

フォールアウトの研究 第3報

—雨の洗滌作用について—

岡 崎 庶 兄

(昭和33年11月17日受理)

Moroe OKAZAKI: On The Collection Effect of Rain Drop.

1. 概 要

一般によく知られているように、雨中の放射能はその降り始めに特に強く、急激に減少して1~2mmの雨量で大体一定の値に落ち着く。始めに急減する部分は、雨滴の洗滌作用によるものと考えられている。既に第1報¹⁾でこの問題にふれたが、不備な点が多く改めて取上げてみた。未だ例数も少なく充分ではないが、一応現在までに得られた結果について報告する。

2. 実験装置及び試料

降り始めの変化の様子を詳しく調べるために、採水漏斗は直径92cmの大形にし、表面に白色のストリップブルペイントを塗布した。

採水完了後はよく蒸溜水で洗い、ふたをして降下塵による汚染を防いだ。しかし長期間放置しておく²⁾と若干の汚染はまぬがれないので、状況により採水前に改めて洗滌するようにした。これにより漏斗が乾いていると、降り始めの放射能塵がそれに附着して見掛上放射能及び残渣量の減少をきたす点をも、防ぐことが出来る。漏斗で集められた雨は、重力式で回転する台の上に円形にならべた100cc入り15本の硝子容器に次々と入れ、後3本の100cc入りの定量採水ビンを経て、大型の雨水容器に溜められる。方式は第1報と大体同じで、定量採水ビンを多段にならべると、どうしても相互に雨水が混入するのでこの方法をとった。この場合100ccは0.15mmの雨量に相当する。

このようにして降り始めから0.15mmづつ18~20の試料が得られるが、その放射能及び蒸発残渣量とも併せ測定する為に以後の一切の洗滌には蒸溜水を用いた。

採水ビンの回転は別の漏斗を用いた回転式雨量計からの電氣的接続によつて行つた。これは水車型で周囲に~10ccの容器が10ヶあり、これ専用の漏斗で集められた雨水は食塩だめを経て電氣的に良導体となり水車の水溜め入りに、~10ccたまると回路に電流が流れ、電磁石が働いて水車の止めがはずれ、一こまずつ重力式に回転する。この半回転毎に採水ビンには100ccの雨がためられて一つあて次に移動する。尚水車の一こまずつの回転間隔は、風速計自記装置

で電氣的に記録するようにした。

その雨の雨滴の平均の大きさ、雨滴数など調べる為に、雨滴分析計を作つた。これは水平においた断面 $30 \times 30 \text{ cm}^2$ 長さ 160 cm の角筒で、一方から小型送風機で風を送り、その中間にもうけた巾 2 cm 長さ 25 cm のスリットを通して落下して来た雨滴を、その重さに応じて分離し、底部にしいてある雨滴記録紙にその相対的位置と大きさを記録する方式を用いた。

分析の一例を Fig. 1 に示した。

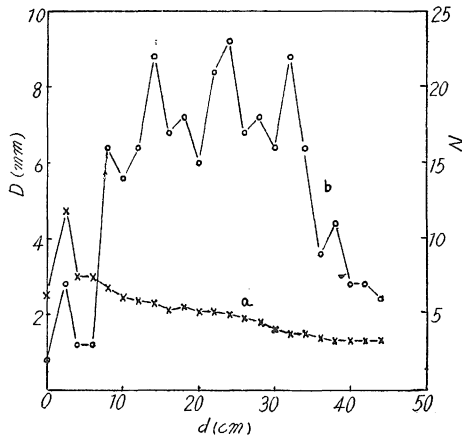


Fig. 1 雨滴分析器による雨滴分布
 d : スリットからの距離を表わす
 a 曲線はスリットからの距離に対する痕跡の D の分布
 b 曲線はスリットからの距離に対する雨滴数の分布

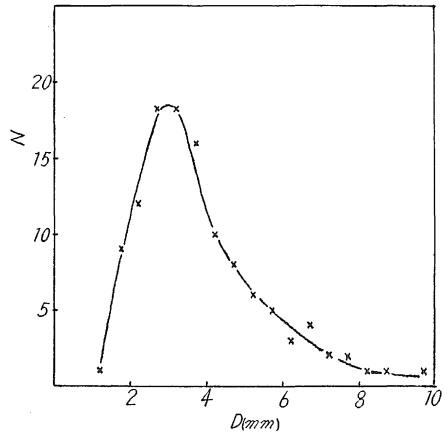


Fig. 2 RS-8.29 降り始めの雨の D の分布
 D は濾紙上の雨滴の痕跡の直径
 N は雨滴の数

雨滴の分解能をあげるには、その落下方向を規制するスリット巾の小さい方が望ましいが、測定条件がせまられるので例えば風などある時は一定の大きさの濾紙を、人手で5~10秒間露出する方法をも併せ用いた。

