



空気汚染評価のための γ 線計測における評価指標

本郷 昭三^{*1}

(1977年4月27日受理 1977年2月7日再受理)

Hazards Index on γ -Ray Counting for the Evaluation of Air Contamination

Syozo HONGO^{*1}

I 序

複数の放射性物質による空気汚染が考えられる作業環境において、その危険度を正確に評価するには、放射性物質の種類と種類別濃度をすべて明らかにする必要がある。しかし放射性物質の種類別濃度をすべて明らかにすることは、必ずしも容易ではない。そこで、濃度が管理基準等より十分小さいと考えられる場合、全放射能計測法やグループ分けによる測定がなされることが多い。この場合、危険度を正確に求めることはできないが、空気汚染の可能性のあるすべての放射性物質のうち、 γ 線測定効率等を考慮した場合の最も危険な核種（以後、本報では「最大危険想定核種^{*2}」という）による空気汚染と仮定して空気中濃度を求めれば、実際の危険度はそれを越えることはあり得ない。このようにして求めた濃度を以後本報では、「最大危険想定濃度^{*3}」という。さて危険度を最大許容濃度^{*4}（以後(MPC)_aという）を基準として求める場合、「最大危険想定核種」は必ずしも、空気汚染の可能性のあるすべての放射性物質のうち最も(MPC)_aの低い物質とはかぎらない。たとえば、a,

b, 2核種のそれぞれの(MPC)_aおよび測定効率が0.1:0.8 ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$), 10:1 (CPM/ μCi)の場合、測定値、1 CPM/ cm^3 がすべてa核種から得られたものと仮定すると、その空気中濃度は0.1 $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ となる。逆にすべてb核種から得られたとすれば、1 $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ となり、a核種に想定すれば(MPC)_aに等しいが、b核種に想定すれば(MPC)_aを越えてしまう。このようにa核種が(MPC)_aでは低いにもかかわらず、b核種が「最大危険想定核種」となる場合がある。

本報では γ 線計測によって試料を定量した場合、「最大危険想定核種、濃度」を系統的に誤りなく求めるために、(MPC)_aの単位変換を検討した。

II 「最大危険想定濃度」

試料空気中から複数の測定対象核種を採集し、その試料を γ 線計測した場合、正味計数率 n (CPS) は次式で表わされる。

$$n = C \cdot Q \cdot \sum_i \varepsilon_i \cdot R_i \cdot X_i \quad (1)$$

ここで、 C : 3.7×10^4 (dps/ μCi)

Q : 吸引空気量 (cm^3)

ε_i : i 核種の計数効率 (count/photon)

R_i : " の γ 線放出率 (photon/decay)

X_i : " の空気中濃度 ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$)

また、危険度の指数 Z ^{*5} は次式で示すことができる。

$$Z = \sum (X_i / M_i) \quad (2)$$

ここで M_i : i 核種の(MPC)_a ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$)

「最大危険想定濃度」は(1)式を拘束条件として、(2)式に示す Z の最大値 Z_{max} を与える濃度である。

^{*5} Z の値は1を越えないようにする必要がある。

^{*1} 放射線医学総合研究所; 千葉市六川 4-9-1 (〒280) National Institute of Radiological Sciences; 9-1, Anagawa 4-chome, Chiba-shi, Chiba-ken.

^{*2, *3} 安全管理において、測定値が少なすぎる等の理由により正しい危険度評価ができない場合、考えられる最も危険な雰囲気や状態を想定する必要がある。このような想定のもとに求められた核種、濃度は多くの場合、真の核種や濃度とかなり異なっているであろう。しかし安全管理上は、これ以上の危険は考えられないという意味で重要な意味をもつ。本報では真の値と明確に区別するため、上記の名称を用いる。

^{*4} 本報では、科学技術庁告示第22号「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」の値を用いた。

Z_{\max} は、(1)および(2)式より次のように表わすことができる¹⁾。

$$Z_{\max} = \text{Max} \left(\frac{n}{C \cdot Q \cdot \epsilon_i \cdot R_i \cdot M_i} \right) \\ = \frac{n}{C \cdot Q} / \text{Min} (\epsilon_i \cdot R_i \cdot M_i) \quad (3)$$

