

エポックメイキングな隕石たち(その5): Almahata Sitta隕石～落ちてきた不均質 小惑星“2008 TC₃”～

宮原 正明¹

(要旨) 地球に接近・衝突する可能性がある近地球型小惑星(Near Earth Objects: NEO)は、NASAを中心としたNEO programによりその発見、軌道予測、データベース化が進められている。このNEO programにより地球落下前に発見され落下の軌道予測に成功した例が1つだけある。それが2008年に地球に落下した小惑星“2008 TC₃”であり、その破片は後に回収され“Almahata Sitta隕石”と呼ばれている。ところで、多くの隕石は一種類の隕石種からなる。一方、Almahata Sitta隕石の場合、複数の異なる隕石種の岩片を含む(ユレイライト、普通コンドライト、エンスタイトコンドライト、炭素質コンドライト)ことが分かっている。本稿では小惑星“2008 TC₃”の発見・落下の経緯と上記のようなユニークな特徴を持つ“Almahata Sitta隕石”の研究から明らかになった小惑星“2008 TC₃”の構造と成り立ちを紹介する。

1. はじめに

2013年2月15日、ロシアにChelyabinsk隕石が落下した。落下に伴う衝撃波が地上にまで達し、多くの人が割れたガラス等で傷つき、建物にも大きな被害が出た。幸いにもChelyabinsk隕石の大部分は都市部から離れた湖や森林地帯に落下したため隕石本体の衝突による人的・物的被害は免れた。しかし、観測網に探知されることなしに20 m近い天体が地上に落下したこの事件は天体衝突が人類にとって大きな脅威であることを知らしめた。こうした地球に接近・衝突する可能性がある近地球型小惑星(Near Earth Objects: NEO)は、NASAを中心としたNEO programによりその発見、軌道予測、データベース化が進められている。このNEO programにより地球落下前に発見され落下の軌道予測に成功した例が1つだけある。それが2008年に地球に落下した小惑星“2008 TC₃”であり、その破片は後に回収され“Almahata Sitta隕石”と呼ばれている。ところで多くの隕石は一種類の隕石種からなる(例えば、Chelyabinsk隕石はLL5普通コンドライト)。一方、Almahata Sitta隕石の場合、複数の異

なる隕石種の岩片を含む(ユレイライト、普通コンドライト、エンスタイトコンドライト、炭素質コンドライト)ことが分かっている。本稿では小惑星“2008 TC₃”の発見・落下の経緯と上記のようなユニークな特徴を持つ“Almahata Sitta隕石”の研究から明らかになった小惑星“2008 TC₃”の構造と成り立ちを紹介する。

2. 小惑星“2008 TC₃”の落下とその破片の回収

NEO programにはNASAを中心として各国の様々な機関が参加している。米国のアリゾナ州にあるカタリナ天文台もその1つである。2008年10月6日、カタリナ天文台のスタッフがNEOの観測を行っていたところ、小惑星“2008 TC₃”(後に命名される)を発見した。直ぐに“2008 TC₃”の軌道計算が行われ、地球への衝突コースにあると判明した。この情報は直ぐに上位機関であるNASAへ送られ、より精度の高い軌道計算が行われた。その結果、“2008 TC₃”は10月7日2時45分にスーダン北部のヌビア砂漠に落下すると結論付けられた。“2008 TC₃”の大きさは2-5m程度と見積もられた。この乗用車程度の大きさの天体の地球への落

1. 広島大学理学研究科
miyahara@hiroshima-u.ac.jp

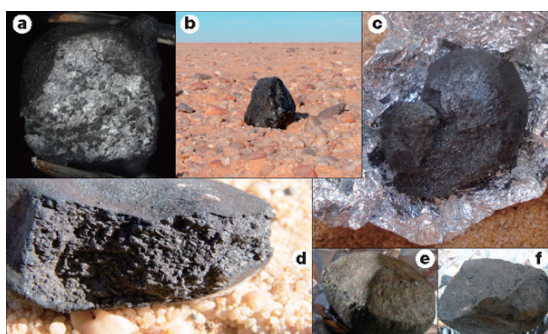


図1：ヌビア砂漠で回収されたAlmahata Sitta隕石(a～f)．[1]

