

<ドレークの式>

我々の銀河系には約 2000 億個の星があります。この中に、人類のような知的文明を持った星は何個あるのでしょうか？

その問題を最初にまじめに考えた人にドレークさんがいます。1960 年ごろ提唱したドレークの式が有名です。1960 年といえば DNA の 2 重らせんが提唱されたころです。パルサーもクエーサーも見つかっていません。それ以来、宇宙の歴史に対する知識、生物に関する知見、地球に対する知識はずいぶん進みました。したがってこの式に異論は多々あるところですが、考え方の 1 つとしてドレークの式を示しておきましょう。

我々の銀河系に、この瞬間に存在する知的文明の数 N は、次の式で与えられます。ここでいう知的文明とは電波技術を持ち電波通信ができるという意味です。ちなみに人類が電波技術を手に入れてからはまだ 100 年しかたっていません。

この式では定常状態を考えています。一方で文明が生まれ、一方で寿命のきた文明が減っていますが、ある瞬間における総数は一定であるような状態です。

R 。(rate) まず 1 年間に生まれる恒星の数を R とします。

銀河系には 2000 億個の星があります。これがビッグバンからこのかた 200 億年間にコツコツできたとする

$$R = 2000 \text{ 億} / 200 \text{ 億} = 10$$

年間 10 個の恒星が生まれる勘定になります。

f_p 。(fraction of planets) そのうち惑星系を持つものの割合です。

連星系だと惑星が安定に存在できないかもしれません。星系が連星系になっている割合は 0.5 くらいなので、

$$f_p = 0.5$$

としましょう。

n_e 。(number of earths) その惑星系にある地球型惑星の数です。

太陽系の場合、地球と火星と考えて

$$n_e = 2$$

としましょう。

f_l 。(fraction of life) その地球型惑星で生命が生まれる確率です。

これはよく分かりませんが、無機物のスープで雷が飛ぶと有機物ができそうですから、

$$f_l = 1$$

としておきましょう。年がたてばいつかは生命が生まれるという考え方です。

fi. (fraction of intelligence) その生命が知性を持つ割合です。
アメーバから猿とかまで進化する確率。これも分かりませんが、

$$f_i = 0.1$$

としましょう。

fc. (fraction of communication) 猿が通信技術を持つまで進化する確率。
まあ、猿までくればそのうち進化して通信技術を身につけるでしょうから、

$$f_c = 1$$

としましょう。

ここまでで「年間何個の文明が生まれるか」が計算できます。

$$R \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c = 10 \cdot 0.5 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 0.1 \cdot 1 = 1$$

というわけで、年間1個の文明が生まれている計算になります。

では、この瞬間に何個の文明があるかというと、
この文明が何年生き延びるかが関わってきます。

L. (life) 文明の寿命。

電波通信技術を発見してから文明が滅びるまで何年か？

以上をかけあわせて、

$$N = R \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L$$

これがドレークの式です。

Lとしていろいろ考えてみましょう。

L = 100 年	今すぐ核戦争が起こって文明が滅ぶ場合。	N = 100 個	20 億個に 1 個
L = 1 万年	古代文明ができてから今までの間くらい。	N = 1 万個	2000 万個に 1 個
L = 1 億年	恐竜と同じく 1 億年間栄える場合。	N = 1 億個	2000 個に 1 個
L = 50 億年	太陽が燃え尽きるまで。	N = 50 億個	40 個に 1 個

これらの数字を多いと思うでしょうか？ 少ないと思うでしょうか？

< どのあたりまで通信できるか？ >

では現実問題として、どのくらい遠くまで通信できるのでしょうか？

向こうの星のTV局が地球程度の1メガワットの大出力で放送しているとしましょう。それを今地球にある最大の電波望遠鏡(直径100mのパラボラアンテナ)で最高の受信機を使って受信するとしましょう。どのくらいの距離まで受信できるのでしょうか? 1.3光年です。隣の星までは届きません。もしケンタウルス座アルファ星に地球程度の文明があっても我々には分からないのです。もちろん我々の電波歴100年に比べれば相手の星はずっと進化している可能性が高いので、もっと桁違いに強い電波を使っているかもしれません。すると我々にも電波を受けるチャンスはあります。

