

# 液体照射線源の仮定とその線量分布について(その1)

吉 村 精 治・西 田 常 夫

## **Studies on the Supposition of Liquid Source for Irradiation and its Dose Distribution (part 1)**

Seiji YOSHIMURA ; Tsuneo NISHIDA

Recently radio isotope has been used and applied in the respective spheres. The application of the effects by irradiation will be specially paid attention to in the future. Today the source for irradiation has been considered to be the thing sealed in the solid state into various capsules.

So we suppose that we use liquid radio isotope as the source for irradiation. This is because there are some advantages compared with the solid source in its freedom of the shape or additional easiness at attenuation.

In these experiments we measured the dose distribution by the columnar liquid source. We expect that these will be put to practical use.

### **1 緒 言**

最近、放射性同位元素より放出される放射線の利用の分野でクローズアップされてきたものの一つとして、放射線の照射によるその効果の応用が注目されています。農業、工業方面等ではすでに実用化の域に達しております。今日その照射用の線源としては、密封線源即ち固体状のものをいろんな形のカプセルに詰めたものとされている。しかし固体状のもののためにその形状には限界があり、また減衰に対する補充に際しては、それに伴う廃棄物の発生など今後更に実用化を進める上で幾多の問題点を考えることができる。

そこで筆者は、液体状の放射性同位元素による放射線の照射線源を考えることにより、形状の自由性、減衰時の追加の容易性を仮定し、今回円柱状の液体線源の線量分布の状態を測定し、今後の液体照射線源の実用化の基盤としたい。

### **2 液体状照射線源の将来性と問題点**

現在の放射性同位元素の利用の代表的なものは、固体線源による放射線照射効果と液体線源によるトレーサーであろう。放射線の照射線源としては密封線源を使用するのが当然のようにされている現状では、液体状の照射線源を考えることは現在までの既成概念を打破することは勿論のこと、その安全性についても今後、相当の時間と研究を要するのは当然のことであります。照射

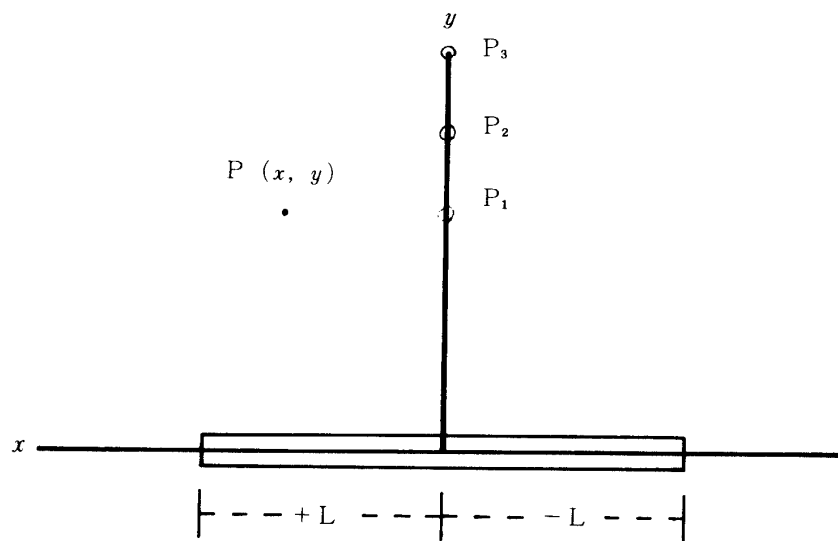
線源として要求される条件の中で幅広い線量の均一性, 被照射物の大きさ, 形状に対する線源の形状, 放射性同位元素のもつ減衰性に対する補充など, 固体状の線源に比べていくつかの容易さをもつと考えられる液体状の照射線源が要求される時期が到来することを確認するものであります。

そこで, 次に掲げるような問題点を解決するために今後の研究を継続するものであります。

- (イ) 液体放射性同位元素の長期安全保存に耐える容器の研究
- (ロ) 高濃度の液体放射性同位元素の作成 (沈降現象の解決)
- (ハ) 減衰時の追加方法
- (ニ) 液体による自己吸収の少ない形状 (幅広い均一線量)

### 3 棒状線源の線量分布の理論<sup>\*)</sup>

一様な放射能密度をもつ細い棒状線源を考えるならば, 自己吸収を無視して, 次のように周囲の線量を計算することができる。棒状線源の長さを $2L$ とし, 図1のように線源の中心を原点とする点 $P(x, y)$ における線量率 $D_L$ は



