551.594.14: 551.501.4

放射能観測上の諸問題について（第1報）

角　川　正　義*

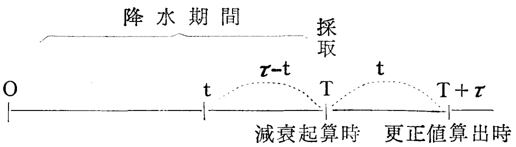
気象庁で放射能観測が始められて以来3年あまりになるが，その間実務にたずさわってきた者として感じた疑問の幾つか**を私なりに解決してみた。これについて諸賢の御批判が得られるならば幸いである．

1. 減衰起算時刻の定め方とそれに関連する誤差の評価***

放射能の測定値を表はすのに気象庁では「τ時間更正値」（τとしてはふつう6及び72をとっている）という言葉を使っているがその目的とするところは雨水中の自然放射能が減衰するのを待って（その待つ時間がτ時間），人工放射能成分だけを求めるという点にある．そして求められる更正値がτと共に変ることは申すまでもないが，そのτを起算する時刻（いわゆる減衰起算時刻）によって変ることにも注意する必要がある．

（i） 現在行っている方法についての検討．

気象庁では今のところ雨水を採取し終った時刻を減衰起算時刻と定めているが，雨水は採取直前に瞬間的に降るのではなく長時間かかって少しずつ採取瓶に溜まることを考えると，初期に降った雨ほど必要以上に長く放置されていることになり，放射能はそれだけ余計に減衰して更正値は過小評価されていることになる．



第1図

次にこれを数式で検討してみることにしよう．今降水期間とは採取瓶に実際雨の入った期間を意味することにして，その始まりの時刻を0，終りをT，その間における任意の時刻をtとする．そして

$\gamma(t).\ dt$……時刻tにおいてdt時間に採取瓶に溜まった雨の量

$\rho(t)$………その雨の単位体積中に含まれる放射能の量

と定義すると，各瞬間（時刻t）に採取瓶へ溜まった放射能の量は

$$\rho(t)\cdot\gamma(t)\cdot dt$$

であるが，これは更正値を求める時刻つまり瓶に入ってより

$$\{(T-t)+\tau\}\ \text{時間後}$$

には減衰して

$$\rho(t)\cdot\gamma(t)\cdot exp\{-\lambda(T-t+\tau)\}\cdot dt \quad\cdots\cdots\cdots(1)$$

となっている筈である.（ここでλは人工放射能の減衰率）

これは任意の時刻に降ったすべての雨についていえるので，それらを寄せ集めたものが実際に測定される放射能（但し見掛上の値）ということになるが，観測値はふつう単位体積の雨について表わしているから，これを$N(\tau)$とすれば

$$N(\tau)=\frac{\int_o^T\rho(t)\cdot\gamma(t)\cdot exp\{-\lambda(T-t+\tau)\}\ dt}{\int_o^T\gamma(t)dt}\quad\cdots\cdots(2)$$

となる．

所で今，ほんとうに知りたいのは各瞬間の雨が降ってよりτ時間後における放射能の総和であり，これは実測不可能ではあるが

$$N'(\gamma)=\frac{\int_o^T\rho(t)\cdot\gamma(t)\cdot exp(-\lambda\tau)dt}{\int_o^T\gamma(t)\ dt}$$

$$=\frac{e^{-\tau\lambda}\int_o^T\rho(t)\cdot\gamma(t)\ dt}{\int_o^T\gamma(t)\ dt}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

として表わされる．

(2)式で表わされる実測可能の$N(\tau)$はどんな場合においても真の値$N'(\tau)$と等しくならないが，その差異がどの程度のものであるかを次例の場合について調べてみよう．

（例1） 雨の降り方および放射能濃度が降水期間中変らないとき．

この場合は $\begin{cases}\gamma(t)=\gamma\ (=const)\\ \rho(t)=\rho\ (=const)\end{cases}$

