



東京大学 大学院
理学系研究科・理学部
SCHOOL OF SCIENCE, THE UNIVERSITY OF TOKYO



東邦大学

2021 年 2 月 25 日

報道関係者各位

東京工業大学
海洋研究開発機構
東京大学大学院理学系研究科
東邦大学

恐竜を絶滅させた小惑星の痕跡を衝突クレーター内に発見 ー 全球に降り注いだイリジウムを含む衝突ダストー

【要点】

- 約 6,600 万年前の巨大クレーター内から、小惑星由来の元素を高濃度で含む地層を発見
- イリジウムを多く含むダストは衝突により形成された堆積物の最上部に分布
- 大規模衝突による全球的な物質の拡散過程を理解するための重要な証拠

【概要】

東京工業大学 理学院 地球惑星科学系の石川晃准教授、海洋研究開発機構 高知コア研究所の富岡尚敬主任研究員、東京大学 大学院理学系研究科の後藤和久教授、東邦大学 理学部の山口耕生准教授は、ブリュッセル自由大学の Steven Goderis（スティーブ・ゴデリス）教授、イタリア・パドバ大学の佐藤峰南博士らとの国際共同研究により、約 6,600 万年前の白亜紀／古第三紀境界（用語 1）に形成されたメキシコのチチュルブ・クレーター内部の掘削試料を対象に、小惑星物質中に特徴的に含まれる元素（イリジウム、用語 2）の化学分析を行い、小惑星物質が衝突由来の堆積物最上部に濃集していることを明らかにした。

本研究成果は、この衝突現場と世界中から報告されている白亜紀／古第三紀境界前後に堆積した地層の時間軸を正確に揃える重要な基準となる。今後、大規模な小惑星衝突によって飛散した物質がどのように地球全体へ拡散したのかを手がかりにすることで、恐竜絶滅前後の環境変動がより詳細に復元されることが期待される。

研究成果は 2021 年 2 月 24 日付（米国東部時間）の国際学術誌「*Science Advances*」に掲載された。

●研究の背景

2016 年 4～5 月、国際深海科学掘削計画（IODP、用語 3）の第 364 次研究航海（**Expedition 364**、用語 4）により、約 6,600 万年前の白亜紀／古第三紀境界に形成されたメキシコ・ユカタン半島沖のチチュルブ・クレーター（直径約 200 km）内部のピークリング（用語 5）と呼ばれる構造上で掘削が行われた（図 1）。得られた掘削コア試料は全長約 830 m におよび、上部から小惑星衝突後の時代（古第三紀）の堆積物、衝突由来の堆積物、掘削海域の基盤岩類から構成されている。

これまで、この掘削コア試料を用いた研究により、大規模な小惑星衝突に伴うクレーターの形成プロセスや直後の環境変動、生態系の回復速度などが詳細に復元されてきた（Morgan et al. 2016; Lowery et al. 2018; Riller et al. 2018; Gulick et al. 2019 など）。しかし、衝突を引き起こした小惑星由来の物質がクレーター内部にどのように分布しているかについては、明らかになっていなかった。



図 1：チチュルブ・クレーター掘削に用いられたマートル号（The University of Texas at Austin, Jackson School of Geosciences 提供）

●研究成果

国際研究チームはチチュルブ・クレーター内部の掘削コア試料に含まれる衝突由来の堆積物（厚さ約 130 m）を対象に詳細な地球化学分析（用語 6）を行った。その結果、クレーターのピークリングを覆っている衝突由来の堆積物の最上部に、小惑星由来のイリジウムの濃度が ~ 1 ng/g に達する（上下と比べておよそ 30 倍多い）層を発見した（図 2）。

小惑星衝突地点のクレーター内部の堆積物から高濃度のイリジウムが検出されたことは、意外かつ非常に興味深い結果である。直径が数 km を超える小惑星の衝突イベントでは、小惑星物質のほとんどは衝突時の熱により気化するため、クレーター外部に放出されると考えられていた。また衝突直後のクレーター内部は、