(図1) 線源と測定点の関係図

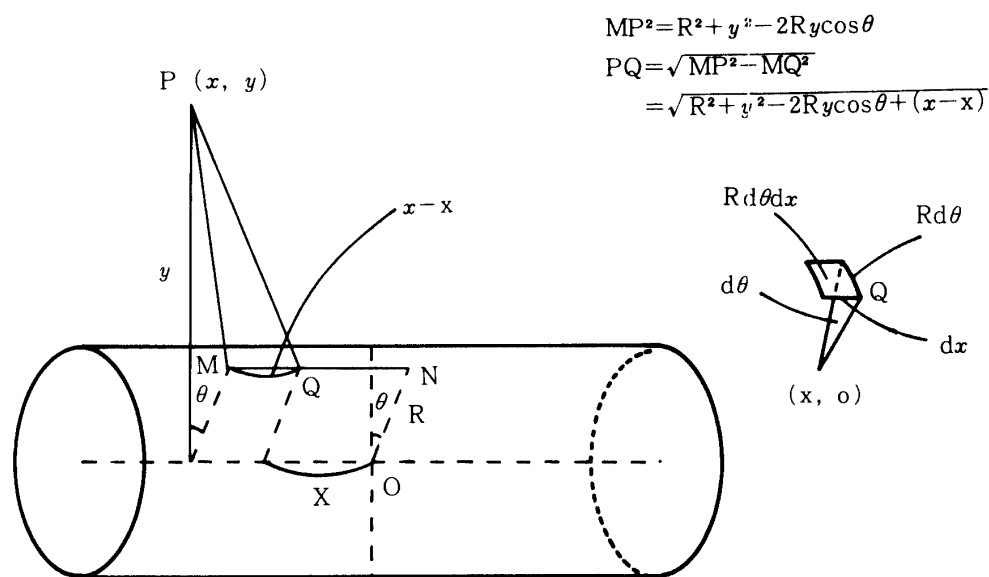
$$D_L = \frac{a}{y} \left\{ \tan^{-1} \frac{L-x}{y} + \tan^{-1} \frac{L+x}{y} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

$a$ : 単位長さ当りの放射能が一定より定まる定数

更に太い棒状線源の線量分布を考える場合に図2のような半径 $R$ , 長さ $2L$ の円筒状線源の中心を原点とする点 $P(x, y)$ での線量率 $D_S$ は

$$D_S = 2 \int_{x=-L}^{x=L} \int_0^\pi \frac{a R d\theta dx}{R^2 + y^2 - 2Ry \cos \theta + (x-x')^2} \dots\dots\dots (2)$$

$x$ : 単位面積当りの放射能が一定より定まる定数



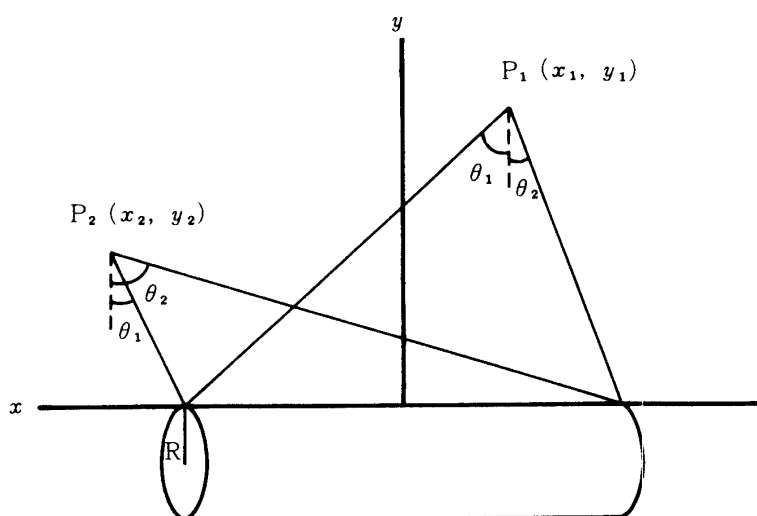
(図2) 理論計算説明図

式(2)を半径方向に積分することにより棒状線源の線量分布の式となる。

$$D_v = 2 \int_{r=0}^{r=R} \int_{x=-L}^{x=L} \int_0^\pi \frac{aR d\theta dx dR}{R^2 + y^2 - 2Ry \cos\theta + (x-x)^2} \dots\dots\dots(3)$$

