

非売品

個人・教育使用限定

生命の起源かるた をつくってみよう



生命の起源かるた制作チーム

生命の起源かるたとは

遊びながら、生命の起源を探る学問「アストロバイオロジー」に親しむことができるかるたです。
どなたでも無料でプリントアウトできます。

完成品イメージ



取り札 44 枚



読み札 44 枚



読み札の裏面は
解説文

準備するもの

- ・ A4 サイズの紙 22 枚
- ・ ハサミ または カッター
- ・ 糊
- ・ パソコン
- ・ プリンター
- ・ (お好みで) 厚紙 または ラミネーター

作り方

3ページから24ページまで、全22枚を印刷して、きりとり線で切り離します。

読み札の裏面に解説文を貼ります。

パソコンから印刷した紙のままですと破れやすいので、

かるたと同じサイズに切った厚紙に貼ることをおすすめします。

または厚紙の代わりにラミネーターを使って補強するなど、ご自由にアレンジしてください。

<かるたご利用上の注意>

- ・本かるたの複製、改変、再配布、販売などをご遠慮ください。
- ・本かるた記載の文章及び画像の著作権は、解説文に記載のクレジット、または生命の起源かるた制作チームに帰属します。
- ・本かるたは、「生命の起源および進化学会夏の学校2013」のワークショップに参加した26名のアイデアと、「生命の起源および進化学会夏の学校2014」でのアドバイスをもとに、改良を加えて開発しました。

監 修：山岸明彦（東京薬科大学教授）

制 作：新井真由美、網蔵和晃、桑原純子、齋藤啓子、仁田原翔太、藤井友紀子、望月銀子

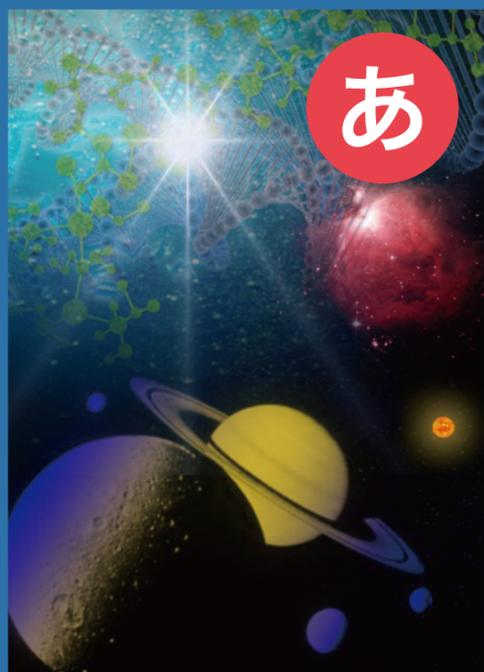
特別協力：田近英一、学研

協 力：生命の起源および進化学会夏の学校 2013

お問合せ：生命の起源かるた制作チーム代表 新井真由美

い
いん石^{せき}
 のつてきたかも
 生命^{せいめい}のもと

あ
アストロバイオロジー
 地球外^{ちきゅうがい}の
 生命探^{せいめいさぐ}る



いん石 **い**
地球に有機物をふりそそぐ?!
 原始太陽系でできた岩石や鉄などが、小惑星や彗星となって、それが衝突などで破壊されたかからが地球に降ってきたのがいん石です。いん石は、有機物を地球に運び込む役割も担っていました。いん石を調べると、過去の太陽系や地球以外の天体のことが分かります。

いん石に含まれるもの
 いん石には、岩石のほかに、氷、有機物やアミノ酸が含まれていることがあります。ほとんどの生物は左型アミノ酸をもとにしているため、いん石のアミノ酸を調べることは、宇宙に存在する生命のもとのヒントにつながります。

【絵札イラスト】いん石が地球に衝突する様子 / NASA
 【解説札画像】いん石に含まれる有機物の化学式イメージ / NASA's Goddard Space Flight Center / Chris Smith

アストロバイオロジー **あ**
生命の起源を探る学問
 アストロバイオロジー（宇宙生物学）とは、「宇宙における生命の起源、進化、伝播、および未来」を研究する学問です。この学問は、天文学、太陽系科学、地球化学、微生物学などの広範囲な分野の研究者が関わり、「生命の起源および進化。地球外に生命がいるならどう検出するか。地球そして宇宙における生命の将来はどうか。」という疑問を解明しようとしています。

生命の起源のターゲットとなる天体候補

- ・火星
- ・小惑星
- ・エウロパ
- ・エンセラダス
- ・イオ

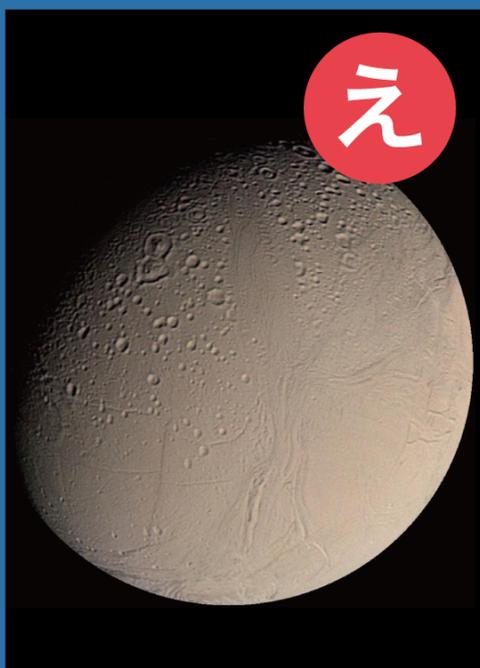
【絵札イラスト】アストロバイオロジーのイメージ図 / 望月銀子
 【解説札写真】火星 / NASA / USGS

え

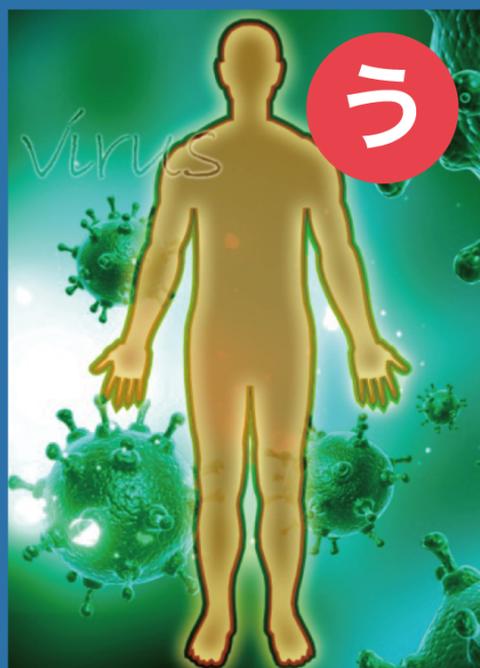
エンセラダス
こおり
氷やガスが
ふいている

う

ウイルスは
たにん
他人を利用し
りよう
自己複製
じこ
ふくせい



え



う

エンセラダス

え

氷やガスを噴き出す土星の第2衛星

地表は雪のような細かい氷の粒で覆われていると考えられ、地下に“内部海”が存在し貯水池のような役割を果たしている可能性があると考えられています。これらの発見は、無人探査機カッシーニによる探査で分かりました。この探査で、表面のひび割れから氷の粒子や水蒸気が噴出し、噴出物中に有機物があることも分かっています。



特長

土星までの距離:
24万km
自転周期:
33時間
直径: 約500km

【絵札写真】エンセラダス / NASA / JPL / USGS
【解説札イラスト】エンセラダスからみた土星 / NASA

ウイルス

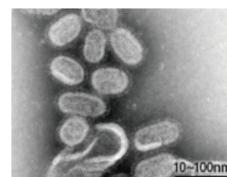
う

自己を複製できる微小な構造体

他の生物の細胞を利用して、自己を複製させることのできる微小な構造体。タンパク質の殻をもち、その内部には核酸が入っています。生命の最小単位である細胞をもたないので、非生物と考えられています。しかし、ウイルスは遺伝子を持ち、他の生物の細胞を利用して「増殖できる」という、生物の特徴を持っています。



大腸菌



陰性インフルエンザウイルス

【絵札イラスト】ウイルスのイメージ図 / 望月銀子
【解説札写真】左: Rocky Mountain Laboratories; NIAID Biodefense Image Library, NIAID, NIH, HHS, USA. / 右: Cynthia Goldsmith / PHIL

