

## 宇宙時間軸

**Rosa M. Ros, Beatriz García, Ricardo Moreno, Pilar Orozco, Juan Antonio Prieto, Ivo Jokin**

International Astronomical Union, Politechnical University of Catalonia, Spain, ITeDA and National Technological University, Argentina, Colegio Retamar, Spain, Diverciencia, Spain, Municipal Center for Extracurricular Activities, Dolna Mitropolia Municipality, Bulgaria.

### 概要

宇宙の歴史は138億年に及びます。その期間に、宇宙は記録的な速さでエネルギーを原始元素の原子に変換しました。原子は星を形成し、これらが物質を変換して周期表を構成する約100の元素を生成しました。化学元素は組織化されていましたが、後に地球上で私たちが知っているさまざまな形態の生命につながるプレバイオティクス材料を入手するには、プロセスは長く複雑でした。生命はそれを生み出し、進化することを可能にした一連の要因の結果であると言えます。宇宙の歴史を通して生命の出現の基本的なマイルストーンであった瞬間を知り、天文学者が地球の外でさえ考案、構築、設置したツールにアプローチし、それが検出された宇宙の唯一の場所を超えた生命の存在の可能性を研究するために、そして、生命がどのように、いつ、どこで始まったのかを説明しようとする理論を発見してください。

### 目標

- タイムラインで宇宙の歴史を可視化
- 生命の形成に到達するために必要なプロセスの重要性を理解する
- さまざまな条件への生活の適応を理解する

### 宇宙論的紹介

宇宙は自然から隔離された唯一のシステムです:それは媒体であるため、エネルギーも物質も環境と交換しません。

宇宙はエネルギーの放出の結果として138億年前に生じたと推定されています。宇宙の誕生と進化のプロセス、およびその最終目的地の可能なシナリオは、宇宙進化ワークショップで取り上げられました。

宇宙全体の研究を超えて、宇宙の年齢が何を意味するのかを垣間見ることができるスケールモデルに関連する提案を拡張することは興味深いです。同時に、人類の基本的な概念、つまり生命の概念、宇宙の特徴またはユニークな特性の1つ。

生命の起源とその帰結、知的生命の存在の問題は、エクソと宇宙生物学の主な焦点です。それは、それが地球上でどのように起こったのか、そしてそれが他の場所でどのように起こり得るのかを理解することを目的として、科学的な観点から研究することができる珍しい出来事です。

生命の探求は天文学と天体物理学の共通の目標であり、したがって、主題を宇宙論的スケールに置くことで、宇宙の起源と最も原始的な生命体の出現を隔てる長い時間間隔を理解することができます。

生命の探求のために、私たちは宇宙生物学と宇宙化学の仕事の基礎となるいくつかのツールを持っています。

星間ガスと塵の雲の重力崩壊からの星の形成と誕生の過程で、惑星系はその雲からの物質の残骸で形成することができます。

スペクトルを研究することによって考慮される星の組成を知ることができるのと同じように、太陽系の場合は惑星大気存在と化学組成、太陽系外惑星系または太陽系外系の場合は太陽系外惑星の存在と化学組成を知ることができます。各化学元素、各分子は、特定の固有のスペクトルを持っています。

惑星または太陽系外惑星に大気があり、星のスペクトルがわかっている場合、その星からの光が太陽系外惑星の大気を通過すると、その大気中の化学元素によって部分的に吸収されます。このようにして、あらゆる雰囲気化学組成を決定することができます。

この例は、ジェームズウェブ望遠鏡の最近の発見であり、さまざまな系外惑星系を作るものです。

例:生命の探求にどのようにアプローチすることが可能であるかの、次のようになります。ウェブ望遠鏡の観測のおかげで作られた太陽系外惑星 WASP39b の詳細なモデリングでは、大気中の  $\text{SO}_2$  が光化学によって生成されることを明らかにしました。光合成とビタミン D の生産で人間の生物の基本。

私たちが提案するタイムラインの瞬間ゼロから、すべてのエネルギーであったものが原子に変換されるまで、わずか約 100 秒が経過しました。生命の出現のためには、銀河が最初に発生し、次に星が発生しなければならず、これらは化学元素を変換し、銀河間および星間環境を豊かにし、無秩序な分子が複雑な構造を形成するように順序付けられるように条件が与えられなければなりませんでした自分自身を複製し、最終的に生命に道を譲ることができます。

次のセクションでは、奇跡的ではなく、宇宙の進化の結果であるこの長いプロセスを見ていきます。

## アクティビティ 1:タイムライン

それは、宇宙の歴史のタイムラインをテープで視覚化することです。測定単位として 10 億年に等しい 1メートルを使用します( $1\text{m} = 10^9$ 年、つまり  $10\text{cm} = 10^6$ 年)。

科学が進歩し、より正確な機器が利用可能になるにつれて、時間や距離など、宇宙の歴史にとって重要な大きさの決定は、宇宙で最も重要なイベントが発生する期間に特定の変化をもたらす可能性があります。私たちが宇宙について知っていることは統計的であり、より多くのより良い観測は私たちにすべての結果を見直すことを強いることができることを忘れないでください。

ビッグバンであるバンは、138 億年前( $13.8 \times 10^9$ 年) に起こり、その後、 $10^{-45}$  秒の短い期間、アインシュタインの相対性理論を適用することさえできないため、何が起こったのかを説明することはあまりよく知られていません、これはいわゆるプランク時代です。



図 1:長さ 13.8m のテープでのタイムラインの簡単なプレゼンテーション。いくつかのオブジェクトは、値の関係と比較を容易にし、スケールを固定することを可能にする一緒に縫い合わされています。

ビッグバンの  $10^{-35}$  の後、インフレーションが始まり、それは宇宙の指数関数的な膨張に反応します。ビッグバンが始まりのマイクロ秒 ( $10^{-6}$ 秒) 後に、原始スープ(さまざまな素粒子からなる)の形成が始まります。

ビッグバンの 3 分後、“H” の原始元素合成が開始されます。この最初の部分はすべて、100 万年に相当する 1 ミリメートルを考慮しているため、タイムラインで実際に表すことはできません。このため、タイムラインには表示されませんが、個別に表示されます。

1 億年後(10 cm 後)、つまり 137 億年前、最初の原始要素が形成されました。さらに 1 億年後、またはさらに 10 cm 後、 $13.6 \cdot 10^9$  年前に最初の分子が形成され、これらの中で最初の水分子が形成されました。

およそ、この時間の経過でも、136 億年前に最初の星が形成され、その後、131 億年前に最初の銀河が形成されました。1 億年後、原始的な天の川が形成されました ( $13.0 \cdot 10^9$  年)(図 1)。

約 84 億年 (8.4 メートル: 私たちの規模では、 $10^9$  年は 1 メートルに相当します) の間、一連の同時現象が起こります。最初の星は進化し、さまざまな種類の原子を放出するさまざまな爆発を引き起こし、周期表の原始元素の多様性が現れます。同時に、新しい星が形成され続け、それも進化し、進化のさまざまな段階でさまざまな種類の物体が発生します。



図 2:46 億年前、太陽が形成され、それとともに太陽系のさまざまな天体、特に地球と岩石惑星が 45 億 6000 万年前に形成されました。約 2000 万年後、地球の磁場が出現し、それは私たちが知っているように生命にとって危険な様々な放射線に対する保護として機能します。

前述の 840 万年、つまり  $4.6 \cdot 10^9$  年後、私たちの太陽の形成と最初のアルコールの形成が起こります。OH 基は、DNA の構成を達成するために重要となる多くの分子の形成に現れるため、後で必要になります。

約 3cm 後の 45 億 7000 万年前に太陽系が誕生し、4mm 後、45 億 6600 万年前にガス惑星が形成され、6mm 後の 45 億 6000 万年前に地球と他の岩石惑星が形成されました(図 2)。