$a$ : 単位体積当りの放射能が一定より定まる定数

(1), (2), (3)式では自己吸収を無視して来たが、ここで線源の自己吸収を実効自己吸収距離の考え方をすれば図3の $P_1(x_1, y_1)$ ,  $P_2(x_2, y_2)$ の $\gamma$ 線束 $I_1$ ,  $I_2$ は次式で計算される。



(図 3) 理論計算説明図

$$I_1 = \frac{SR^2}{4a} \left\{ \int_0^{\theta_1} e^{-b \sec \theta} \cdot d\theta + \int_0^{\theta_2} e^{-b \sec \theta} \cdot d\theta \right\}$$

$$I_2 = \frac{SR^2}{4a} \left\{ \int_0^{\theta_2} e^{-b \sec \theta} \cdot d\theta - \int_0^{\theta_1} e^{-b \sec \theta} \cdot d\theta \right\}$$

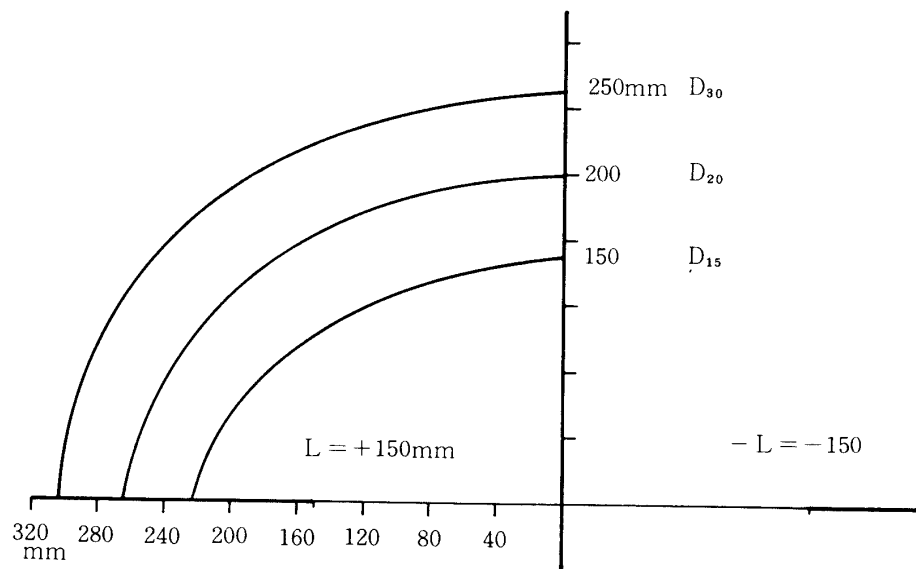
S: 単位体積当りの線源の強さ

a: (実効自己吸収距離) + y

b: (実効自己吸収距離) × (線源の線減衰係数)

※) アイソトープ便覧を参考とする。

今回の実験では棒状線源の軸方向の自己吸収は幾分影響があっても垂直方向でのそれは微小であるために自己吸収を無視した理論値と比較するものとし、図4に線源の中心より垂直距離150, 200, 250mmの三点での線量 $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ を基準とした等線量分布曲線を計算により書いてみた。

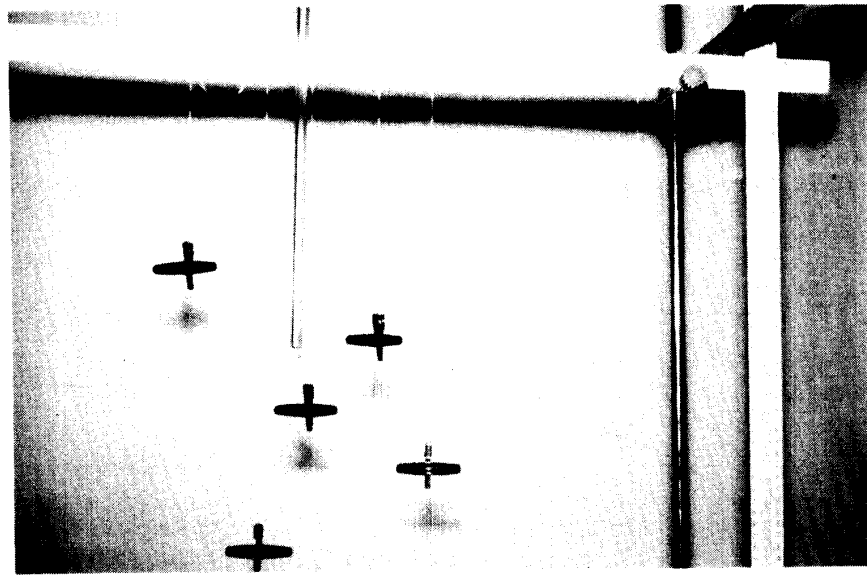


(図4) 計算による等線量分布図(L ~ -L; 線源)

