

Preliminary report on shock remanent magnetization measurement using a scanning SQUID microscope

佐藤雅彦¹, 黒澤耕介², 潮田雅司¹, 長谷川直³, 小田啓邦¹, 河合淳⁴

¹ 産業技術総合研究所, ² 千葉工業大学, ³ 宇宙航空研究開発機構, ⁴ 金沢工業大学

1 はじめに

天体衝突イベントに伴う地殻岩石の磁化獲得現象は衝突残留磁化として知られている [1]. 探査機による惑星磁場観測から, 月・火星においてクレーターと磁気異常の関係が明らかになり, 衝突残留磁化の重要性が指摘されている [2] [3]. 衝突残留磁化に関する過去の研究では, 主にターゲットバルクでの磁化測定が行われ, 衝突磁化の評価が行われている [1]. 近年 Gattacceca らにより, 磁場中でレーザーショックを与えた玄武岩試料の Superconducting Quantum Interference Device Microscope (SQUID 顕微鏡) 観察実験が報告されている [4]. 彼らの測定では玄武岩試料内部での磁化は一様で, 衝突残留磁化は試料内部で一様であると結論している. しかし, ターゲットの内部では, 衝突現象の際に経験した温度・圧力変化に 3 次元的な構造が存在する事は明らかであり, それに伴い獲得した衝突残留磁化にも 3 次元的な構造が存在していると予想される. そこで本研究では, 衝突残留磁化の構造を明らかにする事を目的として, (1) 磁場環境を制御した状態で衝突実験, (2) 実験後に回収しスライスしたターゲットの磁化観察, (3) iSALE を用いた温度・圧力構造の計算を実施する計画である. 今回の発表では, SQUID 顕微鏡を用いて行った衝突磁化実験試料の予察的測定結果について報告する.

2 実験

2.1 衝突実験

直径 10 cm, 長さ 10 cm の円柱形玄武岩試料を実験に用いた. 玄武岩試料の保持する自然残留磁化を消磁するために, 衝突磁化実験に先立ち 80 mT での交流消磁処理を行った. 衝突磁化の着磁実験は, 宇宙科学研究所スペースプラズマ実験施設に導入されている二段式軽ガス銃を用いて行った. 衝突磁化実験の概略図を図 1 に示す. チャンバー内に外径 32 cm, 内径 28 cm, 長さ 100 cm のパーマロイ製 3 層磁気シールドを入れて外部磁場を遮蔽した. チャンバー内に設置後に測定した磁気シールド内部の磁場強度は 300 nT 以下であった. 磁気シールド内に直径約 26 cm のソレノイドコイルを設置し, コイルに電流を流す事で試料周辺磁場の制御を行った. コイル中央に円柱形玄武岩試料を置いて衝突実験を行った. ソレノイドコイルは試料に対して十分長く, 試料周辺の磁場強度の変化は 5 % 以内であることを確認している. 弾丸は直径 2mm の Al 球を使用した.

実験条件一覧を表 1 に示す. 合計 6 回の衝突磁化実験を行い, 弾丸速度は全て約 7 km/s, 外部磁場強度は 0, 50, 100 μ T と設定した. 今回の実験では, 円柱上面に垂直に弾丸を衝突させ, 外部磁場は円柱上面外向きに垂直に印可した.

2.2 磁気測定

衝突磁化着磁実験後の試料を回収し、予察的な磁気測定を行った。磁気測定には、産業技術総合研究所設置の SQUID 顕微鏡 [5] を用いた。SQUID 顕微鏡の試料ホルダーに円柱形玄武岩試料を置き、クレーター上約 1 cm における磁場鉛直成分の分布を 6 cm × 6 cm の範囲で測定した。

3 結果・考察

外部磁場強度 0 μ T で実験を行った試料では、クレーター中心に向かいクレーター形状に沿って磁場鉛直成分の僅かな減少が見られた。これは、試料と SQUID 顕微鏡の距離が遠ざかった事に対応していると考えられる。一方で、外部磁場強度 100 μ T で実験を行った試料では、クレーター中心に向かい磁場鉛直成分の顕著な増加が見られた。これらの結果は、玄武岩試料が衝撃波の伝搬に伴って外部磁場方向に衝突残留磁化を獲得した事を示唆する。

