

40 「1, 420メガヘルツ」

はて、何だろう？

「メガヘルツ (MHz)」だから電波の周波数なのだが、何の周波数か？

電波としてはかなり周波数の高いほうで、1, 200MHz (1.2GHz) 付近はマニアックなアマチュア無線の周波数だが？

1, 420MHzは、水素原子が放出する電磁波の周波数だ。

水素は陽子1個、電子1個で作られる最も単純な元素で、宇宙が誕生したとき最初にできた元素である。宇宙で最も多く存在し、宇宙の90%は水素なのである。

陽子と電子はスピンという回転をされていて、それぞれが同じ方向に回転するか、別々の方向に回転するかの2つの状態がある。同方向と別方向のスピンの持つエネルギーは異なり、エネルギー状態が高い方から低い方へ移ったときに、エネルギー差によって決まる周波数の電磁波が出る。

その周波数が1, 420MHzというわけだ。波長は、電波の速度 (=光速) を周波数で割ったものであるから、 $3 \times 10^{10} \text{ (cm/s)} \div 1,420 \times 10^6 \text{ (Hz)} \approx 21 \text{ (cm)}$ である。

広い宇宙の中で地球以外に知的生命が存在し、もしそれが高い文明を持っているとすれば、その生命もきっと宇宙を探索するだろう。もしかすると、違う星と交信しようとしているかもしれない。

だとすると、その生命はどんな方法で電波を送信・受信しようとするだろうか？

星の周囲に存在する大気での吸収が少なく、送信のために巨大なパワーを必要としない周波数は、1~10,000MHzの電磁波だということを考えると、その時発する電波の周波数は1, 420MHzの可能性が高いに違いないというのだ。

彼らが人類の送信機より大きな出力で電波を送信しているとして、数十光年以内の太陽に似た恒星にアンテナを向け、1, 420MHz付近の電波に含まれる人為的な信号 (例えば素数列のような) を受信できれば、、、。

生物はその惑星の環境条件によって、多様に進化する可能性が高い。だから高度な文明を持つといっても、人類と同じようなことをする知的生命かどうかわからない。彼らが外部に向けて信号を発するかどうかは疑問だ。

宇宙に生命が存在する可能性だが、そのためにはどんな環境条件が必要なのだろうか？

高度な知的生命を前提とすると、どうしても水が必要である。そのためには、水が蒸発してなくなることを防ぐことのできる十分な大気、それと凍結しないための適度な地表温度が欠かせない。

そうすると、自分で熱を発することのできる恒星 (太陽系でいうと太陽にあたる星) からちょうどいい距離にある惑星 (地球のような星) ということになる。

大気が存在するためには、それを留めておくための重力が必要になる。

例えば、火星は地球の重量の1/10しかないため、重力不足で大気を留めておくことができなかった。現在火星には大気もないし水もない。

その点、地球は奇跡的に恵まれている。

まず、適度の大きさと重量、太陽からの絶妙な距離、わずかに傾いた自転軸。そして、酸素を含む大気。酸素は、光合成生物によって絶えず供給される。火星に酸素がないのは、鉄分を酸化するために使われてしまったからである。

怖ろしい太陽風（高エネルギー粒子）から生物を守ってくれるのは磁場である。内部のドロドロに溶けた鉄・ニッケルなどの磁性体が、地球の自転と熱対流により移動することでできた磁場が、バリアとなって防いでくれるからである。

海で作られた酸素は少しずつ大気中に放出され成層圏に達すると、紫外線により活性化されオゾン層を形成する。そして、オゾン層は生物にとって有害な紫外線を吸収してくれる。

また、宇宙から飛んでくる彗星や隕石は、木星の超強力な引力で引き寄せられ、その周りを回ったり、軌道をねじ曲げられたりして、地球に衝突する可能性を大幅に下げられる。

知的生命が出現するためには、意外なことだが環境の大異変と、それによる絶滅が必要とされている。環境の大変動によって生物絶滅が起きるような異常事態では、生命はじっくりと子孫を残す余裕がなく、ありあわせの遺伝子で不完全な子孫の複製を繰り返さざるを得ない。

