

第 2 7 章 生命の進化の謎

生命の進化では、単純な生物から自然選択によってより環境に適した生物が現れていくというものでした。しかしそもそも生命がどのように発生したかについては教えてくれません。また、どのようにして高等生物が発生したのかや、老化などの仕組みなど人類の興味は尽きません。ここではこうした生命の謎について見ていきましょう。



生命の起源は？

生命の進化は、単細胞生物から多細胞生物へと、単純な生物からより複雑な生物へと進化してきました。しかし、最初の単細胞生物はどのようにして生まれたのでしょうか？

46億年前に地球が誕生し、隕石の落下や放射性物質による地熱などにより溶けていた地表の岩石が固まり、地殻を形成します。初期の大気は、二酸化炭素と窒素が種であり、硫黄や水蒸気と、おそらくメタン CH_4 やアンモニア NH_3 も含まれていたかもしれません。初期の海ができると、雷や火山活動、紫外線などは、現在とは比べものにならないくらい強かったでしょう。

化石には、38億年くらい前の原始的な細胞と見られる化石が見つっています。ただし、これはただの泡状の非生物である可能性があります。しっかりと確認できるものとしては、バクテリアの堆積物からできたと見られるストロマトライトと呼ばれる層が西オーストラリアで35億年前の地層から見つっています。初期のバクテリアは光合成をしていたのでしょうか？光合成は仕組みが複雑であるので、初期のバクテリアは、光合成をしていなかったと思われます。栄養源は、現存するバクテリアにも見られるように、硫黄酸化物だったのかもしれません。

これから生命の起源について考えてみましょう。



先カンブリア記のバクテリアの堆積物によって作られたと見られるストロマトライト

ユーリー・ミラーの実験

1953年に、スタンリー・ミラーは23歳の大学院生でした。シカゴ大学尾ハロルド・ユーリー教授の下で実験をしていたのです。ミラーは、世界中の科学者が注目する実験を行いました。ミラーは、生命のいない地球上でもアミノ酸が合成できることを初めて示したのです。

ミラーの実験は、初期の地球においては、アミノ酸の合成のエネルギー源として、雷の他に、紫外線の照射が関係していたものと考えました。実際当時はオゾン層はなく、また初期の太陽の輻射は現在よりも強かったものと考えられたからです。また、地熱なども影響していたでしょう。

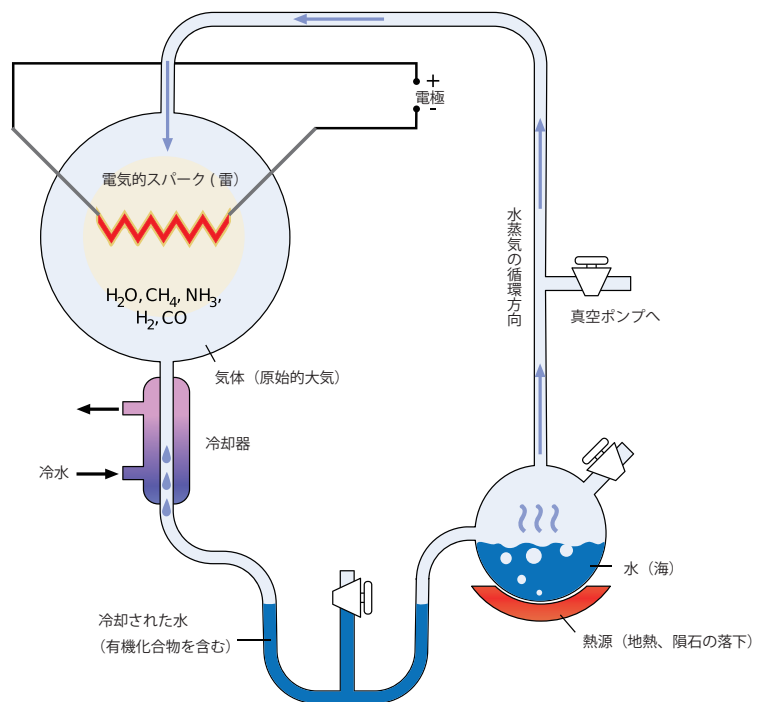
大気の成分については、酸素がないことが重要な条件でした。酸素は物質を参加させやすいので、熱源などで容易に有機物と反応してしまいます。実際初期の大気では、酸素はほとんど炭素や硫黄などと結びついてしまっており、大気中にはほとんど酸素がありませんでした。

このような環境の中で、水素やメタン、アンモニアを含む気体に、電気的な放電と熱したり冷却したりさせます。そして、装置を作動させて1週間後には、アミノ酸の幾つかの種類を含む有機化合物が生成されていることを発見したのです。

ミラーの実験の後、生命の起源に関するこの実験は改良され、20個のアミノ酸のほとんどと、DNAやRNAにある塩基グアニンやアデニンやATPの合成にまで成功したのです。

しかし、一方で科学者達はミラーの実験で仮定した大気の成分は、実際の大気の成分と異なるのではないかと考えています。特に、大気のほとんどの成分は、二酸化炭素と窒素だけであり、メタンやアンモニアはほとんど存在していなかったかもしれないのです。

しかし、海底火山なのではこうした成分が豊富に含まれているので、こうした場所を起源にしたという説もあります。



タンパク質や DNA, RNA はどのようにしてできたか？

タンパク質はアミノ酸の重合体であり、DNA や RNA はヌクレオチドの重合体です。実際の生命ではこうした反応は酵素でできています。しかし、それら酵素自身もタンパク質ですので、最初のタンパク質はどのようにしてできたか謎です。

実験室では、重合反応は酵素なしでも起こります。たとえば、モノマーが、熱い砂や粘度などの上に落ちると、蒸発によってモノマーが濃縮されます。するとモノマーの一部が重合をするのです。この方法を用いて、ヌクレオチドのポリマーを作ることに成功しています。

また、粘土ではアミノ酸を重合することが知られています。それは、粘土の粒子は極性を持つため、アミノ酸をつなげる触媒の役割をするのです。粘土はまた鉄や亜鉛などといった触媒になる物質も含んでいます。このように、初期には酵素の代わりにこれらの無機物によって重合反応が行われていた可能性があるのです。

RNA ワールド仮説とは？

体内の重合体としては、タンパク質と DNA, RNA などどちらも重要な重合体です。それでは、初期の生命ではどちらが重要だったのでしょうか？生命とは次の世代に自分の子孫を残すものです。これが、生命体と非生命体とを明確に分けています。このため、遺伝情報を次に伝えることが最も重要なのです。

