

大気汚染に関するシンポジウム (その2)

大気放射能汚染*

矢野直

はじめに、おことわりしておきますが、話題として「大気放射能汚染」ということになっておりますが、ここでは特に原水爆実験に伴う汚染という問題に限定したいと思っております。したがって自然の放射能や他の平和的利用等についてはふれないことにいたします。

またこの原水爆実験に伴う地球物理的な興味ある問題も数多くありますが、ここでは大気汚染という立場から、この実験による汚染がどの程度に達しているかという点を、許容量という尺度で考えてみたいと思っております。

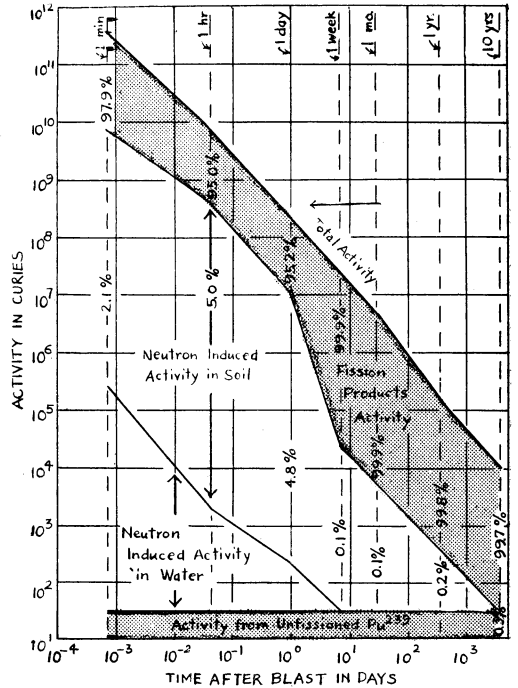
まず許容量について簡単にふれておく必要があります。これについては厳格に申しますと生物学者も物理学者もあましているのが現状ではないかと思っております。したがってこうした意味からは許容量などというものは存在しないという考え方も成り立つわけでありませう。

しかし、現に去年から今年に関して私達のささやかな調査からみても人間に対して影響がないということは断言できないし、また少くともこれだけのことは考えられるという危険についても何らかの資料を調べてみない限り、どうどうめぐりにおち入る危険の方がおそろしいように感じます。

そこで全く皮肉にも当の実験を行っている国の資料を主として英国のものをも参考にして、私達の意見を検討していただき、討論して下さいようお願いいたします。つまり許容量という現在までの知識である程度明らかにされた危険について述べるわけでありませう。この値を使用するとき重要なことは大きくいて2つあります。1つは測定の前平均値が一般人の許容量に達するということが重大なことであると考えます。何故ならば資料の測定方法によるバイアスや、地域的なバラツキを考えると、少くとも一桁程度の違いは生じうるからです。他の一つは現在の許容量は、遺伝にかんしてはその影響を考えていないこと。つまり人間の一生の間この程度では何等かの医学的障害が起らないであろうという level として決められていることでもあります。また一般人に対しては職業人 MPC の1/10 の値を apply することも注意しておきます。

そこで、これから1948年以来行われた原水爆による汚染を概念的につかんでみることにいたします。

まず核爆発によって大気中にどのような汚染が発生するかという問題です。



第1図

第1図に Pu^{239} 1kg の爆発に伴う全 activity を3つの要素、1)核分裂生成物によるもの、2)誘導放射性物質によるもの、3)分裂を起さなかった物質によるものの3つに分けてみます。横軸には爆発からの時間を日で表わし、縦軸はその activity をキューリーで表わしています。

ここでは放出された中性子の半分が土壌と海水に吸収されたと想定しています。

この表で(1)の fission product の占める activity のパーセントは全体を通じて95%以上であり、特に1週間後の場合は99%以上に達していることがわかります。

そこでこの最も重要な 1) 核分裂生成物について調べてみることにします。これは正確には Pu^{239} と U^{235} あるいは U^{238} とでは同一ではありませんが、ほとんど類似した元素を生成します。第1表に示したものはこの核分裂生成物の爆発後の各元素の寄与する放射能をパーセントで示したものです。ここでは主要な元素だけをあげてありますが、生物的影響を考える場合は図の中で太く書い