と表わすことが出来るが，ふつうλTが充分に小さいことに着目すれば

$$N(\tau)=\frac{1}{R}\int_o^T\rho\cdot\gamma\cdot exp\{-\lambda(T-t+\tau)\}\ dt$$

$$=\frac{1}{R}\frac{\rho\gamma}{\lambda}\cdot exp\{-\lambda(T+\tau)\}\cdot(e^{\lambda\tau}-1)$$

$$\fallingdotseq\frac{1}{R}\ \rho\gamma\cdot e^{-\lambda\tau}\cdot T\cdot(1-\frac{1}{2}\lambda\tau)$$

ここで　$R=\int_o^T\gamma\,dt=\gamma T$

---

* 東京管区気象台技術課—1957年12月25日に受理—

** 各節毎に取扱っている問題は相互に直接の関係がなく，寧ろ別個のテーマであるが，便宜上，上記題目のもとに総括することにした。

*** ここでは雨水中の放射能について考えているが，同じことが塵埃中の放射能についても云うことが出来る。

又，　$N'(\tau)=\dfrac{1}{R}\int_o^T \rho\gamma e^{-\lambda\tau}\,dt=\dfrac{1}{R}\rho\gamma e^{-\lambda\tau}\cdot T$

となるので両者の相対的差異 δ_1 は

$$\delta_1=\frac{N(\tau)-N'(\tau)}{N'(\tau)}=\frac{1}{2}\lambda T \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

となる．例えば $\lambda \fallingdotseq 10^{-2}\ [h^{-1}]$，$T=20\ [h]$ の場合には

$$\delta_1=\frac{1}{2}\times 10^{-2}\times 20=10^{-1}$$

つまり，真の値よりは1割程度も少い値として観測していることになる．

（例2）　雨の降り方は変らないが，放射能の濃度が次第に変化する場合．

即ち　$\begin{cases}\gamma(t)=\gamma=const\\ \rho(t)=a-bt\end{cases}$

同様に　$R=\int_o^T \gamma\,dt=\gamma T$ とおき，λT が充分に小さい時を考えれば

$$N(\tau)=\frac{1}{R}\int_o^T \gamma\cdot(a-bt)\cdot exp\{-\lambda(T-t+\tau)\}\,dt$$
$$=\cdots\cdots=\frac{1}{R}\gamma\cdot e^{-\lambda\tau}\{aT-\frac{b}{2}T^2+\frac{b}{2}\lambda T^3$$
$$\times(1-e^{-\lambda\tau})-\frac{a}{2}\lambda T^2\}$$

$$N'(\tau)=\frac{1}{R}\int_o^T \gamma(a-bt)\cdot e^{-\lambda\tau}=\frac{1}{R}\gamma\cdot e^{-\lambda\tau}(aT-\frac{b}{2}T^2)$$

従って $1-e^{-\lambda T}\fallingdotseq\lambda T$　なることを使って，相対的差異 δ_2 を求めれば

$$\delta_2=\frac{N(\tau)-N'(\tau)}{N'(\tau)}=\cdots\cdots=\frac{a-bT\cdot(\lambda T)}{2a-bT}\lambda T \cdots(5)$$

ここで

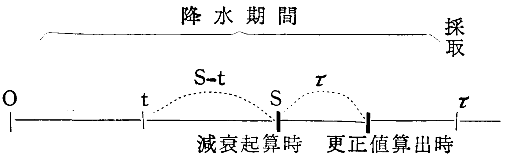
$b=o$ のとき………$\delta_2=\dfrac{1}{2}\lambda T=\delta_1$

（これは例1の結果にほかならない）

又　$\lambda T<\dfrac{1}{2}$ なる限り

$b>o$（即ち時の経過につれて放射能が濃くなる）
ときには　　$\delta_2>\delta_1$
（つまり例1の場合より差異が大）
$b<o$（次第に放射能が淡くなる）
ときには　　$\delta_2<\delta_1$　　となる．