試料の作成及び測定は第一報と大体同じ方法で、計数装置は Aloka DC-5c 型を用い GM 管は科研製でマイカの窓厚は 2.2 mg/cm^2 のものである。

尚蒸発残渣量の測定は、感度 1 mg の精密化学天秤を用いた。こげつきをおこすと残渣量は減少すると思われるが、補正はされていない。このようなものも若干ある。

3. 雨滴の大きさ

雨滴分析器などによる雨滴の半径の測定は、高島²⁾の方法によつた。即ち酸性フクシンの 5 g を 21 の蒸留水に溶解した液中に、定性濾紙 No. 5 を浸し乾燥して用いた。普通のフクシン約 10 g を 21 の水に溶かし塩酸 $2 \sim 4 \text{ cc}$ 混じた液も用いたが、時間がたつと濾紙が弱くなり、又雨滴の跡が若干不明瞭になる。

マイクロピペットを用い濾紙上の水滴の拡がりの直径 D と減少した水の量 V との関係を調

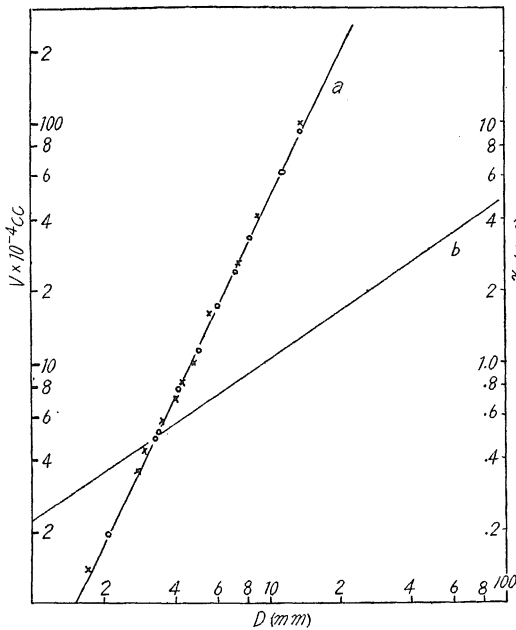


Fig. 3 水滴の痕跡径と水滴半径

V: 水滴の量. D: 濾紙上の直径. rR: 水滴の半径
 ×印, 雨の日の測定値. ○印, 天気の日測定値
 a 直線は, $V = aD^{2.0}$ の実験式に対応する
 b: $V = \frac{4}{3}\pi rR^3$ として, rR と D の関係を表わす

方向による変形等による誤差であつて、果して静的に擱えた上述の較正曲線がそのまま用いられるかどうかにある。D が ~1 cm を超える——従つて rR ~1 mm 以上——とその影響が若干あるように考えられるが、詳しい検討はなされていない。

D が ~1 cm より小さなものについては、その影響は小さいと考えられ、今度の実験値の範囲では(1)式がそのまま使用されたとした。

4. 実験結果とその検討

Fig. 4 には試料 RS-6.11 の放射能強度及び残渣量の降り始めから 0.15 mm 毎の雨量に対する減衰状況が曲線 I II で示されている。III はその比放射能の変化で個々の試料は可なりばらつくが、平均的に見て殆んど一定と考えてよいことがわかる。この傾向は殆んど凡ての試料について言えることで、平均的にみて放射能はその残渣量に比例すると考えてよい事を意味しよう。しかし個々の試料について見ると、必ずしもそうとは限らない。残渣量は近傍の値と大差ない場合にも、放射能の方は可なり多い場合が見られる。このことは空気中の放射能分布が、可なり狭い範囲で比較的是げしく変動している為と考えられる。これが特に微小塵による場合は残渣量に比例しなくなると考えられる。このような濃度分布の変動は当然比較強的新しい放射能塵が来た場合に、顕著に現われることが期待されるが、事実そのような傾向が伺わ

べた。定性濾紙 No. 2 を用い次の関係の関係を得た。

$$V = aD^{2.0} \quad \dots\dots(1)$$

a は濾紙の厚さと多孔度に関係する常数でこの場合 $a = 4.1 \times 10^{-5} \text{cc/mm}^2$ であつた。この容積 V が球形の雨滴とした場合、計算からその半径 rR が求められる。これらの関係は Fig. 2 に示してある。