* 主として英国の国連資料を引用している。

PRINCIPLE COMPONENTS OF FISSION PRODUCT BETA ACTIVITY AT VARIOUS TIMES

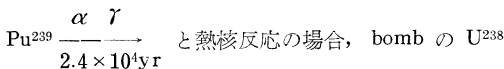
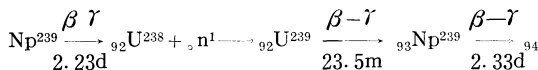
Mass No	Isotopes	% of Total Activity at Various Times after Fission								
		4d	10a	20d	50d	100d	1y	2y	5y	10y
38	Sr ⁸⁹	-	-	5	9	10	-	-	-	-
	Sr ⁹⁰	-	-	-	-	-	-	5	15	22
39	Y ⁹⁰	-	-	-	-	-	-	5	15	22
	Y ⁹¹	-	-	6	10	13	-	-	-	-
40	Zr ⁹⁵	-	-	6	11	15	7	-	-	-
41	Nb ⁹⁵	-	-	-	9	20	15	-	-	-
42	No ⁹⁹	12	7	-	-	-	-	-	-	-
44	Nu ¹⁰³	-	-	-	7	7	-	-	-	-
45	Rh ¹⁰³	-	-	-	7	7	-	-	-	-
52	Te ¹³²	8	5	-	-	-	-	-	-	-
53	I ¹³¹	5	7	6	-	-	-	-	-	-
	I ¹³²	8	5	-	-	-	-	-	-	-
54	Xe ¹³³	10	11	6	-	-	-	-	-	-
55	Cs ¹³⁷	-	-	-	-	-	-	5	12	18
56	Ba ¹³⁷	-	-	-	-	-	-	5	12	18
	Ba ¹⁴⁰	6	10	12	7	-	-	-	-	-
57	La ¹⁴⁹	5	12	14	8	-	-	-	-	-
58	Ce ¹⁴¹	-	6	10	11	8	-	-	-	-
	Ce ¹⁴³	8	-	-	-	-	7	27	30	8
	Ce ¹⁴⁴	-	-	-	-	-	7	27	30	8
59	Pr ¹⁴³	5	10	12	8	-	-	-	-	-
	Pr ¹⁴⁴	-	-	-	-	7	27	30	8	-
61	Pm ¹⁴⁷	-	-	-	-	-	6	13	22	16
Total activity (dpm/108 fissions)		3200	1200	620	250	110	13	4.7	1.4	0.8

第 1 表

た. Sr⁹⁰, Cs¹³⁷ 等の物理的半減期の長いものは生物学的にもやはり大きい影響を与えることになります。

一番下の段の Total activity は U²³⁵ の核分裂によって出来た fission の数 10⁸ に対する一分間の崩壊数の時間変化が記入してあります。これについては有名な Hunter-Ballow の計算, あるいは Way-Wigner の計算がありますが, 近似的に, 爆発後 1 分から 1 年ぐらまでは A = A₀ t^{-1.2} で減衰します。

第 2 は誘導放射性物質で, これは 1 頁の表に示すごとく大部分の activity は爆発後数日で減衰し, 一般的に半減期が短く γ 線も soft で tompor として使われる天然ウラン U²³⁸ による中性子の capture によって生ずる



によって生ずる U²³⁷ $\frac{\beta-\gamma}{6.7a}$ 以外は bomb の構成物質で は問題になりません。空気に対しては宇宙線と同様に空気中の窒素によって C¹⁴ を生成します。この半減期は 5600 年で, 普通の 20Kton の A-Bomb によって 300 curie が生成するといわれています (同じ場合に Sr⁹⁰ は 2500 curie を生成します)。

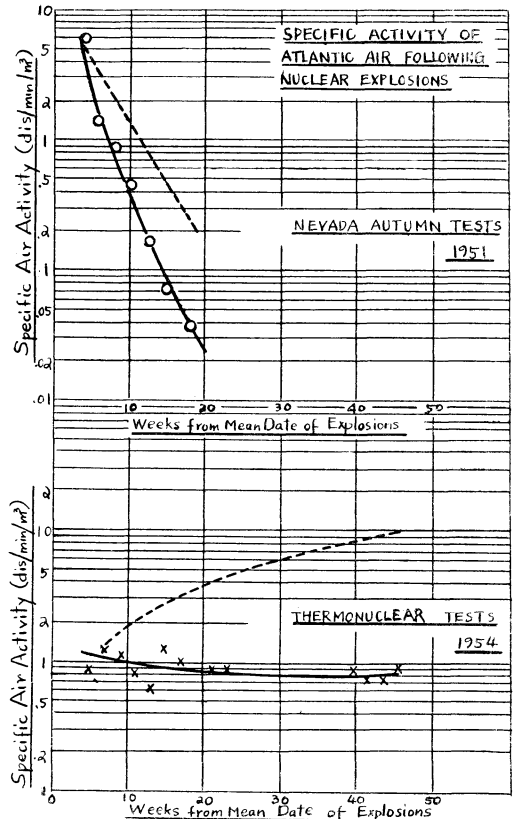
第 3 は fission を起きなかった Pu²³⁹ でこの半減期は α-emitter として 8.8 × 10⁶ dey というきわめて寿命の長い, また危険な物質となります。これはパーセントは少いけれども, ほとんど放射能減衰がないので長い間には蓄積される物質となります。

これらの汚染物質は, (1) 爆発の方法, (2) 気象状態, (3) bomb の種類によって非常に様子が異っています。

(1) の方法としては (A) 地中または海中, (B) 地上, (C) 高々度の 3 つの方法があり, 汚染の程度は (A) (B) (C) の順序になることは明らかで, 最近の explosion は主として汚染を最小限にする目的で (C) の方法が使用されています。