逆説的に見えるが、それが結果的に大進化に繋がるというのである。大進化のためには完全に絶滅しない程度の環境異変が必要なのだ。

アメリカの天文学者のフランク・ドレイクは、電波によって交信できるような高度な文明を持つ地球外生命が、銀河系にいくつ存在するかを推測する計算式を提案した。

ドレイクの式には、次の7つの要素が現れる。

- (1) 銀河系内で1年間に生まれる太陽に似た恒星の個数：R
- (2) 恒星の周りに惑星が存在する確率： f_p
- (3) 生命発生に適した環境を持つ惑星の平均個数： n_e
- (4) そうした惑星で実際に生命が発生する確率： f_l
- (5) 発生した生命が知的生命に進化する確率： f_i
- (6) 知的生物が星間交信を行なう技術を持つにいたる確率： f_c
- (7) そうした技術文明の平均的な継続時間：L

現時点で、星間交信の技術を持つ地球外文明の数Nは、上の7つの要素の積として与えられる。

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

恒星が生まれて、50億年後に技術文明が築かれると仮定する。（地球がそうなので）

銀河系で恒星が生まれる割合が一定だとすると、毎年R個の恒星がちょうど50億歳を迎え、技術文明を持つ段階に達することになる。

従って、これに技術文明に発展する確率fを掛けた $R \times f$ ($f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c$) は、1年間に生まれる技術文明の数になる。仮に、こうした文明がすべて1,000年間続いたのちに滅びるとすると、現在人類にメッセージを伝えられる地球外文明は、過去1,000年以内に生まれたものに限られる（電波の伝達に要する時間を別にして）。

よって、 $R \times f$ に文明の平均継続期間Lを掛けたものが、人類と交信可能な地球外文明の数になる。

以下に、ドレイクの式に現れる(1)から(7)までの数がどの程度の大きさになるか、推測をまじえながら試算してみる。

(1) 銀河系内で1年間に生まれる太陽に似た恒星の個数：R

銀河系内の恒星の総数は約2,000億個といわれているが、太陽と似た恒星はそのうち5パーセント程度と推定されるので100億個、これを単純に太陽の寿命100億年で割ると年1個となる。

多くの恒星は数十億年前にできた比較的若い恒星であること、惑星軌道によっては、それとは別に文明社会が発生できるかもしれないことを考慮して、やや多めに10個程度と考える。(R=10)

(2)恒星の周りに惑星が存在する確率： f_p

太陽系外惑星が続々と発見され、多くの恒星が惑星を伴っていることが明らかになっている。

ドレイクは、太陽型の恒星（水素の核融合をエネルギー源とする星）の周りに惑星が存在する確率は1に近いとしているが、実際にはもう少し低く0.1~0.5程度であろう。($f_p=0.1\sim0.5$)

(3)生命発生に適した環境を持つ惑星の平均個数： n_e

恒星から適当な距離にあり、生命の発生に適した環境を持つ惑星の数について、科学的に信頼できるデータはない。おおまかな推測によれば、1つの恒星系あたり0.1~1個程度だろう。($n_e=0.1\sim1$)

(4)実際に生命が発生する確率： f_l

この数値の予測は非常に難しい。

地球上の生命を構成する最も基本的な素材は、生化学反応を担うタンパク質、遺伝情報をコードする核酸、膜構造を作る脂質である。

地球外生命が同じ素材を使っているかどうかはわからないが、生命特有の複雑で柔軟な化学反応を実現するためには、炭素を中心とした高分子が不可欠である。生命が利用する高分子は、アミノ酸やヌクレオチドのような構成単位が数多く結合することによって、複雑な構造を形づくっている。

生命に必要な高分子化合物が、どのように地球にもたらされたのかまだ定説はない。

- ・ 二酸化炭素、窒素、水蒸気などから紫外線によって造られたという説
- ・ 宇宙から飛んできて、地球に衝突した隕石に含まれていたという説
- ・ 海底の熱水噴出口付近で、硫化水素の還元作用によってメタンやアンモニアからアミノ酸が作りだされたという説、などが提唱されている。

生命がこうしたシナリオに沿って誕生するとして、その確率はどの程度だろうか。

地球が形成されたのは46億年前だが、最初の数億年は小惑星が次々と衝突してくるため、地表はきわめて高温の状態になっていた。水蒸気が冷えて液体の海を作ったのは、約40億年前のことである。

一方、最も古い「生物の化石らしきもの」が見いだされたのは35億年前の地層であり、38億年前に生命が繁栄していた間接的な証拠もある。

とすると、海ができてから比較的短期間のうちに生命が誕生したことになる。これは、生命発生の確率がかかなり高いことを意味するのかもしれない。

地球のデータだけをもとに推測していたのでは、結論を出すのは難しいのだが、ドレイクは大胆にも生命発生の確率を1とした。

そもそも我々人類は地球のことしか分っておらず、DNAを使った複製しか知らない。しかし、地球外生命は全く予想もしなかった意外な方法を持っているかもしれない。

以上を考慮してもそれほど容易ではなく、もっと低い0.01~0.1くらいだろう。($f_l=0.01\sim0.1$)