か

火星には
なにが生命
いないのか

お

オパーリン
化学でとなえた
生命の起源



か



お

火星

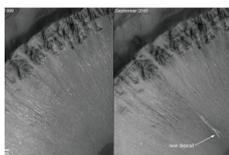
か

河川跡や地下に水の氷が存在

生命の誕生には、水の存在が不可欠であると考えられています。現在の火星は地表に液体の水が存在できない条件にあるため、地表面に生物は存在できないと考えられていました。しかし最近の探査で、一部の地域でわずかな期間、液体の水が流れ出しているらしいことが分かってきました。また過去の火星では液体の水が存在していたらしい証拠が見つかっています。はたして火星に生命はいるのでしょうか？もしくはいたのでしょうか？

火星表面に
水が流れた痕跡

マーズグローバルサーベイヤーが捉えた火星表面の変化。6年後の画像(右)に新しく現われた白い条は「水が流れ出した痕跡である」と解釈する研究者は多いです。



【絵札写真】火星 / NASA / USGS
【解説札写真】火星表面 / MOC image MOC2-1619, NASA / JPL / MSSS

オパーリン

お

化学進化説の提唱者

オパーリンは化学的プロセスで生命が誕生したのではないかということを提唱した最初の科学者です。特に、溶液中で高分子が球形の構造をとることを見だし、コアセルベートと名付けました。コアセルベートは生物起源の高分子から作られたので完全な化学的形成とはいえませんが、その後の様々な研究のきっかけとなりました。

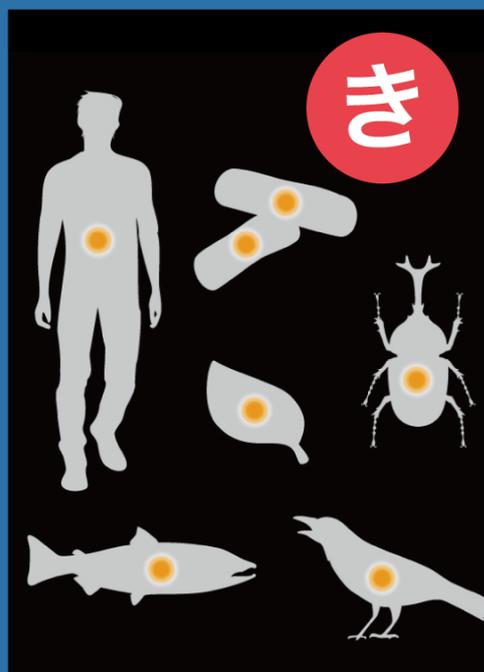
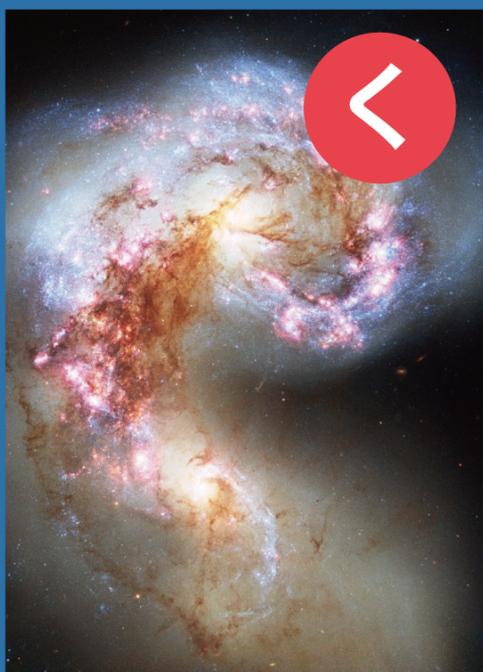


コアセルベート

【絵札イラスト】オパーリン / 望月銀子
【解説札写真】コアセルベート / 提供:小林憲正

く
グリシンを
 さが
探して
 うちゅう
宇宙を
 すうこうねん
数光年

き
共通性
 きょうつうせい
宇宙生物
 うちゅうせいぶつ
もってるか



く

グリシン

アミノ酸の中で最も単純なもの

生命を育んだ化学進化において、重要な分子と考えられています。グリシンは、生物誕生以前の地球環境下だけでなく、宇宙空間においても無機物から生成されることが知られています。近年では感度の高い電波望遠鏡ができたことにより、水素のような単純な分子だけでなく、グリシン等も他天体において検出することができるのではないかと期待されています。

特徴

不斉炭素を持たないため、生体を構成するα-アミノ酸の中では唯一、D型とL型の立体異性がありません。

$$\begin{array}{c}
 \text{COOH} \\
 | \\
 \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{H} \\
 | \\
 \text{H}
 \end{array}$$

グリシンの構造式

【絵札写真】 2つの渦巻状銀河が衝突し、若い星々が誕生している
 昴銀河（からす座） / NASA, ESA, and the Hubble Heritage Team (STScI / AURA) - ESA / Hubble Collaboration

き

共通性

DNAからみた、生物の共通性

地球上の生物は、A、T、G、Cの4つの塩基からなるDNAを持ち、どのDNAの並びが、どのアミノ酸を指定するのか、共通の法則を持ちます。さらに、タンパク質を構成するアミノ酸として20種類のL型のアミノ酸を持ちます。また細胞の中にある分子もほぼ共通です。

なぜ、DNAの塩基は2種類や6種類ではいけないのでしょうか？アミノ酸は21種類あるいは19種類ではいけないのでしょうか？

宇宙生物を見つけ、その共通性を調べることで、これらの問いに答えが出るかもしれません。

DNA

RNA

コエンザイムA

アミノ酸

脂質

共通部分は何だろうか？

【絵札イラスト】 生物の共通性イメージ図 / 桑原純子

こ

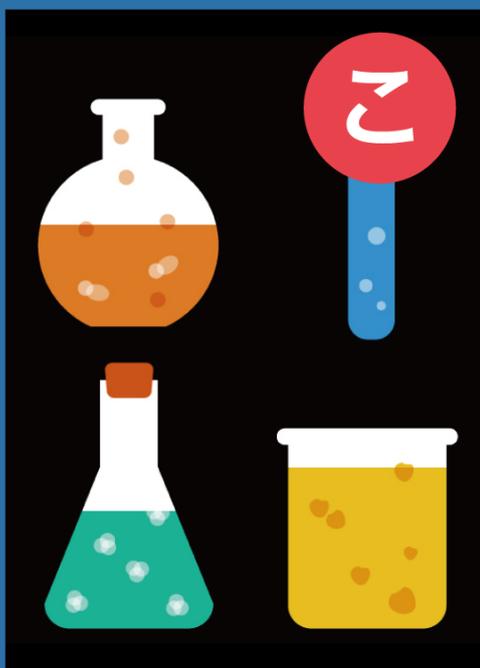
合成で

きつと分かるよ
命ってなあに

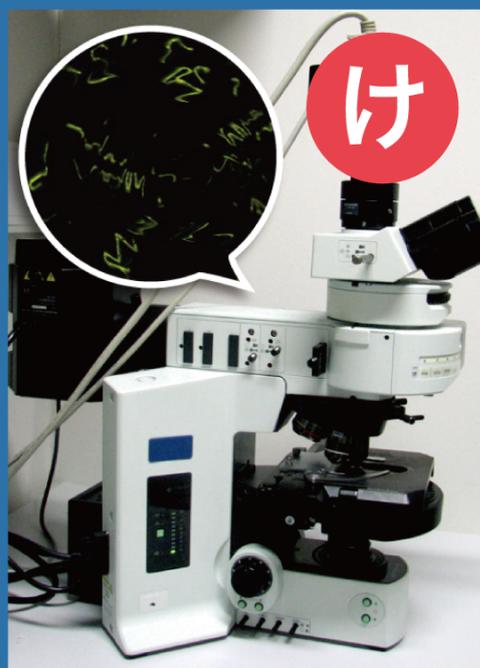
け

顕微鏡

宇宙に飛ばして
生命さがし



こ



け

合成

化学反応を利用して
目的の化合物をつくる

鳥やトンボ、コウモリのように生物の飛び方には違いがあるように、宇宙には多様な生き物の姿があるかもしれない。もしそれらを比べられれば、生き物の本質をこれまでよりも、よく知ることができるでしょう。近年では、宇宙の生き物を見つけようという試みの傍ら、宇宙生物を実験室で化学的に合成してみようという試みがあります。



【絵札イラスト】合成のイメージ図 / 桑原純子
【解説札画像】実験室の様子 / 撮影協力:山岸研究室

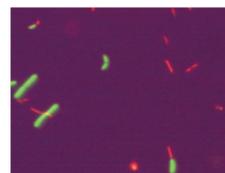
顕微鏡

目に見えない小さな世界を
拡大する道具

地球以外の天体にも、地球上の生物に似た目に見えない小さな微生物がいるかもしれません。それを確認するために、顕微鏡を地球以外の天体に飛ばして、DNAや微生物の一部だけ染色するような薬剤を用いて目印をつけ、それを撮影しようという方法が考えられています。