(2) の気象状態については, 主として dust cloud が各高度の風の分布にしたがって拡散するという問題です。

(3) の問題では A-爆弾と H-爆弾とはエネルギーが百



第 2 図

倍から千倍違っており dust cloud の上昇高度が一方は大体対流圏内に収まり、他方は成層圏に侵入するということがあります。またH爆弾は融合反応によって多量の誘導放射性物質を生成します。

第2図はこの爆弾の種類による大気中の拡散の相異を明らかに示したイギリスの資料です。英国では、その上空で1952年以来、高度1700ftと18000ftの2層で週3〜7回、1530kgに相当する空気中の dust を集める観測をルーチン化しています。この図に plot してある点は2週間平均値が記入してあります。この上の部分は、1951年の Nevada の A-Bomb の実験で、当時は H-Bomb はまだ出現していませんでしたので、米国で行われた実験の影響だけがみられるような条件の下でとられた観測です。横軸は爆発後の時間を週で表わし、縦軸は空気 1 m³ の放射能を dis/min/m³ で表わしています。この破線で示したものは最初の dust と同量のものが radioactive decay をした場合の減衰曲線を示していますから、この破線と実線の差は地上の落下の分と大気中への拡散によるものであります。A-Bomb の典型的な大気中の減少をみると、specific activity は約3週間で半減し、後3カ月で大部分の dust cloud は地上に落下すると結論されています。

第2図の下部分は1954年に米国が太平洋上で行った例のキャッスル作戦といわれる2回目の水爆実験シリーズによるもので、第五福竜丸の事件をひきおこしたものです。このときの大気中の放射能の変化は図に示すように A-Bomb の場合とは大変に異っています。

この場合は dust cloud を約 30km 上空まで上昇させたといわれています。したがって成層圏から補給される dust cloud の activity ために非常に減少がゆっくりしています。もしこの場合 radio active な decay がないと考えると dust cloud は破線に示したような増加をしめし、実際に存在した量は時間とともに増加するという結果を示しています。この場合の identification は化学分析によって行っています。

これらの事実をさらに明確な形で表現しているのが、H爆弾の爆発後行われた放射能ゾンデによる高度別の γ -activity の分布で、気象研の石井の結果によると実験の直後に約 12km のところに極大値を示し、約 2000 dpm/m³ を示しています。

また第3図および4図には英国とスウェーデンの飛行機観測の資料がのせてあります。

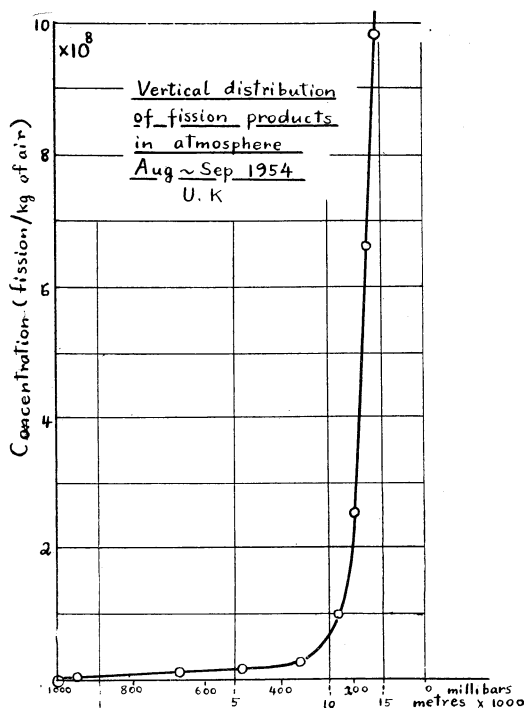
英国の場合は縦軸に fission/kg of air となっています。これは空気 1 kg 当りの fission の数で表わしています。したがってこれは時間に無関係です。これに対応する時間別の disintegration は下の表によって示されています。これは丁度1954年の太平洋で実験後行われたもので高度とともに exponential に fission の数が増加しています。

スウェーデンの場合は1956年に行ったもので、 γ の disintegration を高度別にとってありますが英国の資料と同様な変化を示しています。以上の結果は一定容積に対する activity の変化に直すと、これほどの増加は示さないことは勿論です。

