

## V 熱残留磁化による不動山窯跡(皿屋谷3号窯跡)の年代推定

大阪大学基礎工学部

※  
 渋谷秀敏・酒井英男・中島正志・夏原信義・山崎晃嗣・川井直人

(※ 現在福井大学教育学部)

53年12月に嬉野町教育委員会の依頼により、皿屋谷3号窯址の焼土を採取し、その熱残留磁化を測定した。

### 熱残留磁化による年代推定の原理

①②③④  
 すでに詳しく述べた文献が数多くあるのでここでは簡単に述べる事にする。

地球が磁場を持っている事は、磁針の指北性という事でよく知られている。磁場はベクトル量であるので、3つの数値で記述されるが、ある地点での磁場を記述するのによく用いられる方式は、偏角 (Declination; 真北よりの水平面内での回転角), 伏角 (Inclination; 水平面となす角) 及び全磁力 (Intensity; ベクトルの絶対値) を示す方式で、これを地磁気の3成分と言う。この3成分は、ある地点を決めても、時代と共に変化している (永年変化)。このうち過去およそ2000年間の偏角と伏角の変化については、かなりよくわかっていて、標準曲線が提出されている (Fig. 21)。

ところで、土中には、マグネタイト、ヘマタイト等強磁性体の微粒子が含まれている。強磁性体はそれぞれ固有の温度 (キュリー点: 例えばマグネタイトでは 670°C, ヘマタイトでは 575°C) を越えて加熱すると、磁化をたなくなる。これを冷やす時、キュリー一点を通過すると磁化を獲得する訳だが、磁場があると磁化はその磁場の方向を向く。そこで、この焼土は冷えた時の磁場を磁化として記録するになる。この磁化は非常に安定で、再び加熱されたり、化学変化や落雷等を受けたりしない、り変化しない。

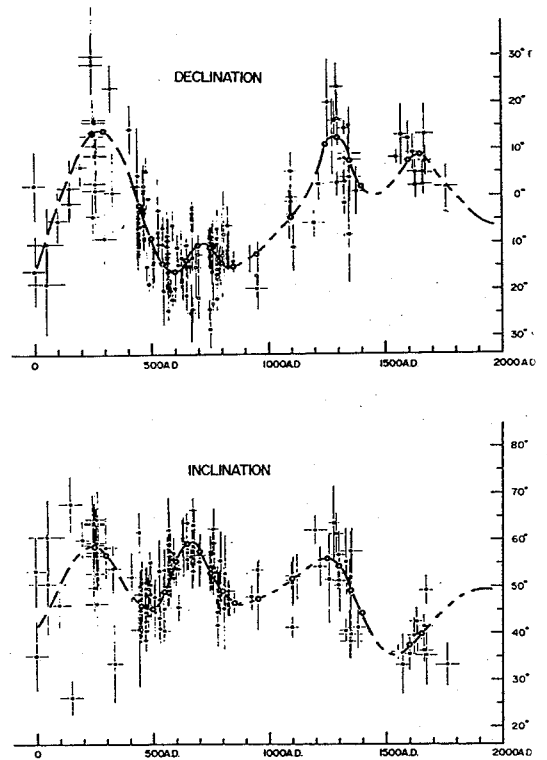


Fig. 21 西南日本の地磁気永年変化

この焼土を研究室に持ち帰り、磁化の方向を測定してやれば、それが最後に焼かれた時の地球磁場の方向がわかる。これを上記の標準曲線にあてはめれば、年代が推定できる。

#### 測定結果と推定年代

試料はF室から5個、L室から8個、P室から7個、U室から10個、計30個採取した。

測定結果は次の様である。

偏角 =  $4.2^\circ \pm 2.4^\circ$  \*

伏角 =  $36.7^\circ \pm 1.9^\circ$  \*

信頼度係数 = 187.1

試料数 = 30

別表5 Gauss 係数による、嬉野と京都の偏角と伏角 (単位は度)

| Age  | Ureshino |      | Kyoto |      |
|------|----------|------|-------|------|
|      | Dec      | Inc  | Dec   | Inc  |
| 1600 | 3.9      | 26.2 | 5.8   | 29.7 |
| 1650 | 3.8      | 31.2 | 5.3   | 34.1 |
| 1700 | 3.1      | 40.7 | 4.7   | 43.5 |
| 1750 | 0.3      | 41.2 | 1.8   | 43.3 |
| 1800 | -2.4     | 44.0 | -1.4  | 45.8 |
| 1850 | -2.3     | 48.4 | -2.4  | 50.0 |
| 1890 | -4.3     | 48.7 | -5.1  | 50.1 |
| 1910 | -3.1     | 48.9 | -4.0  | 50.8 |

