

2025年9月校長メッセージ「恐竜の死体が化石化するプロセス」

恐竜を好きな子供は多く、「うちの子はカタカナを恐竜の名前で覚えました」という話を、保護者の方から聞くことがあります。そうした恐竜人気にあやかっただけでなく、今年の夏休みも「ジュラシックパーク」シリーズの映画の公開や、全国のいろんな場所で「恐竜展」が開催されました。大阪で開催された「巨大恐竜展 2025」では、大英自然史博物館から来日した竜脚類「パタゴティタン・マヨルム」の全長 37m の全身復元骨格標本が展示されたということです。これらの「恐竜展」では、全身復元骨格や最新のアニマトロニクスの技術によって復元した恐竜のロボットを展示し、恐竜がいかに巨大であったかをリアルに体験できるように工夫され、まるで生きているような動きをする恐竜のロボットに驚きます。調べてみると、こうしたアニマトロニクスの恐竜を製作する会社は現在いくつもあり、「恐竜展」に見に行かなくても、資金さえあれば Amazon で購入することができるようになっていきます。

ところで、恐竜の研究はどのように行われるのでしょうか。そもそも恐竜の研究が始まったのは、19世紀初頭にイギリスでイグアノドン[†]の歯が発見されたことによるといえるのは、恐竜マニアの子供たちにとって常識であるように思います。恐竜の研究が化石によって行われるのも、イグアノドン[†]の歯の発見以来現在に至るほとんど唯一の方法でしょう。発掘した恐竜の化石を科学的なさまざまな方法で分析するとともに、化石そのものだけでなく、化石が発見された地層の研究や観察、分析などによって恐竜は多面的に研究は行われるようになっていきます。そして、こうした研究によって、恐竜がどんな生き物で、どんな生態をもち、どんな環境の中で生活していたのかや、現在の地球に生存している生き物との関わりなど、少しずつ謎を解き明かされてきています。

では、恐竜の化石はどうやってできるのでしょうか。

インターネットで検索すると、福井県の恐竜博物館をはじめとして、子供が理解しやすいように、恐竜の化石の作り方がとても分かりやすく掲載しているホームページがあります。こうした子供向けの化石の作り方の説明は、死んだ恐竜の上に地層が積み重なって年月が経ち、恐竜の骨は化石に変化する、地殻変動によって化石を含む地層が露出して化石が発見されるといった内容です。この説明を読むと、化石はとても簡単にできるように感じます。本当に化石はこんなに簡単にできるのか疑問に思っただけでなく、調べてみると、恐竜の骨の化石化のプロセスは単純ではないことが分かってきます。

インターネットでの検索と AI を使って恐竜の化石の作り方を調べ、以下のようにまとめました。

・恐竜が死んだ後、その死体が腐敗や分解される前に、速やかに土砂や泥の中に埋没することが、化石化の第一条件となる。埋没が早いほど、死体が他の生物に食べられたり、風化によって破壊されたりするのを防ぐことができる。また、湖や川の底、火山の噴火による火山灰など、酸素が少なく、水流が穏やかな環境が、死体の保存に適

している。

- ・埋没後、筋肉、皮膚、内臓などの軟組織は細菌などによって分解され、最終的に、分解されにくい骨が残る。

- ・恐竜の骨は、主にヒドロキシアパタイトというリン酸カルシウムの結晶で構成されていて、この結晶は、コラーゲンなどの有機物と複雑に絡み合い、緻密な構造を形成している。また、骨には、血管や神経が通っていた微細な穴（管）が多数存在し、これらの穴が化石化の際の地下水や、地下水に溶け込んでいるイオンの「通り道」となる。

- ・骨が埋没している地層に地下水が流れている場合、周囲の岩石から溶け出したさまざまなイオン（カルシウムイオン Ca^{2+} 、リン酸イオン PO_4^{3-} など）が溶け込んでいて、この地下水がリン酸カルシウムで飽和している、あるいは過飽和に近い状態であることが重要である。