#### 4 線量分布の測定実験

##### 4-1 実験概要

長さ300mm, 内径が2mmφ, 5mmφ, 10mmφ, 20mmφの四種のガラス管を作り, この中へ $^{60}\text{Co}$ の液体線源を入れ内径の差により線量分布がどのように変化するか, また等放射能としたとき, 線源より等距離のところでの内径の変化に対する線量の変化を測定した。ガラス管は硬質ガラスを使用し肉厚0.8mmのものを作成し, 容器によるBuild up, 吸収の影響を最小限にした。測定器としては熱ルミネッセンス線量計で, 被曝用素子を用いて写真の図のように線源の周囲に糸でつるし位置を固定した。

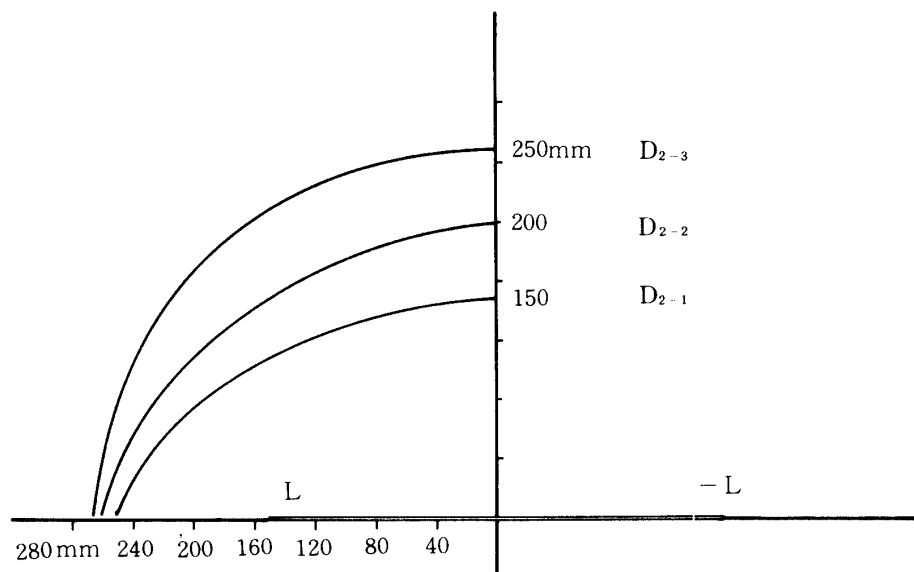


測定点は図1のように線源の中心点より垂直距離150mm, 200mm, 250mmの位置を基点として、その点での線量の等線量分布曲線を書くために線量測定をくり返した。

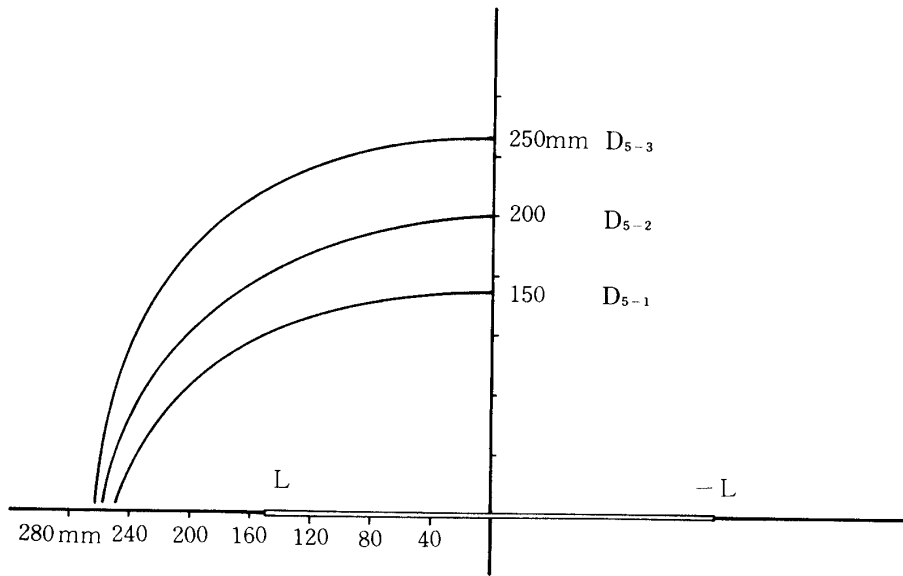
#### 4-2 測定値の整理

内径の異なる四種の円柱棒状の線源の周囲の線量を測定して、4-1で述べたごとく線源の中心点より垂直距離150, 200, 250mmのそれぞれの線量と等しい線量の点を結ぶ等線量分布曲線を書いたのを図5より図8に示す。