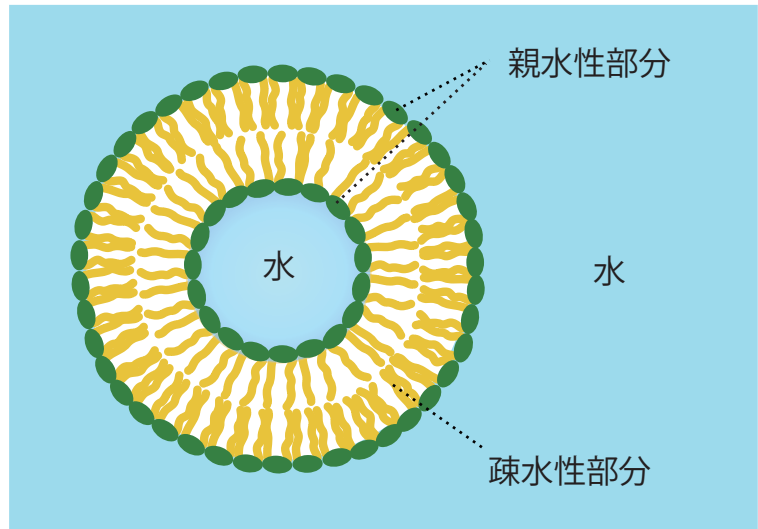
現在の生命体は遺伝情報を DNA に蓄えています。DNA → RNA →タンパク質という合成をしていますが、初期からこんなに複雑なことができたのでしょうか？一つの仮説としては、まず RNA が遺伝情報を持っておりこれが粘土などの無機物により複製やタンパク質の合成を行っていたというものです。実際実験室では、短い RNA は、酵素なしでもヌクレオチドから合成できるのです。しかも、短い RNA とヌクレオチドがあると、水素結合により対となる RNA は酵素なしでも合成できてしまいます。一方では、RNA は DNA に比べて不安定であり、寿命は短かったでしょうから、効果的に複製をする進化をしたものが生存に有利だったでしょう。また、それら RNAの中には、その複製を助けるものが出現してきます。そしてそれがアミノ酸と結合し、アミノ酸を合成できるようになったものと思われます。一方では、遺伝情報の安定性のため、RNA から DNA が合成されたと考えられます。自然環境の悪化による自然選択により、DNA に遺伝情報を残したもののだけが生き残り、このようにして最終的には DNA が使われるようになっていったのだと考えられます。このように初期の生物の遺伝情報は RNA からなるという仮説を **RNA ワールド仮説**と言います。

現在では、自己複製する RNA 分子は存在します。そのため RNA ワールドを再現する努力がなされています。

細胞膜

生命の定義は細胞があることでした。そのため、細胞膜が形成される必要があります。この細胞膜についてすこし詳しくみてみましょう。

細胞膜を作っているのは、二つの脂肪酸をリン酸基によって結びつけられたものです。これを**リン脂質**と言います。ドメインの細菌と真核生物の細胞はこのリン脂質でできています。脂肪と同様に、リン脂質は極性を持つ頭の部分の他には非極性分子でできています。非極性部分が多いので水には溶けません。この脂質は水の中でどのような固まりになるのか考えてみましょう。基本は分子間に働く力です。極性のある部分は水と引き合い、非極性の部分は非極性部分同士でファンデルワールス力で引き合うのです。



このようなリン脂質が安定な状態でいられるのは、図のように、水の方に極性の頭を向けて、球形になることです。この形状をミセルと言います。しかし、内部が空洞になるのであまり大きくはなりません。そこで内側にも水が入って安定なのが、脂質の層を逆さまにして貼り付けたような**脂質二重層**という構造です。これですと、内部にも外部にも水と接していますし、非極性の部分はすべて非極性の部分と接しているので安定なのです。そのため、リン脂質が存在するとこのような細胞膜の構造は自然に現れるのです。

このように、細胞膜はリン脂質から自然に形成されます。RNAなどは、その反応のしやすさや安定性などからも細胞膜の中に潜り、それを受け継ぐような構造をしたものが優勢に繁殖したのだと考えられます。

脂質二重膜を通り抜けやすいのは？

このリン脂質二重層には、次のように面白い性質があります。

この細胞膜は、親水性部分は電荷の偏り、つまり分極があります。このため、膜の内部にイオンとなった分子が入ろうとすると、周辺部の分極に引きつけられて、通り抜けにくくなります。一方、非極性分子は楽に通り抜けられます。また、極性を持つ水も、分子が小さいため比較的楽に通り抜けられます。このため、反応性の高いイオン分子から内部を守ることができるのです。また、このように、細胞膜の通り抜ける物質に選択制のある構造は、代謝などのメカニズムに重要な要素なのです。

ミトコンドリアと葉緑体の起源は？

真核生物では、ATP の生産を担うミトコンドリアと、植物では葉緑体があります。これらはどのようにしてできたのでしょうか？

ミトコンドリアは、効率よく ATP を生産する細菌が、大きな細胞の細菌に取り込まれたことから起こったものと考えられています。実際に、ミトコンドリアには、核の染色体とは別に DNA を持っており、細胞分裂の際に同時に複製されます。

葉緑体もまた、光合成を行うバクテリアを取り込むことでできたと考えられています。

まだまだ多い生命の起源の謎

今まで見たように生命の起源については、自然に見える部分もある反面、まだ多くの謎が残されています。たとえば自然の段階では、5 単糖と 6 単糖がほぼおなじ割合で作られてしまいます。しかし、DNA や RNA を作る段階ではその重合のため 5 単糖が多数できる状況である必要があります。このメカニズムはまだ謎のままです。

また、DNA や RNA の塩基のうちシトシン、チミン、ウラシルは、その合成に最も難しいものがないのです。一方では、グアニンやアデニンなどはシアン化水素 (HCN) からミラー・ユーリー実験により作り出すことが可能です。このように、DNA や RNA の自然界での合成にはまだまだ謎があり、これからの大きな研究課題です。こうした問題が解決すれば、いずれ人間が生命を作り出すことが可能になる日がくるかもしれませんね。

