

X線フレアによる衝撃波生成とコンドリュール形成

Chondrule Forming Shock Waves Induced by X-Ray Flares

中本 泰史[1]; 林 満[2]; 木多 紀子[3]; 橋 省吾[4]

Taishi Nakamoto[1]; Mitsuru Hayashi[2]; Noriko, T. Kita[3]; Shogo Tachibana[4]

[1] 筑波大・計物セ; [2] 国立天文台; [3] 産総研・地調センター; [4] 東大・理・地球惑星

[1] CCP, Univ Tsukuba; [2] NAO; [3] GSJ, AIST; [4] Earth and Planet. Sci., Univ. of Tokyo

コンドリュールは原始太陽系星雲中の瞬間的な加熱現象で形成されたと考えられているが、その具体的な形成機構にはまだ不明な点が多い。衝撃波加熱モデルは有力な形成モデルと考えられてはいるが、衝撃波の起源や発生場所についてはよくわかっていない。

私たちは、衝撃波の起源についての新しいモデルとして、X線フレアによる原始太陽系星雲上空での衝撃波生成モデルを提案する。X線フレアは多くのTタウ型星に付随している現象で、中心星から放出されたプラズマが中性の星風を引き起こす。そのエネルギーや広がり、頻度などは、現在の太陽の値よりも何桁も大きい。例えば、典型的なX線フレアの光度は現在の太陽のそれよりも2桁ほど大きい。このようにX線フレアは激しい現象であるので、周囲に存在する円盤にも何らかの影響を及ぼすのではないかと思われる。観測によれば、X線フレアの活動度は時間とともに減少し、その典型的な時間スケールは 10^6 年である。この時間スケールは、コンドリュールの持つ年齢(CAI形成後の時間 = $1\sim 3 \times 10^6$ 年; Kita et al. 2000, Mostefaoui et al. 2002)とほぼ等しい。本研究では、X線フレアの円盤への影響を評価し、円盤中に生成されるかも知れない衝撃波に注目する。そしてその衝撃波がコンドリュールを形成可能かどうかを調べる。

円盤上空で星風の影響により生成される衝撃波の位置は、円盤ガスの静圧と星風の動圧のつり合いとから見積もることが出来る。星風の動圧は、 $P_{ram}(R) = \dot{M} V \cos \theta / (4\pi R^2)$ と評価することが出来る。ここで、 R は太陽からの距離、 \dot{M} は星風の質量フラックス、 V は星風の速度、 θ は円盤表面への衝突角度、そして θ は星風が広がる際の立体角である。数値計算の結果によれば(Hayashi et al. 1996)、星風の質量フラックスは $\dot{M} = 10^{-8} (V/170 \text{ km s}^{-1}) M_{sun} \text{ yr}^{-1}$ と見積もられる。星風の立体角については、X線フレアが球対称的ではないとして $W = \theta/2$ とする。また、 $\cos \theta = 0.01$ と仮定する。一方、円盤の静圧については、最小質量太陽系円盤モデルを用いて評価する。

星風の動圧と円盤の静圧をつり合わせるにより、円盤上空で衝撃波が生成される高さ Z_{shock} を求めた。その結果は R の関数として、 $Z_{shock}/h(R) = [9.47 - 1.25 \ln(R/1 \text{ AU})]^{1/2}$ となった。ただし、 $h(R)$ は円盤のスケールハイトである。衝撃波生成場所は、 $Z_{shock}/h = 2.78$ ($R = 4 \text{ AU}$), 2.93 ($R = 2 \text{ AU}$)となった。これらの場所での衝撃波通過前のガス密度はそれぞれ、 $1.4 \times 10^{-14} \text{ g cm}^{-3}$ ($R = 4 \text{ AU}$), $3.9 \times 10^{-14} \text{ g cm}^{-3}$ ($R = 2 \text{ AU}$)と評価される。これらのガス密度は赤道面での密度に比べると非常に小さいが、実際には衝撃波の影響で、ある程度は圧縮されて上昇しているかもしれない。

衝撃波加熱モデルの数値計算によれば(Iida et al. 2001, Miura & Nakamoto 2004)、 0.1 mm サイズのダスト粒子を加熱してコンドリュールにするには、 $10^{-14} - 10^{-13} \text{ g cm}^{-3}$ 程度の衝撃波前面密度と数十 km s^{-1} の衝撃波速度があればよい。私たちのMHD数値計算によると、このような衝撃波は円盤上空に実際に実現されることがわかった。

以上より、中心星のX線フレアによって原始太陽系星雲上空に衝撃波が生成され、それがコンドリュール形成にとっては適当な衝撃波であることがわかった。このモデル、すなわち、「X線フレアによる衝撃波生成+ダストに対する衝撃波加熱モデル」は、コンドリュール形成に対して私たちが提案する全く新しいモデルである。