これらの事実は明かに H-Bomb の場合は、成層圏に多量の dust cloud を蓄積していることを明らかにしています。

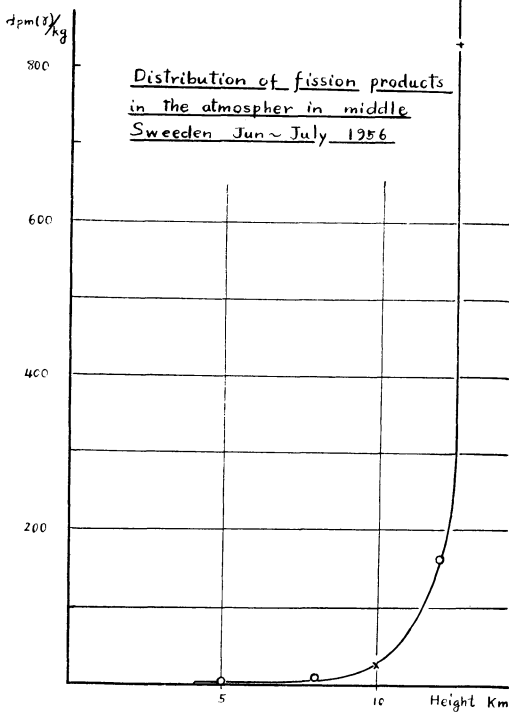
したがってわれわれが原水爆実験による危険を考える場合現在すべての実験が中止されたと考えても、地上に落下する radioactive dust については将来落下するものを加えた総和を取らなくてはならないわけであります。

この上空に存在する dust cloud の量の推定はいろいろの形で行われるわけですが、まず第3図、4図の垂直分布を 1 m² の断面積をもつ垂直柱を考えその中に存在する activity を地上から大気上限まで integrate することによって推定できるわけであります。



第3図

この推定は米国英国の学者によって行われています。英国の場合第4図の曲線によって 10mb のところまで外挿してそれ以上は constant (これ以上では空気のある一定容積に対する activity は無現出来る) として計算しますと、約 3×10^{12} fission ということになり、地上に落下した分は、英国の2つの地点でおのおの 4.7×10^{11} , fission/year 2.6×10^{11} fission/yr という値が解っていますから、1年間の落下率は全体のおのおの16%お☆



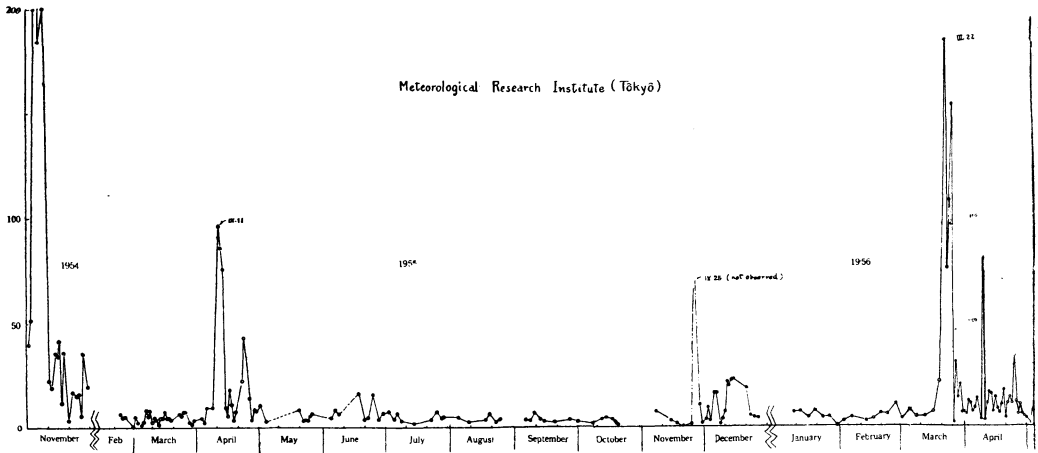
第 4 図

☆よび 9%ということになります。これと同じ観測と計算を1955年の1, 2月に行ったときには、大気中の放射能は 10^{13} fission に増加していました。この大気中の増加分と落下分を考慮して1年に約12%のものが落下したという計算をしています。まず水爆実験によって地球表面にして、地球全表面×全この計算に対する粗いチェックと落下した総合計は activity ($5 \times 10^{14} \text{m}^2 \times 10^{13}$ fission) としますと 5×10^{27} fission* が1955年の2月の大気中の fission として推定されます。これは TNT. 30 Mton の fission に相当し thermonuclear bomb の代表的なものは 10 Mton ですから、この推定はそれほど大きな違いを持たないとしています。

さて次に英国の資料は1955年までのことを問題にしていますが、わが国ではゾンデの資料を除いて大気上層のものは数少ないので1956年の様子を地上の資料をもって考えてみたいと思います。

第5図は1954年11月から今年の5月中旬まで東京の気象研の電気集塵によって地上の specific activity を観測したものです。図からお解りのように1956年は1955年に比して汚染の状態は実験数の増加によって特徴づけられています。

1954年ころまでは米英ソがなかよ相手の実験を確保して調査してから自分の実験をやるという様子がうかがわれますが、くわしい事情は不明にしても、1956年頃か※



第 5 図

※らは無統制的に競走のせり合いが激化しているようです。

1956年には少なくとも21回の実験が行われ、1955年に比して米ソによって行った実験による汚染は前年の数倍に達するであろうと推定されています。

日本においては地上の落下分の資料からの推定する以外に方法はないのですが、立教大学の道家は塵の落下率の推定から、1956年の原水爆の核分裂生成物の量は過去3年間の総量と同程度か約2倍に達するという大

