The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	同位体比測定に基づく隕石の成因について
Author(s)	植田, 千秋
Citation	大阪大学低温センターだより. 1988, 64, p. 5-9
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/10996
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

同位体比測定に基づく隕石の成因について

教養部　植　田　千　秋（豊中５３０６）

1.　はじめに

我々の太陽系がいかにして形づくられたかについては、哲学者カントの“星雲説”以来、外部に対して閉じた系で進化したとする説が主流であったが、隕石の化学組成や同位体比に関する最近の研究の結果[1]、原始太陽系は系外成分の混入を受けたいわば開かれた系で進化したと考えられるようになった。一般に隕石は、シリケート系の隕石が約92％を占めるが、そのうち91％は隕石特有の粒状組織が集合した独特の構造を持ちコンドライトと呼ばれる。粒状組織の方はコンドルールと呼ばれ、第１図の様にいくつかの鉱物組織に分類される。熱変成をあまり受けていないコンドライトは地上鉱物と次の３点が異なっている。

(1)　元素組成が全太陽系質量の99％を占める太陽大気のそれに大変近く揮発成分に富み、地球、月、火星の鉱物に比べ極めて未分化な固体物質と考えられる。

(2)　コンドライトの推定固定化年代はいずれも約45～46億年前に集中している。

(3)　人工的な再現実験の結果、コンドルールは溶融状態から１～10^4℃／hrという地上鉱物とは比較にならない急速冷却により生成された。[2]

このようにコンドライトは太陽系初期に地上鉱物とはかけはなれたプロセスで形成されたのち現在まで著しい変成を受けておらず、いまのところ直接測定により太陽系初期の情報を引き出すことのできる唯一の物質である。その成因については諸説あるが明解な結論は出ていない。

隕石の同位比測定についてはこれまで特殊な高温凝縮鉱物中に^{16}Oなどの異常が報告され、その測定結果は太陽系外から^{16}O過剰成分をもつガスおよびダストが混入したとするモデルで矛盾なく説明された。我々はこれまでに、数多くのコンドライトについて２次イオン質量分析計を用いたMg同位体比測定を行い、その結果隕石の主要構成物であるコンドルール中にも^{24}Mg過剰を示す領域がかなり一般的に見いだされた[3,4]。今回さらに次のステップとして、コンドルールの鉱物組織と^{24}Mg過剰度との間の相関を調べ、^{24}Mg過剰成分混入やコンドルール組織形成の機構について考察を試みた[5]。

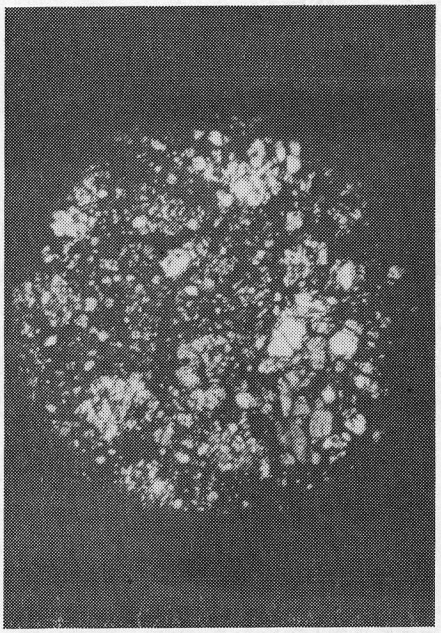
2.　測定結果

今回の測定ではアエンデ隕石について合計15個のコンドルールの同位体比を測った。第２図は各コンドルールおよび地上物質のMg同位体比の測定結果を示す。横軸および縦軸は