これより「最大危険度想定核種」は、 $\epsilon_i \cdot R_i \cdot M_i$ の最小値を与える核種 I を求めることとなる。この場合、「最大危険想定濃度」 X_I 、および危険度評価の指数 Z は

$$X_I = \frac{n}{C \cdot Q \cdot \epsilon_I \cdot R_I} \quad (4)$$

$$Z = X_I / M_I \quad (5)$$

となる。

III 「 γ 線計測における空气中濃度の評価指標」

「最大危険想定濃度」を求めるためには、 $\epsilon_i \cdot R_i \cdot M_i$ が最小となる核種をあらかじめ見いだす必要がある。

いま、(MPC)_a を photon/sec/m³ に単位変換した $M_{i\gamma}$ を導入すると、次式となる。

$$M_{i\gamma} = C \cdot R_i \cdot M_i \times 10^6 \quad (6)$$

これは、 i なる核種により汚染している空気 1 m³ から放出される γ 線が、毎秒 $M_{i\gamma}$ 個のとき、その空気汚染濃度が (MPC)_a であることを意味する。以後、本報では $M_{i\gamma}$ を「 γ 線計測における空气中濃度の評価指標」と呼ぶこととする。

Table 1 に、おもな γ 線放出核種の (MPC)_a、 γ 線エネルギー (keV)、 γ 線放出率 (%) および $M_{i\gamma}$ を示した。「最大危険想定核種」は空気汚染の可能性のある核種のうち、 $\epsilon_i \cdot M_{i\gamma}$ が最小となる核種であるから、 $\epsilon_i \cdot M_{i\gamma}$ の小さい順に表を作っておけば、「最大危険想定核種」を容易に見つけることが可能であるが、 ϵ_i は検出器や計測条件によって異なるので、どのような γ 線計測にも有効な $\epsilon_i \cdot M_{i\gamma}$ の表を作ることは不可能である。しかし ϵ_i は核種が異なっても、 γ 線エネルギーと計測条件が一定ならば同一となるから、各核種の $M_{i\gamma}$ を γ 線エネルギー別に整理しておけば、放出される γ 線のエネルギーが同一と見なされる場合は、 $M_{i\gamma}$ の小さい核種が γ 線計測における評価上の危険な核種となる。

Table 2 は、主たる核種についての $M_{i\gamma}$ をその放出 γ 線エネルギー別にグループ分けしたものである。

IV 考 察

一般的に「危険度が高い」という比較論は、通常「何

かが同一」であるという条件のもとで比較することが暗黙のうちに含まれており、この条件によって比較論は異なってくる。たとえば、いくつかの物質から最も危険な物質を選ぶ場合を考えてみよう。1つの例として「同一質量」を負荷した場合、最も毒性の強い物質を選ぶことがある。他の例として「同一放射能」を負荷した場合、あげられる。この場合、前例と後例では条件が異なるので、「最も危険な物質」も異なってくるであろう。

(MPC)_a は後例の場合に使用され、ここで導入した $M_{i\gamma}$ は γ 線計数率が同一のとき、最も危険な物質を求めるのに有効である。Table 1 に示す、それぞれの核種の (MPC)_a と $M_{i\gamma}$ を見くらべると、いくつかの核種で値の大きさの順序が異なっていることがわかり、単に (MPC)_a の大小比較だけでは「最大危険想定核種」が求められない。 $M_{i\gamma}$ は「最大危険想定核種」を見出すときに有効であるばかりでなく、 γ 線計測で得た測定値を見透し良く系統的に危険度を評価することを可能にする。たとえば、ある核種 i だけによる空気汚染と仮定して求めた危険度の指数 Z と他の核種 i' と仮定して求められた Z' との比較を(7)式を用いてできる。

$$\frac{Z}{Z'} = \frac{\epsilon_i' \cdot M_{i'\gamma}}{\epsilon_i \cdot M_{i\gamma}} \quad (7)$$

もし核種 i および i' が放出する γ 線エネルギーがほぼ同一とみなせるときは、 $\epsilon_i \approx \epsilon_i'$ 、 $Z/Z' = M_{i'\gamma}/M_{i\gamma}$ となる。検出器と測定条件を固定し、空気汚染の可能性のあるすべての核種について $\epsilon_i \cdot M_{i\gamma}$ を求めておけば、このような比較の場合にも有効である。

V 結 論

空気汚染の可能性のある作業場においては、部屋の換気や局所排気により作業環境へ空気汚染が漏えいすることを防止することが最も重要であり、通常の作業場では万が一空気汚染が起っても、(MPC)_a を越えることがないよう防止設備がなされている。このような作業場では、通常の空气中放射性物質のモニタリングも危険度を正確に評価するというより、危険度が十分低いことを確認するだけで十分な場合が多い。このような場合は、測定値が最悪の事態によって得られたと仮定しても、なおかつ危険度が十分低いことを示す必要がある。本報で用いた「 γ 線計測における空气中濃度の評価指標」、 $M_{i\gamma}$ を用いると、試料を γ 線計測してある値が得られたとき、最悪の事態、すなわち、最も危険度の高い状態を見通しよく見出すことが可能である。また、異なる核種による空気汚染と仮定したとき、どのくらい評価が異なるか見出すことも容易となる。本報で用いた方法は、

Table 1 $M_{i\gamma}$ of main nuclids.