- ・地下水中のリン酸カルシウムの濃度が高い状態だと、骨を構成するヒドロキシアパタイトがごくわずかに溶解し始める。しかし、地下水は既にリン酸カルシウムで飽和しているため、溶解したリン酸カルシウムはすぐに再沈殿する。このとき、元の骨の結晶構造を「鋳型」として、地下水中のリン酸カルシウムが沈殿し、新たな結晶を形成する。

- ・骨の構造を支えていたコラーゲンなどの有機物が分解されてできた「空洞」に、リン酸カルシウムの結晶が沈殿する。

- ・この「ごくわずかに溶けては、すぐに沈殿する」というプロセスが、何百万年、何千万年という気の遠くなるような時間をかけて、骨の内部で繰り返される。これにより、骨の元の有機物があつた部分も、最終的にはリン酸カルシウムで満たされ置き換わる。

- ・この溶解と沈殿の繰り返しを置換作用（ペトリファクション）と呼び、置換作用が進むにつれて、元の骨の結晶構造は徐々に置き換わり、より安定した大きなリン酸カルシウムの結晶へと成長していく。また、長い年月をかけて、骨の上にさらに土砂が堆積し、大きな圧力がかかる。

- ・置換作用はゆっくりと、分子レベルで進むため、元の骨の微細な構造や組織がそのまま維持される。すなわち、溶解と再沈殿が同時に、そして非常にゆっくりと進行するため、骨の元の形が崩れることなく、新しいリン酸カルシウムがその形を「コピー」するように置き換わっていく。

- ・地下水中のリン酸カルシウムの濃度が極端に低い場合や、逆に非常に高過ぎる場合には、この繊細なプロセスがうまくいかず、骨がただ溶解してしまったり、無秩序に結晶が沈殿してしまったりして化石化が進行しない。

・骨のリン酸カルシウムの置換作用は、単なる入れ替えではなく、地下水中のリン酸カルシウムの絶妙な飽和状態と、溶解と再沈殿という化学反応が何百万年、何千万年という時間をかけて繰り返されることによって実現される、極めて精密なプロセスである。このプロセスによって、恐竜が生きていたときの骨の細胞レベルの構造までもが、石となって現代に伝えられる。

こうして化石化のプロセスをまとめてみれば、恐竜の死体が化石に変化することがきわめて稀であることが分かります。そして、恐竜の化石を含む地層が隆起や風化によって露頭していなければ私たちは化石を発見することもできません。化石を手掛かりに恐竜の生態や恐竜の生きた時代の生物環境を研究することがきわめて困難であることが想像されます。

さて、両国では中学3年生が毎年夏に、アメリカ・ユタ州に海外語学研修に行っています。今年は私も引率責任者として同行しました。アメリカ・ユタ州は化石が多く出る地域で、ユタ州都のソルトレイクシティにはユタ自然科学博物館があり、恐竜の骨格標本やマンモスの骨格標本があります。両国はソルトレイクシティから車で1時間ほどのところにあるブリハムヤング大学 (BYU) と連携・交流をしていて、中学3年生は構内で大学生から英語のレッスンを受け、活動の支援を受けるなど大変お世話になっています。このBYUには古生物学博物館 (Brigham Young University Museum of Paleontology) があり、今回生徒と一緒に私も見学をさせていただきました。館内には獣脚類に属するジュラ紀の肉食恐竜の骨格標本が展示され、とても印象深く見学することができました。また、生徒たちは作業室と資料保管庫にも案内していただき、化石を標本化する作業の様子や、資料保管庫に化石がいろいろなケースに分類されて保管されているところも、見せてもらうことができました。私は、博物館内で両国の生徒以外の訪問者に、標本の説明をしていた博物館の責任者と思われる方に、自分が東京から来た中学校の校長で、今日博物館見学では展示の見学だけでなく、資料保管庫も見せてもらってとてもありがたかったと御礼を言うと、その方は (館長のRodney Scheetz 博士) は、それなら2、3分でよいかからもう一度資料保管庫を見ていきなさいと言って、館長用の研究ディスクに案内してくれ、研究中のラプトルの化石を数点と、マンモスの皮膚と毛の化石を見せて、触らせてくれました。そして君にこれをあげようと言って、恐竜の化石を一つくれました。とてもありがたくすばらしい経験をすることができました。