人類の進化

人類とチンパンジーの遺伝子は98～99パーセントまで同じです。したがって生物としての違いは残り1パーセントの中にあります。人類が他の猿と比べて何が異なるのかはすぐにわかりますね。まず、2足歩行することです。それと、あごが小さく、顔が平べったいことです。また、大きな脳を持ち、言葉をしゃべり抽象的な思考ができます。そして、複雑な道具を用いることができます。それ以外にも、子供が成人になるまでの期間が長いことも大きな特徴でしょう。

古人類学者達は、チンパンジーよりも人に近い、絶滅した類人猿の化石を約20種も見つけました。これらの分類をヒト亜科と言います。

現在最も古い化石は、今から6百万年から7百万年前のものとされる、サヘラントロプスで、身長は約150センチメートル、脳の大きさはチンパンジーと同じくらいです。比較的多く出土しているのが、アウストラロピテクス属で、4百万年前から2百万年くらい前に多数の種がでてきます。これらの属は、300万年ほど前から出現したホモ属と同時期に生息してもしました。

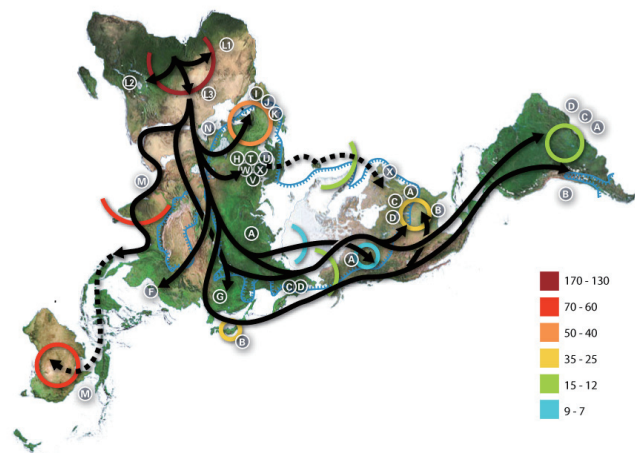
人類の進化で最も混乱しやすい点は、これらは一つの進化の形式ではないということです。人の進化は、多様な属から最後は私たちホモ・サピエンス1種をのぞいて絶滅してしまったのです。

直立は400万年前頃から始まったようです。これは、その頃発見された骨の構造から類推されています。また、350万年前の2足歩行した足跡も発見されています。アウストラロピテクス属は、木の上から平地におりてきたようです。300万年ほど前から出現したホモ属では、脳が次第に大きくなっていきました。

そして、私たちの種であるホモ・サピエンスは、アフリカで誕生したとされています。ホモサピエンスの最古の化石は、約19万年前から16万年前のものでエチオピアで発見されています。一方、ネアンデルタールは、ヨーロッパで20万年前に現れたようです。

細胞内では、男子のY染色体は父親のY染色体から引き継がれ、ミトコンドリアの染色体は、卵子のつまり母親のDNAから引き継がれます。特にミトコンドリアのDNAは、変異は2000年に一度くらいと推定されています。そのため、ミトコンドリアのDNAの変化を見ると、起源が推定できるのです。現在のDNAの解析によると、人類は、たった一人の女性のDNAを引き継いでいることがわかっています。

数万年前の氷河期の頃には、海面は今よりかなり低く、ほぼすべての大陸は陸続きでした。そのためアフリカを出た後の、ホモサピエンスは世界中に広がっていきました。それと共に、ネアンデルタール人は滅んでいきました。



人類の特徴

人類の大きな特徴は、大きな脳を持つことの他に、発声器官が非常に発達していることです。このことは、コミュニケーション能力を飛躍的に発達させ、社会全体で共有する知識を子孫に伝えていく重要な要素だったことでしょう。

人間は、肌の色や土地への適応性などに応じて群集を作ります。群集でいることが生存に有利に働いたのでしょう。人類は自然選択による遺伝子レベルでの進化によらず、群集の道具、猟の仕方や農具、衣服や家、そして兵器の開発などによる進化をしてきました。これら群集の共通する考え方や物質などのすべての生産物を文化と言い、その文化を持った群集を社会と言います。この文化が優れている社会が次の世代でより反映していき、遺伝子の優劣に寄らない特有の自然選択をしてきました。ただし、群集をつくって生活していくことが生存に有利だとはわかっていても、これが遺伝的に組み込まれた性質なのかについては現在もわかっていません。

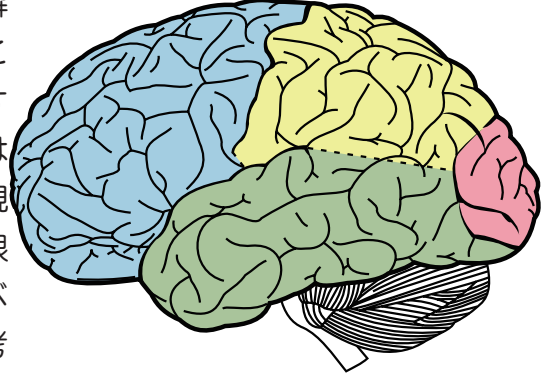
文化の生成のために重要なのが、抽象性の認識です。つまり、一つの現象をそれ自身のものとしてとらえるのではなく、類似したすべてのものを含む形で認識することです。この抽象性が理解できると、生命に対して一つの危険があると、類似の現象に対しても同様の危険性があることが認識できるのです。また、動作に意味を持たせるのも抽象性の一つです。たとえば日本ではお辞儀をすると、礼儀正しいと取られます。お辞儀をするという行為に物理的行為本来と別の意味を結びつけているのです。また、言語は抽象性の最も重要な要素です。声の並びに、特定の意味を結びつけています。多くの地域では、同じ文化では同じ言語を使って発達してきました。言語は、文化を伝えて発達させるために必須の要素です。しかし、文化に含まれる知識の蓄積が進むと、それを文字の形で残しておく文明の方が有利になっていったことでしょう。社会では共通の価値観を持ち、社会の制御のための法律が生まれます。

人格形成

人格は、脳内に埋め込まれた情報や知識に左右されます。そのため、人格とは、先天的な要素と共に、親などと接することで決まってきます。人類学者、動物行動学者、心理学者、社会学者のほぼ一致した見解としては、人格とは生物学的遺伝、物理的な環境、文化、集団での経験と個人的な経験の総合として決定されている可能性が高いのです。逆に言えば先天的な遺伝情報のみで決定されているわけでもなく、遺伝情報抜きで後天的な要素だけでも説明できないのです。人格の形成に生物学的要素も非常に重要です。人間との接触がなく育てられた子供は、通常には発達しません。また、理由はよくわかりませんが、幼児の頃、だっこなどの物理的接触が少ないと高度な学習能力の発達が遅れるようです。幼児は自己というものを認識していません。自分と環境という分け方の認識ができないのです。自己と環境との境を認識するためには、環境との相互作用が必要です。

