

氷微粒子の衝突付着とそのアグリゲイトの力学物性

Collisional sticking of ice dusts and the mechanical properties of its aggregates

荒川 政彦[1]

Masahiko Arakawa[1]

[1] 北大・低温研

[1] Inst. Low Temp. Sci., Hokkaido Univ.

<http://risu.lowtem.hokudai.ac.jp/~arak>

はじめに

原始太陽系星雲でのダストから惑星への進化過程において、その最も初期に起こる素過程の一つがダスト同士の衝突付着である。星雲ガス中に漂うダストのサイズはサブミクロン程度と言われており、この様に小さな粒子同士が衝突する時は、分子間力の影響が大きく衝突付着は起こりやすい。シリケート微粒子に関する衝突付着の研究は、Blumらのグループにより精力的に行われており、その結果、ミクロンサイズの粒子では0.1m/s以下の衝突ではフラクタル構造を持つアグリゲイトに成長しうることが分ってきた。一方、外惑星領域においてメインとなる氷微粒子についての同様な研究はなく、木星型惑星や彗星、それにカイパーベルト天体と多様性に富むこの領域の初期集積過程はいまだ明らかではない。そこで本研究では氷微粒子の衝突実験を行なうことにより、微粒子の付着速度を求めることにした。また、微粒子が付着成長することによりできたアグリゲイトについても衝突実験を行ない、その力学的強度を調べた。シリケートに関する同様の実験では、1.9m/s以上の速度で衝突するシリケートアグリゲイトはカタストロフィック破壊を起こすことが知られている。

実験方法

氷微粒子は低温室（-10℃）の空気に含まれる水蒸気を液体窒素で冷却した金属ブロックにより直接凝結させて作成した。この方法により、サイズ5～10μm程度の微粒子を作成できる。この微粒子を電場中で加速することにより、微粒子同士の衝突実験を行なった。氷微粒子は強い電場中（>50V/mm）に置かれると誘電分極をおこし、電極に向かって加速する。そして電極に付着した微粒子の先端は局所的に強い電場を持つので、さらにそこに向かって微粒子が飛来し、アグリゲイトが成長する。実験では、このアグリゲイトの先端に衝突する氷微粒子を顕微鏡下で観測し、衝突付着速度を調べた。微粒子の運動を観測するには通常のビデオでは撮影速度が遅すぎるので高速度デジタルビデオカメラを用いて毎秒2000コマから4000コマの撮影速度で観察した。

アグリゲイトは微粒子の付着によりある程度成長すると、それ自身が電場により加速され飛翔する。成長したアグリゲイトの大きさは数100μmから1mmのサイズであり、このアグリゲイトが金属の電極に衝突する時の様子からアグリゲイトの衝突強度を調べた。今回調べた衝突速度は5m/s以下である。実際にはもっと早い速度で加速されたアグリゲイトもあったが、現在のビデオの性能と顕微鏡による拡大率から、5m/sというのが衝突をその場観測する限界である。

結果

氷微粒子のサイズが5～10μmの時、0.5～11cm/sでの衝突を直接観測することに成功した。この速度範囲では氷微粒子は破壊することもなく、また跳ね返ることもなく付着する。現在この速度以上で付着する微粒子の観察には成功していないので、今のところ付着速度が11cm/s以上であるとは言いえない。シリケート（SiO₂）の場合、10cm/s以上ではアグリゲイトの構造が壊れ、より高い密度となるような衝突圧密が起こることが知られているが、氷の場合そのようなモードは見つかっていない。これは今回の実験が電場中で行われているため、アグリゲイトに電場から外力が加わっているためと思われる。アグリゲイトの衝突実験では衝突速度が1m/sの時、破壊することなく電極に付着することがわかった。付着したアグリゲイトは衝突時の応力により細かく振動する様子も観察された。速度が3m/s以上では電極に衝突するとアグリゲイトの構造はばらばらに壊れるのが観測された。このことから、アグリゲイトの衝突強度は金属への衝突では速度2m/s前後になるとと思われる。直径3mmの氷粒子は10m/s以上の速度にならないと壊れないことが知られている。一方、直径70mmの氷球では1m/s前後の衝突で十分に破壊する。アグリゲイトの構造が壊れる衝突速度と大きな氷球が壊れる速度がほぼ同じオーダーになるのは興味深い結果である。