

地中空気の放射能に現れたる地下構造の反映 (第二報)

(昭和18年8月11日受領)

初 田 甚 一 郎

1. 緒 言

筆者は曩に兵庫縣武庫郡山田村字箕谷に於て六甲衝上斷層を横斷して地中空気の放射能測定を行ひ地下構造との間に著しい對照の存在する事を發見したが¹⁾、今春機を得て再び同様の測定を實施し甚だ顯著なる結果を得たので茲に報告する次第である。前回の測定に於ては地中空氣は原地土 (autochthonen Boden) 中より採集したのであつて斷層の兩側に於ける土壤の相違も明瞭に認められたのであるが、今回の場合では地表は全く沖積土に覆はれて測定線より數十米離れた丘麓に於て僅かに所々岩石の露出を認め得られ之が斷層の位置を推定する根據を與へた。

2. 測定装置及操作

測定装置並びに操作は前回到記載して置いたので、詳細は省略するが概要を示すと次の通りである。

即ち地中に深さ1米、直径1.5 厘の孔を穿ち、管の外徑の稍之より大なるものを地中部分50 厘迄挿入し上端は活栓付硝子管を附したゴム管で塞いで置く。18~24時間を経てラドンで飽和された地中空氣を水との置換によつて試料採集瓶に收容した。其後は手動漕、鹽化カルシウム管及ゴム管を以て電離槽との間を連結し、所謂循環操作を行ひラドンを電離槽に導き、電離電流を測定する事鑛泉の放射能測定の場合と全く同様である。測定に用ひた器械はシュミット式泉效計であるが、一部に手を加へて電離槽の接地を完全ならしめ且保温装置を施した。之に依て金箔驗電器に有勝ちの箔の不規則な運動を殆んど除去出来、測定の精度を大いに高め得た。又測定は日射及風を避けて小屋の中で行つた。

3. 地中空氣の放射能測定

今回の測定場所は兵庫縣武庫郡山田村字^{オフ}小部で神有電鐵鈴蘭臺驛の西南約600 米の附

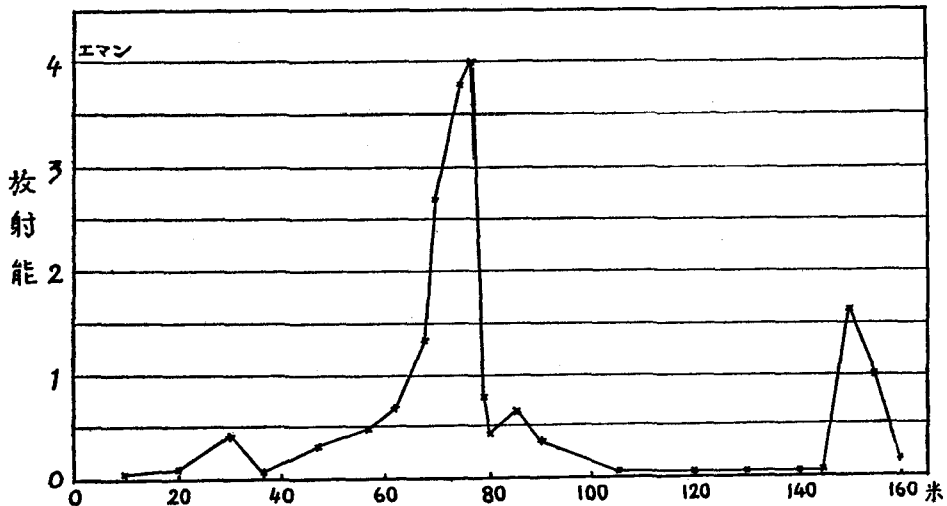
第1表 地中空氣ノ放射能

測 點	基準點ヨリノ距離 米	放射能 エマン /立	測 點	基準點ヨリノ距離 米	放射能 エマン /立
No. 5	10	0.04	No.11	80	0.41
No. 9	20	0.09	No.19	85	0.65
No. 7	30	0.43	No. 3	90	0.34
No.10	36.5	0.06	No. 4	105	0.04
No. 6	47	0.30	No.23	120	0.04
No.13	56.8	0.47	No. 2	130	0.05
No. 8	62	0.66	No.17	140	0.03
No.12	68	1.33	No.20	145	0.01
No. 1	70	2.69	No.15	150	1.60
No.14	75	3.77	No.22	155	0.99
No.16	77	3.99	No.18	160	0.14
No.21	78.5	0.77			