水滴の量が少なくなり濾紙の裏面にまで一様に浸透しなくなると、上の関係からずれてくることが予想されるが、吾々の場合 ~1.5 mm の D の値までは上の関係は比較的良好に保たれていると思われる。濾紙の乾燥の度も多少影響があるが大径 D の測定誤差の程度であつた。

むしろ問題は実際の雨滴の落下時の衝撃による拡がり、とばつちり及び落下方

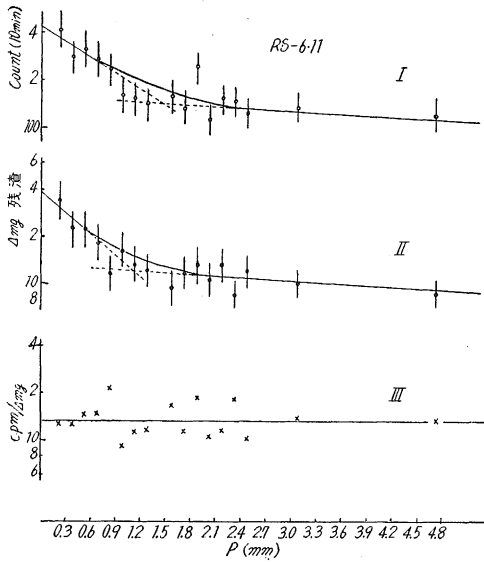


Fig. 4-1 放射能及び残渣の減衰と比放射能

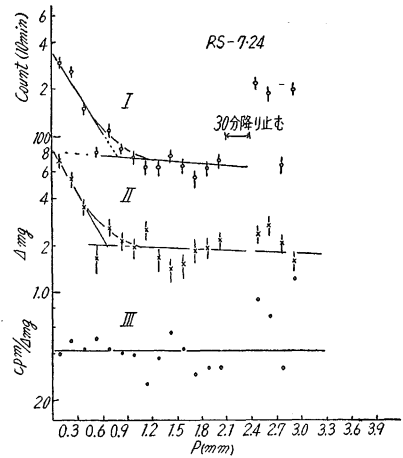


Fig. 4-2 放射能及び残渣の減衰と比放射能

I, IIはそれぞれ放射能、残渣量の減衰。IIIは、比放射能。cpm/Δmg. 各試料 100cc の値。これは雨量にして 0.15mm に相当する。

れる。Fig. 5 は RS-7.9 でこの試料採取の前数日間には、空气中放射能も異常に強く、平常値の30~50倍もあつた。この試料は降雨後しばらくして採水を始めたので、そのまま他の試料と比較出来ないが、減衰の様子は可なり違つている。

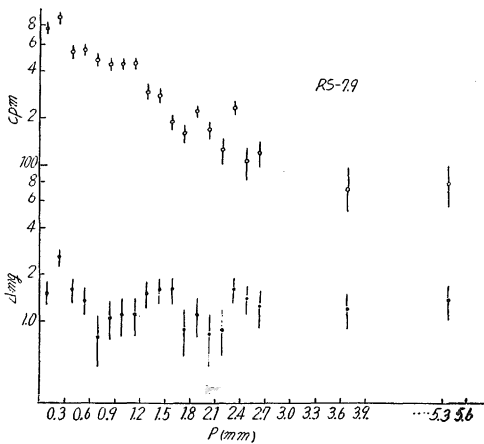


Fig. 5 放射能及び残渣量の減衰

塵の洗濯作用は Junge⁴⁾ により指摘された。

$$N = N_0 e^{-\frac{3\sigma}{4r} p} \quad \dots\dots(2)$$

N, N_0 は雨量 p 後及び始めの空中の塵埃数を示し、 r は雨滴の半径、 σ は捕捉効率である。従つて雨量 p の降雨中には

$$N_R = N_0(1 - e^{-\frac{3\sigma}{4r} p}) \quad \dots\dots(3)$$

の塵埃が捕捉されることになる。

Fig. 6 は得られた試料数例の放射能の減衰のみを示した。凡て10分計数値を用いてある。

これらの曲線を見て気附くことは、雨中に含まれている放射能の成因に、二種類あると考えられることである。降り始めの急激な減少は、一般に云われているように、雨滴の洗濯作用によると考えられ、1~2mm 以後のゆるやかな変化は、恐らく雨滴の生成層に於けるその生成機構に関係するものであろう。