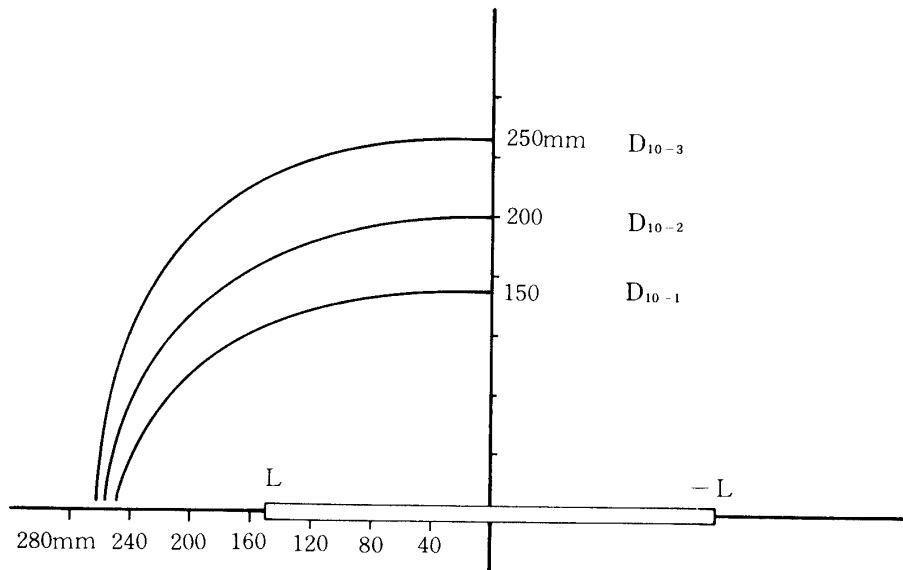
また等放射能の線源を長さの等しい四種類の太さのガラス管にそれぞれつめて図1の  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  3点の線量がどのように変化をするか観測し、一番径の細い  $2\text{mm}\phi \times 300\text{mm}$ の棒状線源の中心より垂直距離150cmの点  $D_{2-1}$ の線量を1.00として径の変化に対する  $D_{15}$ ,  $D_{20}$ ,  $D_{30}$  三点の線量の変化を相対値で表わしたのが表1である。



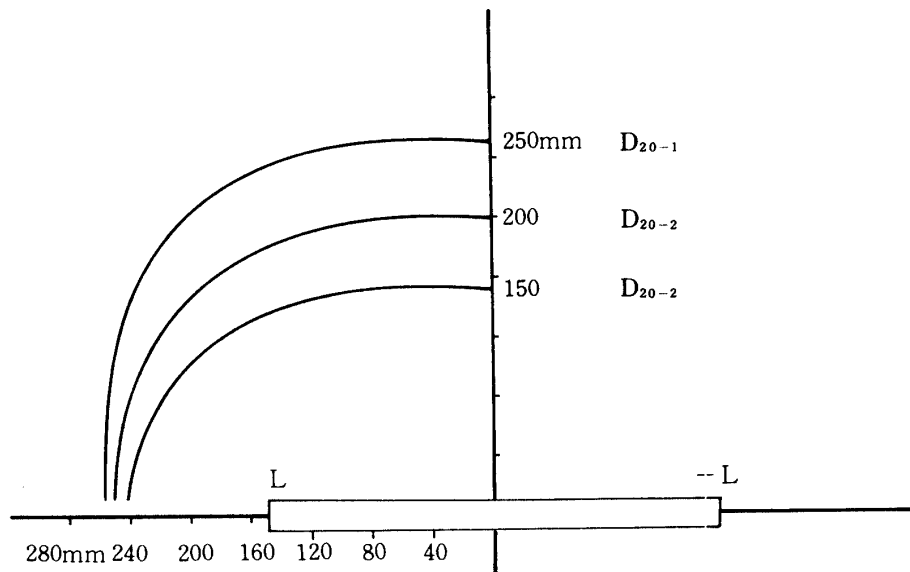
(図5) 等線量分布図 ( $\phi=2\text{mm}$ )



