

小惑星ベヌーは多様な原材料物質から形成

～NASA 探査機が持ち帰ったサンプルから明らかに～

ポイント

- ・NASA の小惑星探査機「オサイリスレックス」が持ち帰った小惑星「ベヌー」サンプルを詳細分析。
- ・「ベヌー」は多様な起源を持つ原材料物質から形成された。
- ・小惑星「リュウグウ」と同じく、「ベヌー」は太陽系の遠方領域で形成された可能性を示唆。

概要

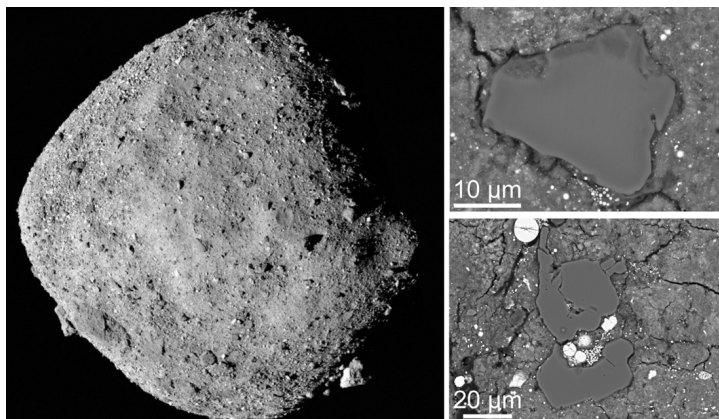
北海道大学大学院理学研究院の川崎教行准教授、馬上謙一助教及び坂本尚義教授、同大学総合イノベーション創発機構の坂本直哉准教授を含む国際共同研究グループは、米国航空宇宙局（NASA）の小惑星探査機「オサイリスレックス OSIRIS-REx」が小惑星「ベヌー」から採取したサンプルの詳細分析を行い、「ベヌー」が非常に多様な起源を持つ原材料物質から形成されたことを明らかにしました。

「オサイリスレックス」は、2023 年に「ベヌー」の表面から約 120 グラムのサンプルを地球に持ち帰ることに成功しました。「ベヌー」は、日本の宇宙航空研究開発機構の小惑星探査機「はやぶさ 2」が探査した「リュウグウ」と同じく炭素質の小惑星ですが、「ベヌー」の起源や、両小惑星の関係には不明な点が多く、実サンプルの詳細な分析が求められていました。

本研究では、「オサイリスレックス」の初期分析プロジェクトとして、「ベヌー」のサンプルの化学・鉱物・同位体分析を実施しました。そして「ベヌー」は、太陽の前世代の恒星を起源とする鉱物や、太陽の近傍の高温環境（1,000℃以上）で生成された鉱物、また太陽系の遠方領域などの低温環境で生成された氷や有機物といった、多様な原材料物質から形成されていることが明らかになりました。このことは「ベヌー」の原材料物質の生成環境の幅広さを物語っており、初期太陽系において物質の大規模な移動と混合があったことを示しています。

このような原材料物質の特徴は「リュウグウ」及び同型の隕石（イヴナ型炭素質隕石*¹）と類似したものです。「ベヌー」は、「リュウグウ」と同じく、太陽系の遠方領域で形成された可能性が示唆されます。今後のより発展的な分析により、両小惑星の起源及び進化過程の共通性と特異性が解明され、初期太陽系で惑星が生まれる様子が明らかになるものと期待されます。

なお、本研究成果は、2025 年 8 月 22 日（金）、Nature Astronomy 誌にオンライン掲載されました。



探査機「オサイリスレックス」により撮影された小惑星「ベヌー」の写真（左）と、「ベヌー」に含まれる高温環境で生成された鉱物の電子顕微鏡写真（右）。鉱物は北海道大学にて研究されたもの。

