

太陽系内へ飛来する星間塵の分布を支配する力についての考察

The discussions of the force which the interstellar dust grains flowing into the solar system are dominated

直井 隆浩[1], 佐々木 晶[1]

Takahiro Naoi[1], Sho Sasaki[1]

[1] 東大・理・地球惑星

[1] Earth and Planetary Sci., Univ. Tokyo

星間起源のダスト(星間塵)が星間ガスの流れに乗って太陽系内へ飛来する事実は観測からも明らかだ。しかし太陽近傍でダストの分布は太陽の重力、放射圧および磁場の影響によって乱される。ダストの太陽接近メカニズムを知る目的で、星間塵が太陽へ接近する際に支配的に作用する力を解明するシミュレーションを行った。

まずダストを難揮発性の物質としてシリケートと仮定。続いてローレンツ力を厳密に求めるため、ダストの電荷を太陽中心からの距離の関数として表した。そして運動方程式を解くことでダストの軌道を明確にした。その結果ダストのサイズによって支配的な力は3part と2sub-part に分類できることが分かった。

星間空間に存在する固体微粒子は一般に、星間起源塵(interstellar dust)または単に星間塵と呼ばれ、天文学的には減光観測から代表的なサイズがおよそ0.1ミクロン、組成についてはスペクトル吸収からシリケート、グラファイト、固体の水、さらに多数の高分子が知られている(例えば Whittet 1992)。星間塵は惑星間空間起源の固体微粒子(惑星間塵)と区別される。なぜならその起源が赤色巨星の吹き出しや超新星爆発であることから(Holzer 1989)、始原的な情報を保持していると考えられているためであり、惑星形成論の初期の段階に制約を加えるものとして今後の極めて重要な研究対象と期待されている。我々はこの星間塵(以下、ダストとも呼ぶ)の太陽系内への飛来について研究を行った。我々の太陽は銀河を中心に公転しているが、その相対運動の結果、太陽系には主にヘリウムからなる中性ガスとそのガスの流れに乗って星間塵が流入している(Frisch et al. 1999)。太陽系内へガスの流れに乗って飛来するダストの上流方向は、黄道座標系で緯度と経度がそれぞれおよそ252度および3度、太陽との相対速度は太陽の重力圏外でおよそ26km/secと知られている(Grun et al. 1994)。太陽系へ飛来する星間塵の供給源は、太陽からおよそ210pc遠方に位置するSco-Cen associationと考えられている(Cox and Reynolds 1987)。しかしダストの分布は、太陽へ接近するにつれて太陽の重力、放射圧および磁場の影響によって乱されてしまう。

Ulyssesの観測(木星軌道領域での星間塵の観測)をきっかけに(Grun et al. 1993)、星間塵の太陽系内流入についてシミュレーション実験がいくつかなされた。しかしそれらの全ては観測事実に限ったサイズ分布に限定されており、星間塵の太陽系内流入が可能であるという結論を提示しているにすぎない(古いところでは Gustafson and Misconi 1979;最近では Grun et al. 1994; Gustafson and Lederer 1996; Grogan et al. 1996)。そこで我々は星間塵が太陽へ近づく際に被る力の支配をサイズ別に明確にした。ダストに作用する力の内、重力と放射圧は動径方向のみに作用し、太陽中心からの距離の2乗に反比例する。特に放射圧は、太陽光の波長と粒子サイズに依存した放射圧断面積をMie理論から導き出すことで得られるが(例えば Bohren and Huffman 1983)、このとき用いられる複素屈折率はダストの組成によって異なる。ダストの電荷はプラズマ粒子の衝突、透過、二次電子放出、そして光電子放出の釣り合いから求められ(Draine and Salpeter 1979; Kimura and Mann 1998)、太陽磁場との相互作用によりローレンツ力を生じる。本研究で用いた磁場モデルの磁力線は、太陽に近いところでは放射状に分布し、次第に同心円状に広がっている(Parker 1958)。特に方位角方向は距離に反比例するため、万有引力や放射圧に比べ遠方まで作用を及ぼすと考えられた。

実験手法は以下の通りである。まず、ダストを難揮発性の物質としてシリケートと仮定した。続いてダストの電荷を太陽中心からの距離の関数として表した。これによって、ダストに作用するローレンツ力を厳密に求めることができる。その後、運動方程式を解くことでダストの太陽系内での挙動を明確にした。また最終的に、ダストの粒径に対する太陽への可能最近距離を求め、太陽系内に飛来する星間塵のサイズ分布に制約を加えた。その結果、太陽系内に飛来する星間塵へ支配的に作用する力が、サイズ別に3 parts と2 sub-parts に分類することが出来た。本研究が明らかにしたのは以下の通りである。(1)半径が0.5ミクロン以上のダストは磁場の影響をほとんど受けず重力のみの考慮で十分であり、太陽中心から0.1AU以内まで接近できる。(2)半径が0.1から0.5ミクロンのダストには放射圧の影響が際立ち、太陽への接近が限定される。(3)半径が0.1ミクロン未満のダストはローレンツ力の影響を比較的強く受け、重力は無視でき、太陽へ接近することが困難になる。特に半径が0.4ミクロン付近のダストはローレンツ力の影響を無視できる上に重力と放射圧が釣り合い最も力の影響を受けにくい軌道を取る。また、半径が0.08から0.1ミクロンのダストは重力も放射圧も無視でき、かつローレンツ力の影響が比較的少ないために、太陽中心から0.1AU以内まで接近できた。