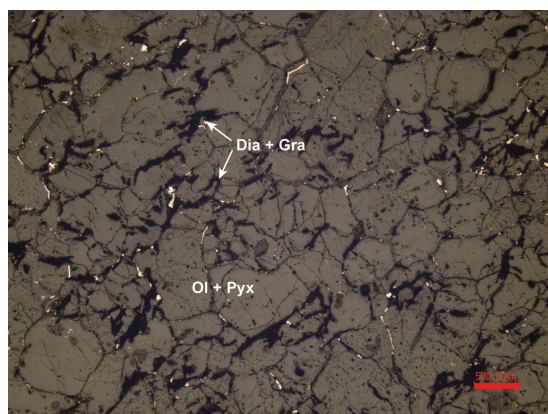


図2：粗粒ユレイライト(Almahata Sitta MS-170)の反射光学顕微鏡写真。オリビン(Ol)と輝石(Pyx)の粒子間隙をダイヤモンド(Dia)とグラファイト(Gra)が埋めている。

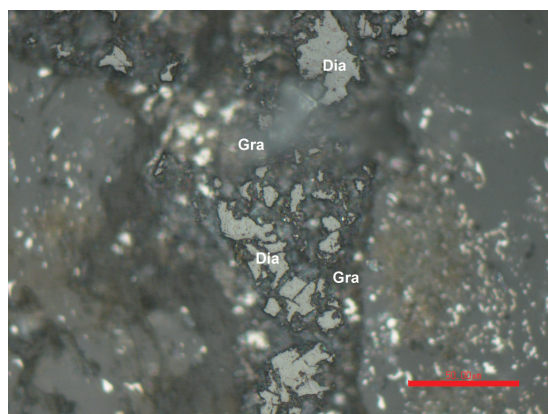


図3：粗粒ユレイライト(Almahata Sitta MS-170)に含まれるダイヤモンド(Dia)の反射光学顕微鏡写真。グラファイト(Gra)よりもダイヤモンドの方が硬いため、表面研磨した試料ではダイヤモンドの部分のみが凸状になっている。

秒にスーダン北部の大気圏に突入し、その5秒後に高度37 kmで爆発した。この爆発の瞬間は欧州の人工衛星の赤外像に捉えられた。“2008 TC₃”の落下後から、スーダンの大学とNASAを中心とした探索チームが編成され、“2008 TC₃”の破片の探索が始まった。その結果、初期の探索で多くの破片(約4 kg)が回収された(後にも回収が続けられている)(図1)。“2008 TC₃”の破片が回収された地域は砂漠であり、鉄道駅(アラビア語で Almahata Sitta = 第六鉄道駅)以外にこれといったランドマークがなかったため、Almahata Sittaがその破片(=隕石)の名前になった[1]。こうして“2008 TC₃”は人類史上初めて落下の事前予測とその破片の回収に成功した天体となった。

3. Almahata Sitta隕石

最初に述べたように Almahata Sitta隕石は様々な隕石種を含んでいる。その中で最も数が多いのはエコンドライトの一種である超苦鉄質岩(ほとんどがオリビンや輝石からなる岩石)，“ユレイライト”である。Almahata Sitta隕石中のユレイライトは異なる化学組成の碎屑岩の混合物で構成されるポリミクトユレイライトであり、個々の破片ごとにその岩石学的・鉱物学的特徴が大きく異なっている。Almahata Sitta隕石のユレイライトを肉眼で或は光学顕微鏡で観察すると空隙が目立つ。一般的なユレイライトの空隙率が9 %程度であるのに対して、Almahata Sitta隕石のユレイライトの空隙率は25 – 37 %と非常に高い[2]。Almahata Sitta隕石のユレイライトは主にオリビンと輝石で構成されるが、粗粒なオリビンと輝石粒子からなる粗粒ユレイライト、細粒な粒子からなる細粒ユレイライトに分けられている。ユレイライトの特徴の1つとして多くの炭素を含む点がある。すなわちユレイライトの母天体は炭素に富む天体であることを示唆している。Almahata Sitta隕石のユレイライトでもグラファイトやダイヤモンドがオリビンや輝石の粒子間隙を埋めるように存在している(図2)。粗粒ユレイライトの中からはこれまで発見されたものに比べてはるかに大きい数十マイクロメートルのダイヤモンドが報告されている(図3)。ユレイライト中のダイヤモンドの成因としては、ユレイライトの母天体が他の天体と衝突した際に発生した高圧力条件下でグラファイトから生成した