では、お互い位置が分かっている、送信側も直径100mのパラボラアンテナで地球めがけて送信したとしましょう。すると3000光年まで届きます。だいたいオリオン腕の幅くらいの半径の球内です。これなら近くの星とは通信ができそうです。しかし向こうの星がパラボラアンテナで地球めがけて電波を発信してくれていたら、です。ちなみに半径3000光年の球内に星は3億個あります。10秒に1個の割合で昼夜アンテナを動かし続けて調べたとすると100年かかります。結構、大変です。しかも向こうが周波数何Hzで送ってくれたかもわかりません。ドレークの式でL=1万年をとれば、この範囲内に15個の文明がある計算になります。向こうの文明は3億個の中から地球めがけて電波を送ってくれていたのでしょうか?

また銀河系の中心(10万光年)までは、現在の技術では全然届かないことも分かります。宇宙文明を確かめるには、未熟な地球の技術で弱い電波を送って何千年後の返事を待つより、進んだ文明が何千年か前に強い電波を送ってくれたことを期待して、今、耳をすませる方が得策であることが分かるでしょう。

<生命起源論>

生命とは何かと聞かれれば明瞭な答えに窮しますが、自己増殖する複雑な物質としておきましょう。地球の生命は、バクテリアから人間まですべてDNAという物質に基づいて自己増殖しています。生物はすべてバクテリアから進化したという証拠です。ではそもそも最古のバクテリアはいつ発生したのでしょうか? 地球は45億年前に誕生しましたが、生物は40億年前にはすでにいたようです。バクテリアの群生の痕跡の化石が発見されています。そのあと多細胞生物に進化するには30億年もかかるのに、地球が誕生して5億年後にはすでに、生命が発生していたというのは驚きです。

さて原始地球の大気はどのようなものだったのでしょうか? おそらく今日で言う火山ガスのようなもので、窒素、二酸化炭素、水蒸気、メタン、アンモニアだったでしょう。メタンやアンモニアといったカタカナの聞きなれない物質も出てきますが、実はこれらは簡単な物質です。原初からある物質は水素(H)です。そして恒星の内部では、炭素(C)、窒素(N)、

酸素(O)が大量に作られます。ヘリウムも宇宙初期や星で合成されますが、化学反応をしないのでここでは重要ではありません。我々生物はほとんどこのCHON(チョン)でできています。これは偶然ではありません。さてこのCHONでできる物質を考えてみましょう。下の星取表を見てください。2種類の単純な組み合わせでできるのが、これらの物質です。

	C	H	O	N
C	炭素	CH ₄ (メタン)	CO ₂ (二酸化炭素)	CN (シアン)
H	---	水素	H ₂ O (水)	NH ₃ (アンモニア)
O	---	---	酸素	NO _x (窒素酸化物)
N	---	---	---	窒素

原始地球の大気は原始の海にも溶け込んでいます。そこで放電(雷)が起こったり、太陽の紫外線が振りそそいだりします。当時は酸素はないのでオゾン層はなく、紫外線はそのまま地表に降り注いでいました。当時は月も地球に近く、高低差1 kmにおよぶ潮汐が5時間ごとにありました。そこで化学反応が起こり、アミノ酸が作られます。アミノ酸はそのうち合成してDNAができます。そして細胞へと進化します。というふうに考えますと、生命ができた5億年というのは、短かすぎないでしょうか？