約 2cm 後、地球の磁場は、この 45 億 4000 万年前から出現し、これは地球上の生命に有害なさまざまな種類の放射線に対する保護を表しています。

その後、6 cm で月の形成が始まり、約 44 億 8000 万年前に始まり、私たちの惑星系内の地球 - 月系を構成しました。

わずか 3cm 後、44 億 5000 万年前、原始地球の大気が構成されています。

4.1  $10^9$  年前、これは 45 cm の後、後期激しい爆撃が行われ、太陽系の体、そして地球と月に影響を与えました。

40 億年前(4.0  $10^9$  年)、つまり 10 cm 後、最初の前核細胞が(核なしで)出現し、DNA 分子が現れます。

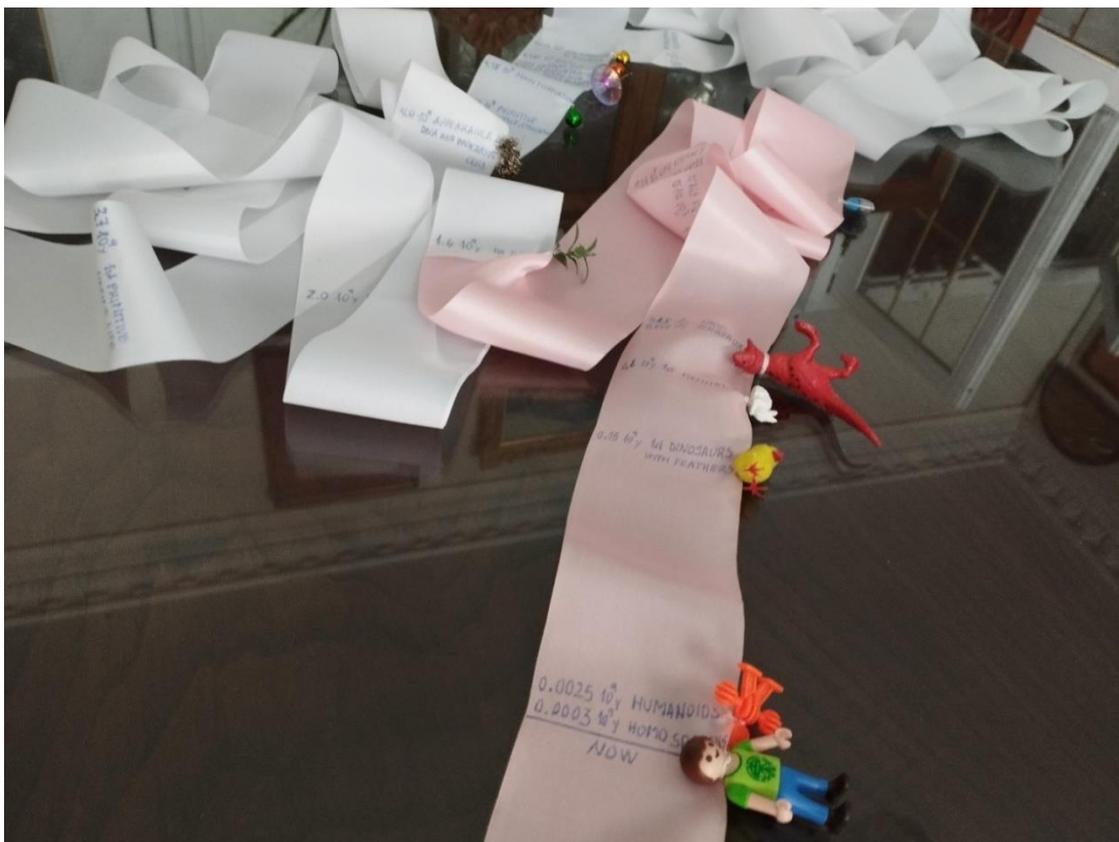


図 3:線は、最初から最初の緑の植物の出現まで空白です。この時点から現在までピンクで。

2メートル後、これは 20 億年前であり、酸素  $O_2$  を呼吸する生命が始まります。

40 cm 後、1.6  $10^9$  年前、私たちの惑星に緑の植物の出現が始まります、すなわち、クロロフィル機能が働きます(図 3)。

90 cm または 9000 万年を超えて、つまり 7 億年前( $0.7 \cdot 10^9$  年)に、最初の特異な組織や臓器が現れ始めます。

18 cm 後、 $0.52 \cdot 10^9$  年間、私たち全員によく知られている化石である三葉虫のものが現れます。

500 万年後、つまり 5 cm 後、4 億 7000 万年の間、水から陸域への動物の最初の出口が起こります。

わずか 7cm、4 億年前の後、アンモナイト(既知の化石)が現れます。

3 mm 後、3 億 9700 万年前、最初の脊椎動物が地球に出現しました。

約 2 億 5000 万年前の 14.7 cm を動かすと、ノーチリが出現し、地球上でまだ見られる動物です。

わずか 500 万年後、これは 5 mm 後、2 億 4500 万年前に最初の恐竜が出現します。

2 億年前の 4.5 cm 後、これらの最初の哺乳類が出現し、最初は小さかったが、後に大きな哺乳類が出現する。

5 cm 後、この 1 億 5000 万年前から、最初の羽毛恐竜、私たちの鳥の祖先が現れます。実際、進化が最も遅く、古代の翼のある恐竜に最も近いものの 1 つは、ペンにいる単純な鶏です(図 3)。

14.75 cm を超えて、つまり 1475 万年後、 $0.0025 \cdot 10^9$  年前 = 250 万年 = 250 万年後に、最初のヒューマノイドが出現します。

わずか 2.2 mm、つまりわずか  $0.0003 \cdot 10^9$  年前 =  $0.3 \cdot 10^6$  年 = 300 000 年後、ホモサピエンスが現れます。

## 人食い銀河

銀河は、重力によって結合された星のグループであり、それ自体で回転します。さまざまな銀河群がフィラメントを形成し、そこで新しい銀河形成の活動が非常に活発になります。

すべての銀河団は、それらが出会い、衝突する大きな宇宙バレーに含まれており、小さな銀河よりも大きな銀河の共食いにより、若い銀河は新しい星の形成を促進するために残っている自由ガスを獲得するために競争します(図 4)。

これは、星形成の最も豊かな領域が大きな衝突の領域に対応する方法であり、大きな勝者は常に大きな銀河です。この活動はすべて宇宙の糸状領域で行われ、大きな空間には物質がなくなります(図 5)。

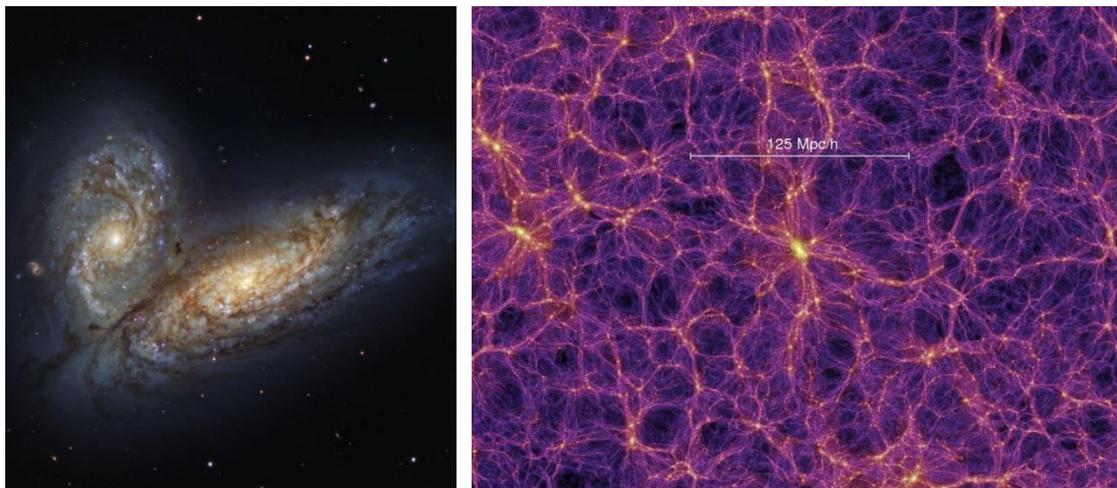


図 4:人食い銀河の衝突(クレジット:ESO)。図 5:宇宙のフィラメント構造のモデリング(クレジット:Springel ら)

