

イカ類は 1 億年前に既に誕生し爆発的に多様化していた

～古生物学を根本から変革するデジタル化石マイニング技術～

ポイント

- ・化石をフルカラーで無差別かつ完全な形のままデジタルに取り出す手法を発明。
- ・産業用 CT スキャンの 16 億倍以上の情報量で化石の発見確率を 1 万倍に向上。
- ・最古の記録を含む 40 種のイカ類化石を発見し、イカ類が 1 億年前に既に多様化していたことを解明。

概要

北海道大学大学院理学研究院の池上 森学術研究員、伊庭靖弘准教授、高輝度光科学研究センターの竹田裕介研究員、ルール大学のヨーク・ムッターローゼ教授は、岩石中の全ての化石を完全な形で取り出す手法を開発し、約 1 億～7,000 万年前（白亜紀後期）のイカ類化石を大量に発見・分類することで、その個体数や多様性の変動を解明しました。

イカ類は、無脊椎動物中で最も高い身体能力と爬虫類に匹敵する巨大脳をもつ、特異な進化を遂げた生物です。これにより現在のイカ類は海洋全域で繁栄し、生態系や漁業を支える中核となっています。しかし、骨や殻を持たない彼らはほとんど化石として保存されないため、いつ誕生しどのように進化してきたのかは全く知られていません。このため、過去の海洋生態系の議論においてイカ類はほぼいないものと評価されてきました。

本研究では、北海道大学伊庭研究室が開発したデジタル化石マイニング技術を用いて、これまで 1 個しか知られていなかったイカ類化石を 263 個発見しました。この発見により、大量のイカ類化石がこれまで mm スケールの微小化石として岩石中に隠れていたことが明らかになりました。これはすなわち、従来の古生物学手法の技術的限界が化石の発見を妨げ、生命進化史の解読を困難にしていたことを意味します。

研究の結果、現生種に非常に近縁なものを含む 40 種が発見され、うち 39 種が新種でした。各種の年代分布からは、イカ類が約 1 億年前の白亜紀前期/後期境界付近で誕生し、その後 700 万年の間に爆発的に多様化したことが明らかになりました。また、同じ岩石中に含まれる化石の数とサイズの比較から、イカ類が同時代のアンモナイトや魚類を超える、遊泳性生物中で最大の生物量をもっていたことが示されました。白亜紀の海は、従来の定説に反して“イカだらけの海”だったことが明らかになりました。

なお、本研究成果は、日本時間 2025 年 6 月 27 日（金）公開の Science 誌にオンライン掲載されました。また、本研究については、6 月 28 日（土）に北海道大学で開催される日本古生物学会の特別講演「Digital fossil-mining: 次世代イメージング技術による生命化石探査法の革新」にて発表されます。

【背景】

イカ類は、彼らの属する頭足類中で現在最も多様性が高く分布域が広いグループであり、開眼目・閉眼目という2グループに分けられています。彼らは器用な腕や爬虫類に匹敵する巨大脳など、無脊椎動物中で最も優れた身体能力を進化させたグループの一つです。これによりイカ類は魚類と競争する優れた捕食者となっており、同時に鯨類やサメなどの餌資源として生態系の中核的な役割を果たしています。

イカ類は、アンモナイトなどの祖先的頭足類が持っていた大型の殻を失うことで遊泳能力を向上させ、それをきっかけに優れた身体能力を進化させたと考えられています。しかし、化石化しやすい殻の喪失により、イカ類はほとんど化石がなく、その起源及び進化史はほぼ未解明のままでした。わずかに知られる化石は、4,500 万年から現在までの期間に集中しており、これまでイカ類はアンモナイトが絶滅した白亜紀末（6,600 万年前）の大量絶滅以降に多様化したと考えられてきました。近年、イカ類で唯一化石化しやすく、詳細な分類が可能な組織としてクチバシが注目されていますが、薄く複雑で壊れやすいため、従来化石に用いられてきた手法では発見・抽出が困難でした（図 1）。このため、正確にイカ類と分かるクチバシ化石はこれまでに巨大な1標本のみであり、同時に最古かつ唯一白亜紀から産出したイカ類の記録となっていました。

【研究手法】

本研究では、岩石を μm スケールの間隔で研磨し、その表面の撮影を自動で繰り返す破壊型トモグラフィ装置を開発しました。この装置は、世界一の解像度をもち、岩石をまるごと TB スケールの大規模データに変換し、その内部構造をフルカラーで可視化します（図 1、参考動画 1：<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.29336525>）。

これにより、岩石中の全ての化石を無差別かつ完全な形で抽出することが可能になりました（図 1、参考動画 2：<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.29336441>）。本手法で得られる情報量は、従来岩石内部の可視化に用いられてきた産業用 CT スキャンの 16 億倍以上であり、化石の発見確率は 10,000 倍に向上しました。本手法を、北海道の白亜紀の地層から産出した岩石に適用し、内部のクチバシ等の化石を発見・カウントしました。発見したイカ類化石は 3D モデルとして復元し（図 1）、観察・計測の結果から、その分類体系を初めて確立しました。また、現生イカ類におけるクチバシのサイズから体サイズを逆算する式を用いて、白亜紀イカ類の体サイズを推定しました。

