, 日本アイソトープ協会・仁科記念財団
5. 国際放射線防護委員会勧告 (1977採択), ICRP publication 26, 日本アイソトープ協会・仁科記念財団
6. “線量は容易に達成できるかぎり低く保つべきである”という委員会勧告の意味合いについて, ICRP publication 22, 日本アイソトープ協会・仁科記念財団
7. 職業被曝による体内汚染からの身体組織への線量の評価, ICRP publication 10, 日本アイソトープ協会・仁科記念財団
8. 個人被ばく線量の測定マニュアル策定検討会報告書 (抜萃) -- 科学技術庁原子力局長への報告 --, 日本アイソトープ協会
9. 片桐浩, 岩本克己, 大気中の放射性核種濃度の変動, 1-Vol. 6, 1971, 保健物理, 日本保健物理協議会
10. 佐々木幸男他, 鼻孔内汚染検査による内部被曝線量評価のための調査レベルの検討……2-Vol. 6, 1971, 保健物理, 日本保健物理協会会議
11. 大畑勉他, 個人用塵埃サンプラの特性試験 2-Vol. 5, 1970, 保健物理, 日本保健物理協議会
12. 村田幹生他, 放射性じん埃サンプリング用セルローズ・ガラス濾紙の特性 3-Vol. 11, 1976, 保健物理, 日本保健物理学会
13. 吉田芳和他, 作業環境の放射線モニタリング(v)~(xi)空気汚染モニタリング(1)~(7), May Volume 266 Number 5 '77~November Volume 26 Number 11 '77, RADIOISOTOPES, 日本アイソトープ協会
14. 黒川良康他, 自然放射能とその影響―疫学的検討の試み―, 原子力安全研究協会