## アクティビティ 2: 糸状モデル

宇宙のフィラメント構造は、洗剤を入れた水を入れることができるトレイまたは皿でシミュレートできます。ソフトドリンクを飲むためにストローをいくつか導入すると、逆に行動し、それらに空気を吹き込み、非常に短時間でかなりの数の泡を得ることができます。

大きなシャボン玉のあるモデルに見られるように、石鹼液のほとんどは泡間の交点の領域に配置され、多かれ少なかれ糸状の外観の領域を生じさせる。

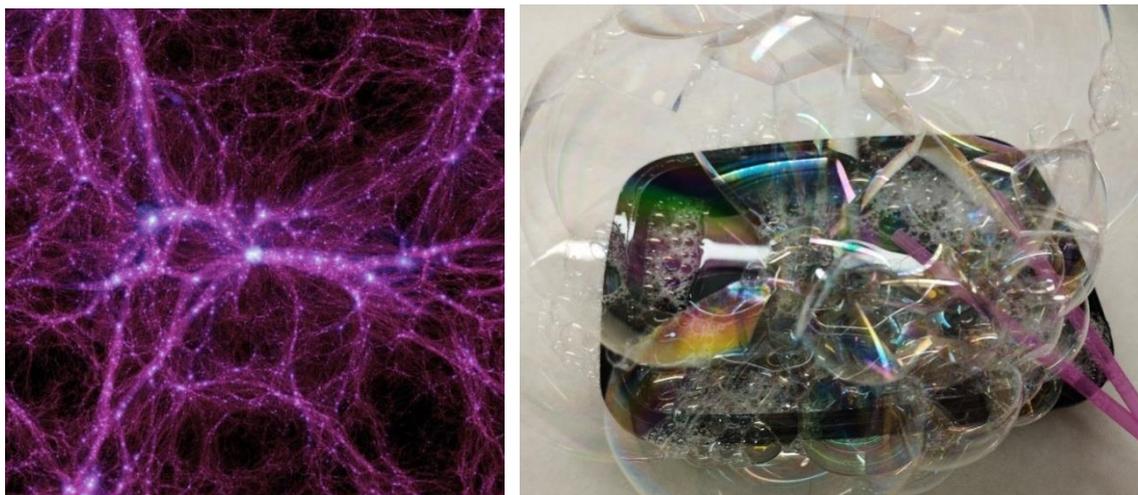


図 6:宇宙のフィラメント構造のモデリング(クレジット:イラストリスプロジェクト)。図 7:水と洗剤を使用したフィラメントの前述の構造のモデリング。

## 銀河の分類

渦巻き銀河、棒銀河、楕円銀河、球銀河、不規則銀河があり、これらは通常、よく知られているハッブル系列の形態に従って分類されます。上記のように、この分類はその形式にのみ対応し、同じものの進化には対応していません。

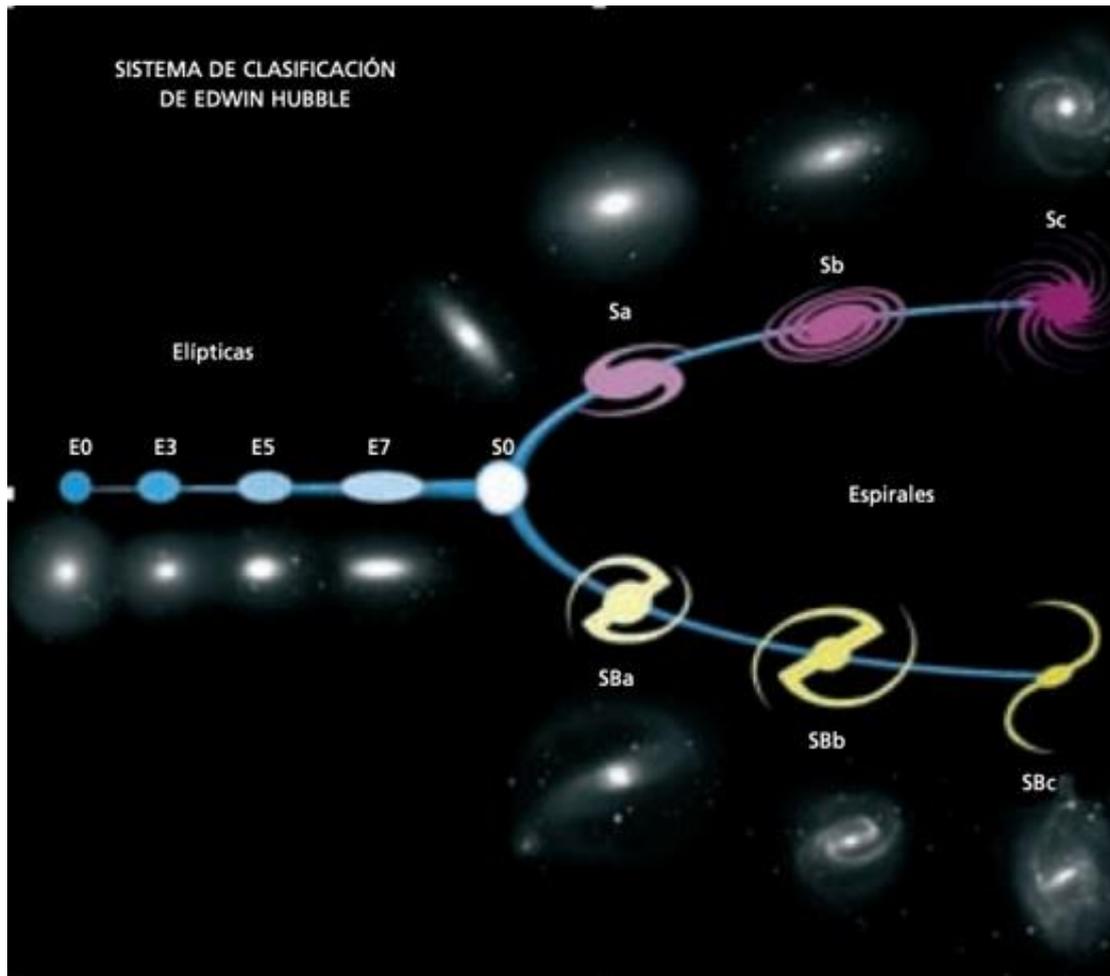


図 8:エドウィンハッブル分類システム(クレジット NASA-ESO)

## 活動 3:渦巻銀河形成シミュレーション

渦巻銀河のモデル(図 9a)は、水で満たされたガラスと非常に細かい粒子、たとえば重炭酸ナトリウム(図 9b)、食卓塩 (NaCl) は水に溶けやすいですが、砂(図 9c)で作成できます。



無花果。9a. ギャラクシーNGC 5457(ESA/ハッブル)