下情報は、米国だけでなく各国に“警報”として送られ、世界中の天文台や天文家により“2008 TC₃”の追跡が始まった。そしてNASAの計算通り、7日2時45分40

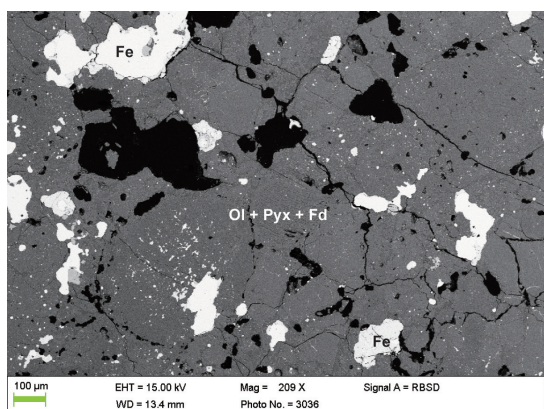


図4：H5/6タイプ普通コンドライト(Almahata Sitta MS-11)の反射電子像。主にオリビン(Ol)，輝石(Pyx)，長石(Fd)，鉄ニッケル合金(Fe)から構成される。黒い部分は空隙に相当する。

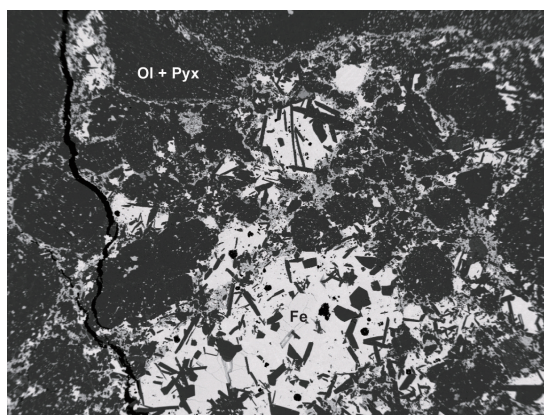


図5：EL3タイプエンスタイトコンドライト(Almahata Sitta MS-17)の反射電子像。主にオリビン(Ol)，輝石(Pyx)，鉄ニッケル合金(Fe)からなる。

とする説が現在最も有力である。しかし、Almahata Sitta隕石に含まれる数十マイクロメートルオーダーのダイヤモンド生成を衝撃変成説で説明するのは難しく、原始太陽系雲内でのガスからの直接生成(化学的気相成長)やユレイライト母天体内部での生成の可能性も議論されている[3]。なお、これまでに発見されたユレイライトはユレイライト母天体のやや深い部分(マントル)を構成していた物質と推定されているが、最近、Almahata Sitta隕石の中からユレイライト母天体の地殻を形成した火成活動に関連すると考えられる安山岩に似た隕石も発見されている[4]。

Almahata Sitta隕石の中でユレイライトについて多いのはHグループの普通コンドライト(図4)とエンス

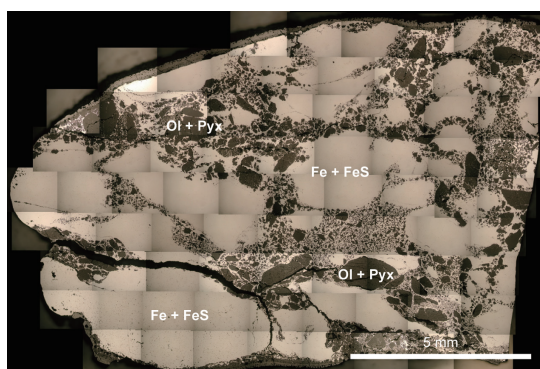


図6：Cbタイプ炭素質コンドライト(Almahata Sitta MS-181)の反射光学顕微鏡写真。主に鉄ニッケル合金(Fe)，硫化鉄(FeS)，オリビン(Ol)，輝石(Pyx)から構成される。