大規模な津波・地震・衝撃波の影響などを激しく受けた環境下にあったことに加え、クレーター深部に激しい熱水活動が生じていた証拠が発見されたことから、小惑星物質そのものの痕跡は消失していると懸念されていた。

しかし研究の結果、小惑星由来のイリジウムは、クレーター内部にも非常に高濃度で保存されていることが明らかとなった。これにより、衝突地点と世界中の白亜紀／古第三紀境界層に記録されている時間軸を正確に揃えることが可能となる。また、衝突後の濁った海水から堆積した粘土層の最上部にイリジウムが濃集していることは、小惑星物質を含む噴出物が大気中に飛散され浮遊したのち、衝突イベントの数年～数十年間のうちに降り積もった可能性を示唆しており、大規模な衝突により飛散した物質の大気・海洋を含めた拡散過程を詳細に理解する上で重要な制約条件となる。

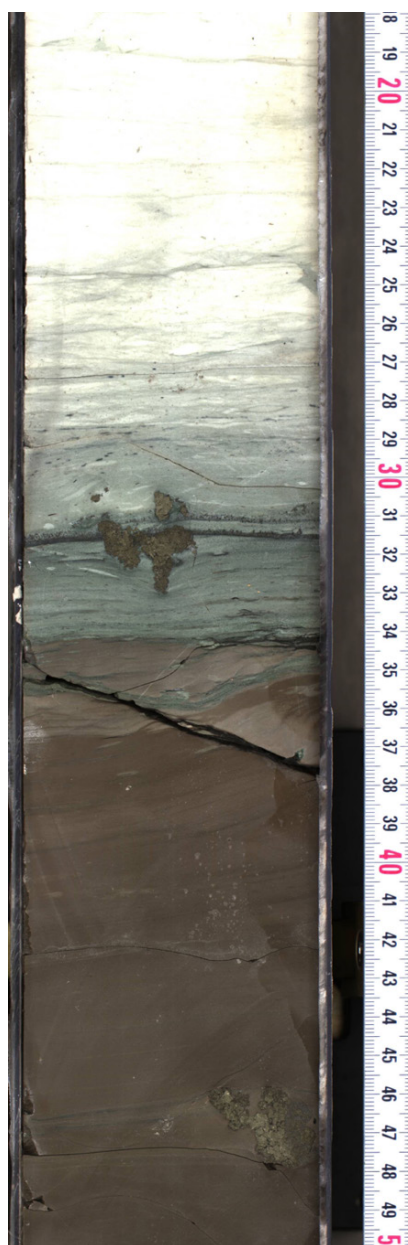


図2: 衝突由来の堆積物最上部層および上位の古第三紀石灰岩層における掘削コア試料のスキャン画像。イリジウムが高濃度で含まれているのは、暗褐色の細粒な粘土層と灰緑色の石灰岩層の境界部（Onshore science party of IODP-ICDP Expedition 364 提供）。

●研究の経緯

今から約 6,600 万年前の白亜紀末、恐竜やアンモナイトを含む多くの生物種が地球上から突然姿を消した。そして、全球規模での生物大量絶滅を理解するための最初の手がかりは、1980 年代初頭にイタリアのグッビオおよびスペインのカラバカに露出する粘土層から発見された（図 3）。隕石中に豊富に含まれる（しかし地球表層物質にはほとんど含まれない）イリジウムが高濃度で検出されたことをもとに、直径約 12 km の小惑星が白亜紀末の地球上に衝突したとする仮説が提示された。

その後、メキシコのユカタン半島沖で直径約 200 km の巨大なクレーターが物理探査により発見されたことで、「小惑星衝突による生物大量絶滅説」は確実なものとなった。それから 40 年以上が経過した現在、国際研究チームは小惑星衝突と生物大量絶滅を結びつける“最後の証拠”として、クレーター内部における小惑星成分を含む衝突ダスト層の分布を明らかにする研究を実施した。