無花果。9b. 重炭酸塩と銀河。



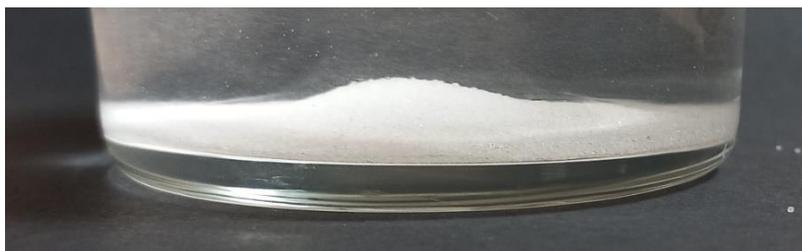
無花果。9c. 砂と銀河。

小さじ1杯とエネルギーでガラスから水をかき混ぜ、かき混ぜを止め、小さじ1杯の製品を注ぎ、穀物が落ち着くのを待ちます。中央のパイルと渦巻き状の腕があり、銀河のものと非常によく似ています。

ガラスを横から見ると、モデルは中央のバルジで真正面から見た銀河の形状もシミュレートしています(図10a、b、c)。



図10a、砂銀河モデルを横から見たもの。



無花果。10b. 重炭酸塩モデル、横からも見た。



無花果。10c. ギャラクシーNGC 4565、中央バルジ付き(クレジット ESO/NASA)

ゆっくりと攪拌を続けると、渦巻腕をモデル化し、ハッブル系列の別のタイプの銀河である楕円銀河に似たものを得ることができます(図 8)。私たちのモデルだけでは、棒状の銀河を再現することはできません。

## 銀河のハビタブルゾーン

銀河の中心ゾーンには高レベルのエネルギーがあり、大規模なガンマ線バーストと巨大な非常にエネルギーッシュで暴力的なイベントがあり、それが生命を不可能にします。一方、銀河の端の領域では、生命に必要な水素やヘリウムよりも重い原子が不足しているため、ハビタブルゾーンは車のタイヤのチャンバーのような円形の領域に相当し、太陽が移動する領域に対応します。銀河のハビタブルゾーンは通常、銀河の中心から半径 23000 から 30000 a.l.以内にあり(太陽は 27000 a.l.にあります)。

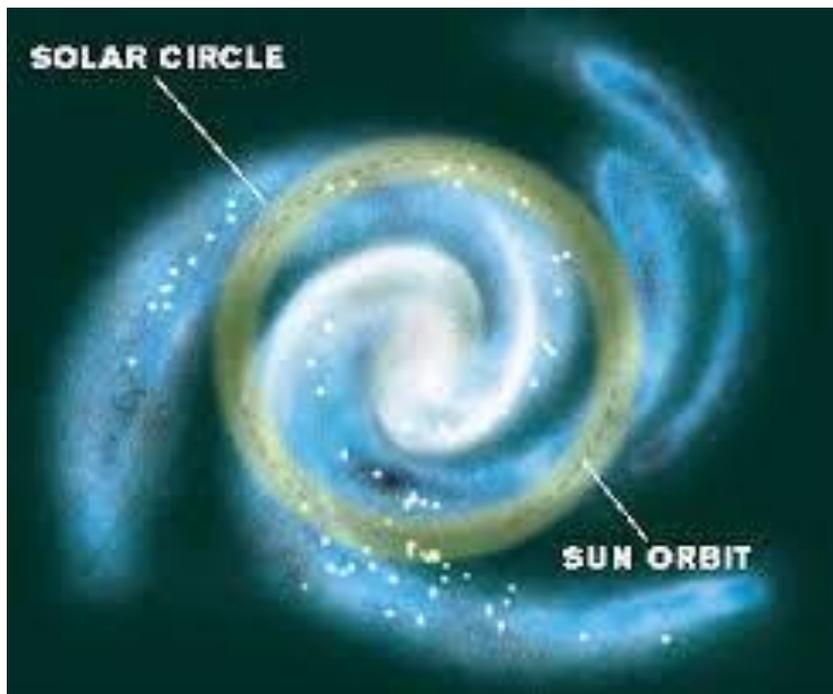


図 11:銀河のハビタブルゾーン(クレジット:NASA)

## プラズマと磁場

銀河間媒体、星間媒体、そして星自体では、物質は通常プラズマ状態にあります。このプラズマは、電子、陽子、高エネルギー粒子、イオン化ガスで構成されています。



図 12a:ベール星雲(クレディハッブル)、図 12b:彗星 c/2002 E3(クレディ・リキス・バビアンスカスとカルロス・ヴィスカシージャス)

地球上には、雷、蛍光灯や省エネランプの内部、モニターやテレビ画面、プラズマボール、ろうそくの炎など、この状態の物質があります。



図 13a、13b、13c:プラズマボール、炎中、蛍光灯内にプラズマ状態の物質がある

それはまた、太陽系全体の太陽のコロナから放出される荷電粒子の流れである太陽風をあらゆる方向にプラズマ化しています。これらの粒子の流れは可変であり、太陽活動の影響を大きく受け、太陽スポットやフレアを生成します。太陽風は、常に太陽に向いている彗星の尾のプラズマを歪める可能性があります。

地球上では地磁気嵐を発生させ、オーロラ(北と南の光)を発生させます。太陽風の粒子は高速で多くのエネルギーで移動し、大きな浸透力を持ち、細胞の DNA に損傷を与える可能性があります。地球の磁場は磁気圏を形成し、それは傘のような保護シールドとして機能し、生命にとって非常に危険な荷電粒子をそらし、それらが地球の表面に到達するのを防ぎます。

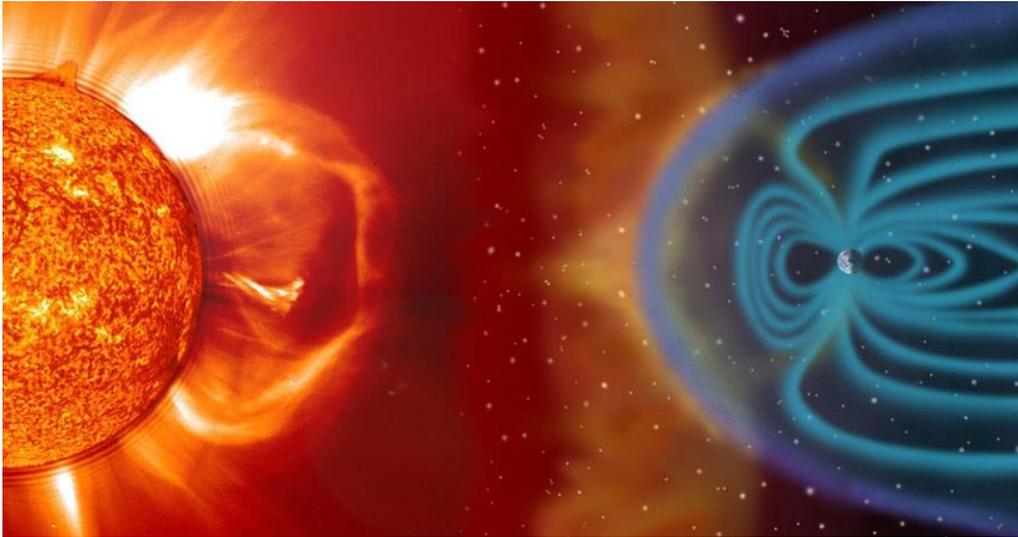


図 14:地球の磁場は、太陽風に対するシールドまたは傘として機能します。

太陽に強いコロナ放出があると、太陽風の強度が大幅に増加し、地球の磁気圏を突き刺すことができます。その際、太陽風の一部が極付近の大気に到達し、美しいオーロラ(北半球)と南極(南半球)を生成します。

これらの粒子のエネルギーは大気中の原子を励起し、それらの電子に異なる波長の光子を放出させます。粒子が高エネルギーの場合、酸素は緑/黄色の光を生成し、低エネルギーの場合、赤/紫の光を生成します。窒素の場合、オーロラの下端に青みがかつた、または赤/紫の光を生成します。



図 15a と 15b:オーロラの色の違いは、酸素と窒素のイオン化に依存します。(クレジット , S.エッコ, フィンランド)