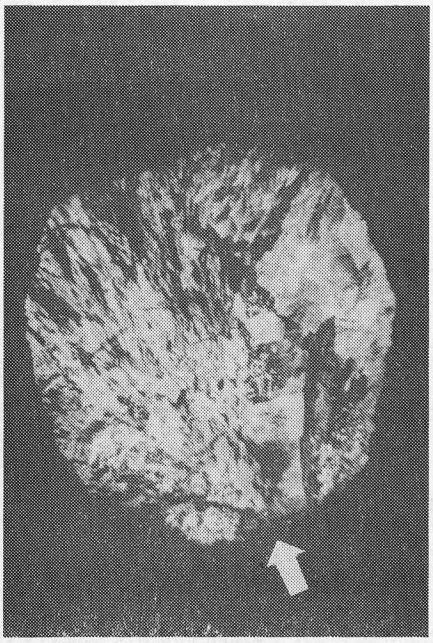
$$\Delta(m/25) = [\{(^{m}Mg/^{25}Mg)_{sample}/(^{m}Mg/^{25}Mg)_{s.t.d}\} - 1] \times 1000\ (‰)$$

m＝24：横軸，m＝26：縦軸

(a)



(b)

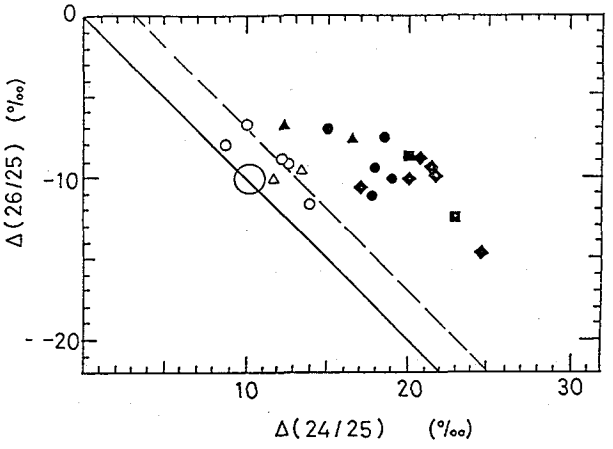


(c)

第１図　コンドルール断面の偏光顕微鏡写真（いずれも横幅が１㎜）。周囲の暗黒部分はミクロンサイズの微粒子組織。(a)斑状コンドルール。サブミリサイズのキ石およびカンラン石からなる。(b)放射状キ石コンドルール。矢印を中心としてキ石のファイバーが放射状に発達。(c)棒状カンラン石。ガラス層（暗黒部）とカンラン石層が交互に発達。

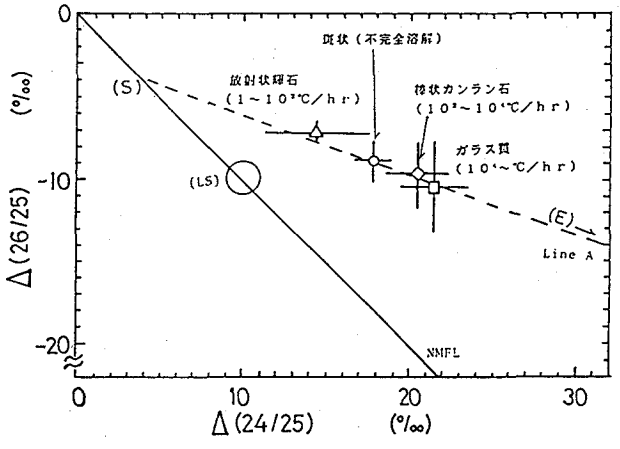
の値を表す。ただし、$(^{m}Mg/^{25}Mg)_{sample}$ は隕石サンプルの測定値を、$(^{m}Mg/^{25}Mg)_{s.t.d}$ は Mg同位体比の標準値（$^{24}Mg/^{25}Mg=7.897$，$^{26}Mg/^{25}Mg=1.100$）。を表わす。図中の傾き－１の直線は地上物質の質量分別線（NMFL）を示す。通常の物理的、化学的プロセスでは同位体変動は近似的には同位体間の質量差に比例することから、地上物質の測定点はおおむねこのNMFL近傍に分布する。一方、コンドルールの測定値はいずれもNMFLから大きく逸脱しており、しかも地上物質に対する差異を見るといずれもΔ(26／25)方向の変動は少なく、Δ(24／25) 過剰の方向への変動の多寡の差が著しい。これはコンドルールに ^{24}Mg過剰成分が混入していることを示唆する。第３図は各々のコンドルール組織ごとのマグネシウム同位体比の平均値をプロットしたもので、いずれも一本の直線（Line A）上に配列する。