■ 蛍光顕微鏡写真

右図は好熱菌サーマスの
蛍光顕微鏡写真です。黄
緑色に蛍光を発している
のが生きている細胞、赤
色は死んでいる細胞です。



【絵札写真】 蛍光顕微鏡と撮影イメージ / 桑原純子
【解説札写真】 蛍光顕微鏡の撮影写真 / 提供:山岸明彦 仁田原翔太

し

システイン

イオウを含む

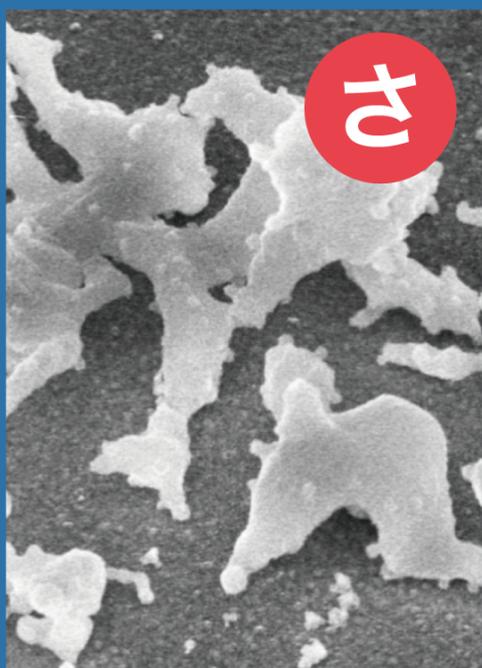
アミノ酸

さ

探ってみよう

サーモプラズマ

食作用



し

イオウ

温泉やゆで卵のにおいのもと

イオウの化合物は、生命の起源において重要な役割を果たしていたと考えられています。天然には数多くの硫黄鉱物があり、鉄とイオウの化合物の表面は「生命の起源に関わる化学反応」が起きる場所としての役割を果たしていたと考えられています。身近なところでは、温泉の匂いや「湯の花」がイオウに起因しています。人体では、タンパク質の部品であるシステインやメチオニンに加えて、アセチルCoAという生命の起源を語るのに欠かせない化合物等にイオウは含まれています。

$$\begin{array}{c}
 \text{COOH} \\
 | \\
 \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{H} \\
 | \\
 \text{CH}_2 \\
 | \\
 \text{SH}
 \end{array}$$

システインの構造式

【絵札写真】 硫黄が付着した岩

さ

サーモプラズマ

**温泉などに生息し
好熱、好酸、通性嫌気性の
古細菌の一属で
テルモプラズマともいう**

古細菌のモデル生物の一つで、真核生物の起源などにも関連して研究が進められています。細胞壁がないため著しい細胞融合性を示し、複数の細胞が集めた巨大細胞を形成します。「食作用」とは、細胞内に異物を取り込み、分解する機構のこと。古細菌サーモプラズマの細胞骨格等を研究し、真核生物の祖先を明らかにしようとしています。

インドネシアの硫黄孔

【絵札写真】 サーモプラズマ / 提供: 山岸明彦
【解説札写真】 Hulle / Wikimedia Commons

せ

せい かんぶつ
星間物質

ちきゅう はこ
地球に運ばれ

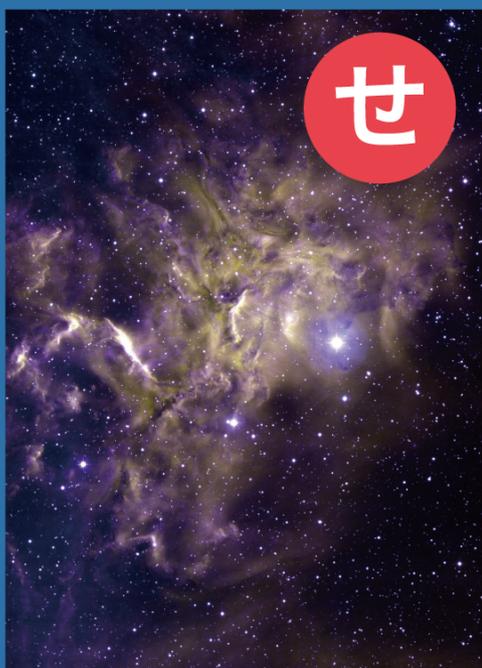
せいめいたんじょう
生命誕生

す

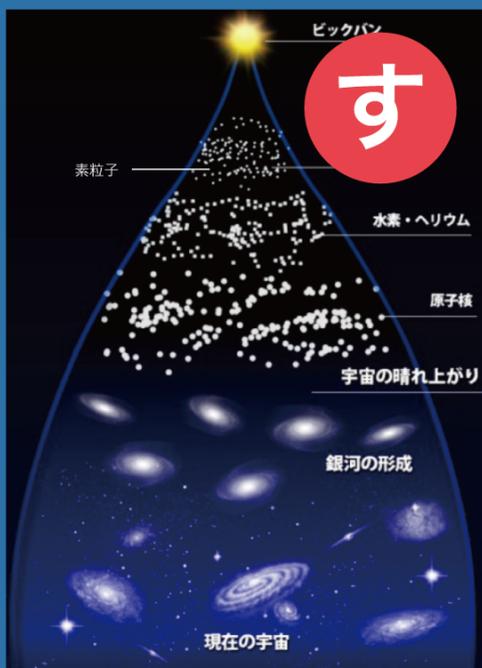
すいそ げんし
水素原子

ビッグバンの時

できた



せ



す

星間物質

星をつくる材料

宇宙空間に希薄に存在している物質の総称です。大量の星間物質が凝縮して、星を構成する材料になります。水素やヘリウムなどの気体からなる「星間ガス」と、固体の細かい塵からなる「星間塵(宇宙塵)」に分けることができます。地球上の生命は宇宙から運ばれた星間物質によって生成されたという説があります。

●星間ガス
主な組成 水素、ヘリウム、微量の重元素

●星間塵
主な組成 炭素、ケイ素、鉄、マグネシウム

宇宙の構成グラフ

【絵札写真】 T.A. Rector and B.A. Wolpa, NOAO, AURA, and NSF
【解説札グラフ】 出典 / ESA 2013

ビッグバン

この宇宙は1点からはじまった

この宇宙は、今から約140億年前に大爆発で始まり、膨張して現在のようになったというビッグバン理論があります。宇宙が膨張して冷えていくと、水素やヘリウムができ、次第に様々な元素が誕生し、恒星や惑星が誕生しました。

宇宙の元素

宇宙の元素の93%は水素、残りの大部分はヘリウム、さらに生物を構成する元素として、酸素、炭素、ナトリウム、窒素が続きます。生命は宇宙に多い元素で作られています。

【絵札イラスト】 ビッグバンから現在の宇宙のイメージ図 / 望月銀子

た

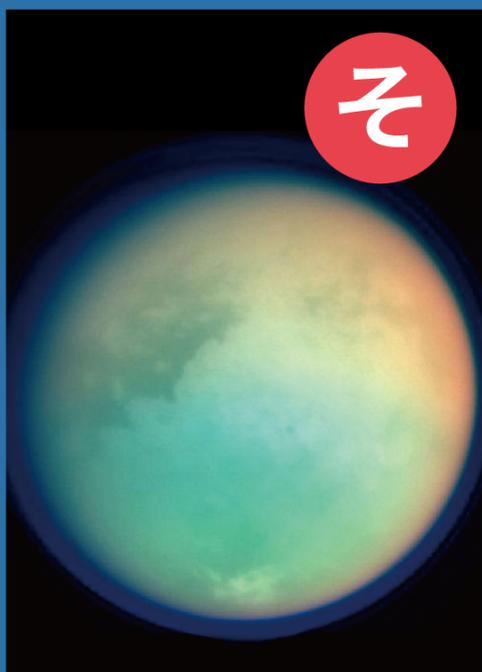
たんぽぽ計画
けいかく

せいめいきげん
生命起源の
なぞ
謎にせまる

そ

ソーリンは
タイタンぼかす
有機物

ゆうきぶつ



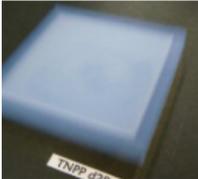
たんぽぽ計画

ISS上での微生物採集計画

国際宇宙ステーション (ISS) の日本実験棟で、微生物や宇宙塵をとらえる実験。超低密度エアロゲルを用いることで、宇宙塵の捕捉と解析を行います。さらに微生物や有機物を宇宙空間に曝露し、微生物がどの程度生存できるか、また有機物がどのように変成していくかを調べます。