雨滴による空气中の塩素の洗濯については三宅、杉浦等により明かにされ、又同様空

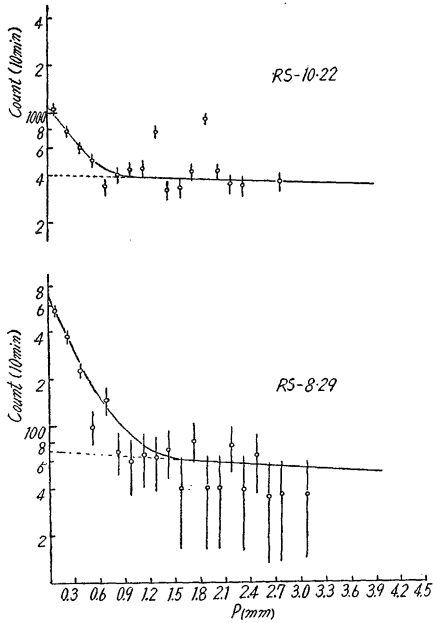


Fig. 6-1 雨中の放射能の減衰

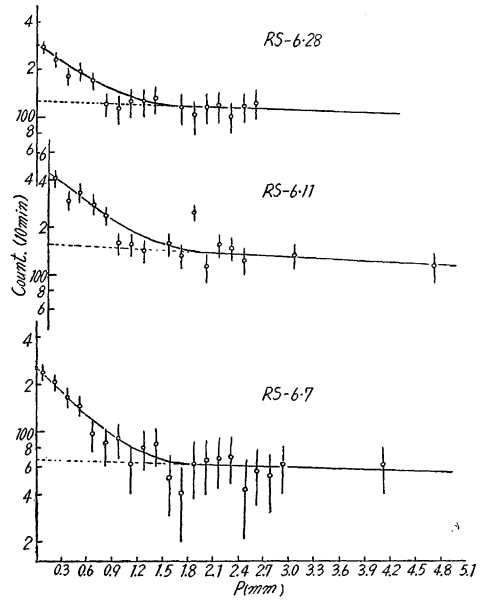


Fig. 6-2 雨中の放射能の減衰

全く同様な関係が雨中の放射能の場合にも認められることが三宅、其の他の人達により指摘された。^{5), 6)}

$$A_R = A_0(1 - e^{-\frac{3\sigma}{4r}p}) \quad \dots\dots(4)$$

ここに A_0 は、初期の雲底の高度 (Z) までの気柱の放射能, A_R はその部分に降つた雨量 p の雨中の放射能を表わす。但しこれは洗滌作用により捕捉されたと考えられる放射能である。従つて全放射能は、この部分と、雨滴が始めからもつていた部分との和として得られる。

(4)から一定の雨量 Δp ごとに得られる試料の放射能 ΔA_R の n 番目の値は、次式で与えられる。

$$\Delta A_{Rn} = A_0(1 - e^{-\frac{3\sigma}{4r}\Delta p})e^{-\frac{3\sigma}{4r}(n-1)\Delta p} \quad \dots\dots(5)$$

その一雨の 1~2 mm 内での雨滴の平均半径 $\langle r \rangle$ を考えれば、右辺の $A_0(1 - e^{-\frac{3\sigma}{4\langle r \rangle}\Delta p})$ は一定であるから、相隣る ΔA_R の比の \log をとれば、

$$\log \frac{\Delta A_{Rn}}{\Delta A_{Rn-1}} = -\beta \Delta p \quad \dots\dots(6)$$

が得られる。但し

$$\beta = \frac{3\sigma}{4\langle r \rangle} \quad \dots\dots(7)$$

Fig. 6 から伺えるように、二種の半減期をもつ放射能の場合と同様に考えられる。

実験的には(6)の左辺の平均値から β を決め(7)から $\langle r \rangle$ がわかっているから、 σ が求められる。

既に述べたように、各試料の放射能は、空中の放射能分布の変動でかなりふらつく、又減衰

は比較的早く、測定値も数が少ないので、初期の正確な減衰常数 (β) を得ることはなかなか困難である。

以上の方法で分析して得た減衰常数 β 及び捕捉効率 σ と、初期の平均の雨滴半径をそれぞれ表-1 に与えてある。

表-1 雨滴の平均半径減衰常数及び捕捉効率

試料番号	平均半径 <r> mm	β	σ
RS-6.28	0.74	0.95	0.93
RS-6.11	0.67	0.93	0.77
RS-6.7	0.61	0.89	0.72
RS-8.29	0.52	1.55	1.02
RS-10.28	0.46	1.61	0.98