4 おわりに

今後は玄武岩試料の薄片を作成し、その断面上の磁場鉛直成分分布を SQUID 顕微鏡を用いて観察する事で、試料内部の残留磁化分布を求める。また、iSALE shock physics code を用いて玄武岩試料の内部が経験した温度・圧力構造を計算し、残留磁化分布と比較を行う。この比較から衝撃圧・温度と衝突残留磁化強度の対応関係を求める事が出来ると期待される。

本研究の目的が達成され、衝撃圧・温度と衝突残留磁化強度の対応関係が明らかになれば、衝突現象により形成されたクレーター周辺の衝突残留磁化値モデリングが可能となる。月・火星などの地球型惑星において、探査により得られているクレーター上空の磁場観測値と、衝突残留磁化値モデリングから得られるクレーター上空の磁場強度を比較する事で、クレーター形成当時の”古”惑星磁場強度を復元する

事が出来る可能性がある。惑星磁場強度の進化と惑星内部ダイナミクス状態の進化は密接に関係しているため [6][7]、地球型惑星の磁場進化・内部ダイナミクス進化の理解が大きく進展すると期待される。しかし上述の”古”惑星磁場強度復元には、ターゲット天体の地殻内部構造の情報や観測磁場データの解析手法開発など多くの基礎研究を今後行う必要がある。

参考文献

- [1] Nagata, T (1971), Introductory notes on shock remanent magnetization and shock demagnetization of igneous rocks, *Pure Appl. Geophys.*, 89, 159-177.
- [2] Mitchell, D. L., R. J. Lillis, R. P. Lin, J. E. P. Connerney, and M. H. Acuna (2007), A global map of Mars' crustal magnetic field based on electron reflectometry, *J. Geophys. Res.*, 112, E01002.
- [3] Mitchell, D. L., J.S. Halekas, R.P. Lin, S. Frey, L.L. Hood, M.H. Acuna, and A. Binder (2008), Global mapping of lunar crustal magnetic fields by Lunar Prospector, *Icarus*, 194, 401-409.
- [4] J. Gattacceca, M. Boustie, E. Lima, B.P. Weiss, T. de Resseguier, and J.P. Cuq-Lelandais (2010), Unraveling the simultaneous shock magnetization and demagnetization of rocks, *Phys. Earth Planet. Interiors*, 182, 42-49.
- [5] J. Kawai, H. Oda, J. Fujihira, M. Miyamoto, I. Miyagi, M. Sato, SQUID Microscope with Hollow-Structured Cryostat for Magnetic Field Imaging of Room Temperature Samples, *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, accepted, doi:10.1109/TASC.2016.2536751. .
- [6] Stevenson, D. J., T. Spohn, and G. Schubert (1983), Magnetism and thermal evolution of the terrestrial planets, *Icarus*, 54, 466-489.

- [7] Aubert, J., S. Labrosse, and C. Poitou (2009),
Modelling the palaeo-evolution of the geody-
namo, *Geophys. J. Int.*, 179, 1414-1428.

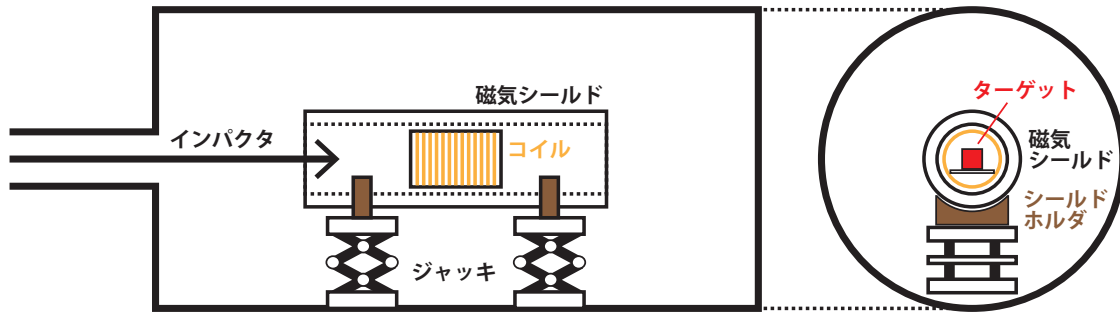


Figure 1. Schematic diagram of the experimental system.

Table 1. Summary of the SRM acquisition experiments

Shot #	Rock type	Velocity (km/s)	Applied field (μ T)
3107	Basalt	7.001	100
3108	Basalt	6.759	100
3109	Basalt	6.765	100
3110	Basalt	6.787	0
3111	Basalt	6.755	50
3112	Basalt	6.783	0