

『宇宙におけるダストの破壊とスパッタリング』

野沢貴也（国立天文台）

Q1（坂本隆一／NIFS）：なぜ、ダストの構成元素は、炭素や珪素が多いのでしょうか？他の元素は、原子の形で存在するのでしょうか？

A1：（野沢／NAOJ）単純には炭素や珪素は宇宙におけるその元素そのものの存在度が高いため、それらから構成されるダストの質量も大きくなるからです。炭素質ダストは炭素(4)から、シリケートはマグネシウム(7)、珪素(8)、酸素(3)から作られています（カッコ内の数字は宇宙元素存在度の多い順）。水素(1)や窒素(6)は分子または原子として、希ガスのヘリウム(2)やネオン(5)は原子として存在します。ガス（原子・分子）として存在するかダスト（固体）として存在するかどうかの違いは凝縮温度の違いです。ニッケルやマンガン、クロム、チタン、アルミニウムなども凝縮温度が高くダストとして存在しますが、そもそもそれらの存在量が高くはないので、ダストとしても（質量的に）マイナーな成分となります。

Q2（増崎貴／NIFS）：水素イオンによる炭素のスパッタリングでは、物理スパッタだけでなく化学スパッタリングも重要かと思いますが、計算に含まれているのでしょうか？あるいは温度が低いので、化学スパッタリングは考えなくてもよいのでしょうか？

A2：（共同研究者：伊藤／NIFS）今のところ物理スパッタリングのみのコードで検討しています。エネルギー領域がkeVオーダーの為と理解しています。将来的にエネルギーレンジを鑑みて必要となれば化学スパッタリングも考慮するコードに切り替えは可能です→野沢先生補足お願いします。

A2：（野沢／NAOJ）そうですね。今考えているプラズマは 10^6 - 10^7 Kの温度ですので、物理スパッタリングだけで良いかと思います。一方で、よりエネルギーが低い（eVのオーダー？）ガス浴の中では、化学スパッタリングによる破壊が重要になってくるかもしれません。勉強不足で化学スパッタリングがどのような温度範囲で起こるかきちんと把握していないのですが、 10^4 - 10^6 Kで効果的になるのであれば、天文の環境では 10^4 - 10^6 Kではガスは急激に冷えて 10^4 以下になるのであまり効かないかもしれません。いずれに

しても、化学スパッタリングの寄与を評価することは重要だと思いますので、物理スパッタリングと化学スパッタリングを分けて計算できればうれしいです。

Q3（鹿野良平／NAOJ）：実験手段の関係から、観測ロケット実験で無重力下でのダスト形成を実験している北大・木村勇氣さんのお話を聞くことが多くあり、相対するこちらの講演も興味深く拝聴しました。地上の物質では観測される赤外スペクトルを説明できないような説明を木村さんの話から受け取ったのですが、今回の破壊対象のダストについて、この形成環境の影響などどのように考えられているか教えてもらえるとありがたいです。

A3：はい、北大の木村さんともロケットを用いたダスト形成の無重力実験も含め長い間色々と議論させていただいております。質問への回答ですが、例えばダストが結晶質か非晶質かどうかはダスト形成時に決まってしまうと思われています（一般に急冷の場合は非晶質、ゆっくり冷えるガス中でダストが形成されれば結晶質になると考えられています）。ですので、結晶質と非晶質でダストの破壊効率がどのように異なるのかを調べることも検討しています。また形成時にどのような組成のダストが形成されるかも重要です。例えば、 $MgFeSiO_4$ というシリケートダストが形成された場合、これをスパッタリングによって破壊するとMgの方がFeよりもはじき出されやすいと考えられるので（Mgの方がFeよりも軽いので）、ある程度破壊を受けた後はFeに富んだシリケートになってしまいます（なお、SiはOと強く結合しているのでそれほどはじきだされません）。こういったある特定の元素が支配的にはじきだされるかどうかの計算も将来的に実行できればと思っております。

Q4（村上泉／NIFS）：ダスト形状とダストの破壊効率の相関はあるのでしょうか？ ダスト形状を考慮したシミュレーションは可能なのでしょうか？

A4：（野沢／NAOJ）ダストの形状とダストの破壊効率の相関を調べるために、3次元計算コードを用いてシミュレーションを行っています。この計算では、ターゲット物質の原子の位置を一つ一つ座標で指定しておりますので、どのような形状のダストでも設定することが可能です。ここでダストの形状というのは、全体的な形（球形か楕円形かとか）やその大きさ（半径など）だけでなく、表面に凹凸などの構造があるもの、多くの空隙があるもの（小さいダストが集積してできた集合体のようなものを想定）、結晶か非晶質かも設定できま

す。ただ、これまで様々な表面構造をもつダストに対して計算を行っておりますが、表面の起伏の程度や入射エネルギーに対する依存性が複雑で、今のところ表面構造と破壊効率との系統的な相関は導出できておりません。