図3：イタリアのグッビオで発見された白亜紀／古第三紀境界のイリジウム異常濃集層。ペン先の赤褐色粘土層が境界に相当。この発見により、白亜紀末の生物大量絶滅と小惑星衝突に関する研究が一気に加速した（ブリュッセル自由大学 Philippe Claeys 教授提供）。

●今後の展開

チチュルブ・クレーター内部で明瞭なイリジウム高濃度層が発見されたことにより、その下に約 130 m にわたって存在する衝突由来の堆積物の解析から、クレーターの形成過程がより高時間解像度で明らかになると考えられる。また、これまでに世界中から報告されたイリジウム高濃度層とクレーター内部の堆積層との間の層序対比（用語 7）をもとに、大規模な小惑星衝突により放出された物質の地球全体への拡散過程や、白亜紀／古第三紀境界における大気や海洋環境の変動が、より詳細に復元されることが期待される。

【用語説明】

- (1) 白亜紀／古第三紀境界：約 6,600 万年前の白亜紀（Kreide）および古第三紀（Paleogene）の境界（K/Pg 境界）を表す地質年代の用語。
- (2) イリジウム：強親鉄性元素・白金族元素の一つ。地球表層の岩石中にはほとんど含まれておらず、金属でできた地球の中心核が形成される際に深部へ取り去られた結果と考えられている。一方、白亜紀末に衝突した小惑星中には、地球表層の岩石に比べて数百～数千倍も豊富に含まれている。堆積物中に含まれるイリジウムの濃度は、地球外由来の物質が含まれている場合でも 1 g あたり 10^{-9} g (1 ng) 程度と極度に低いため、高精度の測定が非常に困難である。そのため本研究では、4 つの研究機関による異なる分析手法を組み合わせることで、堆積物中に分布するイリジウム濃度が正しく測定されていることを確認した。

- (3) 国際深海科学掘削計画（IODP: International Ocean Discovery Program）：



IODP
INTERNATIONAL OCEAN
DISCOVERY PROGRAM

2013 年 10 月から始動した多国間の国際協力プロジェクト。現在は、日本、アメリカ、カナダ、イギリス、ドイツ、フランス、オランダ、イタリア、オーストリア、スイス、スぺ

イン、ポルトガル、デンマーク、スウェーデン、ノルウェー、フィンランド、アイルランド、中国、韓国、オーストラリア、ニュージーランド、インド、ブラジルの、計 23 ヶ国が参加。日本が運航する地球深部探査船「ちきゅう」と、米国が運航する掘削船「ジョイデス・レゾリューション」を主力掘削船として、欧州が提供する特定任務掘削船を加えた複数の掘削船を用いて深海底を掘削することにより、地球環境変動、地球内部構造、地殻内生命圏等の解明を目的とした研究を行っている。

- (4) 第 364 次研究航海（Expedition 364）：2016 年 4～5 月にかけて、国際深海科学掘削計画（IODP）の一環として「チチュルブ・クレーター掘削計画」が実施された。掘削コアはドイツ・ブレーメン大学の海洋研究所に輸送され、同年 9～10 月に本格的な記載・分析・個別試料の分取が行われた。恐竜の絶滅は生命史の中でも大きな事件であり、本航海ではその原因となった小惑星衝突の現場を掘削している。小惑星衝突の跡はチチュルブ・クレーターと呼

ばれており、その大半が海底下に存在している。クレーターを掘削して、どのようにクレーターが形成されたのか、衝突が引き金となった熱水活動の履歴、どのくらいの期間で環境が回復したのかなど、この破局的な環境激変の実態解明のため研究が進められている。また研究航海では衝突起源の堆積物だけではなく基盤岩に達する試料を採取した。この研究計画には日本（4名）を含め、アメリカ、ヨーロッパ各国、オーストラリア、中国、メキシコ から計 31 名の研究者が参加している。