これと標準曲線を比較すれば、年代が推定できる訳であるが、一つ問題点がある。それは、標準曲線は近畿地方を中心とした地域のデータから引かれているのに、今回の佐賀県のようなはなれた地域にそのまま適用して良いかという点である。現在でも、京都と佐賀では偏角で約  $1^\circ$ 、伏角で約  $2^\circ$  の相異がある。過去においても、当然異なったものと考えなければならない。この地域差を補正する方法は、16世紀以前については今のところほとんど手がかりがないが、17世紀以後については、全世界の地磁気の直接測定 of データから、球面調和関数で展開 (Appendix) した結果を用いる事ができる。この Gauss 係数を用いて京都 ( $35^\circ \text{N}$ ,  $135.9^\circ \text{E}$ ) と嬉野 ( $33.1^\circ \text{N}$ ,  $130^\circ \text{E}$ ) の偏角と伏角を求めると別表5のようになる (計算は大阪大学計算機センターで行なった)。これらはそれぞれなめらかな曲線を与えるはずであるが、そうではない。また京都での値は Fig. 21 の曲線と必ずしも一致しない。この原因は、1つには、特に古い時代において展開に用いたデータ数が少ないためであろうし、今1つには、より高次の項の影響によるためであろう。そこで、京都での永年変化は、Fig. 21 の標準曲線が正しいと仮定し、地域差の補正に球面調和関数展開の結果をとり入れて、嬉野での地磁気永年変化を想定した (Fig. 22 実線)。即ち、別表5の嬉野での値から京都での値を引いたものを Fig. 21 の標準曲線の値に加え、これを嬉野における値とした。この補正は、一般にはまだ疑問視される面もあるが、現在のところ17~19世紀の地磁気の地域差を議論できるほとんど唯一の方法である。また広岡公夫氏の研究<sup>⑥</sup>によれば、有田町の古窯址の残留磁化は、期待される方向より数度西へ偏っているという事であるが、これは、Fig. 22 と定性的には一致する。そこで、今回の測定結果とこの曲線を比較すれば、皿屋谷3号窯は1680±30年頃の窯と思われる。

### 古地磁気強度

古地磁気強度を求めるにはテリエ法<sup>⑦</sup>と呼ばれる信頼できる方法があるが、これは加熱実験を必要とするので、試料は特に焼け具合がよく風化の進んでいないものが必要である。このため、偏角、伏角に比べると古地磁気強度のデータはまだ非常に少なく、永年変化の詳細もよくわかっていない。この様に従来あまり活発でなかった分野だが、色々な自然現象との相関(例えば気候との相関)が話題になり、研究は最近盛んになりつつある。今のところ、年代推定のできる段階ではないが、今回参考として、古地磁気強度を算定する実験を行なった。試料は定方位である必要はないので、ハマを用いた。結果は現在の地磁気強度の1.15~1.20倍となり、17世紀の地磁気強度として矛盾のない値を与える。また、ハマが水平に置いて焼かれたという仮定をおけば、伏角は求まるはずである。これから求めた伏角は、 $38.1^\circ \pm 2^\circ$  となり、焼土のデータと誤差の範囲で一致する。これはハマが水平に置いて焼かれたという仮定を支持するとともに、窯が火を落として後の地すべり等の床面の動きが少なかった事を意味している。

### Appendix

電流や磁性体のない空間では、磁気ポテンシャル $W$ を定義する事ができる。 $W$ は

$$\nabla^2 W = 0 \quad \text{--- ①}$$

を満たす。ただし $\nabla^2$ はラプラシアンである。地球磁場にこの方程式を適用する場合、地球の中心を原点にとり、地軸を軸にとった極座標を用いると便利である。極座標で $\nabla^2$ は

$$\nabla^2 = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \quad \text{--- ②}$$

となり、方程式①の一般解は

$$W = a \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \sum_{m=0}^n \left( (g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi) P_n^m(\cos \theta) \left( \frac{a}{r} \right)^{n+1} + (\bar{g}_n^m \cos m\phi + \bar{h}_n^m \sin m\phi) P_n^m(\cos \theta) \left( \frac{r}{a} \right)^n \right) \right] \quad \text{--- ③}$$