社会科学が自然科学になる？脳科学とは？

認識、思考といった過程が人間を人間たらしめているとも言えます。人間の心理的状态はもちろん自他共に不確定であり、このことが社会科学の面白さとも言えます。しかし、人間の思考が、人間の脳で行われているとすると、脳の内部の情報をすべて読み取ることができるとすると、原理的にはその個人を理解できるかもしれません。こうした脳を解析することにより人間の記憶、思考、感情などの解析をする学問を脳科学と言います。しかし、脳の中には一千億個近くの細胞があります。したがって、現段階では細胞レベルでの還元主義的な解析には限界があります。そのため、脳科学には様々なレベルがあります。たとえば、認知脳科学では、思考などについて心理学的なアプローチと脳の内部の大まかな信号の流れを結びつけています。しかしそれでも人工知能の研究などにより、将来的には脳の理解が人類の発達そのものにも影響を与えてくるでしょう。ここではすこし脳科学について見ていきましょう



どうやって脳内を見るのか？fMRI

人間の脳の活動を見るにはどうすれば良いのでしょうか？一つは、14章で見た、PETです。グルコースを放射性物質にして、脳の活動部分ではグルコースを消費するのでグルコースが集まり、放射性物質からの陽電子が周りの電子と対消滅したときのガンマ線を観測します。しかし、放射性物質の寿命は数十分と短く、長時間観測できません。また、放射性被爆もあるので同じ人に対して繰り返しての観測もできません。その他、分解能も悪く数千の細胞を一つのものとして認識します。



fMRI 装置

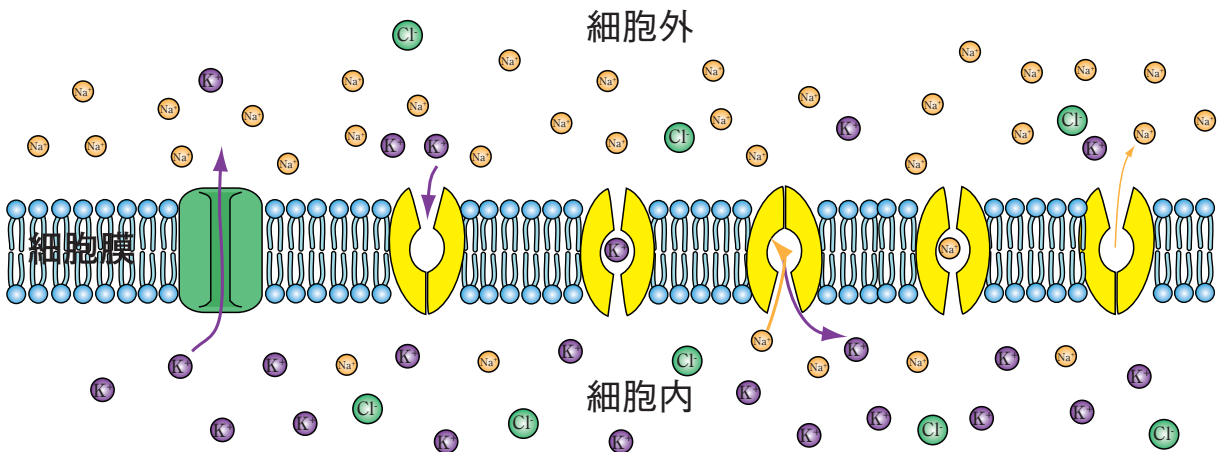
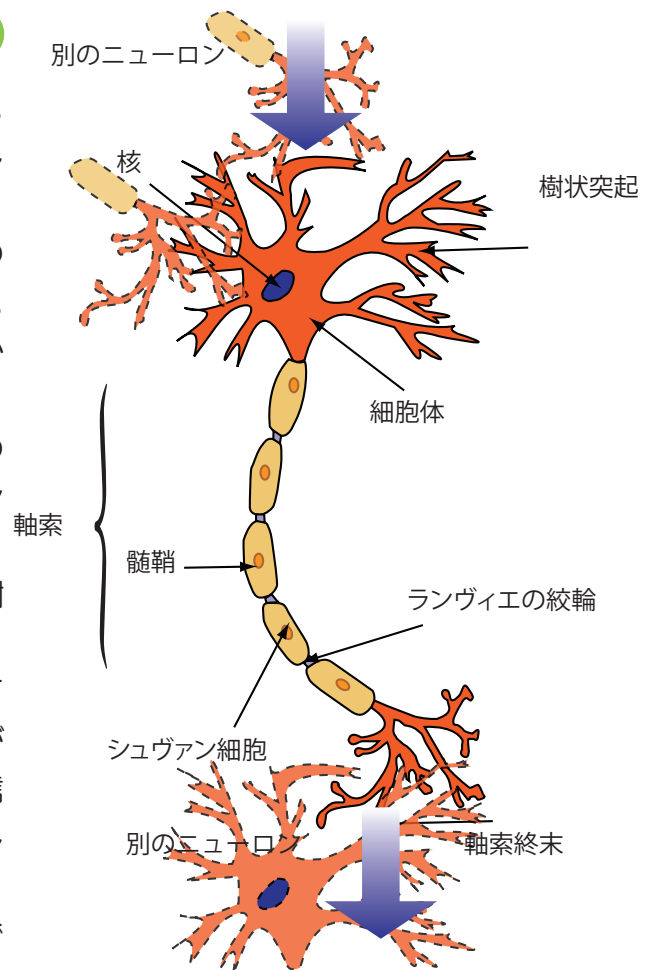
もう一つの方法は、これも以前見たMRI(Magnetic Resonating Imaging)を用いる方法です。通常のMRIは、磁気をかけた状態で水素の磁気スピンの反転周波数を読み取り水素の場所を特定します。一方、脳の活動を見るには、ヘモグロビンを見ます。ヘモグロビンには鉄が含まれていることから、磁場と同じ方向に向き、この向きを反転させる周波数の電磁波を吸収、そして放出します。一方、酸素と結合したヘモグロビンは、酸化鉄が磁石にならないのと同様に、酸素が鉄の磁石の性質を打ち消すようになり、同じ電磁波は吸収放出しなくなります。そのため、脳内の活動により酸素が消費されると、酸素と結合していないヘモグロビンが増加し、その信号を見ることができるのです。このような装置を**fMRI(functional MRI)**と言います。1mm程度の分解能で、PETスキャンよりも勝ります。しかし、このような装置でも細胞単位での信号は見ることができません。そのため、情報の伝達経路の完全な解明にはこれからのテクノロジーのさらなる進歩が必要でしょう。

