

## 氷微粒子の静電場加速

### Acceleration of ice aggregates by electrostatic field

# 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>

これまでミクロンサイズの氷微粒子の付着成長は、理論や数値シミュレーションにより調べられることはあっても実験により実証されたものはない。これは氷の微粒子を制御する優れた実験方法が見あたらなかったからである。本研究はこの問題を克服するために氷が持つ高い誘電率（比誘電率 $\sim 100$ ）に着目し、静電気力により氷微粒子を加速し、その衝突速度を制御することを試みた。ミクロンサイズの氷微粒子は電場に引かれて電極上で衝突付着成長を起こし、氷微粒子集合体に成長する。こうして成長した mm サイズの氷微粒子集合体は強い静電場をかけることにより、それ自体を加速して相互衝突させることが可能であることがわかった。

#### 1. 研究の背景

原始太陽系星雲の固体微粒子は、赤道面への沈殿とその後の重力不安定によるダスト層の分裂により、微惑星に進化したと考えられている。このミクロンサイズの微粒子から km サイズの微惑星に至る初期集積過程は、天体の自己重力より微粒子の物性がその過程を支配するステージである。現在、沈殿層のシア不安定に起因する乱流のため重力不安定を経ずして微惑星に進化するというモデルも提案されているが、この場合、集積過程における微粒子物性の重要性がさらに増すことになる。一方、木星型惑星は星雲ガス中で氷微粒子が付着成長し、微惑星から原始惑星へと成長し、それがガスをまとめて形成したものである。外惑星領域では数多くの氷衛星や彗星、それに最近ではカイパーベルト天体が発見され、木星型惑星の形成に付随して多様な固体天体が生み出されたことがわかる。この原因を明らかにするためには、外惑星領域における惑星形成の物理過程を個々に解明する必要がある。その素過程の中でも最も基本的なものが、星雲ガス中での氷微粒子の付着成長であり、この素過程の解明は、微粒子が微惑星に至る道のりを明らかにすることにつながる。

#### 2. 研究目的

星雲ガス乱流中で微惑星が成長できたかどうかを知るには、低速度衝突における微粒子付着の効率を詳しく調べる必要がある。そのために、まずミクロンサイズの氷微粒子が mm サイズの微粒子集合体に成長する過程を実験室で再現し、微粒子の成長速度や成長条件を実験的に明らかにする。微粒子付着のメカニズムには分子間力と静電気力が挙げられるが、この両メカニズムが微粒子成長に及ぼす影響も合わせて調べる。一方、mm サイズの微粒子集合体が付着し、さらに cm サイズのダストボールに成長するには、前述した2つのメカニズムと伴に粒子間の摩擦や集合体自体のバルク強度が大切なファクターとなる。集合体が周囲からのガス抵抗や集合体同志の衝突による衝撃力に耐えうる強度を持つ必要があるからである。そこで粒子集合体どうしの付着条件とその衝突破壊強度を実験的に調べることにする。

#### 3. 実験方法

（氷微粒子の作成）氷微粒子は空気中の水蒸気を低温度で凝結させることにより作成した。冷源としては液体窒素で冷却した金属ブロックを用いた。低温室（ $-10$ ）でこのブロックを冷却し、周囲の空気から水蒸気を凝結させた。

（微粒子の加速）氷微粒子の加速は電極間にかけた電場により行った。微粒子を電極間にうまく引き入れるため、冷却用のブロックを片方の電極とした。もう一方の電極は室温（ $-10$ ）のまま、冷却用ブロックと数 mm の距離において平行に設置した。電極間の空気には高い温度勾配が発生し、室温電極から少し離れたところに凝結の前線が発生する。この前線付近の微粒子が電場により誘電分極を起こし、静電気力により引かれて室温電極に付着する。最初に付着した微粒子上にさらに微粒子が衝突することにより集合体の成長が起こる。

（微粒子集合体の衝突実験）成長した集合体は氷が直流電流を通す性質から電荷を持つようになる。この電荷のため微粒子集合体は電場中で加速され、冷却電極に衝突する。この時、冷却電極に同じ微粒子集合体を準備しておくことにより、相互衝突を実現することができる。高圧電源により電位差  $10V \sim 1000V$  を与えることにより、衝突速度を制御した。

（観察方法）微粒子を観察する必要があるので実験はすべて光学顕微鏡のもとで行った。微粒子成長や衝突の

観測は双眼顕微鏡にセットしたビデオカメラにより行った。飛翔する粒子を連続静止画像として扱うため、高周波数の発光ダイオードストロボ（最大周期 100kHz）を用いた。

#### 4. 実験結果

凝縮した氷微粒子は電場に引かれて、氷微粒子集合体に成長することが確認された。そして、微粒子集合体の成長速度は電極間の電場の強さよることが明らかになった。傾向としては、高い電場ほど、大きな成長速度を与えるようである。成長した集合体の形状は樹枝状であり、一見フラクタル性を持つように見える。電場の強さにもよるが、数分で 1mm 程度まで成長することがわかった。

成長した微粒子集合体は、その電荷のため強電場中で加速され、飛翔することが確認された。飛翔速度は電場の強さに比例し、100V で 10cm/s、1kV で 1m/s の速度が観察された。実験は空気中で行っているため、この微粒子集合体は、飛び出し後すぐに終端速度に達していると予測される。氷微粒子集合体は、衝突速度が 10cm/s 前後では、まったくその形状を変化させることなく、飛翔後もう片方の電極に付着する。しかしながら、1m/s では電極に衝突すると粉々に破壊され、破片もバラバラに散逸するのが観察された。このことから氷微粒子集合体の衝突破壊強度の最大値は 1m/s を超えることはないと思われる。