（NASA, Barnes, Nguyen et al. 2025）

【背景】

米国航空宇宙局（NASA）の小惑星探査機「オサイリスレックス」は、2023 年に小惑星「ベヌー」の表面から 121.6 グラムのサンプルを地球に持ち帰ることに成功しました。「ベヌー」は、日本の宇宙航空研究開発機構の小惑星探査機「はやぶさ 2」が探査した「リュウグウ」と同じ炭素質の小惑星です。NASA やアリゾナ大学をはじめ世界中の研究機関で行われた初期検査により、「ベヌー」は「リュウグウ」やイヴナ型炭素質隕石に類似した物質であることは分かっていましたが、「ベヌー」の起源やその原材料物質、そして「リュウグウ」との関係には不明な点が多く、より詳細な分析が求められていました。

【研究手法】

NASA やアリゾナ大学をはじめ世界中の研究者から構成される国際共同研究グループ（元素・同位体分析グループ）で協力して、「ベヌー」のサンプルの化学・鉱物・同位体分析を実施しました。北海道大学の研究グループは、特に走査電子顕微鏡によるサンプルの微細構造観察と、同位体顕微鏡（二次イオン質量分析計）による原材料物質の起源の推定を担当しました。

【研究成果】

「ベヌー」は、太陽の形成以前に寿命を終えた恒星を起源とする鉱物や、太陽の近傍の高温環境（1,000℃以上）で生成された鉱物、さらに太陽系の遠方領域などの低温環境で生成された氷や有機物といった、多様な原材料物質から形成されたことが明らかになりました。このことは「ベヌー」の原材料物質の生成環境の幅広さを物語っており、初期太陽系における物質の大規模な移動と混合があったことを示しています。これまでの研究で、「リュウグウ」も同じく、太陽以外の恒星起源の鉱物や、高温環境起源の鉱物及び低温環境起源の氷や有機物など、幅広い環境で生成された原材料物質から形成されていることが分かっていました。このように、「ベヌー」と、「リュウグウ」及び同型のイヴナ型炭素質隕石とは非常に類似した物質であることが明らかになりました。「ベヌー」は、「リュウグウ」と同じく、太陽系の遠方領域で形成された可能性が示唆されます。

【今後への期待】

今回の成果により、「ベヌー」と「リュウグウ」の共通性が見え始めてきました。今後、北海道大学のグループでは、「ベヌー」の構成物質の年代測定を実施し、その原材料物質の形成年代及び「ベヌー」の母天体の形成年代を明らかにしていきます。このような詳細な分析により、両小惑星の起源及び進化過程の共通性の解明、そして惑星形成理論のさらなる進展が期待されます。