■ 名前の由来

タンポポは綿毛のついた種子を風に乗せてまき散らします。それと同様に、宇宙で生命の種が惑星から惑星へと飛び交っているのではないかと、パンスペルミア仮説を調べることを目的としています。



【絵札写真】 国際宇宙ステーション / NASA
【解説札写真】 エアロゲル / 提供: 田端誠 (ISAS/JAXA) 河合秀幸 (千葉大)

有機物

燃やすと、水と二酸化炭素がでてる

生物は有機物でできています。タンパク質、脂肪、炭水化物、アミノ酸なども有機物で、炭素骨格に酸素や水素などがくっついてできています。例えばブドウ糖 (C₆H₁₂O₆) は炭素原子6個と水素原子12個、酸素原子6個からできています。

■ 高分子態有機物「ソーリン」

セーガンらは、混合ガスに紫外線や放電などのエネルギーを加えた時に生じる褐色の複雑な有機物をソーリン (ギリシャ語で泥のような、という意味) と名付けました。土星の衛星タイタンがぼやけて見えるのはタイタン上空に舞う、ソーリンの「霧」のためです。



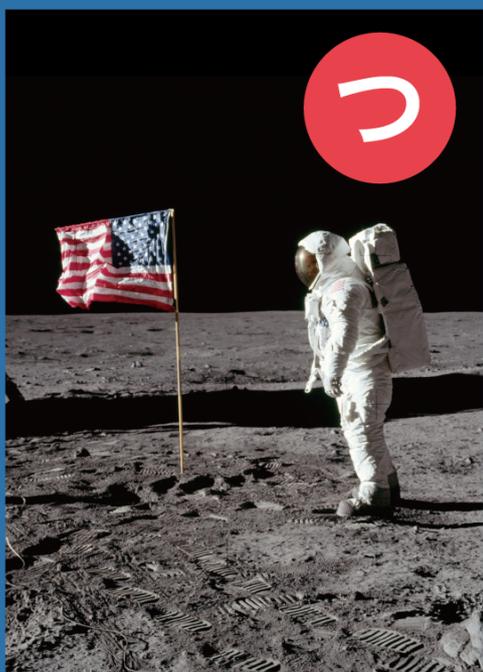
【絵札写真】 タイタン / NASA / JPL / Space Science Institute

つ

つぎ
月にも
ひとの
バクテリア

ち

げんし せいめい
原始生命
その世界
「ちきゅう」で探る



つ

バクテリア

細菌のこと

バクテリアの中には、病原性大腸菌O-157のように、人間にとって害のある危険なもの、腸内細菌や発酵細菌などのように、消化を促す有益なものなどがあります。人類は、米国NASAのアポロ着陸船により、月になんらかのバクテリアを残してきた可能性があります。

宇宙検疫

宇宙に地球の生物を持ち込んで、月や惑星の環境を汚染しないこと、また、宇宙から地球へ生物を持ち込まないようにすることをいいます。宇宙探査が活発になるにつれて、宇宙検疫の重要性はますます高まってきています。



【絵札イラスト】月に降り立った宇宙飛行士 / NASA
【解説札写真】アポロ着陸船 / NASA

ち

ちきゅう

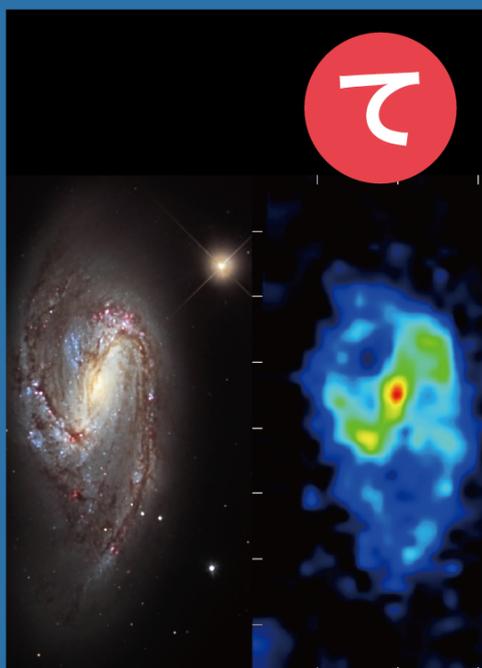
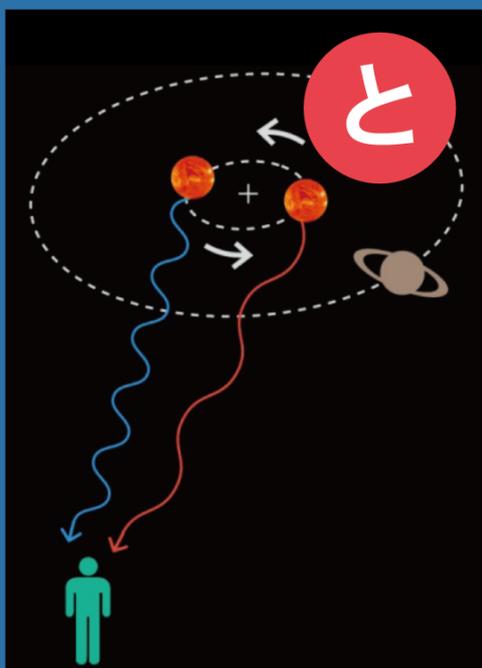
地球の海底を掘る掘削船

水深2,500mの深海域で、海底下7,500mまで掘削する能力を持つ地球深部探査船「ちきゅう」は、巨大地震発生のしくみ、生命の起源、将来の地球規模の環境変動、新しい海底資源の解明などを目指しています。高温・高圧・無酸素の原始地球で原始的な生態系が育まれました。現在の地球でも、海底下に原始地球に類似した環境が残っています。

【絵札写真】地球深部探査船「ちきゅう」 / 撮影:新井真由美

と
ドップラー
 あかあおへんか
赤青変化で
 わくせい
惑星さがし

て
でんぱ望遠鏡
 ぼうえんきよう
 とお
遠い宇宙の
 うちゆう
アミノ酸さぐる
 さん



と
ドップラー

惑星と共通の重心を周る恒星の視線速度変化をとらえる

惑星によって恒星が視線方向にふらついた時に起こるドップラー効果によるスペクトル変化を調べることで系外惑星を探す方法を「ドップラー法」と呼びます。発生源が近付く場合には波の振動が詰められて周波数が高くなり光は青っぽく見え（青方偏移）、逆に遠ざかる場合は振動が伸ばされて低くなり光は赤っぽく見えます（赤方偏移）。

太陽系外惑星の2014年1月までの年別の発見数。青色が、ドップラー法による発見数。

年	発見数
1990	0
1995	0
2000	10
2005	20
2010	40
2011	60
2012	80
2013	100
2014	120

【絵札イラスト】ドップラーのイメージ図 / 桑原純子
 【解説札グラフ】出典:Aldaron, a.k.a. Aldaron / Wikimwdia Commons

て
電波望遠鏡

電波を使って天体を観測する装置

通常の望遠鏡は可視光で天体を観測しますが、電波望遠鏡は電波を集めて天体を観測します。光学望遠鏡では観測できない波長の電磁波を広く観測することができ、可視光を放射しない星間ガス等の観測に有効です。この望遠鏡を使って、地球外文明を探そうという計画もあります。

アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計「アルマ望遠鏡」

複数のアンテナを用いることで、高精細な電波望遠鏡として機能します。

【絵札写真】NGC3627の可視光写真(左)と電波写真(右) / Jeff Hapeman / Adam Block / NOAO / AURA / NSF / 国立天文台
 【解説札写真】アルマ望遠鏡 / ALMA (ESO / NAOJ / NRAO)

に

人気の
クマムシ

宇宙で生存

な

NASAも
研究

生命の起源



クマムシ

クマに似た4対8脚の小さな動物

体長50μmから1.7mmの緩歩動物。熱帯から極地方、超深海底から高山、温泉の中まで、海洋・陸水・陸上のあらゆる環境に生息します。乾燥、高温、圧力、放射線に強く、宇宙空間に直接さらされても乾燥状態なら、10日間生存できることが実験で確かめられています。乾燥して、乾眠状態になることで、-200℃、+150℃、真空、6000気圧にも耐えることができます。世界には約350種、日本には約30種のクマムシがいると言われています。