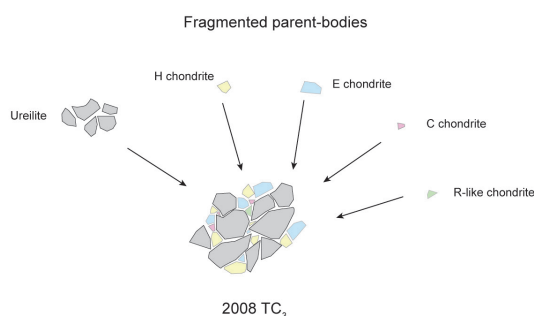


図7：小惑星“2008 TC₃”の成り立ちの概略図。

タイトコンドライト(図5)である。エンスタイトコンドライトはさらにEHとELに分けられるが、Almahata Sitta隕石にはその両方が含まれている。さらに、コンドライトは熱変成度の違いによりタイプ3～6に分けられる。Almahata Sitta隕石のEHとELはどちらも異なる熱変成度を示す岩片を含む(例えば、EL3、EL6、EH3など)。これら以外としては、炭素質コンドライト(図6)とRタイプコンドライトに類似するものも報告されている。このようにAlmahata Sitta隕石に含まれる隕石種は大変複雑で種類が多く、その全容の解明にはまだまだ時間がかかるとみられる。

4. 小惑星“2008 TC₃”の不均質な構造と成り立ち

前項で述べたようにAlmahata Sittaの隕石種は大変複雑で種類が多い。それはすなわち、“2008 TC₃”

が複数の異なる隕石種で構成されていたことを示唆している。Almahata Sitta隕石に含まれていたものは主要なものだけでもユレイライト、普通コンドライト、エンスタイトコンドライトである。それぞれの隕石種は本来固有の母天体で形成されたと考えられることから、それぞれの母天体が天体衝突で破壊され、飛散した破片が再集積して形成されたのが“2008 TC₃”であろう[5](図7)。このような複数の隕石種の岩片から構成される隕石としてはAlmahata Sitta隕石以外にはKaidun隕石が報告されているのみである[6]。惑星間空間にはアルベドと反射スペクトルが異なる様々なタイプの小惑星が無数に存在している。現在の小惑星はそれらが衝突、破壊と再集積を繰り返して形作られたと考えられる。これまでの様々な隕石やイトカワ試料の研究から、同一の起源をもつ天体同士の衝突とその破片の再集積が主要な天体の進化過程であろう。一方、Almahata Sitta隕石に含まれていた多様な隕石種岩片が示唆する不均質性は起源の異なる母天体同士の衝突が起き、その破片が再集積することによっても天体が形成されている可能性を示す。Almahata Sitta隕石はその発見と落下の経緯がドラマチックであったが、小惑星進化史の新たな側面を解き明かすエポックメイキングな隕石でもある。

- [6] Zolensky, M. and Ivanov, A., 2003, *Chemie der Erde Geochemistry* 63, 185.

謝 辞

木村真氏、野口高明氏、岡崎隆司氏からこの原稿執筆の機会を与えて頂き、粗稿を読んで頂きました。東北大学の大谷栄治氏、独バイロイト大学のAhmed El Goresy氏、スイス連邦工科大学のPhilippe Gillet氏には試料を提供して頂いた。この場を借りて皆様に感謝いたします。

参考文献

- [1] Jenniskens, P. et al., 2009, *Nature* 458, 485.
 [2] Bischoff, A. et al., 2010, *Meteoritics & Planetary Science* 45, 1638.
 [3] Miyahara, M. et al., 2013, 44th LPSC, 1425pdf.
 [4] Bischoff, A. et al., 2014, *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.* 111, 12689.
 [5] Goodrich, C. et al., 2014, *Elements* 10, 31.