化石化の話に戻りますが、恐竜の死体の化石化はリン酸カルシウムで起きますが、それ以外の生物での置換作用による化石化は、リン酸カルシウム以外の化学物質でも起きます。二酸化ケイ素 (シリカ) による置換 (珪化) や木材が炭酸カルシウムに置き換わって化石になることや、硫化鉄 (黄鉄鉱) によって、アンモナイトや三葉虫、魚類などが化石化することがあります。黄鉄鉱は金色に輝くため、「黄鉄鉱化したアンモナイト」は、非常に美しく、コレクターに人気があります。

また、地層の堆積による圧力や地熱の影響によって、化石を構成する物質が変化することもあり、物理的な変形だけでなく、鉱物組成の再結晶化や化学的な変質といった変化が起きることもあります。したがって、化石は、単に生物の遺骸が石になっただけのものではなく、何千万年、何億年もの間に、地質学的環境の様々な影響を受けながら変化し続けてきた「地質学の歴史の記録」でもあると考える専門家も多く、地質環境や地殻変動の歴史を知る手がかりとされています。

土の変化と生命の誕生、そしてその後の生物の生態との関連を分かりやすくまとめた本が去年の暮れに出版されています。「土と生命の46億年史（藤井一至著）講談社ブルーバックス」という本で、この本によれば、3億年前の石炭紀に起きた昆虫の巨大化や、2億5千万年前のベルム紀末の大量絶滅、2億年前ごろからのジュラ紀の恐竜の巨大化などの古代の生物のできごとと、空気中や海中の酸素濃度、二酸化炭素濃度とは深い関係があり、さらにこのことと土壌の変化とが深く関係していると述べています。恐竜の絶滅が隕石の衝突によるものであるとしながらも、塵が舞い上がって太陽光が遮られることによって気温が低下した、といったような単純な現象が恐竜の絶滅につながったのではなく、白亜紀末の海中のサンゴの石灰化や、海中の植物プランクトン（シアノバクテリア）の大量死と化石化によって石油となっていった現象によって、二酸化炭素の地中への固定化が進行し、陸上では土壌の酸性化、被子植物とこの増加による二酸化炭素の消費の増加からも、地球の寒冷化が急激に進んでいったとしています。とても興味深い内容です。

恐竜展や「ジュラシックパーク」などの映画により、私たちはリアルな恐竜を体験することができるようになりました。けれども恐竜の研究のベースとなるのは、地道な化石の掘り出しのその分析で行っていることに変わりはありません。そして、その化石は奇跡に近いプロセスを経て現在私たちが目にしていくことをもっと知っておいてよい、なぜなら、多くの子供たちが恐竜の化石は死体の上に塵や土が積もれば、でき上るものと思込んでいるからです。化石燃料と呼ばれる石炭や石油と同様に、化石もその形成過程、化学反応が完全に解明されているのでしょうか。けっしてそうではなく、研究して解明していく必要がある点も多くあります。恐竜の化石化の科学は、多くの人たちが知った気になっている分野であるように思います。

リンク

[2025年8月校長メッセージ 「グラフを発明したのは誰か」](#)

[2025年7月校長メッセージ 「早朝の両国にいるオナガは一体どこから来るのか」](#)

[2025年6月校長メッセージ 「現代社会における覇道と王道」](#)

[2025年5月校長メッセージ 「おいしいラッシーの作り方」](#)

[2025年4月校長メッセージ 「『NEXUS 情報の人類史』を読んで考えたこと」](#)