脳の基本単位 ニューロン

脳や神経の基本単位はニューロンです。ニューロンについては、既に8章で見ましたが、ここでは少し詳しく見ていきましょう。ニューロンも細胞ですので、細胞体の中に、ミトコンドリアや核などがあります。ニューロンは、大きく分けて3つの部分から成り立っています。樹状突起の部分は、2mm程度ですが、軸索は1mを超えるものもあります。ただし、脳内部のニューロンでは軸索のないものも多く存在します。

樹状突起と細胞体、そして軸索です。樹状突起から受け取った電気のシグナルは、軸索を通り、次のニューロンに伝えられていきます。多数のニューロンからの情報が入るため、細胞体は、多くの軸索からの信号も受け取り、すべての情報を統合的にして軸索へと信号を伝えていきます。

信号はすべて電気的な信号です。それではこのような信号はどのようにして作り出されているのでしょうか？通常の細胞では、細胞内には、カリウムイオン、塩素イオンが



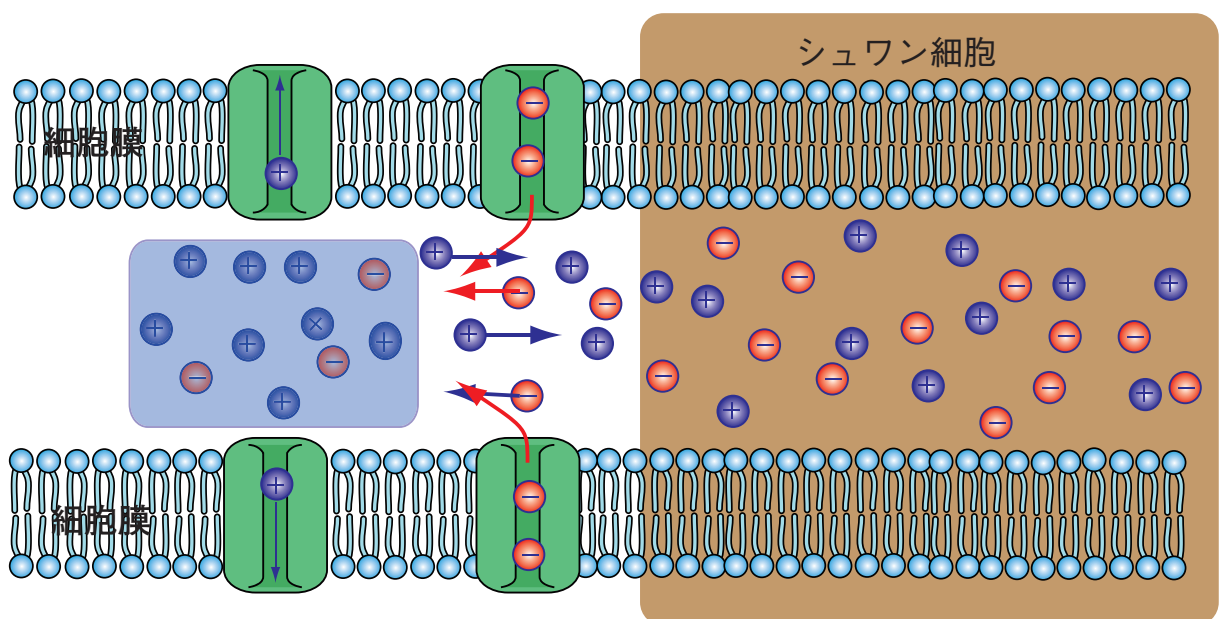
カリウムの受動輸送

多く、細胞外にはナトリウムイオンが多く存在します。これは細胞膜にはイオンをくみ出すポンプが存在しているためです。カリウムイオンには、自由に行き来できるポンプが存在します。それに対して、ナトリウムポンプでは、カリウムを外部から得る代わりにナトリウムを内部から外に放出します。このようにして、細胞内外でナトリウムとカリウムの濃度差を作り出しているのです。すると、濃度の勾配により、イオンが移動する力となりこのことが細胞内外での電荷の不釣り合いを生じさせて、細胞内外で電位差を作り出しています。通常の状態では細胞内部が -70mV 程度に保たれています。

カリウムとナトリウムの能動輸送

ナトリウムには、通常は働いていないが、外部からの電位で開くナトリウムチャンネルがあります。軸索にある程度電位差ができると、ナトリウムチャンネルが1ミリ秒くらい開きます。すると、外部に多く存在するナトリウムのプラスイオンが流れ込み、内部がプラスに帯電します。このため内部の電位が上昇します。この電位を感じてカリウムチャンネルが開くと、カリウムが外部に飛び出していき、内部の電荷が中性になっていきます。このようにイオンの流れをチャンネルで操作することにより、電気的なシグナルを作り出しているのです。

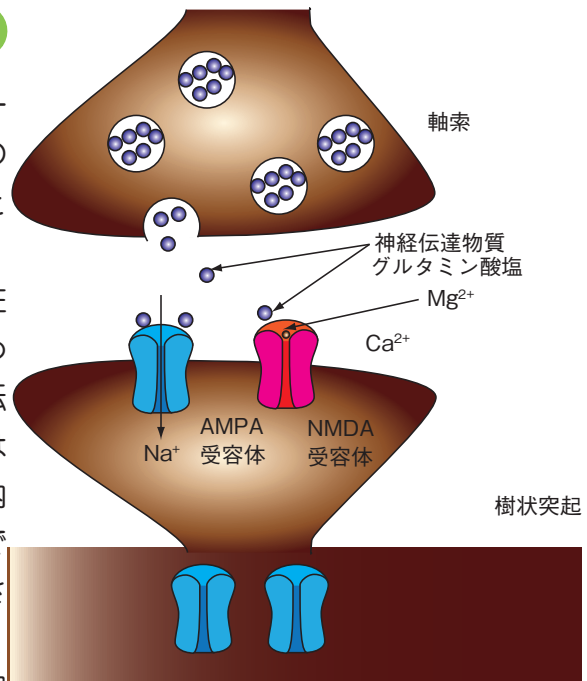
それでは、シグナルはどのようにして伝わるのでしょうか？電気的に正に帯電したところができると、すぐ横の場所から負の電荷が引きつけられ、正の電荷は遠ざかります。するとここにも電氣的偏りが起こり、それが次の場所の電氣的偏りを引き起こして、電気的なシグナルは波のように伝わっていくのです。しかし、イオンチャンネルのあるところでは、この電荷の偏りを中和するようにイオンチャンネルが働いてしまいます。すると、電荷の移動は、細胞内外での移動に振り分けられてしまい、細胞内での伝達が阻害されてしまうのです。そのため、イオンチャンネルのあるところではこのシグナルの伝わる速さは遅くなってしまいます。一方、軸索の中にはシュワン細胞があり、この部分ではイオンチャンネルがなく、電荷の偏りは進行方向のみに起こり、軸索内を素早く進むことになります。



