

# 空中浮遊塵の磁氣的性質と大氣汚染モニタリングの試み

吉田充夫（ジオサイエンス株式会社）

## 1. はじめに

大氣中に浮遊する極微粒の塵埃は地域によって異なる磁氣的性質を示すことが知られている (Oldfield et al.,1985; Thompson and Oldfield,1986; Hunt,1986 など)。これは主として塵埃中に微量に含まれる強磁性鉱物の種類と量及び粒子サイズによって左右されていると考えられる。その起源たる強磁性鉱物は、自然（地殻表層）に由来するもののほかに、人間の生産活動（工場の煤煙、自動車などの排ガスなど）によって生成・放出されたものも少なくなく、従って磁氣的性質を調べる事によってある種の大氣汚染のモニタリングを行うことが可能であると考えられる。

磁氣的方法の利点は非破壊的で測定が容易であり、他の大氣汚染調査に比べて短時間に大量のデータを得られるところにある。本研究では、簡便な試料採取方法を考案したうえで、大氣汚染の地域的コントラストの明瞭なパキスタンにおいて空中浮遊塵を採取し、その磁氣的性質の地域変化を調べ、磁氣的方法を大氣汚染モニタリングに適用することの有効性について検討した。

## 2. 試料採取方法及び測定方法

### (1) 試料採取

試料採取は、定型の非磁性粘着テープ（8.5×3.7cm）により空中に浮遊する塵を粘着部に付着させ、粘着テープもろともビニールで密封することにより得た。測定の便宜上この密封した粘着テープは折り畳んで 2.3cm 角の立方体ポリカーボネート製サンプル容器中に固定した。

試料採取地点はパキスタン国内の代表的な工業地帯、住宅地、農業地帯から 10ヶ所を選んだ。実際のサンプリングは 1995 年の 4 月（冬季モンスーンと夏季モンスーンの間の季節風休止期）に地表高約 1.5m に粘着テープを設置し 72 時間大氣中に曝すことにより行った。

### (2) 測定

試料が大変微量であり磁性も大変微弱であることから、帯磁率及び等温残留磁化（IRM）特性をのみを測定した。帯磁率は Bartington 製 MS-2 型帯磁率計を用いて周波数 0.48kHz で測定した。IRM（等温残留磁化）測定は、100 ミリ秒のパルス磁化装置（Magnetic Measurements 製 MMPM-9）により最大外部磁場約 2.6T まで段階的に磁化を獲得させその残留磁化を逐一測定して実施した。また、外部磁場 2.6T 付近での飽和等温残留磁化（SIRM）獲得後、磁化ベクトルと逆方向の磁場（back field）を与え、SIRM の減衰曲線を求め、SIRM が完全に消去される磁場（ $B_{cr}$ ）を決定した。残留磁化の測定は感度  $10^{-7}$ emu のスピナー磁力計（夏原技研製 SSM-86）によって行った。なお、浮遊塵付着前の新鮮な粘着テープ及びポリカーボネート製サンプル容器の磁性（残留磁気及び帯磁率）は、ノイズレベル（残留磁化強度 $\leq 1 \times 10^{-7}$ emu, 帯磁率（SI 単位系） $\leq 1 \times 10^{-6}$ ）であった。