気中放射能の資料から説明しています。すなわち1956年の平均値は1955年の約6倍に達しているということです。

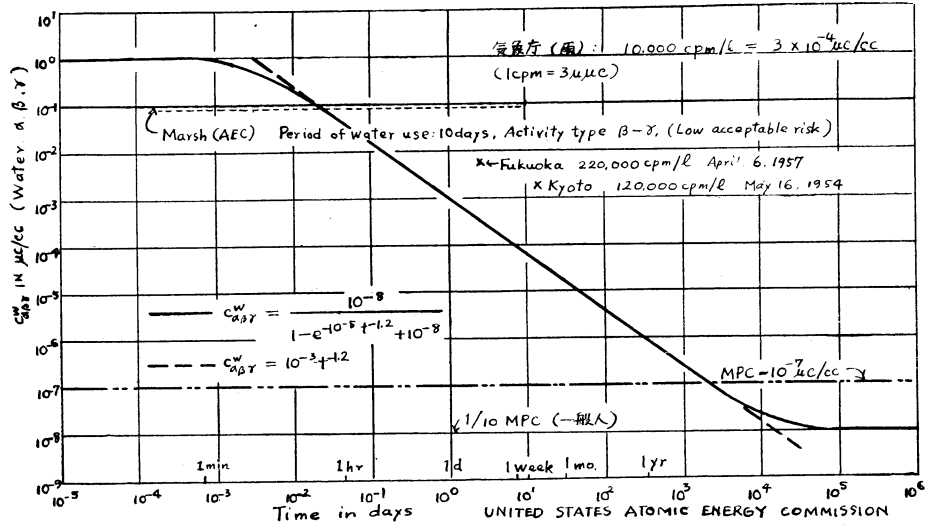
以上の推定はわれわれ人体に対する影響を考える場合に重大であって、1955年末までの資料からの推定に重大な変更を必要とすることは明らかです。

ここで話が少しく横道にそれますが現在の空気や雨水

* これは米国のリビーが1954年に行った H-Bomb による成層圏で吹上げたものが 24 Mton に相当しているというのとよく一致しています。

がある程度、寿命の解った核分裂生成物であると考えた場合、今迄観測された最高値がどの程度に達しているか見当をつけておくことが必要であると思われます。☆

☆第6図の米国原子力委員会で発行している K. Z. Morgan と C. P. Strub による核分裂の寿命による emergency level を参考にさせていただきたい。※

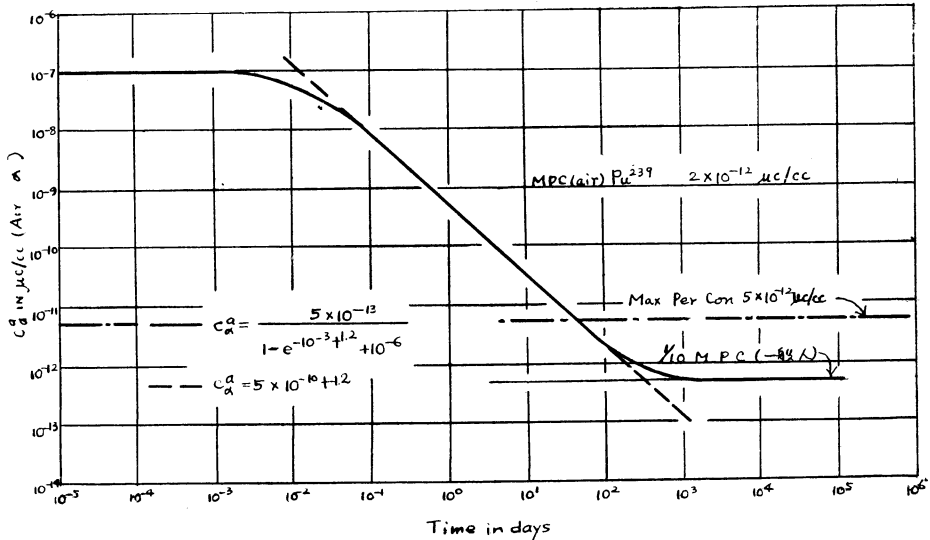


第 6 図

※この図の縦軸は α, β, γ emitter を含む水の放射能を $\mu\text{c}/\text{cc}$ を示し、横軸は日で示した時間が記入してあります。 $10^{-7}\text{nc}/\text{cc}$ のレベルは 1952年、N. B. S. の Handbook 52 に示された M. P. C. であります。一般人の場合はこの $1/10$ を採用することは前に書いた通りです。また実線で記入したのはこの emergency level でこれは分裂を起してから時間の関数で示されています。この場合 10^{-2} day すなわち数分から 10^4 day 約27年までは $10^{-3} t^{-1.2}$ という式でおきかえられています。