↓

仮死状態

【絵札写真】クマムシ / 提供:堀川大樹 行弘文子
【解説札イラスト】クマムシ / 新井真由美

NASA (米国航空宇宙局)

アストロバイオロジー研究の
枠組み提唱

宇宙開発に関わる計画を担当する米国の政府機関。NASAは、アポロ計画における人類初の月面着陸、宇宙往還機スペースシャトル、国際宇宙ステーション (ISS)等を実現させました。1976年、NASAは、火星にパイキング、スピリッツ、フェニックスなどの探査機を送り込みました。また、周回機による火星の観測から、地下の氷の存在や水が流れた跡を観測し、生命活動に適した水環境が数十億年前に存在した可能性がある太古の湖の痕跡も発見しました。

【絵札写真】NASA建物外観 / NASA
【解説札イラスト】火星探査車「キュリオシティ」 / NASA / JPL

ね

ねっすいふんしゅつこう
熱水噴出孔

かいてい
海底にある

いのち
生命のゆりかご

ぬ

おんせん
温泉で生きる

ちようこうねつきん
超好熱菌

ぬくぬくと



ね

熱水噴出孔

熱水が海底下から噴出する場所

熱水噴出孔から噴出した100~400°Cの熱水には、重金属や硫化水素など、さまざまな化学物質が溶け込んでいます。それを目当てに集まった二枚貝やエビなどの生物が複雑な生物社会をつくっています。有機物合成をする細菌や古細菌がそれらの食物連鎖を支えています。

熱水のブラックスモーカー (H₂S, Mn, Fe等含む)

アルビンガイ オハラエビ

チューブワーム

シロウリガイ スケーリーフット

【絵札写真】 熱水噴出孔の一種 ブラックスモーカー / OAR / National Undersea Research Program (NURP) / NOAA
 【解説札イラスト】 海底熱水噴出孔の周りの生態系 / 新井真由美

ぬ

超好熱菌

太古の地球生命をいまに伝える

温泉のような高温環境 (80°C以上) でも生きられる微生物がいます。生物のからだを構成し、生命活動を担うタンパク質は高温下では変性してしまうため、普通の生物は高温環境では生きられません。しかし、この変わり者は、全ての生物の共通祖先に近く、生命の起源や、生物のしくみに多くのヒントを与えてくれます。

生物の進化系統樹の概略

超好熱菌を赤色で示しました。超好熱菌は、「古細菌」と、「真正細菌」の枝の根元近くに位置します。

真核生物

真正細菌 動物

古細菌

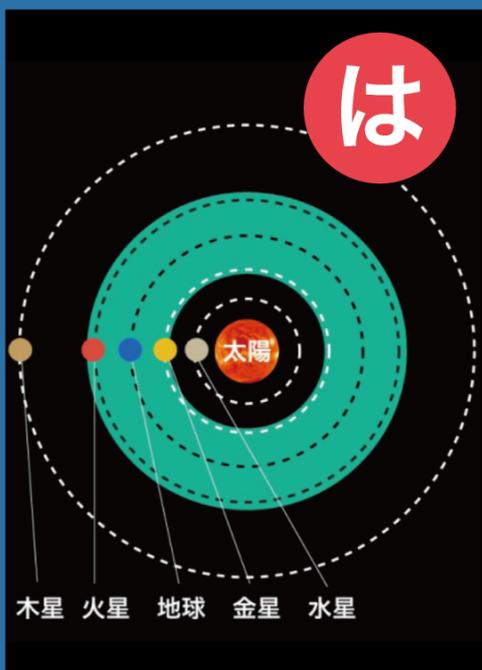
コモノート

生命の起源

【絵札写真】 イエローストーン国立公園の熱水泉 / Jim Peaco, National Park Service

は
ハビタブルゾーン
 せいめい
生命うまれる
 うちゆう
宇宙のバンド

の
乗ってみたいな
 ゆうじん
有人
 かせい たんさ せん
火星探査船



ハビタブルゾーン は
生命が生存するのに適している領域
 ハビタブルゾーンとは、惑星系の中で生命の生存に必要な液体の水が存在可能な、太陽（恒星）からほどよい距離の領域のことです。現在の太陽系の場合は約 0.97 天文単位から1.6 天文単位の距離がハビタブルゾーンになりますが、この範囲に入っている惑星は地球と火星だけです。

Mercury Venus Earth Mars

緑色のドーナツ状の領域がハビタブルゾーン

【絵札イラスト】ハビタブルゾーンのイメージ図 / 桑原純子
 【解説札イラスト】ハビタブルゾーン / NASA Ames / JPL-Caltech

有人火星探査 の
その目的の1つは、宇宙生命探査
 日米欧や中国、ロシアなどの主要国は2014年1月に国際宇宙探査フォーラムを開き、火星有人探査を目標に国際協力を拡大することで合意しました。そこでは、宇宙開発での国際協力が「人類の最大の利益になる」と強調しています。また、オランダの民間非営利団体による火星永住計画「マーズワン」では、世界中から約20万人の応募者がありました。

Man on Mars

アルビンガイ

【絵札イラスト】有人火星探査イメージ図 / NASA / Pat Rawlings, SAIC
 【解説札イラスト】火星に第一歩をしるす人類 / 池下章裕

ふ

ふせい ごうせい
不斉合成

みぎ ひだり
右と左で

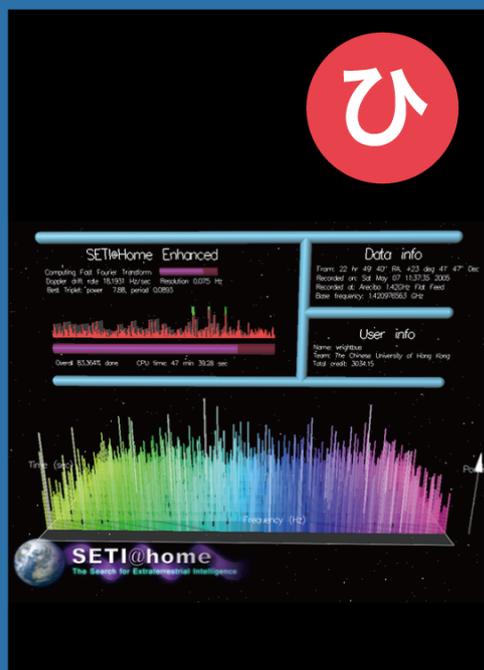
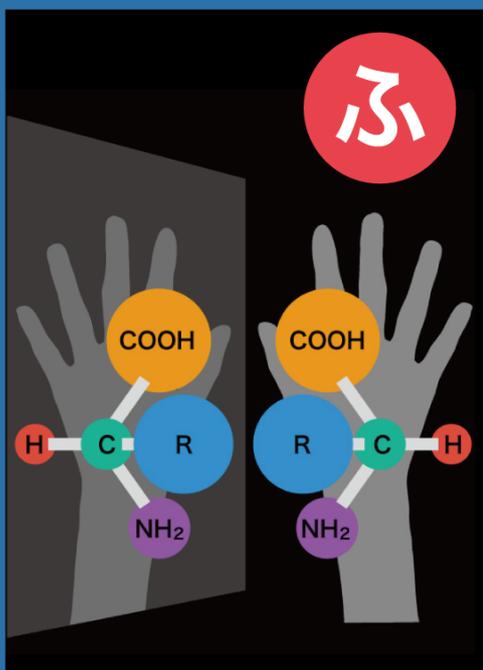
ちが
どこ違う

ひ

ひたすら待^まつよ

うちゅう
宇宙からの

コンタクト
(SETI) セチ



不斉合成

ふ

光学異性体の一方を化学合成すること

不斉合成とは光学活性物質(キラル化合物)を作り分ける合成法のこと。キラル化合物とは、右手と左手のように2種類の分子構造を持つ分子のこと。ふつうの化学反応で不斉合成をすることは極めて難しいにもかかわらず、生体内のアミノ酸や核酸、糖、脂質はすべて不斉合成されている。いつ、どのように生体構成成分が不斉分子になったのかが、生命の起源の大きな謎のひとつ。

キラルとは

右手と左手は鏡写しの関係であるように、重ね合わせることはできない分子をキラルといいます。

C[C@@H](N)C(=O)O
L-アラニン

|

C[C@H](N)C(=O)O
D-アラニン

【絵札イラスト】キラル化合物のイメージ図 / 桑原純子

SETI (セティ、セチ)