シナプス伝送

軸索を伝搬したイオンの信号は、次のニューロンへと受け継がれます。この軸索と次のニューロンの樹状突起の間の部分を**シナプス**と言います。

細胞外にはナトリウムイオンが豊富に存在し、細胞内のように簡単には電荷の偏りが伝わりません。そこで、軸索の末端からは、神経伝達物質が放出されます。神経伝達物質としてはアミノ酸が構成要素として用いられます。脳内ではグルタミン酸塩が神経伝達物質の主役です。このグルタミン酸塩が軸索末端から放出され、樹状突起の AMPA 受容体に作用すると、ナトリウムイオンチャンネルが開き、樹状突起にナトリウムイオンが流れ込み、これが新たな電荷の偏りとして、次のニューロン内を伝わっていきます。これが神経伝達の基本的な仕組みです。

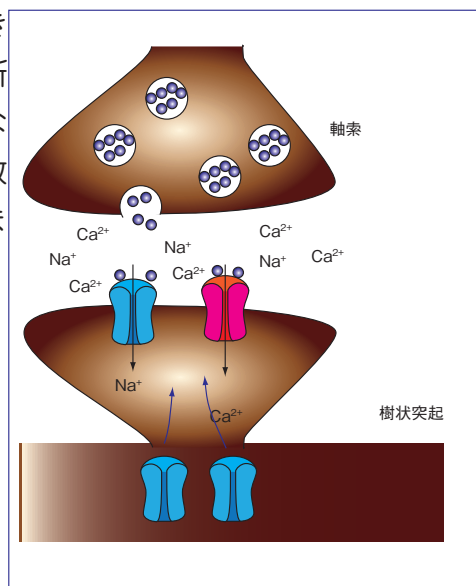


長期増強 (LTP)

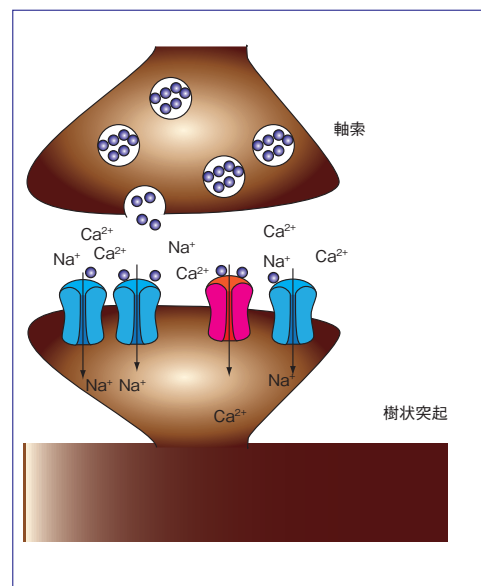
シナプス、電氣的信号を伝える重要な部分です。しかもこの部分で伝える信号の強さを制御することができます。シナプスでは樹状突起のナトリウムイオンチャンネルである AMPA 受容体の数によって信号の強さを変化させる仕組みがあります。

NMDA 受容体は、通常ではマグネシウムイオンでふたがされた状態になっています。これにある程度のグルタミン酸塩がとりつくと、マグネシウムイオンが外れ、カルシウムイオンが樹状突起内に侵入できるようになります。このカルシウムイオンが引き金となり、内部にある AMPA 受容体が表面に現れ、受容体の数が増加します。その結果、同じ信号でも、繰り返して信号が流されると、次に増幅して伝えられるようになるのです。これを**長期増強 (long-term potentiation, LTP)**と言います。この受容体の数が多い状態は、

1 ヶ月程度は続きますが、外から新たな信号が流れないと、受容体の数は減少していきます。



LTP 誘導中



LTP 誘導後

記憶の仕組み

脳内では、人間の感情、記憶、思考など様々な人間的営みが行われています。人間の脳の働きは複雑です。ここでは、数多くの事柄の内、記憶のメカニズムについて見ていきましょう。

私たちは、自己の外部で起こる様々なことを記憶しています。脳内では記憶とは、様々なニューロンがつながった状態として維持されているものと考えられています。つまり、幾つかのニューロンの回路として記憶が保持されているのです。記憶の維持のためには、LTP がありますが、この LTP では、一ヶ月以下の記憶しかできないことになります。このため、LTP 自身は、**短期記憶**の手段となっていると考えられます。

数十分の範囲では、人間が記憶できる事柄の平均は7つ程度という実験結果があります。LTP では、さらに長期的な一ヶ月程度の範囲で保存できる方法です。しかし、人間はこのような情報の幾つかは、何らかの作用により、さらに長期的に保存しています。たとえば、自分の誕生日などのように非常に長期間維持している記憶も存在するのです。このように、1ヶ月以上、数十年にわたって記憶されるものを**長期記憶**と言います。この長期記憶はどのような仕組みで起こるのでしょうか？

LTP では、カルシウムイオンが引き金となって、待機していた受容体が樹状突起表面に現れることで起こりました。このカルシウムイオンはさらに酵素と結合して、核内の DNA から mRNA を作り出す要因となり、新しいタンパク質が合成されます。そしてこのタンパク質が、受容体を長期的に維持するための部品として用いられったり、新たなシナプスを作る元になると考えられています。このように、長期記憶は、短期記憶を繰り返して使用するなど、回路に流れる電流を維持して、タンパク質の合成を促し、受容体を定着させることなのです。しかし、私たちの経験でも一度の経験で長期記憶になってしまうものもありますので、どの信号が短期記憶でとどまるのかそれとも長期記憶になるのかははっきりしません。また、皆さんご承知のように、記憶力には個人差もあります。記憶力を伸ばすにはどうしたらいいのかと言った問題は、すべての人に通じるものではありません。

