

磁気顕微鏡による太陽系最古の残留磁化への新たなアプローチ

植原 稔 [1]; 中村 教博 [1]

[1] 東北大学大学院理学研究科

小惑星や彗星は、太陽系の進化において微惑星形成から原始惑星形成の途中で進化が止まってしまった原始太陽系星雲の化石であると考えられている。小惑星やその破片である隕石は木星より内側で加熱をこうむった「熱い」領域の化石であるのに対し、彗星は海王星以遠で形成されたより「冷たい」領域の化石である。現在の太陽系が、太陽からの距離に従い地球・木星・海王星の様に構成物質が全く異なるため、原始太陽系は軌道の半径方向ではあまり混ざらなかつたと考えられていた(A'Hearn, 2006)。しかし、驚くべき事に彗星探査機スターダストが持ち帰った短周期彗星(Wild2)の塵は、加熱を受けていない太陽系前駆物質に加え太陽に近い「熱い」領域で加熱を受けた隕石構成物に似た物質も同時に含んでいた。この発見によって、原始太陽系初期の進化過程に太陽付近で出来た物質が海王星軌道まで輸送される様な非常に大規模な物質循環が存在したという大きな謎を突きつけた(Brownlee et al., 2006)。

このような大規模循環は、原始太陽の磁気遠心力によって起こる風が原始太陽系星雲の内側の物質を外側に吹き飛ばすという X-Wind モデルで説明できるとされている。このモデルは、原始太陽系に 0.1~1 mT 程度の強い磁場が必要であるため(Shu et al., 1996, 2001)、当時の磁場強度がこの大規模循環の謎の解くカギとなる。隕石を構成するミリメートルサイズの物質は 4 6 億年前に原始太陽系星雲の細かい塵が溶融・冷却して形成され、その金属相 (Fe-Ni 合金) は当時の磁場を熱残留磁化として記録し、隕石の自然残留磁化にはその強い磁場の証拠が残っているはずである(Uehara and Nakamura, 2006)。

隕石の自然残留磁化にはカギを握る初生的な残留磁化に加え、小惑星の形成時ないし形成後の熱・化学変成によって獲得してしまった二次的な残留磁化も記録しているため、両者を識別して初生的なもののみを測定に用いる必要がある。一般的には不安定な磁化より上書きが進んでゆくと、段階消磁実験で最後まで消えない安定な磁化が初生的であると仮定できる。しかし隕石の場合、変成時に保磁力が強い磁性鉱物ができてしまうため、安定な二次的残留磁化も獲得してしまっている可能性が高い。従来のように試料を切り出す手法では試料中に存在する磁性鉱物の磁化の平均しか測定できないため、安定な磁化が初生的かどうか識別できないという問題があった。そこでこの技術的な問題を解決するため、我々は隕石表面の磁場分布を観察できる走査型磁気顕微鏡の開発と、これを応用した研究に取り組んでいる。

これまでに開発した走査型磁気顕微鏡は MI (Magneto-Impedance) 磁気センサを利用しており、従来の超伝導磁気顕微鏡に比べ安価かつ手軽に試料表面の垂直磁場成分を空間分解 0.4 mm、磁気分解能 10 nT という精度で画像化できる(Uehara and Nakamura, 2007)。そしてこの磁気顕微鏡を用いることで、熱変成をほとんど受けていない始原的隕石表面の非常に複雑な磁場分布を捉え、その磁場分布と電子顕微鏡画像を比較することで強く磁化している磁性鉱物を推定する事に成功した。また、各種古地磁気消磁実験と磁場分布像を組み合わせることで、サンプル中の磁氣的に安定な粒子を特定した。さらに、サンプル内で強く磁化している箇所を無磁場空間でレーザー照射することで、局所的に加熱し磁性鉱物ごとの段階的に熱消磁する予察的な実験にも成功した。現段階では分解能およびセンサからの漏洩磁場により、非常に弱く磁化した磁性鉱物や非常に保磁力が弱い磁性鉱物は測定できないが、これらの走査型磁気顕微鏡を取り入れた新たな研究手法により、変質や二次的な磁化の問題を抱えている隕石サンプルにおいて、強く磁化した粒子の同定とその磁氣的安定性の確認をおこなうことで、将来太陽系最古の残留磁化の起源さらには原始太陽系大規模物質循環に対して物質科学的な制約を与える事が可能となる。