A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
²² Na	3E-9	1275	100	1.11E2	¹⁰⁵ Ag	3E-8	344	42	4.66E2
²⁴ Na	5E-8	2754	100	1.85E3			280	32	3.55E2
		1369	100	1.85E3	^{110m} Ag	3E-9	937	32	3.55E1
³⁸ Cl	7E-7	2170	47	1.22E4			885	71	7.88E1
		1600	38	9.84E3	^{115m} Cd	1E-8	1300	1	3.70E0
⁴² K	4E-8	1520	18	2.66E2			940	2	7.03E0
⁴⁷ Ca	6E-8	1308	74	1.64E3	¹¹⁵ Cd	6E-8	530	26	5.77E2
⁴⁶ Sc	8E-9	1121	100	2.96E2			490	10	2.22E2
		890	100	2.96E2	^{113m} In	2E-6	393	64	4.74E4
⁴⁷ Sc	2E-7	160	78	5.77E3	^{114m} In	7E-9	192	17	4.40E1
⁴⁸ V	2E-8	1312	97	7.18E2	¹¹³ Sn	2E-8	390	64	4.74E2
		983	100	7.40E2	¹²² Sb	5E-8	564	66	1.22E3
⁵² Mn	5E-8	1434	100	1.85E3	¹²⁴ Sb	7E-9	1692	50	1.30E2
		938	84	1.55E3			603	97	2.51E2
		744	82	1.52E3	¹²⁵ Sb	9E-9	599	24	7.99E1
⁵⁴ Mn	1E-8	835	100	3.70E2			427	31	1.03E2
⁵⁶ Mn	2E-7	1811	29	2.15E3	^{129m} Te	1E-8	690	6	2.22E1
		847	99	7.33E3	¹²⁹ Te	1E-6	455	15	5.55E3
⁵⁹ Fe	2E-8	1292	44	3.26E2	¹³² Te	4E-8	230	90	1.33E3
		1095	56	4.14E2	¹²⁶ I	3E-9	650	33	3.66E1
⁵⁷ Co	6E-8	122	87	1.93E2			390	34	3.77E1
⁵⁸ Co	2E-8	810	99	7.33E2	¹³¹ I	3E-9	364	82	9.10E1
⁶⁰ Co	3E-9	1332	100	1.11E2	¹³² I	8E-8	773	89	2.63E3
		1173	100	1.11E2			670	144	4.26E3
⁶⁵ Ni	2E-7	1481	25	1.85E3	¹³³ I	1E-8	530	90	3.33E2
		1115	16	1.18E3	^{131m} Xe	4E-6	164	2	2.96E3
⁶⁵ Zn	2E-8	1115	49	3.63E2	¹³³ Xe	3E-6	81	37	4.11E4
⁷² Ga	6E-8	835	96	2.13E3	^{134m} Cs	2E-6	127	13	9.62E3
⁷³ As	1E-7	54	11	4.07E2	¹³⁴ Cs	4E-9	796	99	1.47E2
⁷⁴ As	4E-8	635	14	2.07E2			605	98	1.45E2
		596	61	9.03E2	¹³⁷ Cs	5E-9	662	85	1.89E2
⁷⁶ As	3E-8	559	45	5.00E2	¹³¹ Ba	1E-7	496	48	1.78E3
⁷⁵ Se	4E-8	280	23	3.40E2			124	28	1.04E3
		265	56	8.29E2	¹⁴⁰ Ba	1E-8	537	34	1.26E2
		136	54	7.99E2	¹⁴⁰ La	4E-8	1596	96	1.42E3
⁸² Br	6E-8	777	83	1.84E3			487	40	5.92E2
		619	41	9.41E2	¹⁴¹ Ce	5E-8	145	49	9.07E2
		554	66	1.47E3	¹⁴³ Ce	7E-8	293	46	1.19E3
⁸⁶ Rb	2E-8	1078	9	6.51E2	¹⁴⁴ Ce	2E-9	133	11	8.07E0
⁹⁵ Zr	1E-8	756	49	1.81E2	¹⁴² Pr	5E-8	1570	4	6.85E1
		724	49	1.81E2	¹⁴⁷ Nd	5E-7	541	10	1.85E3
⁹⁵ Nb	3E-8	765	100	1.11E3			270	26	4.81E3
⁹⁷ Nb	2E-6	665	98	7.25E4			210	27	5.00E3
⁹⁹ Mo	7E-8	740	12	3.11E2			114	18	3.33E3
^{99m} Tc	5E-6	140	90	1.67E5	¹⁴⁹ Pm	8E-8	286	2	5.92E1
⁹⁷ Ru	6E-7	215	91	2.02E4	¹⁵³ Sm	1E-7	103	28	1.04E3
¹⁰³ Ru	3E-8	497	88	9.77E2	¹⁵² Eu	4E-9	1408	22	3.61E1
¹⁰⁵ Ru	2E-7	726	48	3.55E3			1113	14	2.07E1
		670	16	1.18E3			965	15	2.22E1
		475	20	1.48E3			122	37	5.48E1
¹⁰⁵ Rh	2E-7	319	19	1.41E3					