## 3. 測定結果と解析

測定結果の一覧表を Table 1 に示す。なお、上述のようなサンプルを測定に供したことから、

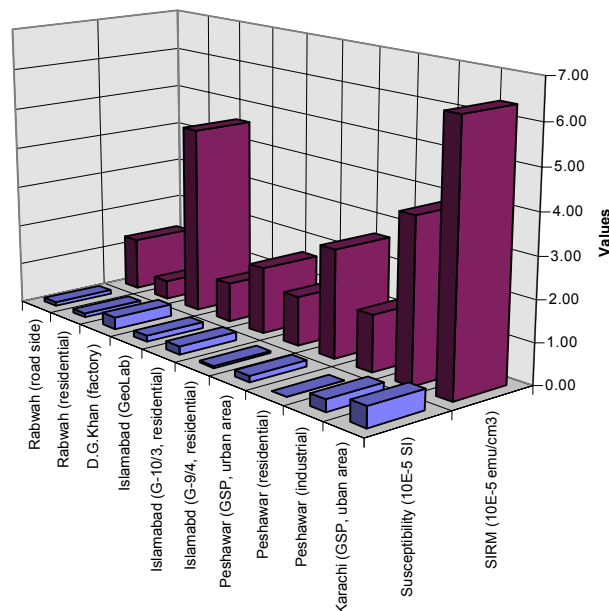
単位重量、単位体積あたりの数値で測定結果を表現することはできない。ここでは便宜上サンプル容器全体の測定値を、「単位粘着テープ」あたりの測定データとして取り扱った。

**Table 1:** Results of magnetic measurements of 72hr-exposed sampling tapes

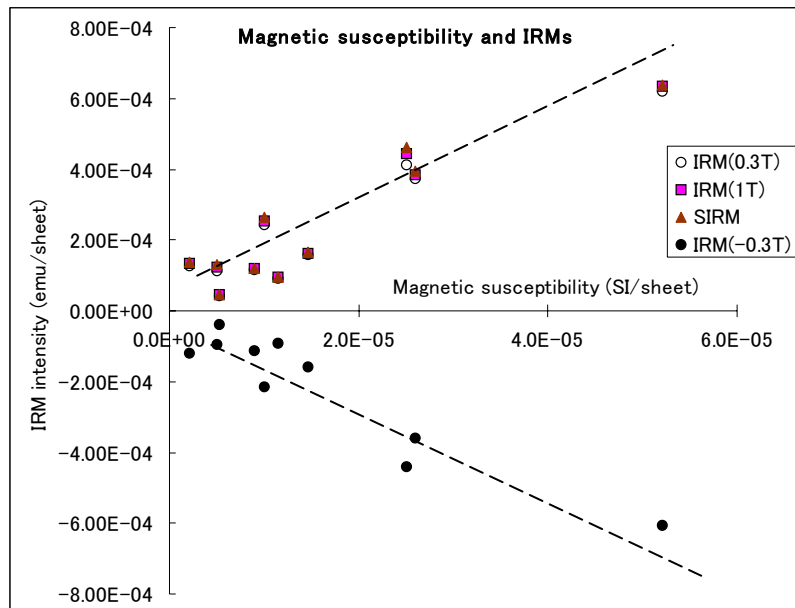
Location	Sample ID	Mag.sus.	IRM(0.3T)	IRM(1T)	SIRM	IRM(-0.3T)	Bcr(T)
Punjab(highway side)	E-1A	5.00E-06	1.14E-04	1.23E-04	1.29E-04	-9.65E-05	-0.048
Punjab(agricultural area)	E-1B	5.21E-06	4.29E-05	4.50E-05	4.64E-05	-4.04E-05	-0.045
D.G.Khan(industrial area)	E-2	2.50E-05	4.11E-04	4.44E-04	4.60E-04	-4.40E-04	-0.047
Islamabad(Shahzad Town, Geolab)	E-3	1.15E-05	9.29E-05	9.51E-05	9.65E-05	-9.25E-05	-0.040
Islamabad(F10/3residential area)	E-4	1.46E-05	1.59E-04	1.63E-04	1.64E-04	-1.58E-04	-0.029
Islamabad(G9/4residential area)	E-5	9.00E-06	1.15E-04	1.19E-04	1.21E-04	-1.12E-04	-0.036
Peshawar(urban area)	E-6	1.00E-05	2.44E-04	2.53E-04	2.64E-04	-2.14E-04	-0.037
Peshawar(residential area)	E-7	2.08E-06	1.27E-04	1.35E-04	1.36E-04	-1.20E-04	-0.038
Peshawar(industrial area)	E-8	2.60E-05	3.74E-04	3.85E-04	3.95E-04	-3.58E-04	-0.034
Karachi(urban area)	E-9	5.21E-05	6.22E-04	6.33E-04	6.37E-04	-6.06E-04	-0.032