## アクティビティ 4:地球の磁場

地球の磁場を表す磁石と、磁場の力線を通過するコンパスを使用して、地球の磁場を視覚化できます。磁石の針が磁力線に対して「接線」に配置されていることを理解すれば十分です(図 17a、17b、および 17c)。

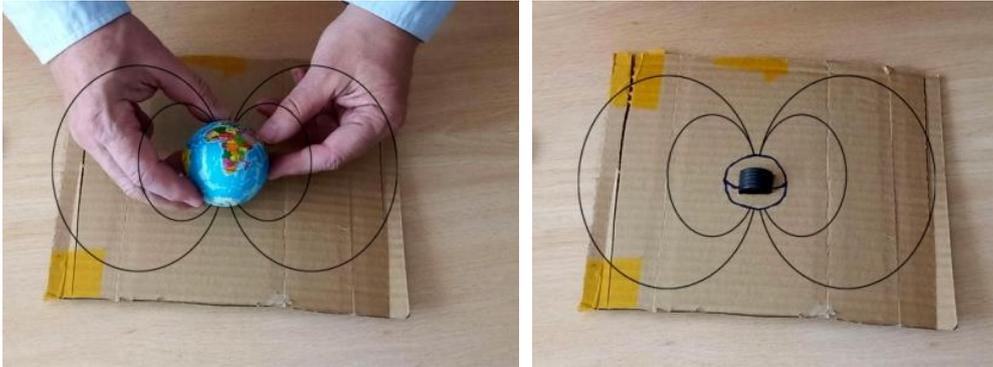


図 16a、16b いくつかの力線が表された地球の磁場のモデル。

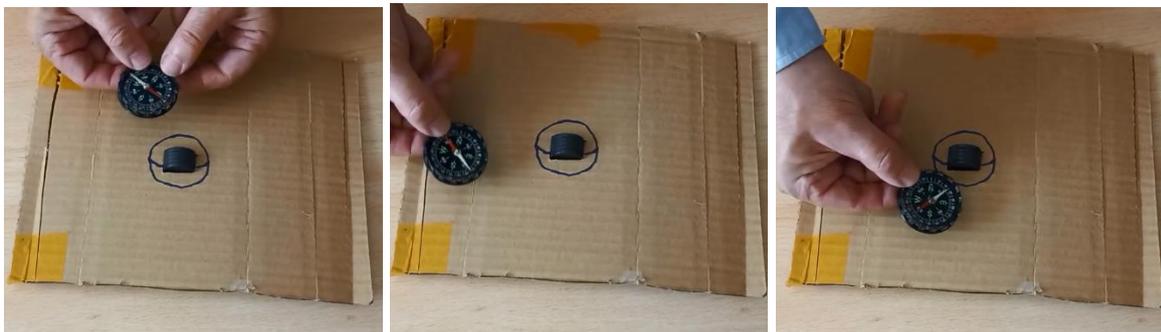


図 17a、17b、17c:コンパスでは、磁力線が「描画」されます(コンパスの針は常に磁力線に接しています)。

プラスチック球の中に、紙ナプキンに包まれた磁石を入れます。それは地球を表しています。極の近くに鉄のやすりを振りかけ、その領域の磁力線を非常によく視覚化します。



図 18:地球の磁場のモデルとしてのプラスチック球の内部の磁石。



図 19a および 19b:鉄のやすりでは、極地の磁力線が視覚化されています。オーロラが発生するのはこれらの地域です。

## 地球上の生命の起源

地球上の生命の起源は 30 億年以上前にさかのぼり、最も基本的な微生物から時間とともに非常に複雑に進化したと認められています。しかし、最初の生物は宇宙で唯一知られている生命の家でどのように発達したのでしょうか。

科学は生命の正確な起源に関して未決定で対立したままであり、生命の定義そのものでさえ疑問視され、書き直されています。有効な地球上の生命の起源に関する多くの科学理論のいくつかは次のとおりです。

- 最も受け入れられている理論の1つは、深海、通常は発散する大陸プレートに見られ、炭素や水素などの生命の重要な要素を放出する熱水噴出孔で生命が始まった可能性があることを提案する理論です。排出された流体は、地殻を通過するときに冷却され、炭素や水素などの溶存ガスや鉱物を吸収します。現在、これらのベントは、化学エネルギーと熱エネルギーが豊富で、高温およびアルカリ性で、多種多様な種を持っていることがわかっています(図 20a および 20b)。

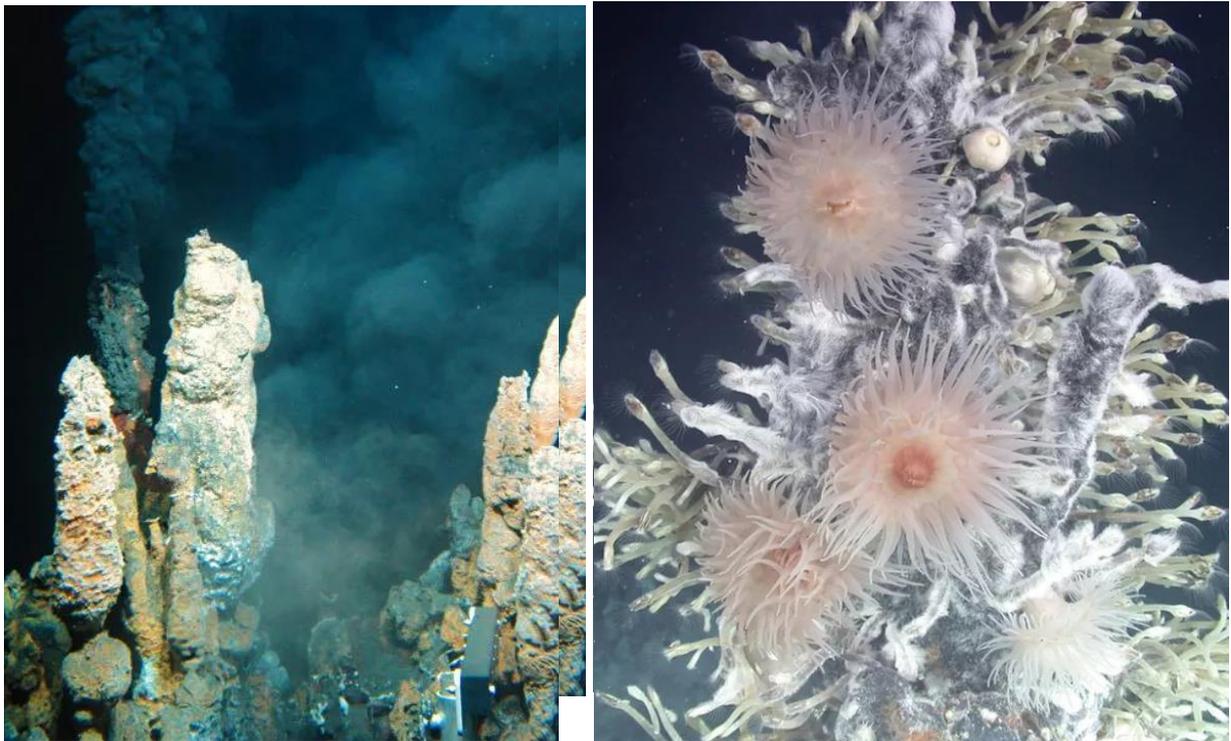


図 20a:酸性海水が地球の地殻からのアルカリ性流体と出会った熱水噴出孔で生命が始まった可能性があります(クレジット:ウッズホール海洋研究所)。 図 20b:ベントの温水で繁栄するイソギンチャク(クレジット:NERC ChEsSo コンソーシアム)