この図に今年の4月6日福岡で降った定量 220,000 cpm/l の雨を爆発後3日として plot しますと図に示した×の位置になります。すなわち気象庁の1cpmは $3\mu\text{c}$ ですから、 $6.7 \times 10^{-3} \mu\text{c}/\text{cc}$ という値になるわけであります。

又1954年の5月16日の京都で降った12万cpmは約 $3.6 \times 10^{-3} \mu\text{c}/\text{cc}$ 程度になります。以上2つの peak value は2つともこの emergency level より上向いていることになり、AEC の semiannual report の爆発後3日

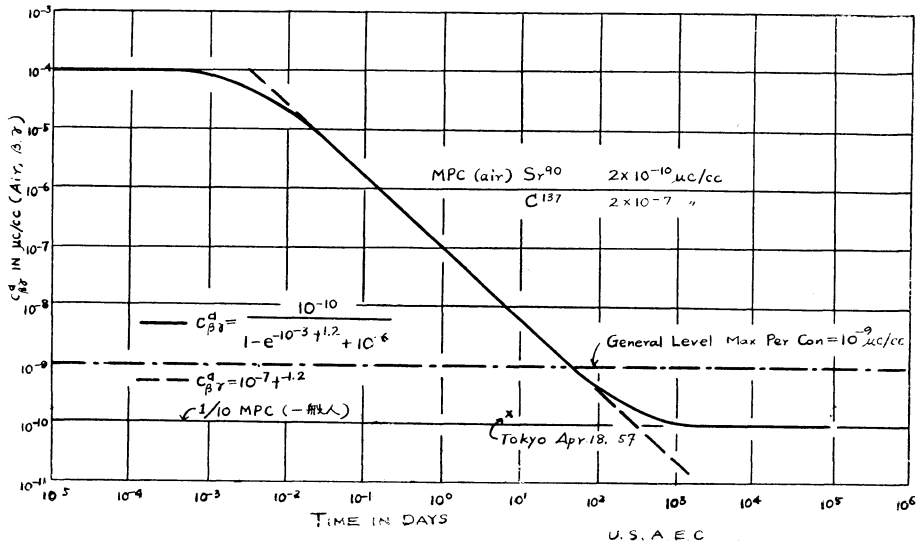


第 7 図

で $5 \times 10^{-3} \mu\text{c/cc}$ であれば飲用にさしつかえないという
 と同じレベルに達しています. この値は長期間にわたって
 未知の放射性物質を飲用した unknown の場合の Hand-
 book 52 の MPC $10^{-7} \mu\text{c/cc}$ よりも 4 ケタ以上も大きい値
 です.

米国の AEC の Marsh によると $\beta\text{-}\gamma$ emitter の場合

☆合, この水を10日間だけ使用したときの多少の危険を
 伴うレベルが $9 \times 10^{-2} \mu\text{c/cc}$ というのがありますが, こ
 のようなことを考えれば, 仮にこの水を飲用した場合に
 は何らかの障害が発生するかどうかという critical な
 レベルであると考えてさしつかえがないのではないかと
 思われます. ※



第 8 図

※第 7, 8 図には同じような空気の場合について emergency level が記入されていますが, この場合は α の場合と $\beta\gamma$ の場合を分けて 第 7 図には $\beta\text{-}\gamma$ emitter の場合, 第 8 図には α emitter の場合が記入されています. この 2 つの表には特に Sr^{90} Cs^{137} Pu^{239} の MPC が記入されています.

9 図の場合今年の 4 月 18 日の data を plot してみると 1 週間後で約 $2 \times 10^{-10} \mu\text{c/cc}$ となりこの level よりは一桁下廻っています.

以上は特に最高値について検討してみた結果です.

そこで前に述べた平均的な問題にうつることにします.

まず放射線の作用を外部と内部に分けて, 外部照射についての検討することになります. イオン化放射線の α, β, γ については生物学的効果比率というものがある (R, B, E, relative biological effectiveness). $\beta\gamma$ 線の作用を 1 とすれば, α 線によるものは 10 倍の作用をもつと考えます, また $\alpha\beta$ は体内の飛程が短かく体内の特殊 organ に対して大きい意味をもちます. これに反して γ 線は透過力が大きく, これは主として外部の照射に関係します. そこで, 外部線量については先に述べた radioactive dust の降下ずみの分と降下予定の分を推定の上に立って, それが無限平面上に均等に落下した場合, その平面上に立っている裸の人間が受ける線量を 30

年, 50 年あるいは無限期間 integrate する計算を行います. この計算は $\gamma\text{-ray}$ のエネルギー分布, 平面上の高さ, 散乱や吸収により変化しますが, 一つの代表的 energy に限って簡単なモデルで計算し, Co^{60} 等で check します.

1955 年末までの原水爆実験について英国で行ったガンマ線線の 50 年線量の計算がおのおのの実験シリーズの総計と降下予定の分を合算して 2 つの測定地によって第 2 表に示すように約 35mr ということになります.