（ii）　だがこのように予想外に大きくなる差異も，減衰起算時刻の定義を適当に変更することによって小さくできる．



第2図

それは減衰起算時刻を降水期間の終り（T）とせず，それよりも若干まえ S にずらし，その時に得られる更正値

$$N(S,\tau)=\frac{\int_o^T \rho(t)\cdot\gamma(t)\cdot exp\{-\lambda\ (S-t+\tau)\}dt}{\int_o^T \gamma(t)\ dt}$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

が(3)式に示した $N'(\tau)$ と等しくなるように，つまり次式を満足するように S を定めるのである．

$$\int_o^T \rho(t)\cdot\gamma(t)\cdot exp\{-\lambda(S-t+\tau)\}\,dt$$
$$=e^{-\lambda\tau}\int_o^T \rho(t)\cdot\gamma(t)\cdot dt \quad\cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

次に（例2）の場合について具体的にしらべてみよう．

$\gamma(t)=\gamma$，$\rho(t)=a-bt$，(7)式の中に代入し両辺共通の因子を消去すれば

$$e^{-\lambda S}\int_o^T (a-bt)\,e^{\lambda t}\,dt=\int_o^T (a-bt)\,dt$$

$$\therefore e^{-\lambda S}=\frac{aT+\frac{1}{2}bT^2}{\frac{a}{\lambda}(e^{\lambda T}-1)+\frac{bTe^{T\lambda}}{\lambda}-\frac{b\,(e^{\lambda T}-1)}{\lambda^2}}$$

$$\therefore\ S=\cdots\cdots\fallingdotseq\frac{1}{2}T+\left(\frac{1}{12}\frac{b}{a}+\frac{1}{6}\lambda\right)T^2\cdots\cdots(8)$$

ここで $\dfrac{b}{a}$，λ，T 等は時により異なり，従って S もその都度変ることになるが，大ざっぱに $S=\dfrac{T}{2}$ と定義しても差異を小さくしようとする目的は或程度達することが出来る．その場合の差異 δ_3 を評価してみると

$$N(\frac{T}{2},\ \tau)=\frac{1}{R}\int_o^T \gamma\cdot(a-bt)\cdot exp\{-\lambda(\frac{T}{2}-t+\tau)\}dt$$
$$N'(\tau)=\frac{1}{R}\int_o^T \gamma\cdot(a-bt)e^{-\lambda\tau}dt$$

なる故

$$\delta_3=\frac{N(\frac{T}{2},\ \tau)-N'(\tau)}{N'(\tau)}=\cdots\approx\frac{1}{6}\frac{bT}{a}(\lambda T)+\cdots$$

ふつうの場合 λT は 10^{-1} の order であり，又 bT は a に比して充分に小さいので δ_3 は無視し得るくらいに小さくなる．

2.　放射能の試料自身による吸収および試料皿の後方散乱についての考慮

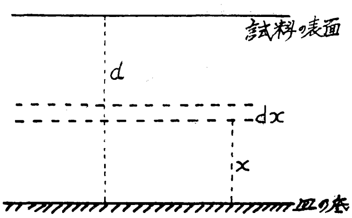
現在の放射能測定法では G. M. 管に飛込んで感じた放射粒子そのまゝを測るだけであるが，ほんとうはこれに吸収，散乱等についての補正をしなければならない．

筆者はこの点に着目して，試料自身による吸収および，試料皿による後方散乱を考えに入れた補正式を求めてみた．

（記号の説明）

S ……試料皿の面積
d ……試料の厚さ（単位面積当りの質量で表わす）
k ……試料自身の吸収係数
2ρ …単位質量の試料のもつ放射能

γ ……試料皿の材質の飽和後方散乱率



第 3 図

今底より x だけ上にある dx 厚さの試料の層から出る放射能 $2\rho dx$ について考えると，その半分 ρdx は上向きに，残り半分 ρdx は下向きに進む．何れもその進む途中で試料自身の吸収，散乱等のためにその量は減ってゆくが，特に下向きの成分は皿の底で後方散乱をうけ，その一部ははね返って上向きに進むようになる．この関係を式で書けば次のようになる．*

$$N(d)=\int_0^d exp\{-k(d-x)\}\cdot\rho S\cdot dx+\int_0^d e^{-kd}\cdot\gamma\cdot e^{-kx}\rho S\cdot dx \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