【研究成果】

本研究では合計 1,000 個の頭足類クチバシ化石を発見し、そのうち正確な分類が可能な下クチバシから 263 個がイカ類と同定されました。これらは平均サイズがわずか 3.87 mm で、形態的特徴は μm スケールであり、これまで微小化石として隠れていたことが示されました。これらは 5 科 23 属 40 種に分類され、うち 4 科 22 属 39 種が新規に記載されたものです（図 2）。これらは全て開眼目・閉眼目のいずれかに属し、特に後者は現生種に非常に近縁です。

これらのうち最古のものは、開眼目・閉眼目の両者を含む約 1 億年前の標本群であり、それぞれのグループのこれまでの記録より 1,500 万年・5,500 万年古いものになります。これより古い地層からはイカ類は発見されず、彼らが約 1 億年前の白亜紀前期/後期境界付近で誕生したことが初めて明らかになりました（図 3）。年代ごとの種数変遷からは、イカ類がその後 600 万年の間に急速に多様化し、白亜紀末まで高い多様性を維持したことが示されました（図 3）。

また、デジタル化石マイニング技術により、アンモナイトや魚類との個体数及びサイズの正確な比

較が初めて可能になりました。この結果イカ類は、地球史上最も繁栄した生物とされるアンモナイトを上回る、白亜紀後期の遊泳性生物中で最大の生物量を持っていたことが示されました（図4）。

現在の海洋生態系は、魚類・鯨類・イカ類を中心に、遊泳能力と知性が高い生物が主要な位置にいることが特徴となっています。うち魚類・鯨類におけるこうしたグループの多様化は白亜紀末の大量絶滅以降であったことが知られています。本研究の成果は、イカ類がそれらより3,000万年以上早くから繁栄し、現在型海洋生態系の形成における先駆けとなったことを示唆しています。

【今後への期待】

化石は、長時間軸上での生命進化を示す唯一の直接的な証拠ですが、標本の発見はこれまで偶然と職人的な経験に頼るのみでした。これが、生命の進化史の理解を妨げる最大の要因でした。しかし、デジタル化石マイニングの開発により、イカ類のように見過ごされてきた未知の生命化石が、地層中に大量に隠されていたことが明らかになりました。また、本手法は化石の発見から分析・収蔵までを全てサイバー空間で行う初めての例であり、古生物学の方法論を根本から変えるものです。

デジタルな化石標本はオンラインで公開され、だれでも簡単にアクセスし利用することが可能です。デジタル化石マイニングにより、今後世界中で多様な未知の生命化石が大量に発見されることが予想できます。これは、過去の生命進化や生物多様性への理解の飛躍的な加速につながり、古生物学を新時代に突入させることが期待されます。

【謝辞】

本研究における可視化技術において、武井将志氏、楠崎真央氏、佐々木隆太氏、中村晃輔氏、女池竜二氏（北海道大学グローバルファシリティーセンター）、富樫 綾氏、遠藤礼暁氏（北海道大学電子科学研究所）に多大なご協力をいただきました。また、本研究では日本学術振興会（JSPS）科研費JP19H02010、JP22J13936、JP23H02544、JP23K17274、2019年度キャノン財団研究助成プログラム、JAXA 宇宙探査イノベーションハブ JX-PSPC-540452 の助成を受けました。

論文情報

論文名	Origin and radiation of squids revealed by digital fossil-mining（デジタル化石マイニングが解明したイカ類の起源と放散）
著者名	池上 森 ¹ 、竹田裕介 ² 、Jörg Mutterlose ³ 、伊庭靖弘 ¹ （ ¹ 北海道大学大学院理学研究院、 ² 高輝度光科学研究センター、 ³ ルール大学）
雑誌名	Science
DOI	10.1126/science.adu6248
公表日	2025年6月27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 伊庭靖弘（いばやすひろ）

T E L 011-706-3538 メール iba[at]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 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

高輝度光科学研究センター利用推進部普及情報課（〒679-5198 佐用郡佐用町光都1丁目1-1）

T E L 0791-58-2785 F A X 0791-58-2786 メール kouhou@spring8.or.jp

【参考図】



図 1. 化石のデジタルマイニング。本研究で発見したイカ類クチバシ化石は、多量の化石を含む岩石 (A) 中に埋没している。先行研究で 100 年以上にわたって用いられてきた、物理的破壊や化学的溶解などの手法では、それらは抽出不可能だった (B)。デジタルマイニングでは (C)、まず破壊型トモグラフィにより岩石をまるごとデジタル化し、内部をフルカラー・高解像度で可視化する。その中から発見された化石は、全てデジタル 3D モデルとして、完全な形を保ったまま岩石から分離される。