A: nuclide, B: MPC ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$), C: γ -ray energy (keV), D: γ -ray emission rate (%) $\times 100$, E: $M_{i\gamma}$ (photon/sec/ m^3).

Table 2 $M_{i\gamma}$ on the γ -ray energy.

	^{99m} Tc		^{85m} Sr																
10 ⁵																			
10 ⁴	¹³³ Xe		^{85m} Kr	⁹⁷ Ru	^{113m} In		¹³⁵ Xe	⁹⁷ Nb										⁴¹ Ar	³⁸ Cl
			⁴⁷ Sc	¹⁴⁹ Nd	¹⁷¹ Er	⁸⁷ Kr						⁵⁶ Mn	⁹² Y						
10 ³	²⁴¹ Th ¹⁶⁵ Dy	²³⁹ Np ⁵⁷ Co ¹⁵³ Sm	^{131m} Xe	¹³² Te ¹⁴³ Ce	¹⁰⁵ Rh	¹²⁹ Te ¹³¹ Ba	⁸² Br ¹²² Sb	¹³² I	⁸² Br ¹⁰⁵ Ru ⁹⁵ Nb	¹³⁶ Cs ⁷² Ga		⁵² Mn		⁴⁷ Ca ⁶⁵ Ni	⁴⁸ Sc ²⁴ Na			⁵² Mn ⁶⁵ Ni ¹⁴⁰ La	
	¹⁴⁷ Nd	¹⁴¹ Ce ⁷⁵ Se		⁷⁵ Se ²⁰³ Hg ¹⁴⁷ Nd	²³³ Pa	¹⁰³ Ru ¹⁸⁷ W ¹⁴⁰ La	¹¹⁵ Cd ⁷⁶ As	¹⁸⁵ Os			⁵⁸ Co	⁴⁸ V	⁹¹ Sr ⁸⁶ Rb	⁴⁸ V ¹³⁵ I					
10 ²	⁷³ As ¹⁶⁶ Ho	¹⁸⁶ Re ¹⁵³ Gd ¹⁵⁵ Eu	¹⁸⁸ Re	¹⁷⁷ Lu ⁹³ Y	¹⁰⁵ Ag ¹¹³ Sn ¹¹¹ Ag ¹⁹² Ir	¹⁸¹ Hf ¹⁹³ Os ¹²⁵ Sb	¹⁴⁷ Nd ¹³³ I ²⁰⁷ Bi ¹⁴⁰ Ba	⁷⁴ As ¹²⁴ Sb ¹³⁴ Cs ^{110m} Ag		⁹⁵ Zr ¹³⁴ Cs	⁵⁴ Mn ⁴⁶ Sc			⁶⁵ Zn ⁵⁹ Fe ⁹⁹ Mo ⁶⁰ Co	⁵⁹ Fe ²² Na ⁶⁰ Co			⁴² K	
10 ¹				⁷⁷ As	¹³¹ I														¹⁴² Pr
10 ⁰	¹⁰⁹ Cd		^{114m} In		¹²⁶ I			¹²⁶ I						¹⁵² Eu					¹⁵² Eu
	¹²⁹ I	¹⁴⁴ Ce										^{155m} Cd							
	.1	.15	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9	1.	1.2	1.4						
	γ -Ray energy (MeV)																		

他の測定法や危険度評価に対しても応用可能であり、危険度評価の際の危険度因子（本報では X_i ）に対する、重みづけ係数（本報では M_i ）を測定法に見合った単位に変換することにより系統的な誤りの少ない評価が可能となる。

参考文献

1) 成田誠之助；“システム工学入門”，p.70 (1970)，学社社。