### (1) 帯磁率と SIRM

帯磁率は  $2 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-5}$  (SI) を示し、都市部及び工業地帯で常に高い値を示す。SIRM は  $4 \times 10^{-5} \sim 6 \times 10^{-4}$  (emu) を示し、帯磁率と同様都市部及び工業地帯で際立った大きな値を呈する (Figure 1)。帯磁率と各 IRM や SIRM 強度の間には明瞭な相関関係が認められる (Figure 2)。これらの事実は都市部及び工業地帯で塵埃中の強磁性鉱物の含有量が相対的に大きいことを示している。



**Figure 1:** Variation of magnetic susceptibility and SIRM in different area. Both the magnetic susceptibility and SIRM mark remarkable high values in urban and industrial areas (The Aerosol Magnetism Research Team, 1996).



**Figure 2:** Proportional relationship between magnetic susceptibility and IRM intensities.

## (2) IRM 特性から考えられる強磁性鉱物の種類

本研究で得られた IRM 獲得曲線はいずれも外部磁場 0.3T 前後まで急速に磁化を獲得し、それ以上では緩やかに磁化強度を上昇させる。このことは、IRM が異なる飽和磁化・抗磁力を有する強磁性鉱物により担われていることを示している。このような抗磁力や飽和の程度の差を数値的に表現するために、S ratios (Saturation ratio) を Oldfield et al.(1985), Blomendal et al.(1992) の方法にもとづいて以下の式により算出した。

$$S = -\text{IRM}(-0.3\text{T}) / \text{IRM}(1\text{T})$$

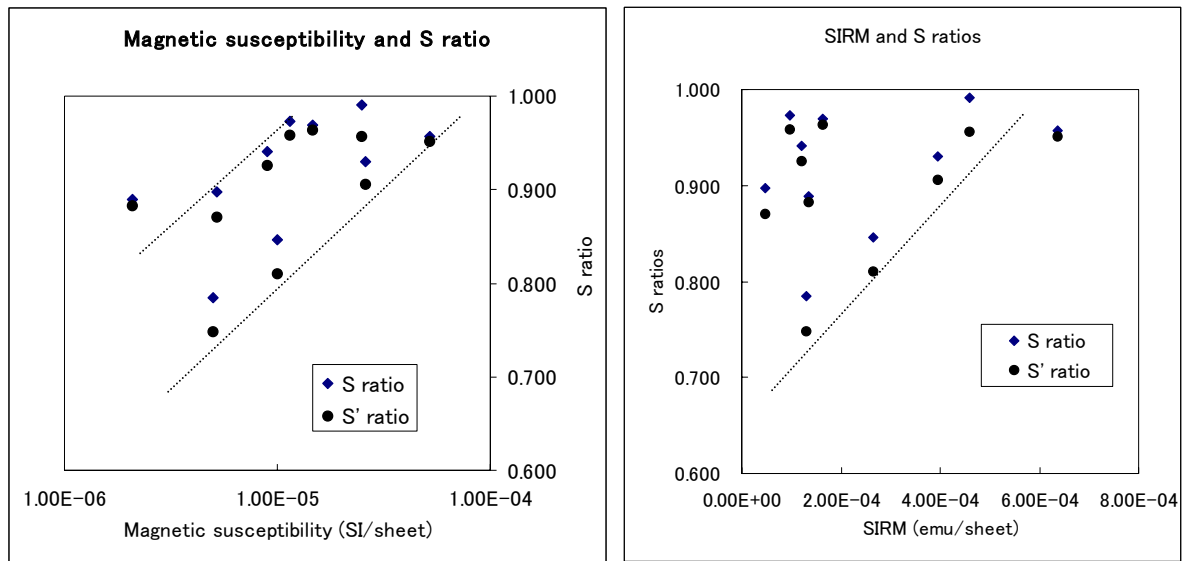
$$S' = -\text{IRM}(-0.3\text{T}) / \text{SIRM}$$