老化

すべての生命は、死を迎えます。生命体の個体群としての重要性は、次の世代の個体群が多数できるかにかかっています。そのため、子孫を十分残した後は、死んだ方が種全体から見ると有利なわけです。この意味で、子孫が育った後も不死でいることは自然選択から外れた行為なのかもしれません。しかし、いつまでも生きていたいというのは高等生物のみに許される願望なのでしょう。この意味で、老化のメカニズムを知るのは重要です。

老化には様々な要因があり、未だ完全な定説はありません。しかし、細胞分裂の度に突然変異が蓄積していくのが老化の第一の原因でしょう。しかし、必ずしもこの突然変異が老化の直接の原因とは言えない部分が多いのです。たとえば、広島や長崎の原爆被爆者では突然変異は確かに多いのですが、それによって老化が早まったという証拠が見あたらないのです。

もう一つの要因としてあげられるのは、染色体の分裂にかかわる限界です。染色体の末端にはテロメアという部分があり、TTAGGGの繰り返しからなっています。この部分は複製のときのりしろとして働きますので、このテロメアと複製ができません。DNAが複製されるたびに末端が失われていきます。人間ではおよそ50回の複製でテロメアがなくなってしまう。人間の細胞分裂の周期が1年半ほどですので、これ以降はダメージを受けても新たな細胞は合成されないのです。生物にとっては、このテロメアの存在は有利に働いてきたのかもしれませんが。万が一、細胞が突然変異によって異常に増殖したとしてもそれは50回の分裂で止めることができるからです。ただし、ガン細胞はこのテロメアの複製を行うようにも変異しています。このため、通常細胞もこの変異だけを受け継げば老化は防ぐことができるのかもしれません。

また幾つかの遺伝子が、老化にかかわっていることもわかっています。寿命を延ばす遺伝子もありますが、こうした個人は自然選択では人類の主流にはならなかったのでしょう。老化を早める遺伝子もあり、この遺伝子の作用で老化が著しく進んでしまうウェルナー症候群なども知られています。

私たちは宇宙でたった一つの高等生物か？

1950年に有名な物理学者が、ミラー・ユーリーの実験について議論をしていました。生命体というのは、宇宙の中で水と大気がある惑星には生命は自然に発生するというのが仮説です。しかしそのとき、フェルミが投げかけたパラドックスが以後の科学者達を悩まし続けてきました。それは次のようなものです。もし生命の発生が自然なら、地球型惑星は宇宙には多数あるはずである。実際に一番近い地球型惑星はわずか5光年先にも見つかっています。すると、そこには高等知能を持った生物が出現してくると思うのが自然です。するとその高等生物は、私たち地球人に何かシグナルを発しているもおかしくないのです。しかし、どこにもそんな痕跡は発見されていません。これはいったいどうしてでしょうか？

その幾つかの答えの仮説を見てみましょう。

私たちが宇宙からの信号を見落としているのか？

科学者達は、他の星に向けて周期的な信号を送っています。同様に他の惑星の文明は、私たちに電波などで信号を送っていると考えるのが自然でしょう。もちろんそうした文明が送ることができる信号はエネルギーとして小さいので観測にかかっていないだけかもしれません。現在、インターネットにつながっているコンピュータを使って地球外知的生命体の探査(SETI)という科学実験が行われています。無料のプログラムをダウンロードして電波望遠鏡のデータを分析することで、皆さんも参加することができます。もし、見つけたらノーベル賞ものかもしれません。

高等生物の文明は長く続かないのか？

私たちが宇宙に向けて発している電波を使うことができるようになったのは、ここ100年くらいのことです。地球46億年の歴史のなかで、一瞬にすぎないのです。もしこうした能力を身につけた知的生物の文明が、環境破壊や戦争による自滅などで長く続かないのだったら、他の惑星で生まれた高等生物の信号は、もっと過去の100年から1000年くらいの間のみに観測することができた出来事なのかもしれません。また、より高等な生物が他の惑星を乗っ取って、生命がいる惑星のほとんどを支配しており、全体で信号を発しないようにしているだけかもしれません。もしそうなら、のんきな地球人だけが信号を発してその後攻めてこられることも考えられます。これらは、科学的には実際に起こるまで検証不可能な仮説です。

動物園仮説

もしかしたら、私たちをバクテリアの時代から見ており観察を続けているのかもしれませんが。これを動物園仮説と言います。環境保護のために高等生物はなるべく気づかれずに地球の生命を気づかれることなく見守っているというのが動物園仮説です。現在の私たちの科学力では、こうしたことは到底できないことですが、人類もあと1万年続いていたならこうした科学力が生まれるかもしれません。宇宙の138億年の歴史では1万年前に高等生物に進化したとしても、それは誤差の範囲内の違いでしかないのです。これも実際に宇宙人が発見されるまでは、検証不可能な仮説です。

地球は希な星なのか？

今まで述べてきた、仮説は根拠が全くない仮説ですが、高等生物に進化できる惑星がいったい宇宙全体にどのくらいあるのかを考えてみましょう。

有名な天文学者フランク・ドレイクは、1960年に銀河系に高等生物が住むことができる惑星がいったいどのくらいあるのかを決定する方程式を考えました。ドレイクの方程式は、結局確率を考えています。

有名な天文学者であり、作家でもあるカール・セーガンは当時この確率的な考え方から地球外高等生物はこの銀河の中にも多く存在すると推定しました。それは、この銀河には2000億から3000億個もの、太陽と同様の恒星があり、しかも銀河の数も観測できる範囲で1000億くらいあるのです。このとてつもなく多い恒星の数としかもそれらが多数の衛星を従えているであろうことを考え

ると、地球のような惑星はこの銀河だけでも多数存在すると考えるのが自然です。特に銀河の中心には恒星が密集していますので、この地域で栄えた文明は、多数の惑星にわたっているのかもしれないのです。銀河の片隅にある太陽系は、大した文明が持てないのかもしれない。