この結果はつぎのような二成分混合モデルにより説明することができる。即ち元々の太陽系の同位比がLine AとNMFLの交点(S) の値であったところへ系外からLine Aの延長線上の一点（E)の値をもつ ^{24}Mg過剰成分が混入し、その結果形成されたコンドルール組織は(E)の混入度の多い順に(E)



第２図　コンドルール15個（黒記）および地上物質８種（白記）のMg同位体比測定値。各点とも２σ_{mean} は通常約３‰。

▲は放射状キ石、●は斑状、◆は棒状カンラン石、■はガラス質コンドルールの測定値を表わす。大きい白円は実験室標準の愛媛産カンラン石、○は地上カンラン石、△は地上キ石を表す。実線および破線はCatanzaro[6] およびSchramm[7] の標準値に基づく質量分別線。

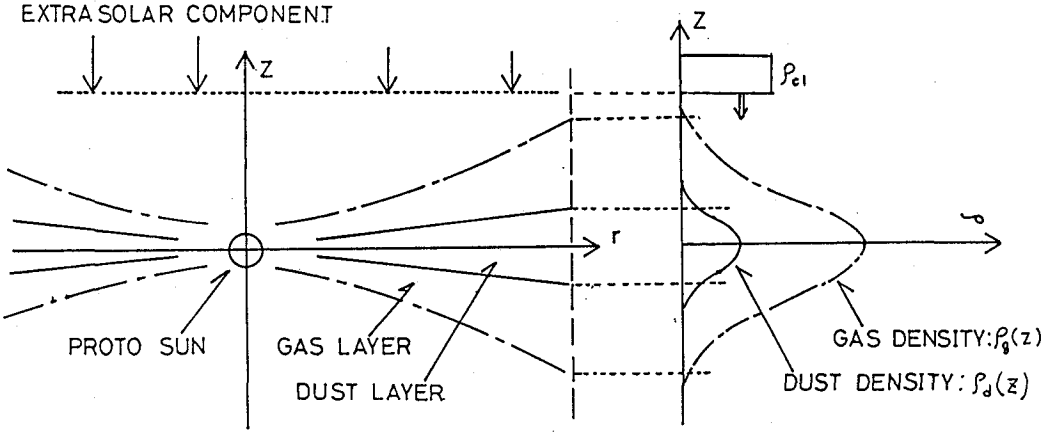


第３図　コンドルール組織ごとのMg同位体比の平均値。エラーバーは2 δ_{mean} を表す。

→(S)方向に配列したと考えられる。興味深い点は、このLine A上における各組織のコンドルールの^{24}Mg過剰度の順序が先にコンドルール再現実験の結果から推定された各タイプの冷却速度vの順序および加熱到達温度T_{max}の順序と一致することである。[2] 冷却速度についてはv＞10000℃／hr、10000℃／hr＞v＞100℃／hrおよびv＜100℃／hrの速度範囲で各々、ガラス質、棒状カンラン石および放射状輝石コンドルールが形成される（T_{max}は一定）。一方到達温度についてはT_{max}＞1560℃でガラス質が、1560℃＞T_{max}＞1440℃で棒状カンラン石が、そして不完全溶融状態からは斑状コンドルールが形成される（v＝1000−5000℃／hr）。また各組織vとの存在頻度は、一般に斑状コンドルールが全体の70％以上を占め、棒状カンラン石、ガラス質等は10％前後である。[8] これを第3図、Line A上の配列順序と比較すると、T_{max}，vの大きいコンドルール組織ほど^{24}Mg過剰成分の混入が大きく存在頻度が小さいという関係が見られる。このようにコンドルール鉱物組織についての三要素、(1)形成時の加熱条件 (2)存在頻度 (3)過剰^{24}Mg混入度の間には定性的な相関が見られるが、これらはいずれもコンドルールの形成のメカニズムについて考察する場合の新たな制約条件になると考えられる。