(図6) 等線量分布図 ( $\phi=5\text{mm}$ )



(図7) 等線量分布図 ( $\phi=10\text{mm}$ )

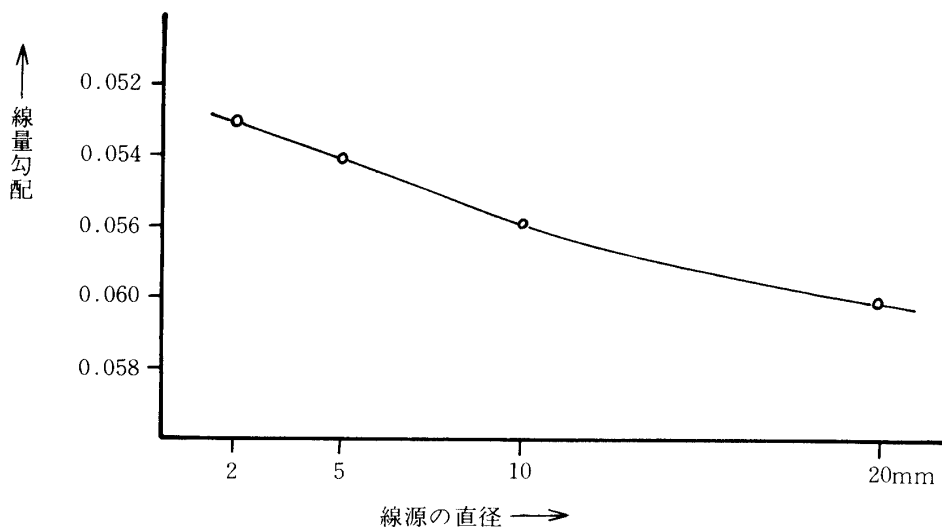


(図8) 等線量分布図 ( $\phi=20\text{mm}$ )

[ 表1 ]

線源の直径 \ 線源からの距離	$D_{15}$ (150mm)	$D_{20}$ (200mm)	$D_{25}$ (250mm)
2.0mm $\phi$	1.00	0.61	0.41
5.0	0.98	0.60	0.40
10.0	0.93	0.57	0.37
20.0	0.89	0.55	0.35

同一線源に対しての $D_{15}$ ,  $D_{20}$ ,  $D_{25}$ , 三点の線量の変化の度合を線量勾配とするならば, この線量勾配と線源の直径との関係をグラフにしたのは次の図9である。



(図9) 線源の直径と線量勾配

## 5 結 言

液体放射性同位元素を詰めた円柱棒状液体線源の線量分布の測定を実施したのであるが、筆者が最も注目していた自己吸収による影響については、予想したより小さく、むしろ直径を大きくした場合の方が等線量分布曲線の平坦部分が長くなる傾向にあった。実験データと自己吸収を無視した計算値との間にも棒状線源の軸方向には可成りの差はあったものの垂直方向ではその傾向はほぼ一致している。

また直径の変化による線量の変化も10倍の径の変化に対して約10%位である。直径の変化に対する線量勾配（棒状線源の中心での垂直方向の距離に対する線量変化の割合の平均）に一応の規則的な傾向が見られたのも興味深い結果であった。

今回の線源としては、塩化コバルトの塩酸酸性溶液を用いたが、コバルトが溶液中において水酸化物を沈殿生成するPH範囲は7以上であることが知られており、実験に用いたコバルト溶液は酸性領域にあるためコバルト水酸化物の沈殿生成は認められなかった。そのため溶液中でのコバルトの分布密度は均一であると考えられる。

しかし、 $\text{CoCl}_2$ の溶解度は $10^\circ\text{C} \cdots 15.38$ ,  $20^\circ\text{C} \cdots 16.33$ ,  $30^\circ\text{C} \cdots 17.46$ となっており、今後放射能の高い線源を作る場合に沈降が問題になるであろう。

筆者がこの研究の基礎的実験としては一応の成功と判断し、今後いろんな形状の線量分布の測定と、液体という危険性をもつ状態での安全性等の工夫を研究し、原子力（特に放射線の分野）の平和利用に一段の進展を期待するものであります。



参 考 文 献

- アイソトープ便覧      日本放射性同位元素協会編      (昭45)  
PH概説              古賀正三              (1953)  
化学工場14. No.11    酒井昭四郎              (1970)  
E.P.Blizard, L.S.Abbott, ed., Reactor Hand book, 2nd ed.,  
Vol.III-B (Shielding), Interscience      (1962)