ひ

地球外知的生命探査プロジェクト

地球外知的生命体による宇宙文明を発見するプロジェクトの総称で、頭文字を取って「SETI」と称されます。研究初期には、他の星に向けて電波の発信が行われました。現在も、他の星の高度な文明が発する通信の電波を傍受しようという計画が進められています。しかし、現在は仮に電波が受信されても、勝手に返信してはいけないことになっています。

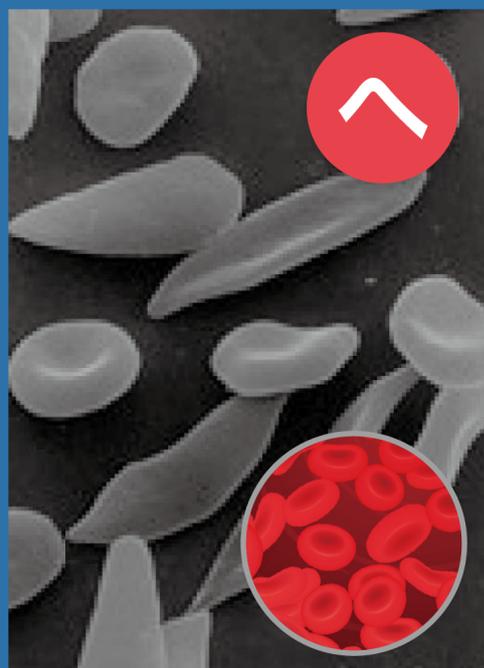
(SETI: Search for Extra-Terrestrial Intelligence)

アレシボ・メッセージ
ビットマップ画像を宇宙へ送信

【絵札画像】SETI@home プロジェクトにBOINC クライアントソフトウェアで参加の稼働時のスクリーンセーバーの一例
【解説札画像】アレシボ・メッセージ / Arne Nordmann / Wikimedia Commons

ほ
ほうき星
たいようちか
太陽近くで
お
尾をのばす

へ
変異して
しんか
進化をつづけて
いのび
生き延びよう



ほうき星(彗星) ほ

生命のもと、
有機物は彗星起源？

彗星の本体は核と呼ばれ、岩石やアミノ酸などの有機物からなる塵を含んだ氷でできています。核は「汚れた雪玉」に例えられ、太陽に近づくとその熱で表面が融けだし、ガスや塵を放出します。彗星の尾は、ガスからなるイオンの尾と塵からなるダストの尾に分類できます。また、彗星が地球の水の起源であるという説もあります。生命の基礎となる有機化合物は、彗星や隕石、宇宙塵によって原始地球にもたらされたのではないかと考えられています。

【絵札写真】 彗星 / Michael Jager & Gerald Rhemann

変異 へ

変異には遺伝するものがある

遺伝子が変化する事を突然変異といい、突然変異のことを、単に変異とも呼びます。多数の子孫のなかに、変異を持つ多くの個体があり、その中から生存に有利な個体を選択されて種が進化していくという説は、1859年にチャールズ・ダーウィンが「種の起原」で提案しました。この説は自然淘汰説(自然選択説)と呼ばれています。

自然選択の模式図 **ダーウィン型進化**

突然変異が様々な形質をもたらしますが、そのうち生存に好ましくない変異が消滅し、残った個体が次世代に子孫を残します。この繰り返しによって、個体群が進化していきます。

個体
多数の子孫
変異の存在
最適者の生存
多数の子孫
変異の存在
最適者の生存

【絵札写真】 鎌状赤血球 / アミノ酸が変異したヘモグロビンを持つ鎌状赤血球は酸素運搬能力が低く貧血症を引き起こすが、マラリア耐性が強い利点を持つ / NIDDK

み

みずわくせい
水惑星

せいめいたんさ
生命探査の

ターゲット

ま

まいよーる
マイヨール

けいがいわくせい
系外惑星

はっけんしゃ
発見者

み



ま



水

み

生命に必要なもの、液体の水

地球の生命に必須なものとはなんでしょう？その1つが「液体の水」の存在です。ハビタブルゾーン（生命居住可能領域）とは、惑星がその表面に液体の水を持つことが可能な、恒星の周囲の領域をさします。液体の水は地球の全ての生態系にとって不可欠だとみなされており、エネルギー源とともに、生命に最も重要な要素だと考えられています。

■ 太陽系のハビタブルゾーン (HZ)

諸説ありますが、太陽系のHZは、0.9～1.6AUの距離にある領域とされ、この領域にあるハビタブル惑星は地球と火星です。金星はHZの内側にあり、太陽からの放射が強すぎるため、水は蒸発してしまっています。

【絵札写真】 海水 / Lars Lentz / Wikimedia Commons
【解説札出典】 ハビタブルゾーン / アストロバイオロジー / 化学同人

系外惑星

ま

恒星を周回する太陽系以外の惑星

系外惑星の多くは恒星の周りを公転しますが、白色矮星や中性子星、褐色矮星などを回るものも見つかり、星の周りを回っていないものまで知られています。ミシェル・マイヨールは1995年、ディディエル・クエロツと恒星ベガス座51番星の変動を発見し、惑星が存在する可能性を示しました。2013年10月には、発見された系外惑星（候補）は3000個を超えました。さらに、ハビタブルゾーン（生命居住可能領域）に存在する系外惑星も10個以上見つかりました。



ミシェル・マイヨール

■ ベガス座51番星

地球から50.1光年の距離にある太陽に似た恒星。地球から見るとベガス座の四辺形の近くに位置します。1995年、太陽外の惑星として最初に観測されています。

【絵札イラスト】 恒星ベガス座51番星 / 望月銀子
【解説札写真】 マイヨール / Franck Schneider / Wikimedia Commons

め

メタンガス
火山起源か
生命起源か

む

むずかしい？
でもきつとできるとよ
人工生命



め



む

メタンガス

め

水素と炭素からなるガス

2004年、欧州宇宙機関 (ESA) は、火星上空にメタンガスを検出したと発表しました。しかし、2013年、米国NASAの火星探査車キュリオシティの観測ではメタンは検出されませんでした。メタンは、火星大気中では不安定で、急速に分解してしまいます。そのため、火星大気中にメタンが観察されれば、それは発生したばかりのメタンと考えられ、火星から新鮮なメタンが生成していることとなります。

自然選択の模式図

90%が微生物起源、約10%は地質学的起源。火星でのメタンガスは、生命体起源か岩石起源か？今後の探査に期待がかかっています。

REPORTS

Detection of Methane in the Atmosphere of Mars

Wikipedia: "Methane in Mars Atmosphere" (2004)

火星のメタンガスに関する論文
Science 306:5702 (2004)

【絵札写真】半透明の体内からメタンガスを放出する微生物の想像図 / Susan Twardy / NASA

人工生命

む

人間によって設計、作製された生命

遺伝子組み換え技術を使うと、農業に強い作物を作ることができます。科学技術の進歩で、生命を変えるのではなく、1から人工生命体を作れるようになるかもしれません。また人工生命を作ることによって、生命の定義、生命とは何なのかという根本的な問いに対して新たな知見が得られるかもしれません。

応用例と将来への期待

人工的に作り出した生命は、工業用アルコールやプラスチックの原料、医薬品など、様々な化学物質を合成するマイクロ工場として利用できるかもしれません。また、特定の場所に移動して、体を修復するための物質を放出することができれば、医療用のマイクロマシンとして利用できるのではないかと期待されています。