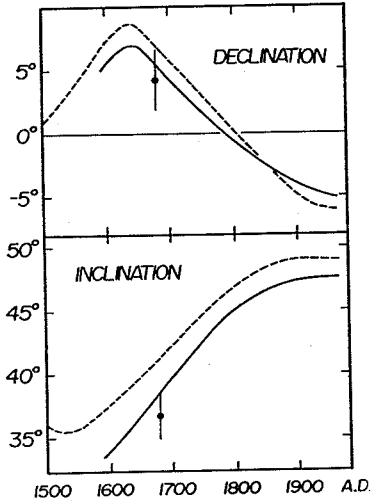


Fig. 22 地域差の補正を行なって求めた嬉野での地磁気永年変化と皿屋谷3号窯跡の測定結果

破線はFig. 24の再掲実線は嬉野での地磁気永年変化 ●は皿屋谷3号窯跡の測定結果

$$P_n^m(\mu) = \begin{cases} P_n(\mu) & m=0 \\ \sqrt{2 \frac{(n-m)!}{(n+m)!}} \sqrt{1-\mu^2}^m \frac{d^m}{d\mu^m} P_n(\mu) & m>0 \end{cases}$$

$$P_n(\mu) = \frac{1}{2^n n!} \frac{d^n}{d\mu^n} (\mu^2 - 1)^n$$

a: Radius of the Earth

となる。地球磁場の場合、 $\bar{g}_n^m, \bar{h}_n^m$  は  $g_n^m, h_n^m$  に比べて非常に小さいので③式の第2項は無視できて

$$W = a \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n (g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi) P_n^m(\cos\theta) \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} \quad \text{--- ④}$$

と書ける。この  $g_n^m, h_n^m$  を Gauss 係数と言い、地球磁場をこの形で記述する事を地球磁場の球面調和関数展開と言う。即ち球面調和関数展開とは Gauss 係数を求める事である。

磁場は

$$\vec{H} = -\text{grad } W \quad \text{--- ⑤}$$

であるから北向き成分を X, 東向き成分を Y, 下向き成分を Z とすると

$$X = \left(\frac{1}{r} \frac{\partial W}{\partial \theta}\right)_{r=a} = \sum \sum (g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi) \frac{dP_n^m(\cos\theta)}{d\theta}$$

$$Y = \left(\frac{-1}{r \sin\theta} \frac{\partial W}{\partial \phi}\right)_{r=a} = \sum \sum (g_n^m \sin m\phi - h_n^m \cos m\phi) \frac{m P_n^m(\cos\theta)}{\sin\theta} \quad \text{--- ⑥}$$

$$Z = \left(\frac{\partial W}{\partial r}\right)_{r=a} = -\sum \sum (n+1) (g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi) P_n^m(\cos\theta)$$

となる。これから地磁気の3成分は

$$D = \arctan \frac{X}{Y}$$

$$I = \arctan \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \quad \text{--- ⑦}$$

$$F = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

で与えられる。

実際のデータから Gauss 係数を求める時には、 $n$  の大きな項は局所的な磁気異常を反映しているので、球面調和関数のような世界中に拡がった関数で記述するのは適当ではない。そこで  $n$  の最大値を決めて（普通は 4～8 をとっている）それまでの係数を⑥か⑦で求めた値の誤差が最小になるように最小自乗法を用いて係数を決定している。

- 註 ① 川井直人 (1968) 振動する地球磁場を利用する考古経年, 考古学と自然科学, 第1号, 20。  
② 広岡公夫 (1970) 考古地磁気法による年代測定とその試料採取について, 考古学と自然科学, 第3号, 22。  
③ 鳥居雅之・中島正志・浅井至・小出圭司・夏原信義・川井直人 (1976) 大野池地区須恵器古窯跡群の考古地磁気学的研究, 陶邑 I, 大阪府文化財調査報告書, 第28輯, 194。  
④ Hirooka, K. (1971) Archaeomagnetic study for the past 2000 years in Southwest Japan. Mem. Fac. Sci., Kyoto Univ., Geol. & Mineral., 38, 167.  
⑤ Barraclogh, D.R. (1974) Spherical harmonic analyses of the geomagnetic field for eight epochs between 1600 and 1910, Geophys. J.R. astr. Soc. 36, 497.  
⑥ 広岡公夫 (1978) 自然科学の手法による遺跡・古文化財等の研究, 昭和52年度年次報告書, 53。  
⑦ 酒井英男 (1978) 考古学的試料からの地磁気強度決定について, 陶邑 III, 大阪府文化財調査報告書, 第30輯, 156。  
⑧ 力武常次 (1972) 地球電磁気学, 岩波書店。