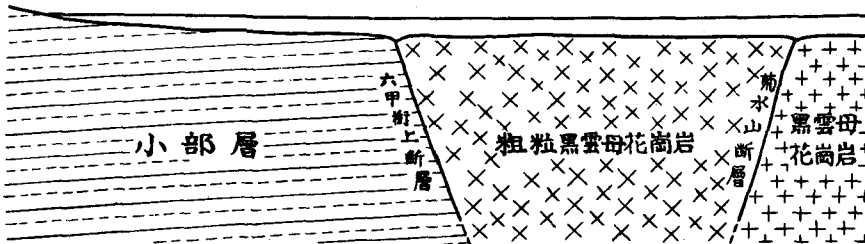
近で沖積層より成る水田であるが、測定當時は作物無く地表は乾燥してゐた。測點は N9°W の方向に一直線上に排列し延長150 米に及び測點間隔は概ね10 米を標準としたが、状況により多少増減し重要な附近は2~3 米の部分もある。

測定の結果は第1表並びに第1圖に示す如くである。即ち測線の中央部附近に於て非常に顯

第1圖 兵庫縣武庫郡山田村小部に於ける地中空氣の放射能測定結果

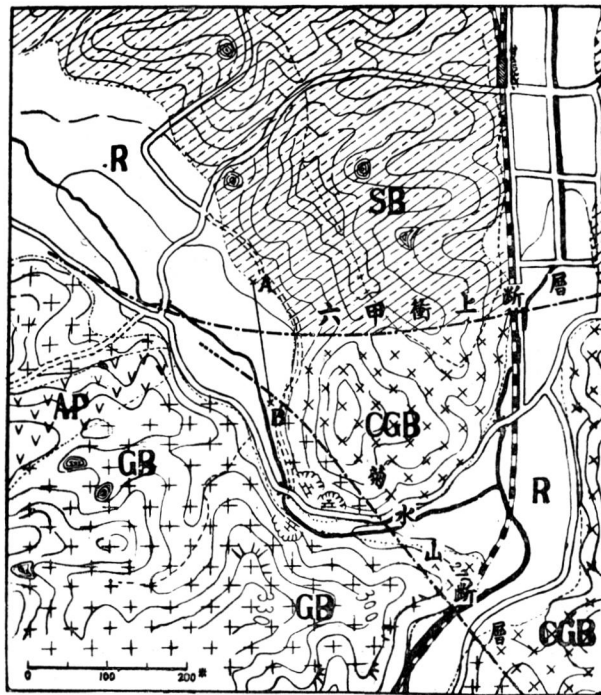


地下構造想像圖



著な放射能の増加が認められる。之は丁度上治博士²⁾の「六甲山塊地質圖」に斷層豫想線の引かれてゐる位置に相當し、實際現地に於ても測線より50~60米東方の丘腹に於て南側の花崗岩と北側の小部層との境を認め得られ、又地形上からもこの附近に構造線を豫想し得る状態である。次に測線の南端附近にも前者程顯著でないがやはり放射能曲線の山が現れた。此點の東方に當つて小さい乍ら谷があり、それを距つる南北に於て花崗岩の岩質に明かに差異を認められる事から推して、之は恐らく前記地質圖に於ける菊水山斷層豫想線に相當するものであらう。(第2圖参照)

第 2 圖 測線附近の地形及地質



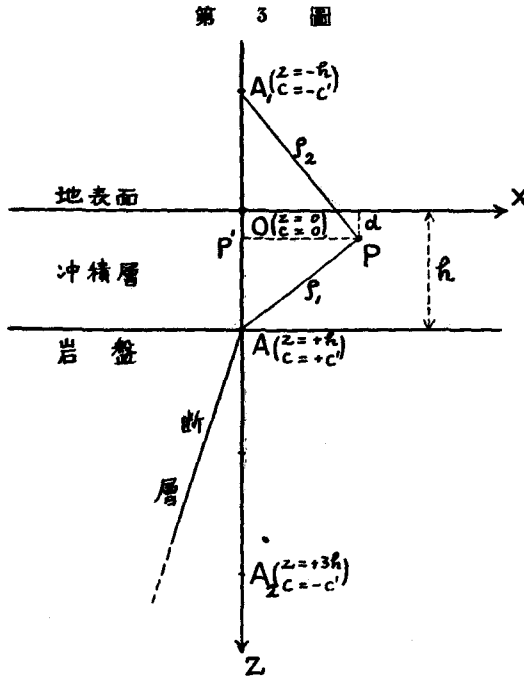
A—B 測線 GB 黒雲母花崗岩 CGB 粗粒黒雲母花崗岩
AP 半花崗岩 SB 小部層 R 沖積層

