

# 原子力の**本質**を探る

## —第7回— 核反応

NPO法人  
ニュークリア・サロン 出澤 正人

### 化学反応エネから核反応エネへ

核反応は、化学反応に比べて、原子核物理学という言葉のイメージがあつて、日常性から離れている。しかし、資源問題、環境問題の制約から文明を支えるエネルギー源を化学反応エネルギーから核反応エネルギーに移行しつつあるという認識に立つと、宇宙、生命等自然に関する広い知見を基に、俯瞰的、全体的に判断することが求められる。限られた紙面であるが、時空を広げた一例として、お馴染みの核反応について纏めてみよう。

ビッグバン理論によると、宇宙誕生直後の約三分間に全ての物質の元が生み出された。超高温の宇宙は、この間に急激な膨張を起こしながら冷え、その中で、物質の元である素粒子のうちクォークが集まり、陽子や中性子となった。さらに陽子や中性子が集まって、元素の中でも最も軽い、水素やヘリウムの原子核が生み出された。このとき生まれた原子核は、総数の九二％が水素、残り八％がヘリウムであった。ビッグバンから約三千万年後、宇宙の温度の低下にともない電子と原子核が結合して原子が生成するようになると、光子は電子との相互作用せずに進めるようになった。これを宇宙が晴れる

上がったと表現する。

約一三〇億年前には、宇宙には既に銀河が存在したことが、観測からわかっている。しかし最初の星がいつ頃生まれたのかについては、正確なことはわかっていないが、太陽の数百倍程度の重さを持つ星の内部で、高圧によって核融合反応が起こり重い元素が創生された。核融合反応エネルギーで輝く恒星である。核融合反応が進み、鉄の辺りの原子まで創られると核融合反応によるエネルギーが減少し、終に重力に抗しきれず重力崩壊により超新星爆発が起きる。この爆発エネルギーを得て、鉄より重い原子が核融合で創生し星屑となった。星屑は衝突合体し恒星の周りに軌道を持つ惑星を形成した。約五〇億年前に誕生した太陽の引力に引かれた星屑が約四六億年前に地球となった。

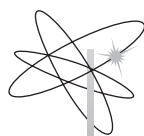
地球型の惑星として、金星と火星がある。地球を構成した物質は衝突や放射線熱で溶融し、重い物質が沈殿し軽い物質が地表で冷却し、気体は大気を作った。地球内部のマグマ対流、物質循環、化学反応、太陽（核融合は現在までに二五％増加した）からのエネルギー、宇宙への放射熱により変化し、安定化に向かった。約三八億年前に生命が誕生し、

物質循環に加わった。植物の光合成反応により約二二億年前から大気中の酸素が増加し、オゾン層を形成し、紫外線をさえぎり陸上に生物が進出できるようになり、地球生命体を豊かなものにした。

### 地球を構成する元素とは

地球を構成する元素は、地球上の地表付近に存在する元素の割合を火成岩の化学分析結果から推定した結果を質量パーセントで表したクラーク数として知られるが、一番多いのは酸素で四九・五％である。その次はケイ素（二五・八％）、アルミニウム（七・五六％）、鉄（四・七〇％）、カルシウム（三・三九％）、ナトリウム（二・六三％）、カリウム（二・四〇％）と続く。

ここで、元素の一覧表である周期表を思い出してみよう。周期表の配列は、原子核の中の陽子の個数に基づいて付けられる原子番号順に並べられている。陽子が一個である水素から始まり、一マス進むごとに陽子が一つ多い原子記号を示しながら並ぶ。電子の軌道に関係した周期律に沿って改行され、二段目、三段目と順次追加されてゆく。そのため、左から右へ、また上から下へ行くにつれて原子番号の大きい元素が並ぶ。