【絵札イラスト】人工生命のイメージ図 / NASA

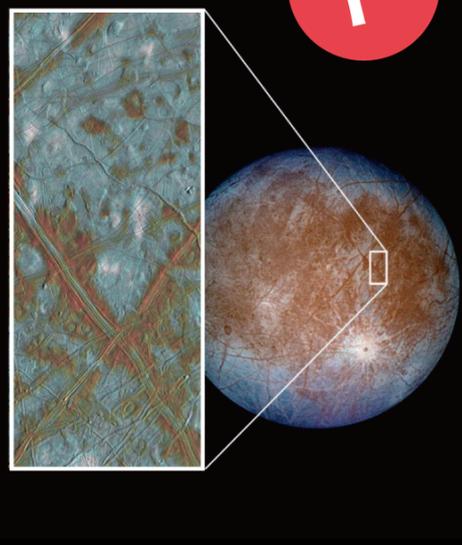
や

山より深い
エウロパ
深海

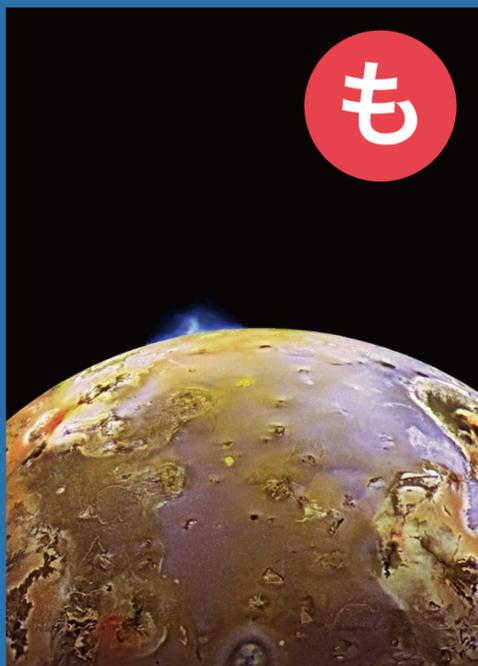
も

木星の
潮汐力で
イオに火山

や



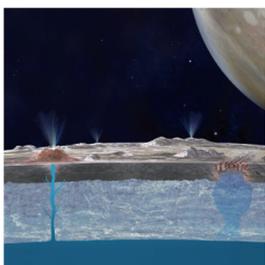
も



エウロパ

氷の下に海が広がる 木星の第2衛星

エウロパには厚さ数10kmの氷の下に深さ約100kmの「内部海」があると考えられています。地球の海の平均の深さは4km、一番深いところで10km程度です。またエウロパ表面の氷は潮汐力による歪みで、裂けたり、塞がったりを繰り返しており、リニア (linea) と呼ばれる独特の地形をしています。またエウロパの海底には、熱水噴出孔があると考えられており、地球外生命探査のターゲットの一つです。



【絵札写真】エウロパ / NASA / アリゾナ大学
【解説札イラスト】エウロパの水地殻内部の想像図 / NASA / JPL-Caltech

イオ

火山活動がある木星の第1衛星

木星の衛星の1つである「イオ」は、地球の衛星である「月」とほぼ同じ質量です。ちなみに地球は月より81倍、質量が大きいです。天体のサイズが大きいということは、天体内部の熱が失われにくい、火山活動が続くということを意味します。それにも関わらず月では火山活動がなく、イオでは活発な火山活動があります。この火山活動を支える熱源は木星の重力による潮汐力です。木星に最も近い場所と遠い場所で重力が異なるため、イオの膨らみは100mにも達します。

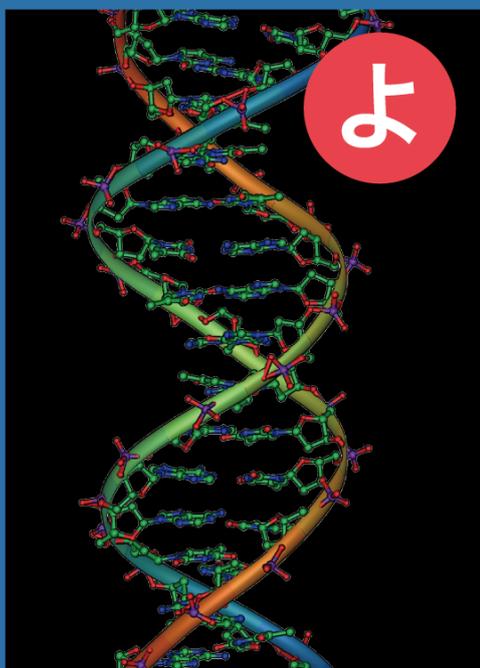
【絵札写真】探査機「ガリレオ」が1998年3月に撮影したイオの火山「ピラン・パテラ」は噴煙が140km上空まで登っている / NASA / JPL

よ

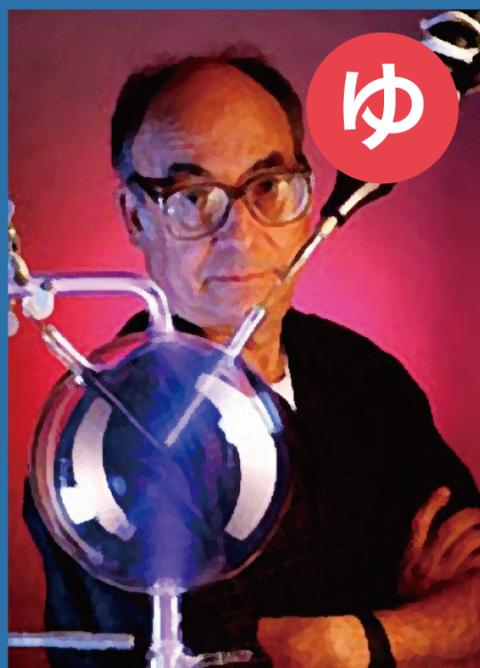
よんしゅるい
4種類
えんき つら
塩基連なる
DNA
ディーエヌエー

ゆ

よんしゅ
4種の気体で
ゆうきぶつ ござせい
有機物合成
ユーリーとミラー



よ



ゆ

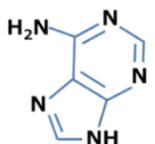
デオキシリボ核酸 (DNA)

変異には遺伝するものがある

DNAは、Deoxyribonucleic Acidの略。4種類の塩基はアデニン(A)、チミン(T)、グアニン(G)、シトシン(C)と呼ばれます。これら4つの文字の並び順はタンパク質の設計図、つまり20種類のアミノ酸の並び順を指定しているため、生命の設計図と言われています。DNAは4種類の塩基が糖に結合してリン酸でつながられています。

アデニン

アデニンは生体内に広く分布する有機化合物。アデニンはシアン化水素の濃アンモニア溶液を加熱するだけで比較的簡単に合成されるため、原始の地球でもありふれた有機物であったと考えられています。



核酸塩基のアデニン

【絵札イラスト】 DNAの二重らせん構造 / Michael Strock / Wikimedia Commons

ユーリーとミラーの実験

模擬原始大気を再現した人物

1953年にユーリーとミラーは、水、メタン、アンモニア、水素の4種類を含む模擬原始地球大気に、雷を模した放電を起こし、無機物からアミノ酸を合成させました。当時はアミノ酸のような有機物は生物なしで自然にはできないと考えられていたため、この実験は世間を驚かせました。原始地球大気にはメタンやアンモニアではなく一酸化炭素等が多く含まれていた可能性も高く、この実験のように放電による反応はあまり起きていなかったかもしれません。しかし、彼らの実験がきっかけとなり、様々な原始地球環境下を模した実験が行われ核酸や代謝産物が無機的に地球の様々な場所で産生されていたであろうことが示され、生命の起源研究を進展に導きました。

【絵札写真】 スタンリー・ミラー / NASA

り

リボ核酸 かくさん

ディーエヌイー

DNA から

じょうほう

情報コピー

ら

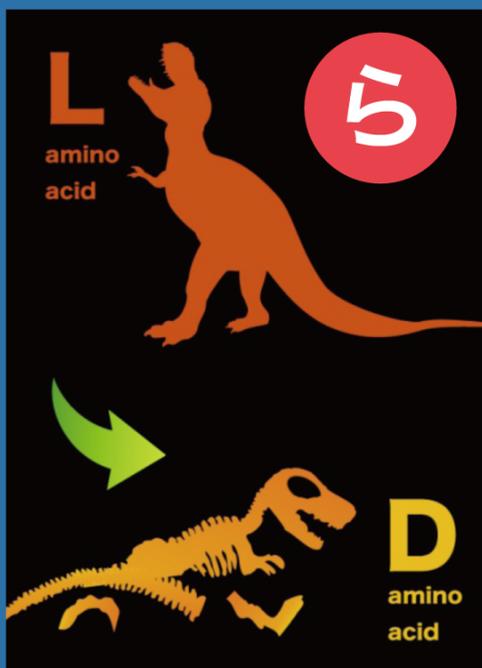
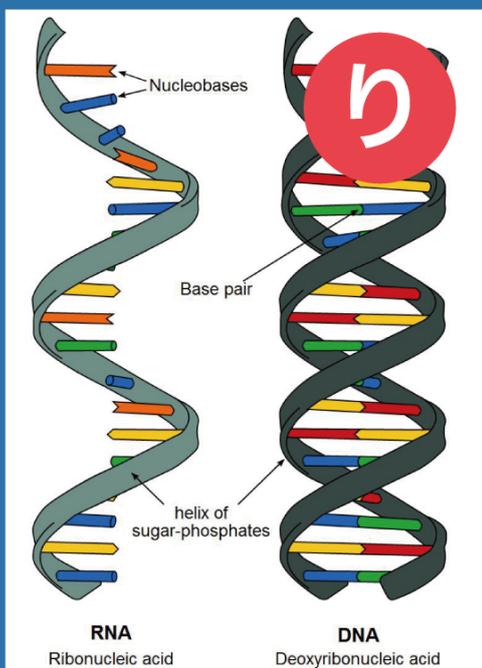
ラセミ化 か で