ここで左辺の $N(d)$ は実測される見掛上の値であるが，これは厚さ d と共に変る．又右辺第一項は始めからの上向き成分を意味し，第二項は最初下向きであった成分のはね返りを意味している．

右辺について更に計算をすすめれば

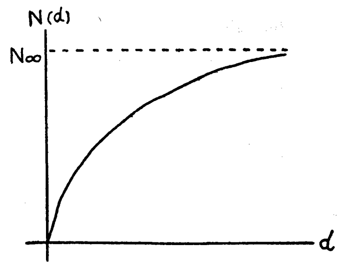
$$N(d)=\cdots\cdots=\frac{\rho S}{k}\{1-(1-\gamma)e^{-kd}-\gamma e^{-2kd}\} \quad \cdots(2)$$

となる．（ここで ρ は x に無関係と考えている）

今，試料層を充分に厚くしてゆくと，右図のように $N(d)$ は飽和値に達するが，それを N_∞ とすれば (2) 式より

$$N_\infty=\frac{\rho S}{k} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

となる．



第 4 図

(2)，(3) より

$$N(d)=N_\infty\{1-(1-\gamma)e^{-kd}-\gamma\cdot e^{-2kd}\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

これを解いて k を求めれば

$$k=\frac{1}{d}log\,2\gamma-\frac{1}{d}log\left\{\gamma-1\pm\sqrt{(1-\gamma)^2+4\gamma\left(1-\frac{N(d)}{N_\infty}\right)}\right\}^{**} \quad \cdots\cdots\cdots(5)$$

この k を使って(3)式より ρ を求めることが出来る．即ち

$$\rho=\frac{1}{S}kN_\infty=\frac{N_\infty}{S\cdot d}\cdot\left[log2\gamma-log\left\{\gamma-1+\sqrt{(1-\gamma)^2+4\gamma\left(1-\frac{N(d)}{N_\infty}\right)}\right\}\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

所で今，ほんとうに知りたいのは試料の中に存在している放射能の総量 C であるが，それは $2\rho\cdot\{S\cdot d\}$ として表わせる．即ち

$$C=2\rho\cdot\{S\cdot d\}=2N_\infty\left[log\,2\gamma-log\left\{\gamma-1+\sqrt{(1-\gamma)^2+4\gamma\left(1-\frac{N(d)}{N_\infty}\right)}\right\}\right]$$
$$=\left(2-2\gamma+\frac{N(d)}{N_\infty}\right)\cdot N(d) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

従って求むる補正式 $\varDelta$ は

$$\varDelta=C-N(d)=\left(1-2\gamma+\frac{N(d)}{N_\infty}\right)\cdot N(d) \quad \cdots\cdots\cdots(8)$$

となる．

3. あとがき

放射業務についてはこの他に多くの問題が残っているが，取敢えず手近かなものから第一報としてまとめてみた．

尚，この報告を書くに当っては，当課片山昭氏より計算の誤りを指摘して戴き，気象研究所　奥田穂氏には多忙中に拘らず草稿を校閲して戴いた．又大田測候課長および気象研究所今井部長からは日頃有益な御指導を得ており，当課三谷係長その他の方々からは業務上格別のお世話になっている．ここに紙上を拝借して厚くお礼申上げたい．

* ここで資料の層を通過する際の放射能の減少は指数法則に従うと仮定しているが，ほんとうはその仮定を使う前に，それから導かれた結果のどれかを実験で確かめなければならない．これについては別の機会に調べてみたいと思うが，今は一応正しいものとして考えをすすめた．

** ここで第 2 項に現れた複号のうち，log の中が正となるようなもの，即ち ＋ をとることにする．