- (5) **ピークリング**: 衝突クレーターは、小規模なものではお椀型の形状となるが、約数十 km 以上の巨大クレーターになると、内部にピークリングと呼ばれる環状の隆起構造を持つことが知られている。チチュルブ・クレーターにはクレーター中心部から約 45 km の地点にピークリングが形成されている。
- (6) **地球化学分析**: 地球を構成する岩石、鉱物、大気、海水、生体などに含まれている元素、あるいは元素の同位体や化学種の絶対濃度・相対濃度を決定する化学分析の総称。広義では隕石や月試料などの地球外由来の物質を対象とする化学分析も含む。
- (7) **層序対比**: 地層の分布・産状・化石などを鍵層として離れた地域間における堆積物を比較し、同一時間面を決定する地質学的手法。本研究では、イリジウムを高濃度で含む堆積物が鍵層にあたる。

【論文情報】

掲載誌: *Science Advances*

論文タイトル: Globally distributed iridium layer preserved within the Chicxulub impact structure

著者: Steven Goderis, Honami Sato, Ludovic Ferrière, Birger Schmitz, David Burney, Pim Kaskes, Johan Vellekoop, Axel Wittmann, Toni Schulz, Stepan Chernonozhkin, Philippe Claeys, Sietze J. de Graaff, Thomas Déhais, Niels J. de Winter, Mikael Elfman, Jean-Guillaume Feignon, Akira Ishikawa, Christian Koeberl, Per Kristiansson, Clive R. Neal, Jeremy D. Owens, Martin Schmieder, Matthias Sinnesael, Frank Vanhaecke, Stijn J. M. Van Malderen, Timothy J. Bralower, Sean P. S. Gulick, David A. Kring, Christopher M. Lowery, Joanna V. Morgan, Jan Smit, Michael T. Whalen, IODP-ICDP Expedition 364 Scientists*

* S.P.S. Gulick, J.V. Morgan, T. Bralower, G. Carter, E. Chenot, G.L. Christeson, P. Claeys, C.S. Cockell, M.J.L. Coolen, L. Ferrière, C. Gebhardt, K. Goto, H. Jones, D.A. Kring, E. LeBer, J. Lofi, C.M. Lowery, R. Ocampo-Torres, L. Perez-Cruz, A.E. Pickersgill, M.H. Poelchau, A.S.P. Rae, C. Rasmussen, M. Rebolledo-Vieyra, U. Riller, H. Sato, D. Schmitt, J. Smit, S.M. Tikoo, N. Tomioka, J. Urrutia-Fucugauchi, M.T. Whalen, A. Wittmann, L. Xiao, K.E. Yamaguchi

DOI: 10.1126/sciadv.abe3647

【問い合わせ先】

東京工業大学 理学院 地球惑星科学系 准教授 石川 晃
(兼 海洋研究開発機構 海洋機能利用部門 海底資源センター 招聘主任研究員)

Email: akr@eps.sci.titech.ac.jp

TEL: 03-5734-3982

海洋研究開発機構 高知コア研究所 主任研究員 富岡 尚敬

Email: tomioka@jamstec.go.jp

TEL: 088-878-2210

東京大学 大学院理学系研究科 教授 後藤 和久

Email: goto50@eps.s.u-tokyo.ac.jp

TEL: 03-5841-4563

東邦大学 理学部 准教授 山口 耕生

Email: kosei@chem.sci.toho-u.ac.jp

TEL: 047-472-1210

【取材申し込み先】

東京工業大学 総務部 広報課

Email: media@jim.titech.ac.jp

TEL: 03-5734-2975 FAX: 03-5734-3661

海洋研究開発機構 海洋科学技術戦略部 広報課

Email: press@jamstec.go.jp

TEL: 045-778-5690

東京大学 大学院理学系研究科・理学部 広報室

Email: kouhou.s@gs.mail.u-tokyo.ac.jp

TEL: 03-5841-8856 FAX: 03-5841-1035

学校法人東邦大学 法人本部経営企画部

Email: press@toho-u.ac.jp

TEL: 03-5763-6583 FAX: 03-3768-0660