3. コンドルール形成モデル

太陽系形成過程のシナリオとして提唱された京都モデルによると、星雲が重力収縮を開始してから約10^5年後には第4図に示すように原始太陽を中心とした赤道面上にガスおよび微粒子層が形成される。[9] 前節で明らかになった要素(1)−(3)の相関は、原始太陽系星雲（ガス密度ρ_g）へ系外星雲（ガス密度ρ_{cl}）が落下したと仮定することにより矛盾なく説明される。



第4図　星雲落下によるコンドルール形成モデルの概念図。

このモデルでは^{24}Mg過剰成分は系外星雲によってもたらされると仮定し、コンドルールの前駆物質としては太陽星雲の赤道面近傍に集積したサブミリサイズの微粒子を想定する。コンドール形成に必要な加熱は星雲同志の衝突面から発生する衝撃波によって与えられる。[10] 一般にガス相同志の衝突時に発生する衝撃波で上昇するガス相の温度は、両方のガス相の密度比に依存して変化するから、衝撃波による温度上昇T_{max}は密度比ρ_{cl}/ρ_gとともに大きくなる。ところでρ_gは重力と遠心力のつりあいか

ら第4図のように $|z|$ と共に減少するから T_m は $|z|$ とともに増加する。[5] 一方系外ガス通過後の星雲の冷却過程では、ρ_g が小さいほど保温効果が少なく放射冷却が早く進むと考えられる。そこでこの加熱条件の z 依存性がコンドルール組織の差異を生みだしたとして、赤道面近傍では斑状および放射状輝石コンドルールが、また赤道面から離れた領域では、棒状カンラン石およびガラス質コンドルールが形成されたと仮定する。すると各コンドルールの存在頻度は、コンドルールの前駆物質として仮定した太陽系星雲の微粒子の密度 ρ_d が定性的には第3図の様に $|z|$ とともに減少するから、赤道面近傍が最も多く、赤道面から離れるに従い形成個数は減少すると推定される。一方、^{24}Mg過剰成分は系外星雲から太陽系星雲に混入し、さらに溶融状態になったコンドルール前駆物質にとりこまれるが、星雲ガス中の系外ガス成分の割合 $\rho_{cl}/(\rho_{cl}+\rho_g)$ が $|z|$ と共に増大するので、赤道面から離れた領域ほど^{24}Mg混入度は大きくなると考えられる。

以上のように、前節で述べたコンドルール組織についての要素(1)−(3)の間の相関は上記のシナリオですべて矛盾なく説明される。なおコンドルール形成時の溶融温度はその化学組成に大きく依存することから、さらに^{24}Mg過剰度と化学組成の相関についての測定を現在進めている。

参考文献

1) R. N. Clayton et al. : Science 182, 485(1973)

2) A. Tsuchiyama et al. : Earth Planet. Sci. Lett. **48**, 155(1980)

3) H. Nishimura et al. : *Secondary Ion Mass Spectroscopy*, SIMS IV, edts. A. Bennighoven et al. (Berlin: Springer-Verlag) PP. 475(1984)

4) J. Okano et al. : ibid, SIMS V, pp. 447(1986)

5) C. Uyeda et al. : Mem. Natl. Inst. Polar Res. to be published

6) E. J. Catanzaro: J. Res. Natl. **70A**, 453(1966)

7) D. N. Schramn: Earth Planet. Sci. Lett., **10**, 44(1970)

8) H. Nagahara: Mem. Natl. Inst. Polar Res., Spec. Issue **20**, 145(1983)

9) C. Hayashi: Prog. Theor. Phys. Supple. **70**, 35(1981)

10) H. Hasegawa: Personal communication