この線量は実際には建物その他の protection や $\gamma\text{-emitter}$ の流出, 土地の凸凹等を考えなければならないわけで, 英国ではこの protection factor として 21 というのをを用いていますので, 実際には $1.7 \text{ m}\bar{\gamma}$ という推定をしています. この値は 1955 年末までと同じ実験が行われる場合 100 年後には $27 \text{ m}\bar{\gamma}$ であるとしています.

日本の気象庁でも川畑, 大田らが 1956 年末までの γ 線 30 年線量を日本の資料について推定しました. これは第 3 表にのせてあります. これによると $182 \text{ m}\bar{\gamma}$ で 21 の factor を考えると $8.7 \text{ m}\bar{\gamma}$ ということになります. ここでは 1956 年の実験による分がいかにか大きいか解ります.

ここで先に問題にした 1955 年と 1956 年の比をとりますと約 6 倍ということになります. この点は道家の計算と一致するわけであります.

EXTERNAL GAMMA DOSES OVER 50 YEAR PERIOD TO AN UNPROTECTED PERSON IN THE U.K

Explosion Series	Cumulative Dose in milli-rentgen					
	CHILTON			MILFORD HAVEN		
	Ist time round	Residual	Total	Ist time round	Residual	Total
Nevada, Spring 1951	.06	.10	0.16	-	-	.16
Nevada, and Russia, Autumn, 1951	1.05	.10	1.15	1.06	.10	1.16
Nevada, Spring 1952	.30	.06	.36	.33	.09	.42
Nevada, Spring 1953	1.13	.32	1.45	.35	.31	.66
Russia, Autumn 1953	.29	.09	.38	.25	.09	.34
Russia, Autumn 1954	.38	.18	.56	.32	.25	.57
Nevada, Spring 1955	.20	.08	.28	.19	.03	.22
TOTAL from above	3.41	.93	4.34	2.50	.87	3.53
Estimated dose from other explosions in same size range			1.0			1.0
TOTAL Integrated Dose from explosions in the nominal rang of sizes.			5.34			4.53
<u>Pacific, 1954</u> Deposition						
13. 3. 54—15. 9. 54 Interpolated			.92			.82
20. 9. 54— 6. 1. 55 Deposition			.92			.92
6. 1. 55—15. 2. 55 Extrapolated			.38			.61
(Para 8. 3. 2)			20.30			20.30
<u>Pacific, 1952</u> Deposition						
31. 10. 52. —20. 3. 53 Residual, based on comparison with Eniwetok, 1954			.16			.16
			6.10			6.10
<u>Russia, 1955</u> Estimated, based on size as announced						
			.10			.10
TOTAL Integrated Dose from thermonuclear explosions			29.78			29.91
TOTAL INTEGRATED DOSE FROM ALL EXPLOSIONS PRICE TO Ist JANUARY 1956			35.1			34.4

Check, Nominal bomb (Atomic bomb) Test of the Nevada 1952

Number of fission in a nominal bomb explosion = 2.4×10^{24}

Disintegration rate per fission at + 7months = 3.5×10^{-7}

The area of the northern hemisphere = $25 \times 10^{14} \text{ m}^2$

Calculated specific ground activity = $\frac{3.5 \times 10^{-7} \times 2.4 \times 10^{24}}{2.5 \times 10^{14}} = 3350 \text{ dpm/m}^2$

Observed // = 1367 dpm/m^2

"Infinite plane" External gamma dose during a 30 year period

Explosion Series

Integrated dose in mr

Tropospheric fall-out

Atomic bomb

Nevada, spring 1951	1*
Nevada and Russia, autumn (95)	5*
Nevada, spring 1952	2*
Nevada, spring 1953	5*
Russia, autumn 1953	2*
Russia, autumn 1954	3.2
Nevada spring 1955	1.1
Other tests	5*
Russia, spring 1956	0.6
Total	25

Thermonuclear explosions

Pacific, 1952	0**
Pacific, Spring 1954	1**
Russia, winter 1955	0**
Russia, autumn 1955	0.3
Pacific spring, summer 1956	2.1
Russia, autumn 1956	1.8
Total	5

Total due to tropospheric fall-out

30

Stratospheric fall-out

Thermonuclear explosions

Pacific, 1952	11**
Pacific, spring 1954	38
Russia, winter 1955	1**
Russia, autumn 1955	13**
Pacific, spring, summer 1956	76**
Russia, autumn 1956	13**

Total due to stratospheric fall-out

152

Total integrated dose from all explosions
prior to 1st January 1957

182***

* Estimated values from the ratio of observed data of Japan to those of U. K.