論文情報

論文名	The variety and origin of materials accreted by Bennu's parent asteroid (ベヌーの母天体に集積した物質の多様性と起源)
著者名	J. J. Barnes ¹ , A. N. Nguyen ² , F. A. J. Abernethy ³ , 馬上謙一 ⁴ , D. V. Bekaert ⁵ , E. Bloch ¹ , G. A. Brennecke ⁶ , H. Busemann ⁷ , J. S. Cowpe ⁸ , S. A. Crowther ⁸ , M. Ek ⁷ , L. J. Fawcett ⁸ , M. A. Fehr ⁷ , I. A. Franchi ³ , E. Furi ⁵ , J. D. Gilmour ⁸ , M. M. Grady ³ , R. .C. Greenwood ³ , P. Haenecour ¹ , 川崎教行 ⁴ , P. Koefoed ⁹ , D. Krietsch ⁷ , L. Le ¹⁰ , K. M. Liszewska ⁷ , C. Maden ⁷ , J. Malley ³ , Y. Marrocchi ⁵ , B. Marty ⁵ , L. A. E. Meyer ⁷ , T. S. Peretyazhko ¹⁰ , L. Piani ⁵ , J. Render ⁶ , S. S. Russell ¹¹ , M. Rüfenacht ⁷ , 坂本直哉 ⁴ , M. Schönbächler ⁷ , Q. R. Shollenberger ⁶ , L. Smith ¹ , K. Thomas-Keprta ¹² , A. B. Verchovsky ³ , J. Villeneuve ⁵ , K. Wang ⁹ , K. C. Welten ¹³ , J. Wimpenny ⁶ , E. A. Worsham ⁶ , 坂本尚義 ^{4,14} , L. Zimmermann ⁵ , X. Zhao ³ , C. M. O'D. Alexander ¹⁵ , M. Amini ¹⁶ , A. Baczynski ¹⁷ , P. Bland ¹⁸ , L. E. Borg ⁶ , R. Burgess ⁸ , M. W. Caffee ¹⁹ , L. C. Chaves ¹ , P. L. Clay ^{8,20} , J. P. Dworkin ²¹ , D. I. Foustoukos ¹⁵ , D. P. Glavin ²¹ , V. E. Hamilton ²² , D. Hill ¹ , C. H. House ¹⁷ , G. R. Huss ²³ , T. Ireland ²⁴ , C. E. Jilly ²⁵ , F. Jourdan ¹⁸ , L. P. Keller ² , T. S. Kruijer ⁶ , V. Lai ¹⁶ , T. J. McCoy ²⁶ , K. Nagashima ²³ , K. Nishiizumi ¹³ , R. Ogliore ²⁷ , I. J. Ong ¹ , S. M. Reddy ¹⁸ , W. D. A. Rickard ²⁸ , S. Sandford ²⁹ , D. W. Saxey ²⁸ , N. Timms ¹⁸ , D. Weis ¹⁶ , Z. E. Wilbur ²⁶ , T. J. Zega ¹ , D. N. DellaGiustina ¹ , C. W. V. Wolner ¹ , H. C. Jr. Connolly ^{1,30,31} , and D. S. Lauretta ¹ . (¹ Lunar and Planetary Laboratory, University of Arizona. ² NASA Johnson Space Center. ³ The Open University. ⁴ Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Science, Hokkaido University. ⁵ Université de Lorraine, CNRS, CRPG. ⁶ Lawrence Livermore National Laboratory. ⁷ Institute of Geochemistry and Petrology, ETH Zurich. ⁸ The University of Manchester. ⁹ Washington University in St. Louis. ¹⁰ Amentum/JETS II Contract. ¹¹ Natural History Museum, London. ¹² Barrios/JETS II contract. ¹³ Space Sciences Laboratory, University of California. ¹⁴ Isotope Imaging Laboratory (IIL), Hokkaido University. ¹⁵ Earth and Planets Laboratory, Carnegie Institution for Science. ¹⁶ PCIGR, The University of British Columbia. ¹⁷ Pennsylvania State University. ¹⁸ Space Science and Technology Centre, Curtin University. ¹⁹ Purdue University. ²⁰ University of Ottawa. ²¹ NASA Goddard Space Flight Center. ²² Southwest Research Institute. ²³ University of Hawaii at Manoa. ²⁴ University of Queensland. ²⁵ Stanford University. ²⁶ Smithsonian Institution. ²⁷ Department of Physics, Washington University in St. Louis. ²⁸ John de Laeter Centre, Curtin University. ²⁹ NASA Ames Research Center. ³⁰ Rowan University. ³¹ American Museum of Natural History.)
雑誌名	Nature Astronomy (天文学・惑星科学の専門誌)
D O I	10.1038/s41550-025-02631-6
公表日	2025 年 8 月 22 日 (金) (オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院理学研究院 准教授 川崎教行（かわさきのりゆき）

T E L 011-706-3586 メール kawasaki@eis.hokudai.ac.jp

北海道大学大学院理学研究院 教授 塚本尚義（ゆりもとひさよし）

T E L 011-706-9173 メール yuri@ep.sci.hokudai.ac.jp

配信元

北海道大学社会共創部広報課（〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目）

T E L 011-706-2012 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

【用語解説】

*1 イヴナ型炭素質隕石 … 炭素質コンドライト隕石の一つ。地球に存在する数万個の隕石の中でも数個しかない希少なもので、太陽系の平均組成に近い化学組成を示す物質。