星が生まれる場所は暗黒星雲(分子雲)です。そこにはアンモニアや一酸化炭素のほかにさまざまな有機物が発見されています。1968年にはアンモニアが発見され、翌年1969年にはホルムアルデヒドが発見されています。これはCH₂Oという簡単な分子ですが有機物です。そして蟻酸HCOOHやメタニミンN₂CHNも発見されています。この2つが合成するとグリシンNH₂CH₂COOHという最も単純なアミノ酸ができてしまいます。こう考えると暗黒星雲の中でもさうとう化学反応が進んでいるかもしれません。我々を作っている炭素や酸素を宇宙空間にばらまいた超新星がいつ起こったかは知りませんが、5億年といわず十分な時間が暗黒星雲にはあります。そして生まれたての超明るい恒星からの強烈な紫外線もあります。

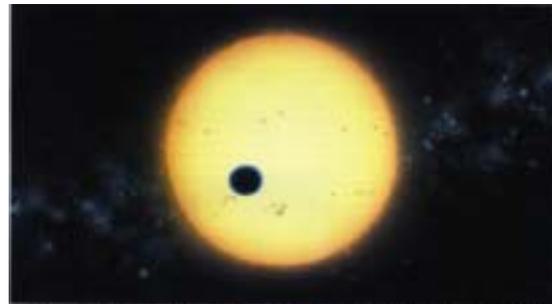
原始地球は隕石や彗星の衝突でできたと考えられています。彗星に含まれていた炭素などは、最終的に地表1 cm²あたり20グラムも堆積していたと推測されます。生命は暗黒星雲で発生し、彗星によって地球にもたらされたのでしょうか？

あるいは、地球が生まれる前に宇宙のどこかで栄えた文明が、自らのDNAをバクテリアという形で原始地球に送り込んだのでしょうか？ バクテリアであれば何年でも宇宙空間の中で眠って旅ができます。大体、地球ができてまだ45億年だというのに、宇宙ができてから地球ができるまでには100億年もあったのです。この100億年間に何もなかったとは考えられません。

< 太陽系外惑星の発見 >

1995年に最初の太陽系外惑星がペガサス座51番星に発見されて以来、太陽系外惑星の発見が相次ぎました。2003年の段階では約120個も見つかっています。ペガサス座51番星は木星の0.6倍もの大質量の惑星が水星軌道の1/8ほどの軌道をわずか4.2日で回っているという予想外の惑星でした。すでに測定技術はあったのですが、誰もそんな惑星があるとは予想していなかったため、そんな短周期で探索しなかったのです。それが、一旦そんな惑星があることが分かるとみんな一気に観測するので、どっと見つかりました。

検出方法は、視線速度法です。惑星の公転により中心の恒星がわずかですが振り回されます。この動きを恒星の光のドップラーシフトを調べることで検出するというものです。というわけで、この方法では恒星の近くにある大質量の惑星が発見されやすいのです。



Exoplanet HD 201851 b is shown in transit in front of its host star, HD 201851, in Pegasus. The star is a yellow dwarf star, and the planet is a gas giant. The image shows the star and planet as a small black dot in front of the star's disk. The planet is shown in transit, which is the only way to see a planet in front of its star. The planet is shown in transit, which is the only way to see a planet in front of its star.

太陽系の場合はどうかといえば、最大の惑星である木星によって振り回される効果が一番大きいです。太陽は、太陽 - 木星の重心の回りを半径73万km程度の軌道で12年で1周します。これは太陽の半径くらいなので、結構大きい量です。でも12年でやっと1周するので、速さはたった毎秒12mです。これは太陽表面の自転の速さが毎秒2kmであるのに比べると、その170分の1です。太陽からの吸収線は最初からこの程度広がっているわけなので、その中心を1000分の1の精度で測るのは大変です。最初の惑星系ペガサス座51番星の場合、毎秒50mの速度で4.2日周期でした。

太陽系外惑星の検出方法には、前面通過法もあります。これは惑星が恒星のちょうど手前に来て恒星の一部を隠す時に恒星の光が減光するのを測る方法です。この方法で見ついている惑星も少数あります。将来的には直接惑星を恒星と分離して見ることもできるようになるでしょう。