典型的な渦巻き銀河 NGC 4414

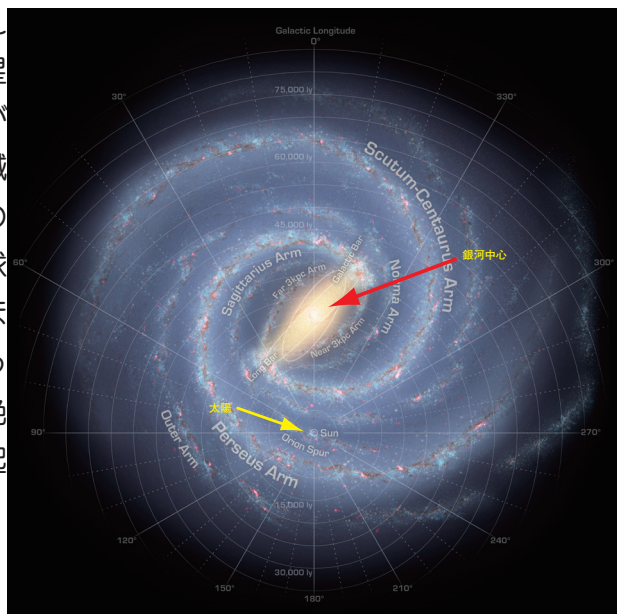
およそ3000億個の恒星からなる

生命の存在する条件は非常に厳しい？

最近の研究からは生命が存在するための条件は、意外にも非常に厳しいことがわかってきました。その幾つかを上げていきましょう。

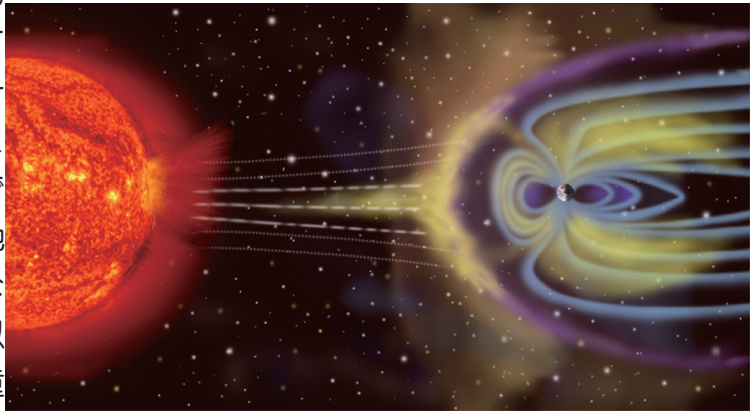
星の密集した地域では人類は存在するか？

まず、銀河では、銀河の中心にその星のほとんどがあります。また、渦巻き銀河では渦のアームの近くに星が密集して渦に見えるわけです。こうしたところにある、惑星には物質が密集しているため絶えず隕石が降り注ぎます。そのため、地球に大量絶滅が起きたようなことが非常に多く起こるのです。したがって、こうしたところの地球型惑星では高等生物まで進化する確率はほとんどないのです。一方、太陽系ではこうした密集した地域を離れていますので、絶滅するほどの巨大隕石の落下はそれほど起こっていないのです。



銀河から離れた地域では人類は存在する？

それでは、密集した地域ではなく、銀河の中心から外れた地域ではどうでしょうか？観測によると、こうした地域の恒星のスペクトル解析から、鉄分が少ないことがわかっています。これは、密集した地域でこの超新星爆発があまり起こっていないことを物語っています。そのため、鉄やシリコンを主成分とする惑星が生まれません。地球ではこの中心に鉄があることで、地磁気が生じます。これは危険な宇宙線から地上を守り、海の中以外でも生命が存在するために重要な条件なのです。また、超新星爆発による放射性元素を含んでい



ませんと、地熱がなく、大陸移動などが起こりません。この大陸移動が生物の進化にとって重要だったことを考えると、こうしたことは銀河周辺の星では地球のような惑星はほとんどないと思われます。このため、銀河全体のおよそ5パーセントから10パーセントの恒星だけが、鉄の多い惑星が持てるのです。また、球状星団など渦巻き銀河以外では、やはり鉄が少ないので地球型惑星はないと推定されます。

太陽の大きさと生命体の存在の関係は？

恒星として太陽より大きなものは寿命が短く、小さいものは寿命が長いのです。また、放射するエネルギーが多く、放射線を多く放出します。このため、太陽より大きな質量の恒星は生命の進化には適していません。また、太陽より小さい恒星では、エネルギーが小さいために、液体の水が存在するには恒星に近いところを回る必要がありません。しかし、こうすると太陽の表面で時々起こる爆発、フレアによる放射線にさらされるおそれが高くなります。また、太陽の大きさの星では、地球の現在の軌道から5パーセント近くから10パーセント遠くまでが、長期にわたって水を保つために最適な領域です。

このように、太陽くらいの大きさで、そこからの距離がちょうど地球くらいまでの距離が生物の生存に最適なのです。

木星の存在が地球の生命を救った

木星のような太陽になりそこねた巨大な惑星の存在も、地球にとって幸いしています。宇宙空間から降り注ぐ隕石は、ほとんどが木星の引力に引きつけられて、隕石から地球を守ってくれたのです。もし、木星がなかったら隕石の振る数は、今までの1万倍多かったと推定されています。また、木星の軌道が今と同じようにほぼ円軌道ではなく、楕円軌道であれば、その変則的な重力により地球の軌道は安定せず、逆に隕石の被害に多くあっていただいでしょう。現在までの形骸惑星の観測では、木星のような惑星の多くは円軌道でなく、楕円軌道であることがわかっています。

地球の大きさと生命の存在

地球の大きさは、大気から酸素を逃がさないための重力を生むためにちょうど良い大きさです。もし地球がもっと小さかったら、金星のように大気のほとんどは重い二酸化炭素だけになります。もしもっと重かったら、逆に水素やヘリウムのようなガスが主流となり、その大気は厚く木星型惑星になったでしょう。

地球の月の役割と生命

地球には月があることが地球の安定のために重要な要素でした。月が回っていることで大きなコマのようになり、長期的に昼と夜の長さがあまり変わっていないのです。ちなみに月のない金星の自転周期は243日です。これは太陽からの長期にわたる潮汐力で、自転の速さが遅くなっていったためです。昼と夜の間隔が長いと、気温差が激しくなり生命に適した条件になりにくいのです。また、コマでは回転軸が少しずつ変わる現象がありますが、地球でももし月がなければ軸が移動して季節変動が激しくなります。



かけがえのない地球

このように高等生物が存在できるような星であることのためには様々な条件を見なさなければならなかったのです。このため、ドレイクの方程式に基づく計算によると、生物の存在する確率は、多くても銀河1つあたり10個までであり、悪い場合は、見渡す限りの銀河で1つとなります。このように私たちはかけがえのない星に住んでいるのです。