(5) 知的生命に進化する確率： f_i

地球の歴史を見ると、環境が整ってから最初の生命（原核生物）が発生するまで比較的短期間で済んだのに対して、真核生物（細胞のなかに核のある生物）や多細胞生物のような、より進化した段階に達するのに長い時間がかかっている。

真核生物は原生代前期（27～16億年前）、多細胞生物は原生代後期（10～6億年前）に登場したと考えられており、進化に約10億年という非常に長い時間がかかっている。

これは、知的生命に進化する確率がそれほど高くないことを意味するのではないだろうか？

しかも、生命は常に絶滅の危機にさらされている。特に脅威となるのは小惑星の衝突で、恐竜絶滅の原因となったことは良く知られている。

このほか、原生代に2度にわたって気候が極端に寒冷化し、厚さ数kmの氷床が地表を覆い尽くす「全球凍結」が起きたという説も有力である。

地球上の生命は、こうした過酷な試練に耐えて今日まで生き延びてきた。しかし、これは奇跡的に幸運だったのかもしれない。

ドレイクは、イルカの例をあげて、地球上に複数の知的生物種が存在することから、知的生命に進化する確率を1としたが、進化の困難さを考えるとずっと低く、0.01～0.1程度ではないだろうか。

($f_i=0.01\sim 0.1$)

(6) 高度な技術文明を持つ確率

この確率については、議論を進めるための根拠がほとんどない。

ドレイクは、やや恣意的に0.1～0.2という数字をあげている。($f_c=0.1\sim 0.2$)

(7) 技術文明の平均的な継続時間：L

送信された電波の検出可能な距離の上限を、近い将来の技術を想定して1,000光年とする。

太陽型恒星が存在する銀河系の領域を、半径40,000光年×厚さ8,000光年の円盤（40兆立方光年）とし、その内部に文明の生じた恒星系がランダムに分布しているとする。

地球から1,000光年以内に知的文明が存在する確率が10パーセント以上になるためには、ドレイクの数値では、逆算で $L=1,000$ 以上でなければならない。

文明の平均的な継続期間Lは、ドレイクの示したケース（甘めの想定）で1,000年、より現実的なケースで $1,000 \times 1,000 = 100$ 万年以上なければ、電波による異星人との交信は期待できない。

交信を行えるほどの高度な文明を、人類が1,000年以上も維持できるとは到底考えられない。

1,000年前に高度な技術を獲得した人類は、その技術によってもたらされる核戦争や環境破壊によって衰退し、おそらくあと数百年を経ずして近代以前の文明水準に逆戻りするだろう。もう少しして歴史が証明してくれるに違いない。

もしかしたら、放射能や化学物質で地表をひどく汚染し、人類のみならず他の高等生物も生息できない環境にしてしまうかもしれない。あらゆる文明が同じような発展と消滅のプロセスをたどるとすれば、宇宙規模での交信は夢物語となる。

しかし宇宙には、長期間にわたって継続する文明を実現できる知的生物が存在するかもしれない。確率は低いが1つの文明が10万年続くとすれば、平均継続期間は延びて1,000年となる。

さらに文明は、1つの種だけで維持される必要はない。ある種の文明が衰退しても、その遺産を受け継ぐ形で別の生物種が文明を興すことができるかも知れない。

もし、100に1つの割合で1億年続く文明があるとすれば、平均継続期間は100万年となり、L以外の積が1,000分の1となる現実的なケースでも、1,000光年以内に技術文明が存在する確率が数パーセントとなって、異星人との交信が現実味をおびてくる。

かなり大胆で希望的な想定も入っているが、全く非現実的と言えなくもないように思える。式の中の各項は、10年程度のタイムスケールで少しずつジワジワとわかってくると考えられている。

ドレイクの式自体にあまり科学的な価値はない。不確定要素が多すぎて、信頼できる答えが得られないからである。

この式は、むしろ各人の世界観・文明観を再確認するきっかけとすべきものである。

そもそも、ドレイクが式のなかに「文明の継続期間」を入れた背景には、米ソ冷戦による危機的状況があったことは疑いない。核戦争直前にまで至ったキューバ危機は、この式が提案された翌年に起きている。文明の継続期間が異星人と交信できるかどうかの鍵となっており、平和への願いが隠されたメッセージとなっているのである。

このような発想を提案できることが、科学者として一つの理想の姿ではないだろうか。

(2012. 9. 15)