其の附近が濕潤で測點が採れなかつたので確實な事は判らないが、少くも15エマン以上であると見做し得るから今回の測定に於ける極大値4エマンの四倍に相當する。又斷層の影響の及んでゐると考へられる範圍も前者の場合が100米以上であるに反し後者の場合は50~60米である。これは外來の被覆土の有無にも依るのであらうが、主な原因は地下からのラドン供給の多少に在ると思はれる。尙箕谷の場合には斷層から遠くてその影響の少い部分の放射能は花崗岩側に大で水成岩側で小となつて現れたが、今回の場合で

箕谷の測定に於ては放射能曲線に於ける極大値は丁度は斯る區別は認められない。風化しない岩石は外部にラドンを發散する事の少い事から當然推論し得る結果である。

4. 表土の厚さの推定

小部層も花崗岩も割れ目以外では實際上ラドンを透過乃至發散させないと假定した場合



合、ラドン供給源は斷層面と岩盤の表面との交りの直線上に在ると考へ得るから二次元の問題として取扱が可能であり、J. Koenigsberger³⁾の方法に依て被覆土の厚さを推定し得る。Koenigsbergerの原著には誤植或は誤りと判断せられる點が有るので以下新に計算して見やう。

斷層の直上に當る地表面の點を座標軸の原点とし地表面に於て斷層の延長と垂直の方向（即ち測線の方法）に X 軸、並行の方向に Y 軸、垂直の方向に Z 軸を採る。今ラドンの擴散が定常状態に在ると

假定すれば

$$\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} = 0 \dots\dots (1) \quad \text{但し } c \text{ はラドンの濃度である。}$$

この式の解は $C \ln \frac{1}{\rho} + \text{const.}$ (但し $\rho^2 = x^2 + (z-d)^2$) なる形を採る。ラドンを供給する斷層帯の幅は沖積層の厚さ h に比して小であり、且その延長は充分大 (例へば $> 10h$) であると假定する。限界條件として第一に地表に於ては到る處ラドン濃度は零であると假定する。第二は岩盤の表面は $z=h$ の深さに存在し、斷層の部分以外はラドンを通さないとする。茲に於て擴散の問題をポテンシャル的に取扱つて A の寫像 $A_1 \left(\begin{matrix} z = -h \\ c = +c' \end{matrix} \right)$ を考へ、その寫像を $A_2 \left(\begin{matrix} z = +3h \\ c = -c' \end{matrix} \right)$, 以下 $A_3 \left(\begin{matrix} z = -3h \\ c = +c' \end{matrix} \right)$, $A_4 \left(\begin{matrix} z = +5h \\ c = +c' \end{matrix} \right)$, $A_5 \left(\begin{matrix} z = -5h \\ c = -c' \end{matrix} \right) \dots\dots$ と採ればそれ等の點が沖積層内の一點に及ぼす影響は距離の増大と共に次第に減少して行く。従つて一點 P のラドン濃度を C で表し、 $A, A_1, A_2, A_3, \dots\dots$ からの距離を ρ_0

で表せば,

$$C = C' \ln \frac{\rho_2 \rho_3 \rho_6 \cdots \cdots}{\rho_1 \rho_4 \rho_5 \cdots \cdots} \quad \cdots \cdots \cdots (2) \quad \text{となる。}$$

此値を計算するために $x = fh$ と置けば

$$\left. \begin{aligned} \rho_{2n-1}^2 &= f^2 h^2 + \{(2n-1)h-d\}^2 = \{f^2 + (2n-1)^2\}h^2 - 2(2n-1)hd + d^2 \\ &= \{f^2 + (2n-1)^2\} \left[1 - \frac{2(2n-1)}{f^2 + (2n-1)^2} \left(\frac{d}{h}\right) + \frac{1}{f^2 + (2n-1)^2} \left(\frac{d}{h}\right)^2 \right] \\ \rho_{2n}^2 &= f^2 h^2 + \{(2n-1)h+d\}^2 = \{f^2 + (2n-1)^2\}h^2 + 2(2n-1)hd + d^2 \\ &= \{f^2 + (2n-1)^2\} \left[1 + \frac{2(2n-1)}{f^2 + (2n-1)^2} \left(\frac{d}{h}\right) + \frac{1}{f^2 + (2n-1)^2} \left(\frac{d}{h}\right)^2 \right] \end{aligned} \right\} \cdots \cdots \cdots (3)$$