- 稲妻は、人生が始まるために必要な火花を提供した可能性があります。電気火花は、水、メタン、アンモニア、水素で満たされた雰囲気からアミノ酸と糖を生成する可能性があります。何百万年にもわたって、より大きく、より複雑な分子が形成される可能性があります。その後の研究により、地球の初期の大気は実際には水素が乏しいことが明らかになりましたが、科学者たちは、初期の大気の火山雲にはメタン、アンモニア、水素と放電が含まれていた可能性があります。生命の最初の分子は粘土で発見され、粘土の鉱物結晶は有機分子を組織化されたパターンで配置した可能性があります。ただし、この理論は断固として実証されていません(図 21a および 21b)。

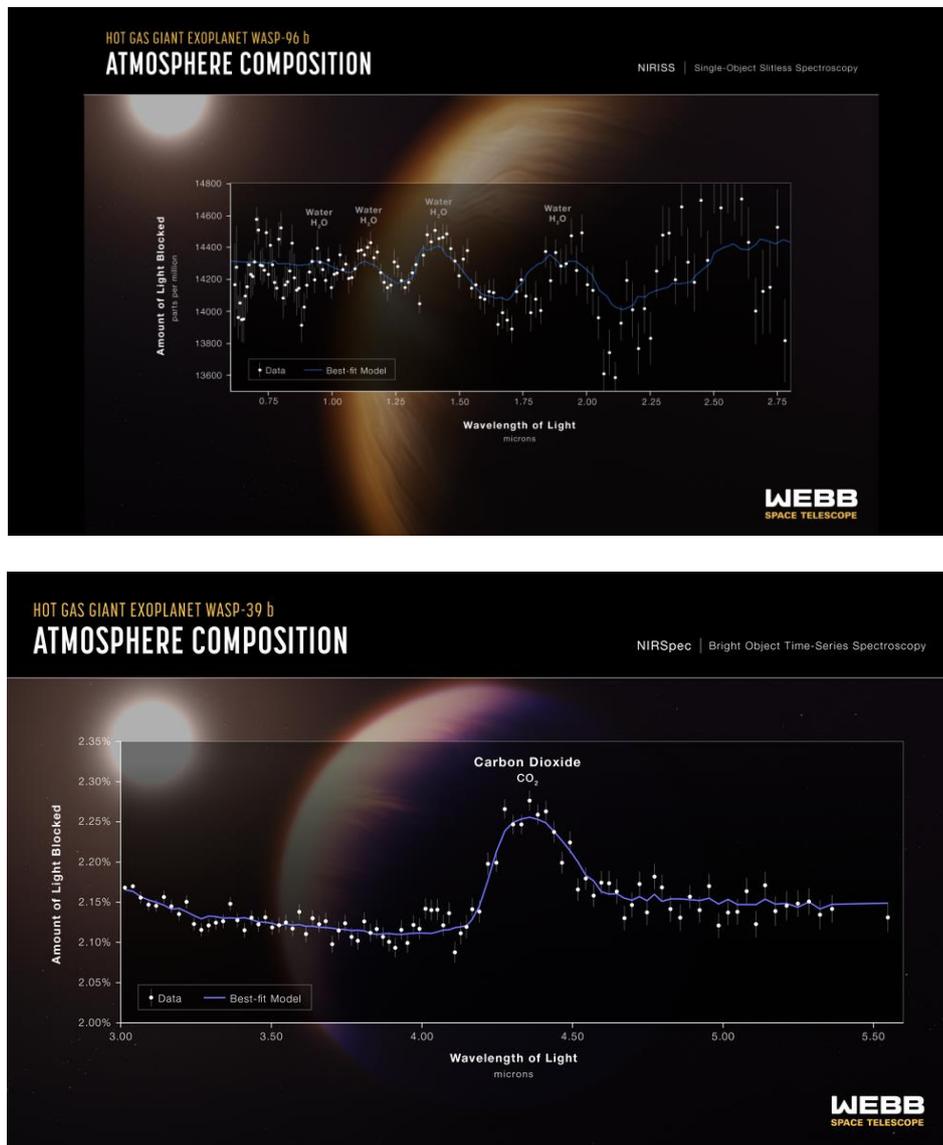
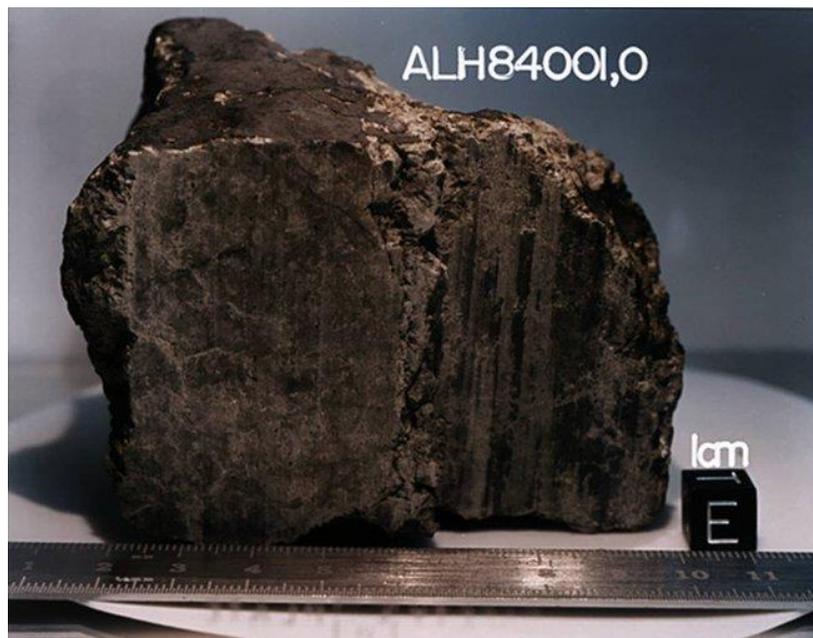


図 21a.ジェームズウェブ望遠鏡で取得した系外惑星大気のスpekトル。 WASP-96 b(上)図 21b:水分子の存在が注目される。 WASP-39 b(下):spekトルの中心にない二酸化炭素バンド。なお、これらのspekトルは透過spekトルであり、波長は近赤外、すなわち電磁spekトルの可視領域の外側に現れるバンドに対応する。

- 30 億年前、有機化合物は低温でより安定していると考えられているため、氷が海を覆い、生命の誕生を促進した可能性があります。氷はまた、紫外線や宇宙の衝撃の作用から壊れやすい有機化合物を保護した可能性があります。今日、永久凍土として知られる凍土の中には、休眠状態の生命体があることがわかっています。

しかし、生命は地球の外で始まり、パンスペルミアと呼ばれる理論の枠組みの中で、彗星、小惑星、隕石の影響のおかげで何百万年にもわたって岩石の交換によって

到着したと主張することも可能です。宇宙空間の条件から保護されているため、微生物は岩石に閉じ込められて生き残ることができますが、地球に到達すると、地球外物質が有名な隕石 ALH 84001(図 22)で起こったように、地球上の既存の生命で汚染される可能性があるため、この問題を非常に真剣に受け止める必要があります。NASA のアストロバイオロジープログラムによって資金提供され、その中の有機物が生物学的に形成されたのではなく、水と岩石の間の地球化学的相互作用によって形成されたことを示しています。



図。22. 隕石 ALH 84001:火星から到着し、その惑星から到着する生命の時期尚早の発表の主人公でした。今日、私たちは有機物として検出されるものが生物学的起源を持たないことを知っています。

しかし、たとえ汎精子症が真実であったとしても、地球上で生命がどのように始まったかという問題は、ユニバーの他の場所で生命がどのように始まったかに変わるだけです。

地球上の極限環境の探査は、ほんの数年前には居住不可能と考えられていた多数の生息地の発見につながりました。極限環境の多様性と生態学への関心は、バイオテクノロジープロセス(バイオマイニング、バイオレメディエーションなど)における極限環境とその構成要素の潜在的な使用だけでなく、生命の存在に対する限界の探求のためにも、いくつかの理由で高まっています。

