

鉱物学としての「宇宙鉱物学」: これまでとこれから "Astro-mineralogy" as mineralogy: until now and from now

土山 明^{1*}

TSUCHIYAMA, Akira^{1*}

¹ 大阪大学理学研究科

¹ Graduate School of Science, Osaka University

様々な宇宙環境に存在する固体微粒子(ダスト)は太陽系の固体原料物質であるとともに、高エネルギーの光(紫外・可視)を吸収し低エネルギーの光(赤外)を輻射することにより、星や惑星形成など様々な天体現象におけるエネルギー収支を支配している。近年の赤外線天文観測の進展により、かつては非晶質珪酸塩のみと考えられていたダストの中に地球上の鉱物が普遍的に存在することが明らかにされ、天文学と鉱物学との境界分野として宇宙鉱物学(astromineralogy)と呼ばれる分野が開拓された[1]。晩期星や若い星の星周領域には、非晶質珪酸塩だけでなく15%程度の結晶質珪酸塩(Mgに富むカンラン石や輝石)からなるサブミクロンサイズのダスト(星周塵)が観測され、その組成や形状・温度などの情報から粒子の形成条件が議論されている。これに対して、星間領域では結晶質珪酸塩は観測されず[2]、一部結晶を含む星周塵は星間領域に放出され、結晶は宇宙線照射により非晶質化されたと考えられている。このような星間塵は分子雲に取り込まれ、非晶質珪酸塩ダストを核として氷が凝縮し、さらに氷から有機物が生成された。これはGreenberg粒子[3]と呼ばれ、太陽系の固体物質の原材料であると考えられる。原始惑星系円盤の高温領域では非晶質珪酸塩の結晶化や蒸発・再凝縮が起こるが、微惑星形成後珪酸塩ダストは有機物とともに水質変成を受ける。

宇宙鉱物学はこれまでは主として天文学の分野として発展してきたが、物質科学の観点からは鉱物のもつイントリンシクな性質(結晶構造、化学組成、温度)およびエキストリンシクな性質(粒子サイズ、粒子形状、異方性、格子欠陥、集合状態)が赤外線吸収スペクトルに与える影響に着目し、ダストの形成や進化が議論されてきた(例えば[4])。とくに前者の研究により、観測された赤外線スペクトルとの比較から星周塵鉱物が同定され、その化学組成が推定されてきた。一方、後者の研究は発展途上であり、今後観測的・理論的な研究に加えて、このような「鉱物学」としての物質科学的なアプローチを進めることにより、ダストの形成や進化の研究を推進していくことが重要である。

物質科学的なアプローチとして今後重要と考えられるものとしては、(i)結晶質星周塵の起源:先に形成された非晶質珪酸塩の結晶化[5,6]か高温ガスからの直接凝縮[7]か?また、既存の結晶の衝突破片の可能性は[8]?(ii)固体を構成する主要元素であるFeやSの挙動、(iii)隕石や宇宙塵(とくに彗星起源のもの)に含まれる太陽系外物質(プレソーラー粒子)[7]やその候補物質(GEMS)[9]との関連、(iv)鉱物の赤外吸収スペクトルのさらなる物理的理解、が挙げられる。

最後に、これまでおこなわれてきた研究をもとに、ダスト形成・進化の一連のプロセスについて以下のような作業仮説を提案したい。(1)晩期星星周領域における星からの質量放出、(2)高温ガスからの難揮発性鉱物(コランダムなど)の凝縮[7]とそれに引き続く球状非晶質珪酸塩粒子(中心には金属鉄ナノ粒子が存在)の凝縮[5]、(3)一部の非晶質珪酸塩の結晶化[6]、(4)星間空間への放出と宇宙線照射による結晶の非晶質化[2]、(5)分子雲への取り込みと氷の不均一核形成・凝縮と有機物の生成[3]、(6)原始惑星系円盤への取り込みと球状非晶質珪酸塩粒子の焼結(GEMSの形成)[9]、(7)中心星に近い高温領域での結晶化[6]、(8)より高温領域での珪酸塩の蒸発・再凝縮と高温生成物質のリサイクル。

引用文献:[1] Henning (2010) "Astro-mineralogy" Springer-Verlag. [2] Kemper et al. (2004) ApJ 609: 826. [3] Greenberg (1998) A&A 330: 375. [4] 茅原弘毅ら (2006) 遊星人 15: 44. [5] Koike et al. (2010) ApJ 709: 983. [6] Murata et al. (2009) ApJ 697:836. [7] Takigawa et al. (2009) MAPS, 44: A200. [8] Imai et al. (2009) A&A 507: 277. [9] Matsuno et al. (2012) JGU Meeting, abstract, this volume.

キーワード: 星周塵, 星間塵, 非晶質珪酸塩, 結晶質珪酸塩, 赤外スペクトル, 凝縮

Keywords: circumstellar dust, interstellar dust, amorphous silicate, crystalline silicates, infrared spectrum, condensation