

放射性碳對年代之測定

黃和廷

一、前言

C^{14} (碳-14) 是由宇宙線 (Cosmic ray) 之熱中子與 N^{14} 之 (N, P) 反應在大氣上層所形成, C^{14} 被氧化後成爲放射性之二氧化碳與非放射性之二氧化碳而形成碳循環。並且存入生物圈中, 或溶解在海中形成重碳酸鹽。在此適過程中, 任取一克之活性碳 (living carbon) 中必含有一定量之放射性碳。由此可在碳之蓄積圈內導出其混合時間, 而測知某生物體之年代。

當生物體死亡時, C^{14} 之吸取量隨着停止, 則所含之放射能就如下列之法則衰變 (Decay)。

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \text{或} \quad t = \frac{1}{\lambda} \log_e \frac{N_0}{N}$$

λ 爲衰變常數 (Decay constant), τ 爲半衰期 (half life), 則二者之關係爲:

$$1/\lambda = \tau / \log_e 2 \quad \therefore t = \frac{\tau}{\log_e 2} \log_e \frac{N_0}{N}$$

二、由碳-14 之年代測定法之統計學:

設全測定時間爲 T , 其中 t_b 爲測定本底 (Background) 之間, 則 $T - t_b$ 爲 (試料 + 本底) 之測定使用時間。在此時間 T 之變更係數 (Coefficient of variation) 是等於標準偏差 (standard deviation) 除試料之計數值。設 S 爲 (試料 + 本底) 之計數率 (Counting rate), 即在 $(T - t_b)$ 時間之計數爲 $S(T - t_b)$, 其標準偏差爲 $\sqrt{S(T - t_b)}$ 。同理本底之計數率爲 B 時, 其標準偏差爲 $\sqrt{B t_b}$, 即其計數爲 $B t_b$ 。然而把本底補正後之純淨之計數率 ($S - B$) 之標準偏差 (σ) 可記爲:

$$\sigma = \left(\frac{S}{(T - t_b)} + \frac{B}{t_b} \right)^{\frac{1}{2}}$$

由碳-14 來測定年代時, 試料及本底之計數各以相同之時間測定, 即 $t = t_b = \frac{1}{2} T$, 而純淨之計數率爲 N , 其標

準偏差可記爲: $\sigma = \left(\frac{N + 2B}{t} \right)^{\frac{1}{2}}$

若以 " 2σ 爲基準 " 即測出之純淨計數率之最小值標準偏差 2 倍, 則 N 之實際值在 $N \pm 2\sigma$ 之範圍內。

$$\text{即 } N_{\min} = 2\sigma, \quad N_{\min} = 2\sqrt{\frac{N + 2B}{t}}$$

此時某測定製置所求得之最古老年代 T_{\max} 可推定

$$T_{\max} = \frac{\tau}{\log_e 2} \log_e \frac{N_0}{N_{\min}} \\ = \frac{\tau}{\log_e 2} \log_e \frac{N_0 \sqrt{t}}{2\sqrt{N + 2B}}$$

因 $N_{\min} \ll 2B$ 即上式可簡化爲

$$T_{\max} = \frac{\tau}{\log_e 2} \log_e \frac{N_0 \sqrt{t}}{2\sqrt{2B}}$$

其中 N_0 爲現代之碳 (modern carbon) 試料之放射能之本能修正後之值。 N_0/\sqrt{B} 之比值爲所用測定器之靈敏因素 (factor of merit)。

三、結論:

年代測定時所用試料之量有限, 故本底計數之測定可能使其爲最小值。但試料之來歷及所置環境, 同位體濃縮, 化學處理, 以及由現代之碳之污染所引起年代及計數之統計所得誤差, 非深入加於研究不可。並且現在所公認之碳半衰期爲 5760 ± 25 年, 其不確定之可能性是由於宇宙線之長期變動所引起, 也就是對古老之試料所產生誤差之原因。

參考文獻

1. J.L. Putman, Int. J. Appl. Rad. Isotopes 13, 99 (1962)
2. American Journal of Science, Radiocarbon suppl. I, P. 215, (1959)
3. W.F. Libby, Radiocarbon Dating, Univ. of Chicago Press, 2nd Ed., (1955)
4. E. Crowe, Nature 182, 470 (1958)
5. H. Craig, Geochim. Cosmochim. Acta 3, 53 (1953); 12, 133 (1957); J. Geol. 16, 115 (1954)