最初の生物種は、最初の生物(バクテリアなど)と私たちが知っている生命との間のつながりとして機能する単純な生命体であったに違いありません。

よく知られているように、いくつかの化学元素を試験管にまとめて、新しいタイプの生命が自発的に現れることを期待することはできません。生命の起源は、発生す

るまでに数百万年かかるイベントですが、それが始まると、生命は指数関数的に増殖し、発生場所とは非常に異なる可能性のある惑星の領域に適応することができます。

## 微小隕石

太陽系に由来する固体物質は、月と惑星を形成していました。その降着は終わっておらず、宇宙からの約5トンの物質がまだ地球に落ちています。これらの流星は、外気圏と熱圏の層があまり密集していないため、問題なく高速で通過します。しかし、それらが中間圏に達すると、密度はより大きくなり、材料を溶かすことができる大きな摩擦があります。成層圏と対流圏で冷却すると、最後に球形になり、時には縞模様があり、時には急速な凝固の小さな気泡効果があります。

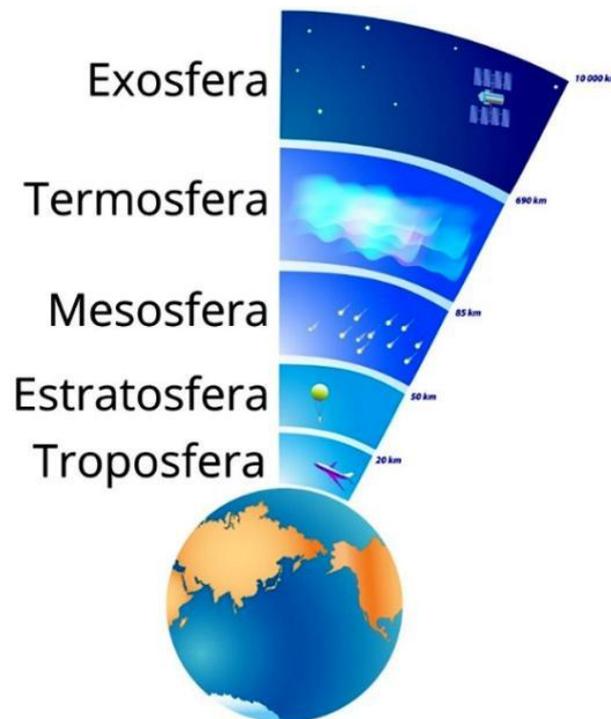


図 23 大気層(クレジット:ライフダー)

## アクティビティ 5:球状微小隕石のシミュレーション。

背の高い円筒形の透明な容器にひまわり油をカラムとして入れます。注射器(図 24a および 24b)の助けを借りて、数滴の水またはコーラを落とします(色が良く見えるため)。水またはソフトドリンクの初期物理的状態により、小さな球がすぐに形成され、油柱からゆっくりと落下するのが見られます。



図 24a:注射器で滴下、図 24b:球体が形成されるカラム。

## アクティビティ 6:微小隕石を探す

微小隕石は、屋上や道路などに連続的に堆積する材料で得ることができます。雨が降ると、水は屋根の排水溝や通りやルート溝でそれらを洗い流します。それらの場所から少し砂をブラシで一枚の紙に集めます。



図 25a:公道では、隕石を見つけることができる砂利のある溝や側溝を見つけることができます。図 25b:このグリットを紙で集めて分析します。

次に、磁石が材料とともに紙の下を通過します:鉄材料の小さな粒子が磁石に引き付けられる方法がはっきりとわかります(図26)。磁石を分離せずに紙をひっくり返すと、磁石の磁場に引き付けられる細かい暗い粒子を除いて、すべての砂が落ちます。紙を裏返し、磁石を取り外します。そこに微小隕石があるかもしれません。



図 26a および 26b:磁石を紙の下に通すことで、強磁性体をドラッグします

携帯電話のカメラで最大ズームでサンプルを見ると、微小隕石である粒子は小さなビー玉のような球形になります。

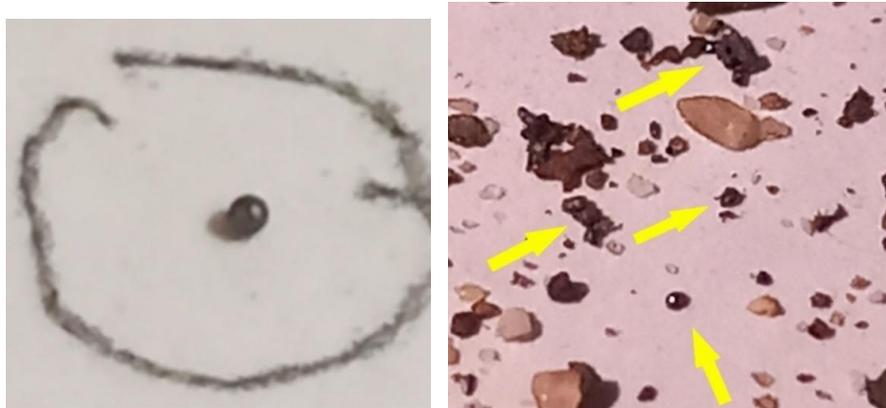


図 27a:モバイルカメラによる単一の孤立した微小隕石の写真、図 27b: 同じカメラを使用した複数の微小隕石の写真。

単純な「トラップ」を作成することもできます。これには、次の要素が必要です。キッチントレイと透明なセロハン紙(キッチンフィルム紙)。トレイが飛んでしまわないように、端を折りたたむか、下にセロハンを接着して、トレイをセロハン紙で覆います(図 28a、28b、および 28c)。



図 28a:トレイ、セロハン紙、接着用テープ、図 28b:トレイの裏側にセロハン紙を接着、図 28c:庭に設置された微小隕石「トラップ」。

周囲のほこりや動物の存在がサンプルを汚染するのを防ぐために、トレイを地面から少し離して置きます(図 28c)、風があまりなく、空を覆うものがない場所。この施設は少なくとも一週間は屋外に置いてください。紙が「汚れている」ように見え始めます。週の終わりに、蓄積されたすべての資料を一枚の紙の上に移動します。磁石は下を通過し、携帯電話のカメラで分析されます。

生徒ごとに個別のトラップを準備することも可能です。紙コップ、それを結ぶロープ、小さな磁石が必要です。



図 29a と 29b: ガラスは糸と小さな磁石で結ばれています。図 29c: ガラスを使って微小隕石を探す学生

各生徒のために罠を準備するために、我々は糸でガラスを結び、ガラスの中に小さな磁石を置きます。生徒は磁気カップを持って校庭エリアを動き回ります。それから彼らは磁石を取り除きます、そして、鉄粒子(微小隕石)があるならば、それらは白い紙の上に落ちるでしょう。生徒は携帯電話のカメラでマイクロメテオライトを見つけ、それらを小さな球体として識別します。

## 極限環境微生物の分類

極限環境微生物は、極端な条件、つまりほとんどの陸生生物が経験するものとは非常に異なる状況で生息する生物、しばしば微生物です。

最近まで、極限環境微生物が成長することがわかっている場所では、生命が存在することは不可能であると考えられていました。たとえば、南極大陸の極寒地域、リオティントの非常に酸性で金属が豊富な海域、またはアタカマの非常に乾燥した重金属砂漠などです。しかし、これらすべての地域に生息する生物がいることが示されています。

NASA と ESA の宇宙生物学者は、地上(南極大陸、アタカマ砂漠、リオティント鉱山など)で、生命がどのように進化または適応するかを研究し、それがどのように始まったかを理解します。

