

宇宙における元素合成：炭素

1. はじめに

私たちの体は 6 割程度が水分、2 割が筋肉等のタンパク質、2 割弱が脂質といったようにいくつかの成分からできていますが、例えば水(H₂O)は水素と酸素、呼気に含まれる二酸化炭素(CO₂)は炭素と酸素と言ったように、細かく見ていくと原子にたどりつきます。中学校の時に習った周期表を思い出すまでもなく、宇宙には様々な種類の元素があり、それらの集合体が我々です。例えば、体重 70kg の標準体型の人の場合、銅(Cu)の割合はわずか 72mg ですが、この割合が不足すると貧血や毛髪異常など体調に影響を与えます。そのような意味でも、我々が健康な生活を送れるのも、宇宙に多様な元素があるからですね。

2. 炭素はどこで作られるのか？

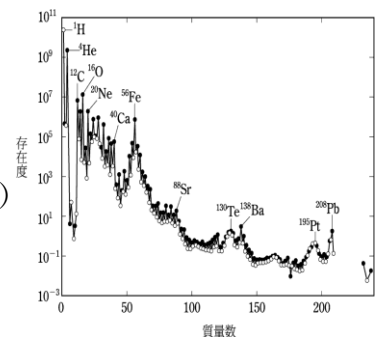
2-1. 錬金術の失敗



錬金術の起源は古代ギリシャだそうですが、多くの錬金術師が様々な材料から金を作ろうとしましたが、結局は失敗しました。錬金術では様々な化学反応を見つけ、その中から金ができる反応を見つけようとしてきましたが、化学反応では原子同士のつながり方を変えることはできても、原子そのものを変化させることはできませんでした。水素(H₂)と酸素(O₂)から水(H₂O)ができますが、水分子の中には水素も酸素も形を変えず含まれるのです。

2-2. 元素合成の糸口：4 の倍数

宇宙が誕生した直後は水素とヘリウム（ごくわずかなリチウム）だけしかなかったと考えられています。ではいま宇宙に存在する多様な元素は、いつ・どこで作られたのでしょうか。それを考える糸口として元素の組成比を考えてみます。すると元素ごとに存在率がかなり違うことがわかります。また原子の質量数（原子核中の陽子の個数と中性子の個数の和）が 4 の倍数の元素が多く存在することがわかります。質量数が 4 の倍数となる元素の中で最も単純なものはヘリウム(⁴He)です。このあたりが 1 つのカギになりそうです。



2-3. なにがどこまでできるのか



太陽のエネルギー源は核融合反応です。この反応では水素原子(¹H)がヘリウム(⁴He)という違う種類の元素に変化します。元素の種類が変わるという点で化学反応とは大きく違います。カギと言った ⁴He が登場しました！ただ太陽内部では炭素はできていません。炭素(¹²C)を核融合で作ろうとすると ⁴He を 3 個融合させればできそうです。が、そのためには 1 億度！もの高温が必要になります。ガスは圧縮されると温度が上がりますので、中心の温度が 1 億度になるには、強い重力でガスを圧縮する必要があり、ある程度の重さがないと炭素が合成されることはありません。

2-3. できた炭素をどう広めるか

結果として、炭素は星の内部の核融合反応で合成されるのですが、合成されただけでは炭素は星の内部（中心付近）にため込まれているにすぎません。我々の体の材料になってもらうためには、合成された炭素を宇宙空間に放出してもらう必要があります。重たい星であれば超新星爆発という派手な現象によって内部の元素を宇宙に放出することができますが、太陽のような比較的軽い星の中で合成された炭素はどうなるのでしょうか？質量放出という（何のひねりもないネーミングですが）現象が役割を担っていると考えられます。



3. まとめ

水素とヘリウムしかなかった世界に新しい元素を誕生させるには、数千万度、数千億気圧というとても厳しい環境が必要となります。このような環境は地球上では実現ができず、私たちを含め生物の基本となる有機物の最も重要な要素である炭素は星の内部で合成されたと考えられます。星は元素の生産工場なのです。