図 2. デジタル 3D モデルとして原色で可視化された白亜紀イカ類のクチバシ化石。全て新属新種であり、科レベルでも閉眼目の 1 科を除き全て新科。全長わずか数 mm で μm スケールの形態的特徴を持つ微化石であるため、デジタル空間以外では発見・観察がほぼ不可能である。
スケールバー：1 mm。

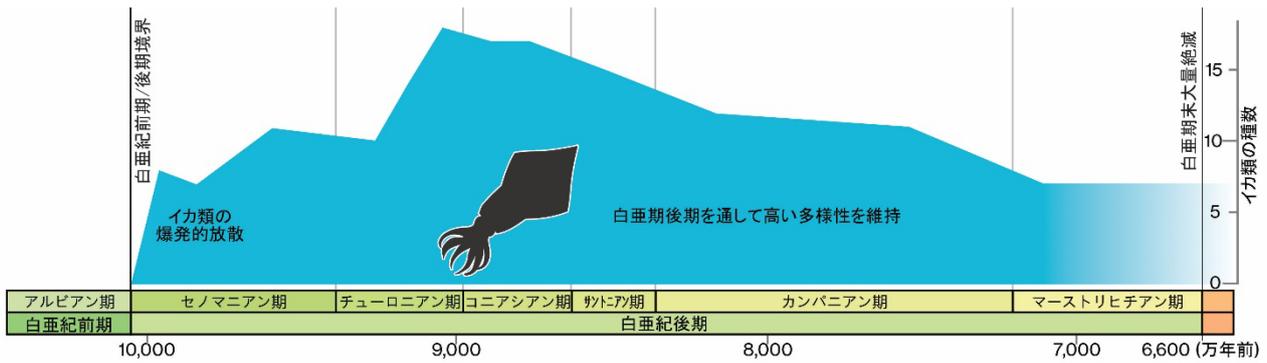


図 3. 本研究で発見された全種の時代的な分布に基づく初期イカ類の多様性変動。イカ類は白亜紀前期/後期境界付近で誕生、爆発的に多様化し、白亜紀末まで高い多様性を維持していた。

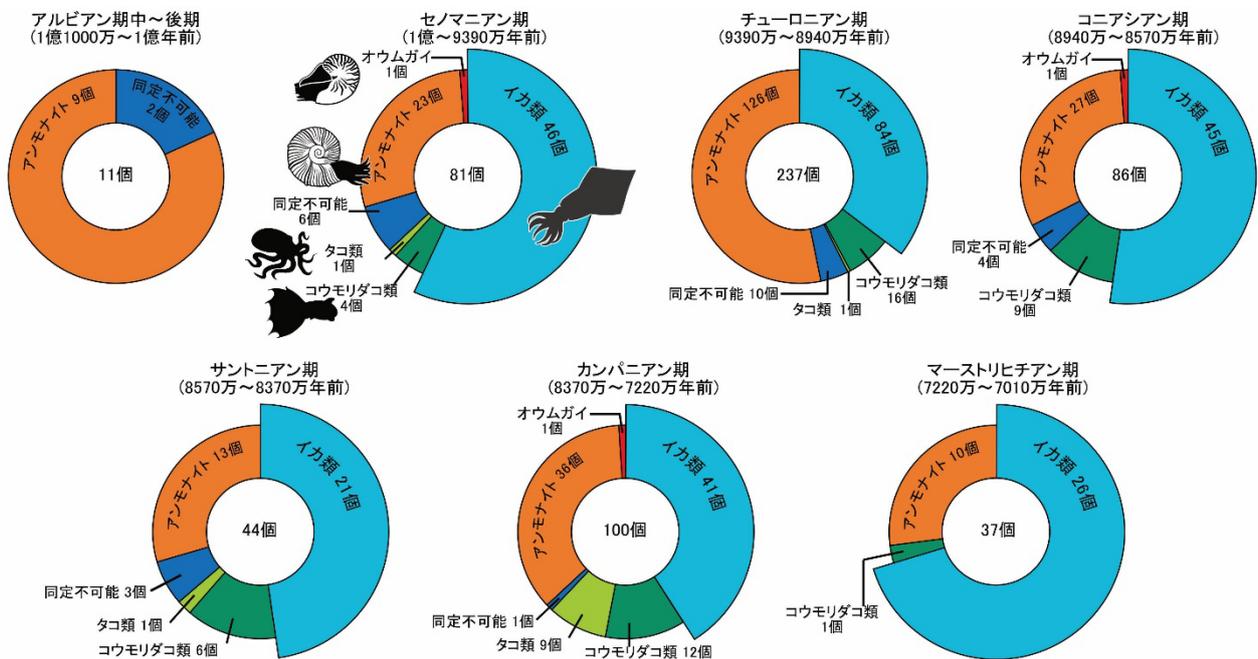


図 4. 地質時代ごとの頭足類クチバシ化石の個数比。イカ類は最も個体数が多く、白亜紀の海洋がこれまで想定されていたアンモナイトの海ではなく、イカの海だったことが明らかになった。これは同時に、化石に基づく従来の古生物学研究に、甚大なサンプリングバイアスがかかっていることを示している。