南極大陸は、ほとんどの場合、寒くて荒涼としていますが、科学者のいくつかのグループは、その表面の下に大量の生命を見つけることに成功しました。彼らは、塩水(高濃度の塩のために凍結しない)で $-20^{\circ}\text{C}$ の温度の深さ 36m に生息する極限環境微生物を発見し、別のグループは、深さ 800m で、光が完全に存在しない生態系全体を発見しました(図 30)。



図 30:さまざまな科学グループが南極大陸の表面下で極限環境微生物を発見

一部の極限環境微生物は、水の不在下で生活するか、ほとんど生活しないことで乾燥に抵抗することができます。アタカマ砂漠の土壌微生物のように。

非常に壮観な現象があります:花の咲く砂漠。これは世界で最も乾燥した砂漠で、通常よりも降水量が多く、その後寒冷前線が数ヶ月間残る多数の多様な花(最大 14 種類)が現れます。

紀元前 1 世紀以来のリオティントの採掘地域はローマ帝国によって利用され、重鉱物が抽出された何百年もの露天掘りの後、今日の状況は極端な条件での生活を研究するために非常に興味深いものです。



図 31:2022 年 8 月の写真 数年間の乾燥の後、最後の年は 2015 年と 2017 年でした

他の極限環境微生物は、高酸性度および高濃度の金属(鉄、銅、カドミウム、ヒ素、亜鉛、鉛)の環境で発症する。この川の反応は好酸性細菌によって触媒されるため、酸性度が低下すると細菌の個体数が増加し、フィードバックするプロセスで硫化物の酸化と酸性度が高くなります。この地域の住民は、川の色の変化のためにどれだけ雨が降るかを知っています(バクテリアは川の洪水の間に pH を維持するためにより多くの酸性度を生成します)。



図 32: 好酸性菌が生息するリオティントの赤い海。



図 33: エリカ・アンデバレンシスは地域全体に広がっており、その根は酸性土壌にあり、栄養素はほとんどありません。

川床に沿って分布するエリカアンデバレンシスまたは「マイニングヘザー」の低木の広大な地域があります。これらの植物は、栄養素がほとんどない非常に酸性の土壌に根を持っています。いくつかの植物でさえ、根が酸性水と高濃度の銅と鉛を含む土壌に部分的に沈んだ状態で川のほとりで育ちます。

宇宙研究には、南極大陸、アタカマ砂漠、リオティント鉱山などの極端な地域の宇宙生物学者の研究が必要です。極限環境微生物を発見するために実行される多くのプロトコルの最初のステップは、DNA 抽出のプロセスであり、このため、この活性は以下で実行されます。

## 活性 7: DNA 抽出

非常に極端な条件で生命が存在することを観察した後、生命の存在を検出したいときに DNA 検査を行うことが決定されました。DNA の残骸は生命の存在(現在または過去)を検出することを可能にし、これは宇宙での生命を探すために使用されます。DNA 分子は非常に長い分子であり、細胞内のタンパク質(もつれのように)で圧縮されています。したがって、DNA が残っていることを検出するためには、細胞の包み膜を破壊することができる溶液を調製することが必要である。

完熟トマトの DNA は液化が非常に簡単なため、例として進めます。

### 細胞を壊すための解決策

コップ半分の水に小さじ1杯の塩(塩化ナトリウム)を溶かしてタンパク質を放出し、塩の存在により白く見える DNA を放出します。小さじ3杯の重曹ナトリウム、溶液の pH を一定に保ち、DNA が分解しないこと。次に、水がこれの色になるまで食器洗い機を追加し、脂肪細胞の膜を破壊します。DNA をよく見ることができるようになるために、泡立たずに混合する必要があります。

### 「トマトの」細胞のジュースを準備する

まず、大さじ2杯のトマトパルプを抽出し、スプーンで粉碎し、多かれ少なかれ液体のピューレになるまでフォークで粉碎します(図 34)。

トマトピューレの上に細胞のブレイカー溶液を注ぎます。トマトピューレの2倍の量の溶液。細胞を破壊するには、大きな破片を取り除くために泡立ちや緊張しないように注意しながら振ってください。細胞内の内容物はジュースに含まれており、そこに抽出したい DNA があります。

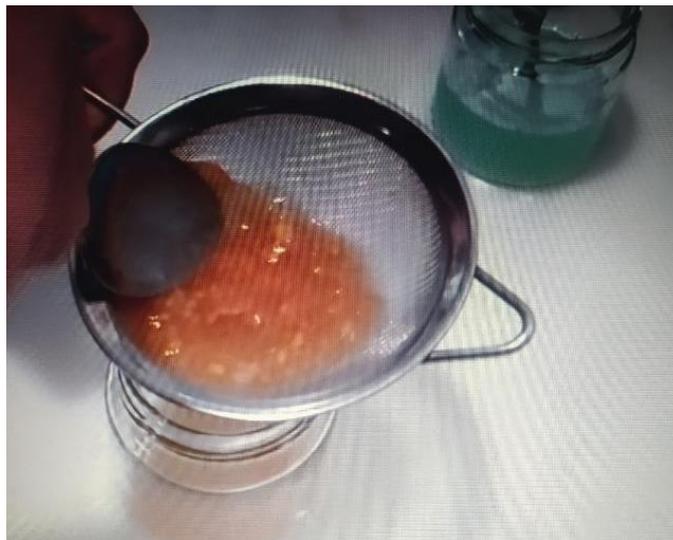


図 34: 液体トマトピューレを準備し、膜から2倍のブレイカー溶液を注ぎ、DNA を抽出します。

### DNA を可視化する

DNA の鎖がたくさんあるとき、それは白い雲のように見えます(塩はそれに白っぽい色を与えます)。私たちはジュースのガラスの壁にアルコールを落とします、なぜなら私たちはアルコールの層がそれと混合せずにジュースの上に残っておきたいからです。3~4分で DNA の白い雲が形成され、一緒に凝集して見えるようになります(上昇します)。DNA はアルコールに溶けず、よく見える DNA の雲が形成されるため、アルコールが追加されます(図 35)。



図 35: 混合物の上に浮かぶ DNA 雲は非常に見えます

## 書誌

- Arisa, E., Mazón, J. and Ros, R.M. 2012, Looking for the north, EU-UNAWA, Barcelona, Spain.
- Dill K.A. and Agozzino L. 2021, “Driving forces in the origins of life”, Open biology, Volume 11, <https://doi.org/10.1098/rsob.200324>
- Kostov, R. I., Kurchatov, V. 2001. Bulgarian meteorites – history and stage of study. – Geology and Mineral Resources, 8, 10, 16-20, Bulgaria.
- Larsen L., 2019, On the Trail of Stardust: The Guide to Finding Micrometeorites: Tools, Techniques, and Identification, Voyageur Press, Beverly, MA (USA).
- Levy M. et al. 2000, “Prebiotic Synthesis of Adenine and Amino Acids Under Europa-like Conditions”, Icarus, Volume 145, <https://doi.org/10.1006/icar.2000.6365>
- Martin W. 2008, “Hydrothermal vents and the origin of life”, Nature Reviews Microbiology, Volume 6, <https://doi.org/10.1038/nrmicro1991>
- Moreno, R., 2022, Experimentos para todas las edades, 3ª Edición. Editorial Rialp, Madrid (Spain).
- Declaration for scientists/researchers using the NHM Collection, 2013.
- La plus Grande Histoire jamais contée, Des Origines de l’Univers a la vie sur Terre, Belin, Paris, France, 2017.
  - <https://www.sciencefriday.com/articles/up-on-the-roof-a-handful-of-urban-stardust/>
  - <https://micro-meteorites.com/>
  - <https://www.astrogc.com/index-otros-projects-met.html>
  - <https://www.pbslearningmedia.org/resource/5762943c-af62-4a3b-8340-36660545628a/go-outside-and-play-micrometeorites-young-explorers/>