なお、IRM 後尾の( )内の値は外部磁場強度であり、負の値は逆方向外部磁場 (back field) であることを示す。S ratios は 1.0 に近づくほど 0.3T 前後の比較的弱い外部磁場で飽和する強磁性鉱物が卓越することを示す。

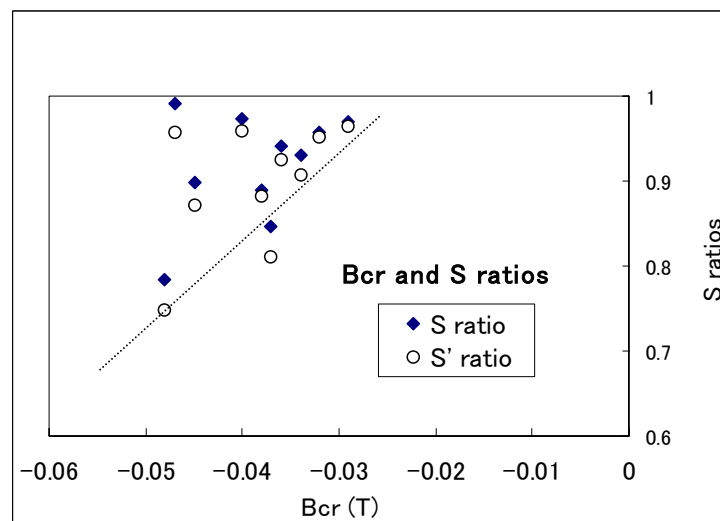
Figure 3 に今回測定した試料の S ratios と SIRM・帯磁率の相関関係をそれぞれ示す。これらのダイアグラムから、SIRM 強度の大きい試料や帯磁率の高い試料は、常に S ratios が 1.0 に近い値に達する傾向が読み取れる。同様の現象は Bcr との関係についても認められ、抗磁力の小さい試料は S ratios が 1.0 に近い (Figure 4)。これらのことは、パキスタンの都市部や工業地帯での大気中浮遊塵の帯磁率や SIRM の顕著な増大が、主として 0.3T 前後で飽和に達する抗磁力の比較的小さい強磁性鉱物 (この種の強磁性鉱物として磁鉄鉱 ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) が知られている) の含有量の増加に起因していることを示している。

地表・大気中の酸化環境のもとでは自然 (地殻) 起源の磁鉄鉱が、長期間の風化・侵食・運搬の後大気中の浮遊塵として長時間存在しつづけることは困難であると考えられるので、こうした浮遊塵中の磁鉄鉱微粒子は最近の人為的な活動に由来するものであると考えられる。従って、パキスタンの都市部や工業地帯で観測される大気中浮遊塵の帯磁率や SIRM の顕著な増大は、都市

化や工業活動などに伴う人為的な大気汚染の実態を直接に反映していると結論できる。



**Figure 3:** Relationship between magnetic susceptibility and S ratios in semi-logarithmic plot (Left), and relationship between SIRM and S ratios (Right).



**Figure 4:** Relationship between Bcr and S ratios.

#### 4. まとめ

- (1) 大気中浮遊塵を採取しその磁氣的性質を測定・解析する簡便な手法を考案した。
- (2) パキスタンで本手法を適用したところ、都市部及び工業地帯で帯磁率と SIRM の顕著な増大が観測された。この増大は、都市部や工業地帯での生産活動によって発生した磁鉄鉱微粒子に由来していると考えられる。
- (3) 従って、本手法による大気中浮遊塵の磁氣的性質の分析は、大気汚染のモニタリングに適用することができる結論できる。

- (4) 今後、人為的な強磁性鉱物微粒子の形成メカニズムの解明及び大気汚染の他因子と磁気的性質の相関関係について検討していく必要がある。

### 謝辞

本稿はパキスタン地質科学研究所と JICA の主催した古地磁気学に関する国際トレーニングコース (Inter-PARMAGS, 1996 年 11 月) においておこなった講演の一部をまとめたものである。試料採取・室内作業において下記の諸氏のご協力を得た。記して感謝の意を表す。Huma Akram, Mirza Naseer Ahmad, Mujeeb Ahmad, Nayyer Iqbal, Iftikhar Mustafa Khadim, Mujeeb-ur-Rahman, Muhammad Sadin, Safdar Sultan.