茲に f は任意の正の値, n は正の整数, 又 $d < h$ である。依て

$$\begin{aligned} \ln \frac{\rho_{2n}^2}{\rho_{2n-1}^2} &= \ln \left[1 + \frac{2(2n-1)}{f^2 + (2n-1)^2} \left(\frac{d}{h}\right) + \frac{1}{f^2 + (2n-1)^2} \left(\frac{d}{h}\right)^2 \right] \\ &\quad - \ln \left[1 - \frac{2(2n-1)}{f^2 + (2n-1)^2} \left(\frac{d}{h}\right) + \frac{1}{f^2 + (2n-1)^2} \left(\frac{d}{h}\right)^2 \right] \\ &= \ln \left[1 + \frac{2(2n-1)}{f^2 + (2n-1)^2} \left(\frac{d}{h}\right) \left\{ 1 + \frac{1}{2(2n-1)} \left(\frac{d}{h}\right) \right\} \right] \\ &\quad - \ln \left[1 - \frac{2(2n-1)}{f^2 + (2n-1)^2} \left(\frac{d}{h}\right) \left\{ 1 - \frac{1}{2(2n-1)} \left(\frac{d}{h}\right) \right\} \right] \\ &= \ln(1+x) - \ln(1-Y) \cdots \cdots \cdots (4) \end{aligned}$$

然るに $\ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} + \cdots$

$$\ln(1-Y) = -Y - \frac{Y^2}{2} - \frac{Y^3}{3} - \frac{Y^4}{4} - \cdots$$

依て $\ln \frac{\rho_{2n}^2}{\rho_{2n-1}^2} = (x+Y) - \frac{1}{2}(x^2 - Y^2) + \frac{1}{3}(x^3 + Y^3) - \cdots$

$$= \frac{4(2n-1)}{f^2 + (2n-1)^2} \left(\frac{d}{h}\right) - \frac{4(2n-1)}{\{f^2 + (2n-1)^2\}^2} \left(\frac{d}{h}\right)^3 + \frac{2}{3} \cdot \frac{8(2n-1)^3}{\{f^2 + (2n-1)^2\}^3} \left(\frac{d}{h}\right)^5 + \cdots$$

$$= \frac{4d}{h} \left[\frac{2n-1}{f^2 + (2n-1)^2} - \frac{2n-1}{\{f^2 + (2n-1)^2\}^2} \left(\frac{d}{h}\right)^2 + \frac{16}{3} \frac{(2n-1)^2}{\{f^2 + (2n-1)^2\}^3} \left(\frac{d}{h}\right)^4 + \cdots \right] \cdots (5)$$

$$n=1: \quad \ln \frac{\rho_2^2}{\rho_1^2} = \frac{4d}{h} \left\{ \frac{1}{f^2+1} - \frac{1}{(f^2+1)^2} \left(\frac{d}{h}\right)^2 + \cdots \right\}$$

$$n=2: \quad \ln \frac{\rho_4^2}{\rho_3^2} = \frac{4d}{h} \left\{ \frac{-3}{f^2+3^2} + \frac{3}{(f^2+3^2)^2} \left(\frac{d}{h}\right)^2 + \cdots \right\}$$

$$n=3: \quad \ln \frac{\rho_6^2}{\rho_5^2} = \frac{4d}{h} \left\{ \frac{5}{f^2+5^2} - \frac{5}{(f^2+5^2)^2} \left(\frac{d}{h}\right)^2 + \cdots \right\}$$

依て $C = C' \cdot \frac{1}{2} \ln \frac{\rho_2^2}{\rho_1^2} \cdot \frac{\rho_3^2}{\rho_4^2} \cdot \frac{\rho_5^2}{\rho_6^2} \cdot \cdots$

$$\begin{aligned}
 &= c' \frac{2d}{h} \left[\left\{ \frac{1}{f^2+1} - \frac{3}{f^2+3^2} + \frac{5}{f^2+5^2} - \dots \right\} \right. \\
 &\quad \left. - \left(\frac{d}{h} \right)^2 \left\{ \frac{1}{(f^2+1)^2} - \frac{3}{(f^2+3^2)^2} + \frac{5}{(f^2+5^2)^2} - \dots \right\} \right. \\
 &\quad \left. + \dots \dots \dots \right] \dots \dots \dots (6)
 \end{aligned}$$