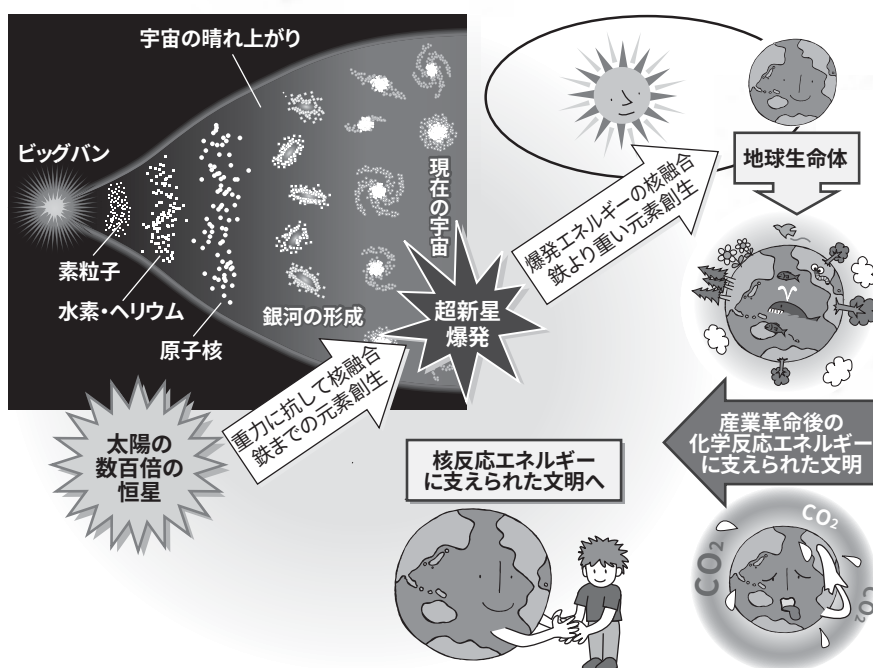


## 地球で最も重い元素は92番目のウラン

周期表は、歴史上の多くの科学者たちによる知の集大成である。周期表の同じ元素で中性子の数が違う核種の関係を同位体と呼ぶ。同

位体は安定なものとは不安定なものがあり、不安定なものは時間とともに放射線を発し崩壊する。これが放射性同位体である。放射性同位体はアルファ崩壊（ヘリウム原子核の放出）により原子番号と質量数の異なる核種へ、またはベータ崩壊により同質量数で原子番号の異なる核種へと放射性崩壊を起こす。元素の中には放射性同位体しか持たないものもある。このような元素を放射性元素と呼ぶ。放射性元素に該当する元素は、テクネチウム、プロメチウム、およびビ

元素であり、水に溶けやすくナトリウムと似た性質を持ち、経口摂取するとすみやかに全身に広がる。カリウムには半減期一二・四八億年のカリウム40が〇・〇一二七%含まれている。放射性崩壊では全体の八九%はベータ崩壊によりカルシウム40となり、一一%は電子捕獲によりアルゴン40になる。生物学的半減期は三日とされ、人類誕生以来、人体が持つ放射線強度は、体重六〇キログラムの成人男子で約四〇〇〇ベク、これによる年間の内部被曝線量は、〇・一七シーベルトとなり、これほど身近な放射性物質はない。カリウム40の放射線はトリウムおよびウランと共に自然放射線量の約三分の一に達し、地質時代において地熱の主因となっていた。放射性崩壊により生成したアルゴン40が地球大気中には多量（〇・九三%）に蓄積している。地球で最も重い元素は周期表九二番目のウランであり、クラーク数は〇・〇〇〇四%で、半減期七億年のウラン<sup>235</sup>が〇・七二%含まれている。ウランより重い元素は不安定で、放射線を放出して安定元素に変わっていくため地球



メチウム、およびビ

にはほとんど存在しない。  
**加速器を用いた元素の発見**  
二〇一二年現在、周期表には一一八個の元素が表示されている。このうち、一一二番目の元素が二〇一〇年二月に国際純正・応用化学連合によってコペルニシウムと正式命名された。この元素の発見は一九九六年に加速器を用いてドイツの研究グループが合成に成功した。これらの新元素はいずれも巨大な加速器が用いられているが、加速器は、二〇世紀初めに発明され、原子核物理学を進展させ、身近な医療用装置としても普及している。

原理は宇宙における物質創成を模倣している。地上で核反応を起こすには、陽子、 $\alpha$ 粒子などの荷電粒子を高エネルギーに加速して標的となる原子核のクーロン障壁を越えて標的核内に飛び込ませることができれば新しい原子核をつくることができる。入射粒子に中性子を用いれば、クーロン障壁がないので、容易に標的核内に入って新しい核が生成される。原子炉内では中性子による核分裂反応によるエネルギー生産だけでなく、核分裂性物質、核分裂生成物、放射能消滅等の核反応が行われている。