<r> の変化の範囲も小さく、例数も少ないので、それらの相関は必ずしも明かではない。 σ 誤差は $\sim 30\%$ と見積られる。

尚減衰曲線から雲底下の空中の放射能は、ほぼ 1~1.5 mm の初期降雨で洗滌されるとみてよい。しかし全体の放射能が強

い場合は、かなり尾を引くことが認められる。それは主として、より上空の放射能が生成層に次々と拡散し雨滴にとられるためと考えられる。

⁴⁾ Junge によると $\sim 4 \mu$ の塵に対する 0.4 mm の雨滴の捕捉効率は ~ 0.8 と云われている。しかし放射能塵の強度と粒度分布の複雑さを考慮すると、直接の比較はむづかしい。

此の点についての立入った論議は、雨滴の捕捉機構についてのより詳細な知識を必要とするであろう。例えば塵埃が降雨時のごとく、高湿状態では微小な水滴となり得ると考えられるならば、その慣性効果で雨滴の径の大きい程捕捉は有利であろう。又雨滴も塵埃も荷電状態にあると考えられるが、その強さが大なれば、Coulomb 力による捕捉も無視出来ないであろう。その場合雨滴が同じ荷電をもつならば、雨滴の小さい方が捕捉に有利であろう。もしそうならば、 σ は或る <r> で最小になることも予想される。又例えば σ は 1 であつても、空気中の放射能分布が、雨滴の拡がりに比してかなりまばらで連続分布が考えられないならば、或る雨滴は有効に捕捉するであろうが他の雨滴は捕捉にあづからないこともあり、平均値は 1 より小さくなるであろう。そしてこの項が強く効く場合、捕捉率 σ は空中の放射能分布にも依存することになる。

その他、種々の原因が考えられるがこれらの問題は、尚今後の研究にまたねばならない。

5. 結 論

雨中の放射能には二種類の成因がある。一つは雨滴が生成され又降下するに充分な雨粒にまで生長する間高空で得たものであり、他は雲底下の空間で、地上への落下途中に捕捉したと考えられるものである。このような二種の分離は、その気団の放射能が比較的弱く、従つて放射能塵の拡散がよく行われている状態で、比較的明白に見ることが出来る。これらのことは、空気中の塵埃量についても同様であり、両者の間には平均的にみて、比例関係が成立する。しかし雨量 0.15 mm の範囲では、可なりの変動が伺われる。

空気中の放射能が比較的弱い場合、それらは 1~1.5 mm の初期降雨で洗滌されるが、強い

場合には、3~数 mm まで尾をひくことがある。これは恐らくより上空からの、生成層への拡散のためと考えられる。捕捉効率は、 $\langle r \rangle$ が 0.4~0.8 mm の間では相関は明かではない。平均の σ の値は 0.87 であつた。

6. 謝 辞

この研究は文部省の科学研究，フォールアウト総合研班の一員として行われた。班長並びに班員の方々の御支援に感謝する。尚装置の製作について協力して戴いた工業試験所の杉谷部長に謝意を表しなければならない。又種々討議して戴いた、当物理教室の長谷川教授、竹本助教授、岡講師並びに試料の作成、測定などに協力してもらつた当研究室の学生、山下、井川、杉本の諸君に深く感謝する次第である。

文 献

- 1) 井戸垣，岡崎，岡：島根大学論集（自然科学）第7号，3月，40頁，1957年。
- 2) 高島良正：分析化学，第4巻第5号，36頁，1955年。
- 3) Y. Miyake: Y. Sugiura: Met. Geophys. 1. 22 1950.
- 4) Junge CHR: Tellus. 5. 1, 1953.
- 5) 森田，福井：天気，第3巻第1号，29頁，1956年。
- 6) Y. Yano, Naruse: Met. Geophy. 2. No.1 34 1956.

Sammary

It has already been known that rain drops capture radioactive dusts in the air. At begining, radioactive dusts in rain water per constant volume decrease rapidly with increasing percipitation, but after 1~2 mm rain fall, it remains nearly constant.

Following two tendencies may be suggested: the first represents the washing effect of rain drops durring they fall dawn to ground from cloud, and the second means that after clean up the space, activity in rain water indicates the amount of radioactive dusts which are inherently captured with rain drops in thier formation course.

This tendencies are disturbed more or less in the case of newly produced radioactive dusts, becaus thier destribntion in upper cloud strongly flucturtes and diffusion effect may not be neglected.

The collection efficiency of rain drops radius about 0.4-0.8 mm is about 0.87 but because of poor statistics, correlation between them are not clarified now.