d が h に比して小なる時は

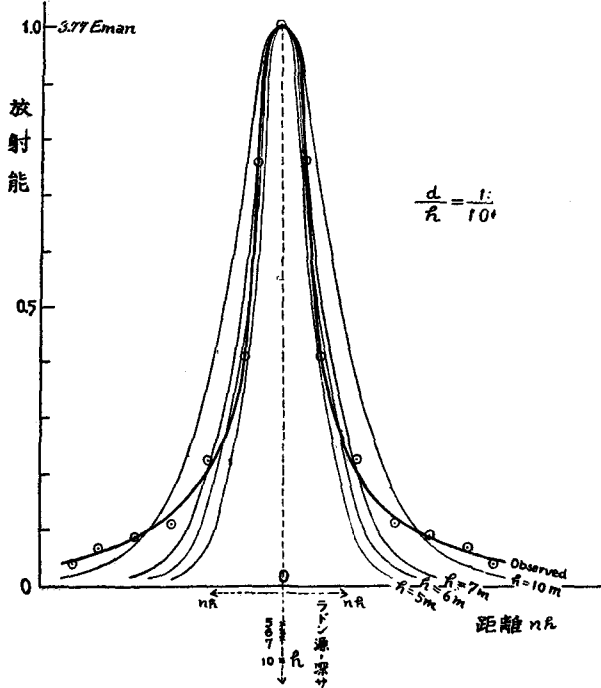
$$c = c' \frac{2d}{h} \left(\frac{1}{f^2+1} - \frac{3}{f^2+3^2} + \frac{5}{f^2+5^2} - \dots \right) \dots \dots \dots (7)$$

特に x=0 即ち f=0 の場合には

$$\begin{aligned}
 c_0 &= c' \frac{2d}{h} \left(1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \dots \right) \\
 &= c' \frac{2d}{h} \cdot \frac{\pi}{4}
 \end{aligned}$$

以上の関係を利用すれば d なる深さに於て、ラドン供給源を地表へ投影した點から測つ

第 4 圖 地表下 d なる深さに於けるラドン濃度の分布と供給源の深さ h との関係



た種々なる距離に於けるラドン濃度の割合を求める事が出来る。

試に今回の結果に此方法を適用して沖積層の厚さを求めて見やう。x=0 なる點に於けるラドン濃度 $C_0 = c' \frac{2d}{h} \cdot \frac{\pi}{4}$ を單位にとつて $x = \frac{1}{2}h, 1h, 2h, 3h$ の點に於けるラドン濃度の割合を求めて見ると夫々 0.719, 0.370, 0.076, 0.014 となる。但しこの場合 $\frac{d}{h} = \frac{1}{10}$ と採つて計算した。この値を用ひて深さ h が 5 米, 6 米, 7 米及 10 米の時のラドン濃度

曲線を畫けば第 4 圖に示す如くなる。第 1 圖に見る如く實測による放射能曲線は左右對稱ではないが、取扱の便宜上測點 No.14 を中心として左右等距離の點に於ける放射能の

値を平均して對稱な曲線を作つて見ると第4圖に太線で示した様になる。(尤も對稱でない事が斷層の傾斜とか、兩側に於ける岩石の瓦斯體に對する透過率の相違とかを表すのかも知れないが暫く之を問はない事にする。)以上の結果から沖積層の厚さは5~7米と推定される。實測曲線の下の方が理論的の曲線より開いてゐるのはラドンの供給源が實際には幅を持つてゐる爲と考へられる。

5. 結 言

岩石が風化して露出が非常に悪い場合や崖堆、扇狀地堆積物等に覆はれた場合、或は今回の如く沖積土に被覆された場合等に於て其の下の構造線の所在を突止めるのに地中空気の放射能測定が甚だ有效である事は前後2回の實驗から證據立てられた。勿論常に明瞭な結果が得られるとは限らず、且その結果も一義的なものではないが、それは凡ての物理的地下探査法に就ても謂ひ得る事である。殊に斷層の兩側に於て高低差の無い場合例へば水平移動の場合或は侵蝕作用により平坦化された場合等に於ては兩側の岩石がその物理的性質(比重、帶磁率、電導率、彈性係數等)を著しく異にせない限り他の方法では此の斷層の發見は困難であるが放射能的方法のみは斯る場合にも適用の可能性がある。

終りに臨み本研究遂行に御鞭達並びに御指導を賜つた松山基範教授に厚く感謝すると共に測定實施に御協力下さつた淺山哲二、上口昇兩理學士に深謝する。尙本研究は「岩石の磁性及放射能研究」に對して與へられた文部省科學研究費に依つたものである事を記して感謝の意を表する。

参 考 文 獻

- 1) 初田基一郎, 松澤明, 亀井清: 本誌第1卷第1頁(昭和17年12月).
- 2) 上治寅治郎: 地學雜誌, 第49年第584號附録(昭和12年).
- 3) J. Koenigsberger: Zeits. Geophys. IV, 76—83 (1928).