** Estimated values from the apparent size of explosions.

*** Almost equal to that due to cosmic rays in the state of equilibrium

第 3 表

さて最後に内部照射についての問題にうつることにいたします。これについても計算の場合は Hunter Ballow の式からか、実験的には放射化学分析を行わなければならず、total activity については γ -dose の場合と同様な process を必要とするのは勿論です。

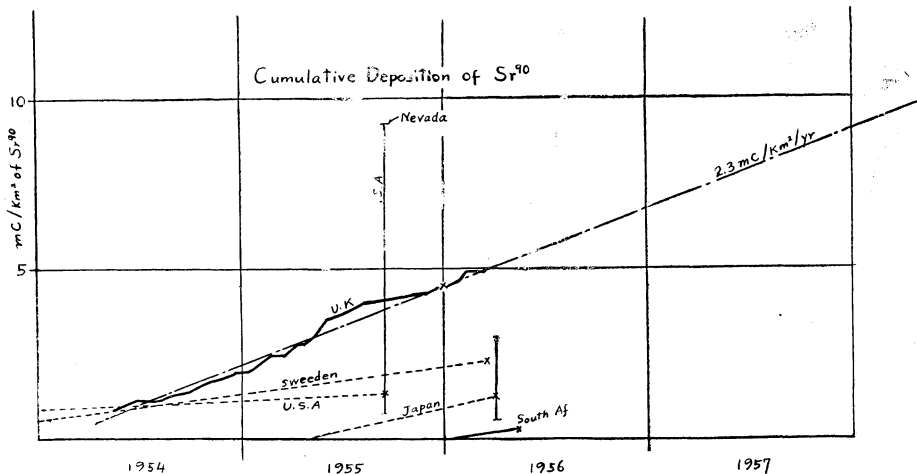
英国の資料によると 1952年～1955年までの空気中の

mean concentration は $4 \times 10^{-16} \mu\text{C}/\text{cc}$ で、これが 1955 年までと同じ割合で実験を行うと 10 年後に $2.4 \times 10^{-15} \mu\text{C}/\text{cc}$ に達すると推定しています。6 頁の図を参考に見てみますと Sr^{90} の MPC^{1/10} は $2 \times 10^{-11} \mu\text{C}/\text{cc}$ であります。このような場合は勿論 Hand book 52 の level の考え方でよろしいと思います。しかしこの値は

集塵率について考えられていないので少し低い値です。雨水について日本での data は知りませんが 英国 では 1952~1955の mean concentration は $1.7 \times 10^{-8} \mu\text{c}/\text{cc}$ 同様に10年後には $8 \times 10^{-8} \mu\text{c}/\text{cc}$, この 1/10 MPC は $8 \times 10^8 \mu\text{c}/\text{cc}$ にせまっています。このことは冒頭に☆

☆のべた localization 等の fluctuationを考えればある地域では明らかに 1/10 MPC level に達していることも考えられます。

最後に土地に deposit した Sr^{90} について述べなくてはなりません。※



第 9 図

※第 9 図に1955年ころまでの各国の資料が記入されています。縦軸は mc/km^2 of Sr^{90} で、 $10 \text{mc}/\text{km}^2$ は $25.9 \text{mc}/\text{mil}^2$ of Sr^{90} に相当します。

ここで実線で示すものは化学分析によるもの、破線は Hunter-Ballow からの推定値となっています。ここで面白いことは化学分析に比して計算の方が underestimate になっていることです。これは前にのべた Fallout の採取方法等からおこるバイヤスであると考えられます。また同じ計算値でも年代が古いほどその傾斜がゆるやかでこれは dust cloud の生成量が年をおって増加しているという 1 つと indicator とも考えられます。また前述の fluctuation の問題ですが米国の1955年9月のタテ線で示したほどの分布を示していることで実際にはこの程度の範囲があると考えなくてはなりません。

英国のものは化学分析であるのでこの資料としては最も信用できると思われます。この資料による Sr^{90} の年降下率は $2.3 \text{mc}/\text{km}^2/\text{yr}$ で1955年末には $4.5 \text{mc}/\text{km}^2$

に達しています。ここでも現に行われた分の落下の分を推定すると最高値(約1969年)に $14 \text{mc}/\text{km}^2$ という計算をしています。米国 Lapp は同様に 1956年末までの実験を90Mton と推定し、 $17 \text{mc}/\text{km}^2$ of Sr^{90} の値に達することがすでに行われたものによって推定しています。

この土地に対するMPCは Libbe の考えるように人間の骨に対して $1 \mu\text{c}$ として人間の成人の Ca-Sr ratio を $1 \mu\text{c Sr}/1 \text{kg Ca}$ として計算しますと $21 \text{mc}/\text{km}^2$ というのが 1/10MPC 相当します。したがって 1956 年の分が 1955年の量の数倍であるとして計算しなくともすでに行った1955年なみの実験によって 1/10MPC と同じorder に達するというのはひかえ目な推定であると考えられます。

内部照射についてナン組織中に入る Cs^{137} の問題や α emitter としての Pu^{239} また空気中で生成される C^{14} については時間の都合で割愛させていただきます。

(この項終り)