エルがたぶんし

L型分子 (アミノ酸) さん は

ディーがた

D型に



リボ核酸 (RNA) り

**リボースを用いる核酸は
リボ核酸 (RNA)**

現在の生物は遺伝情報をDNAに保存し、遺伝情報はRNAとよばれる物質に「転写 (コピー)」された後、タンパク質へと「翻訳」されます。現在の生命は、この三種類の高分子DNA、RNA、タンパク質がそれぞれの役割を果たすことで生命が維持・複製されています。その三種類の分子の役割をRNAが全て行っていたとするRNAワールド仮説は生命の起源の有力な説です。

【絵札イラスト】 核酸の構造と核酸塩基 (左 : RNA 右 : DNA) / Spunk / Wikimedia Commons

ラセミ化 ら

ラセミ化で生命の年代測定

生命活動によるアミノ酸の多くが左手型(L体)です。アミノ酸のL体と右手型(D体)は光学異性体で、数千年から数万年かけて光学異性体が少しずつ左手型と右手型の比率が半分半分に近づくことをラセミ化と言います。その割合を測定すれば、その生物起源有機物の年代がわかります。

■ アスパラギン酸のL体とD体

生命は通常、L体のみを作り出します。アスパラギン酸 (アミノ酸の一種) はラセミ化の速度が速く、気温20°C であれば1万5千年でL体の半分がD体に変化します。

NC(CC(=O)O)C(=O)O
L 体

NC(CC(=O)O)C(=O)O
D 体

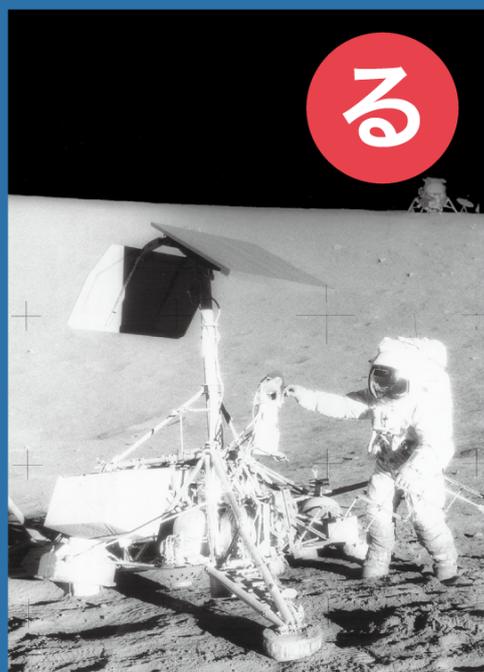
【絵札イラスト】 ラセミ化のイメージ図 / 桑原純子
【解説札出典】 アスパラギン酸のL体とD体 / Wikimedia

れ
レーダーバーグ
 けんがいせいぶつがく
圏外生物学の
 ていしょうしゃ
提唱者

る
ルールあり
 わくせい
惑星まもる
 うちゅうけんえき
宇宙検疫



れ



る

圏外生物学 **れ**
宇宙における生命の起源、進化、分布を扱う学問
 ノーベル生理学・医学賞受賞者のジョシュア・レーダーバーグは、1960年、宇宙における生命の起源、進化、分布を扱う学問を圏外生物学と名付けました。彼は、地球外起源の細菌による地球の汚染の可能性や、地球から宇宙船等に付着した微生物が地球外生命を脅かすことを訴えました。この分野は今、アストロバイオロジーと呼ばれる分野になっています。



【絵札写真】 ジョシュア・レーダーバーグ / Jacopo Werther / Wikimedia Commons
 【解説札イラスト】 未知の微生物の想像図 / 桑原純子

宇宙検疫 **る**
他の天体を汚染してはいけません
 宇宙に地球の生物を持ち込んで、他の天体の環境を汚染しないこと、また、宇宙から地球へ生物を持ち込まないようにすることを「宇宙検疫」といいます。アポロ12号の宇宙飛行士が、先に月に到着していた無人探査機に微生物「連鎖球菌」を発見しました。これは、地球から運ばれてきたものだと判明しましたが、約2年6か月、月面で生き延びていたこととなります。月・惑星探査の際には、探査機の殺菌の他、微生物等の宇宙環境耐性を調べる必要があります、サンプルリターンの際には、持ち帰ったサンプルを安全に保管する技術が必要です。

【絵札写真】 アポロに先立って打ち上げられたアメリカの無人月探査機サーベイヤー3号の部品を回収するアポロ12号のアラン・ビーン宇宙飛行士。後方にはアポロ12号着陸船がみえる / NASA

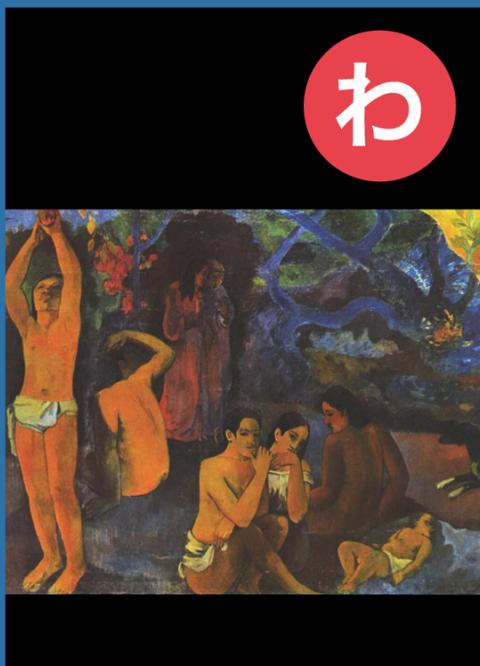
わ

われわれは
どこから来て
どこへ行くのか

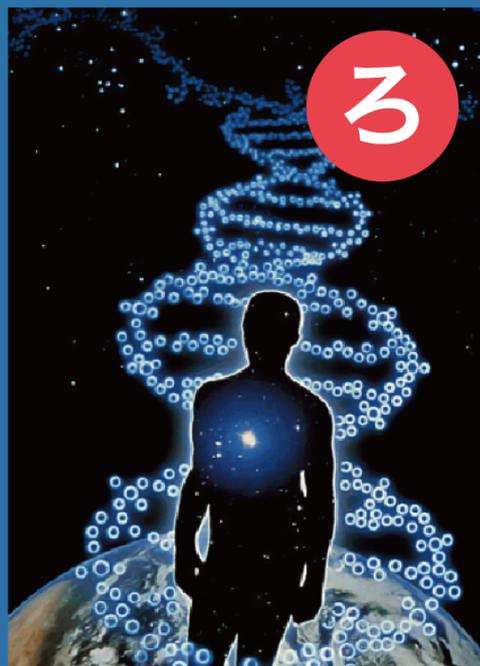
る

ロマンある
我々の祖先
探す旅

わ



る

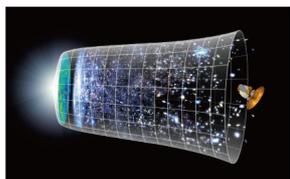


究極の問い

わ

我々はどこから来たのか
我々は何者か
我々はどこへ行くのか

我々のもとになった、元素は宇宙起源です。生命誕生のもとになった有機物も宇宙から来た可能性があります。地球生命そのものの祖先も宇宙（火星）から来たという説もあります。生命の誕生、生命の進化、そして、生命の将来につながる研究が今、研究者により、進められています。



生命の誕生や進化は「宇宙の膨張」と深く結びついていると考えられています

【絵札イラスト】我々は何処からきたのか、我々は何者か、我々は何処へ行くのか（絵画一部分） / ポール・ゴッガン / ポストン美術館所蔵
【解説札イラスト】宇宙膨張の図 / NASA / WMAP Science Team

我々の祖先

る

地球上のすべての
生命の祖先は？

我々人、動物、植物だけでなく大腸菌などの微生物も含めて、地球上のすべての生物は1種類の祖先生物から誕生したと考えられています。それがどのような生物であったのか、いまでは祖先生物の遺伝子を作成して調べる事ができるようになっています。



【絵札イラスト】人間の遺伝子のイメージ図 / Massimo Pigliucci
【解説札イラスト】遺伝子のイメージ図 / NASA