### 引用文献

- Blomendal, J., King, J.W., Hall, F.R., and Doh, S.J., 1992, Rock magnetism of late Neogene and Pleistocene deep-sea sediments: Relationship to sediment source, diagenetic processes, and sediment lithology. *J. Geophys. Res.*, 97, 4361-4375.
- Hunt, A., 1986, The application of mineral magnetic methods to atmospheric aerosol discrimination. *Phys. Ear. Planet. Inter.*, 42, 10-21.
- Oldfield, F., Hunt, A., Jones, M.D., Chester, R., Dearing, J.A., Olsson, L. and Prospero, J.M., 1985, Magnetic differentiation of atmospheric dusts. *Nature*, 317, 516-518.
- The Aerosol Magnetism Research Team, 1996, Application of rock magnetic methods to atmospheric aerosol discrimination: A preliminary observation in Pakistan. *Extended Abstracts, International Seminar on Himalaya-Karakoram Collision Belt and Surrounding Continents (November, 1996)*, 107-108, Geoscience Laboratory, Geological Survey of Pakistan, Islamabad.
- Thompson, R. and Oldfield, F., 1986, *Environmental Magnetism*. Allen and Unwin, Winchester, Mass.

# **An Attempt of Air Pollution Monitoring by Using Magnetic Analyses of Atmospheric Dust**

Mitsuo Yoshida

(Abstract)

Identifying different dust populations in an atmospheric aerosol is important in a variety of environmental research contexts. Ultrafine-grained magnetic particles in the populations can be used to assess the air pollution by artificial pollutant and also to identify the source of pollutants. Magnetic methods, bulk magnetic susceptibility and isothermal remanent magnetization (IRM) measurements, are very useful to quickly define the magnetic particles.

In order to examine the validity of the magnetic methods, aerosol magnetism observation project was attempted in Pakistan (The Aerosol Magnetism Research Team, 1996). Magnetic particles within atmospheric dust samples collected from the near-surface aerosols of industrial and residential areas among various cities in Pakistan have been defined using bulk magnetic susceptibility and isothermal remanent magnetization (IRM) measurements. Sampling was made by a non-magnetic adhesive tape that was exposed in the atmosphere 72 hours.

The saturation IRM (SIRM) marks generally larger intensities in highly populated or industrial areas such as Karachi and Peshawar cities. The SIRM value varies as a simple function of concentration of ferromagnetic materials in sample, thus the intensity probably represent a grade of air pollution by metallic (ferromagnetic) materials. The bulk magnetic susceptibility that is obtained by on-site measurement gives similar tendency to the SIRM values in spatial variation. S-ratio, a quantitative measure of the degree of saturation of IRM acquisition curves, is a parameter of dominance of low- or high-coercive ferromagnetic mineral. If the S ratio gives nearly 1.0 then low-coercive one is dominant over the population. In present results, the samples showing high SIRM and susceptibility always mark a high S ratio ( $\approx 1.0$ ). It means the enhancement of SIRM and susceptibility values basically contributed by an increase of low-coercive ferromagnetic mineral such as magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Thus atmospheric dust in highly populated and industrialized area predominantly contains low-coercive (magnetite) particles which were probably released into the atmosphere as artificial pollutants.

Magnetic method is probably applicable to assess air pollution and also capable of providing information for studies of atmospheric environment.

**Key Words :** Air Pollution, Aerosol, Magnetism, IRM, Magnetic Susceptibility

---

\* Geoscience Analysis Centre, Geoscience Co., Ltd., 1-1, Higashi-Ueno 6-chome, Taito-ku, Tokyo 110, Japan (Fax: +81-3-5828-1825, e-mail: myoshida@mtei.or.jp)