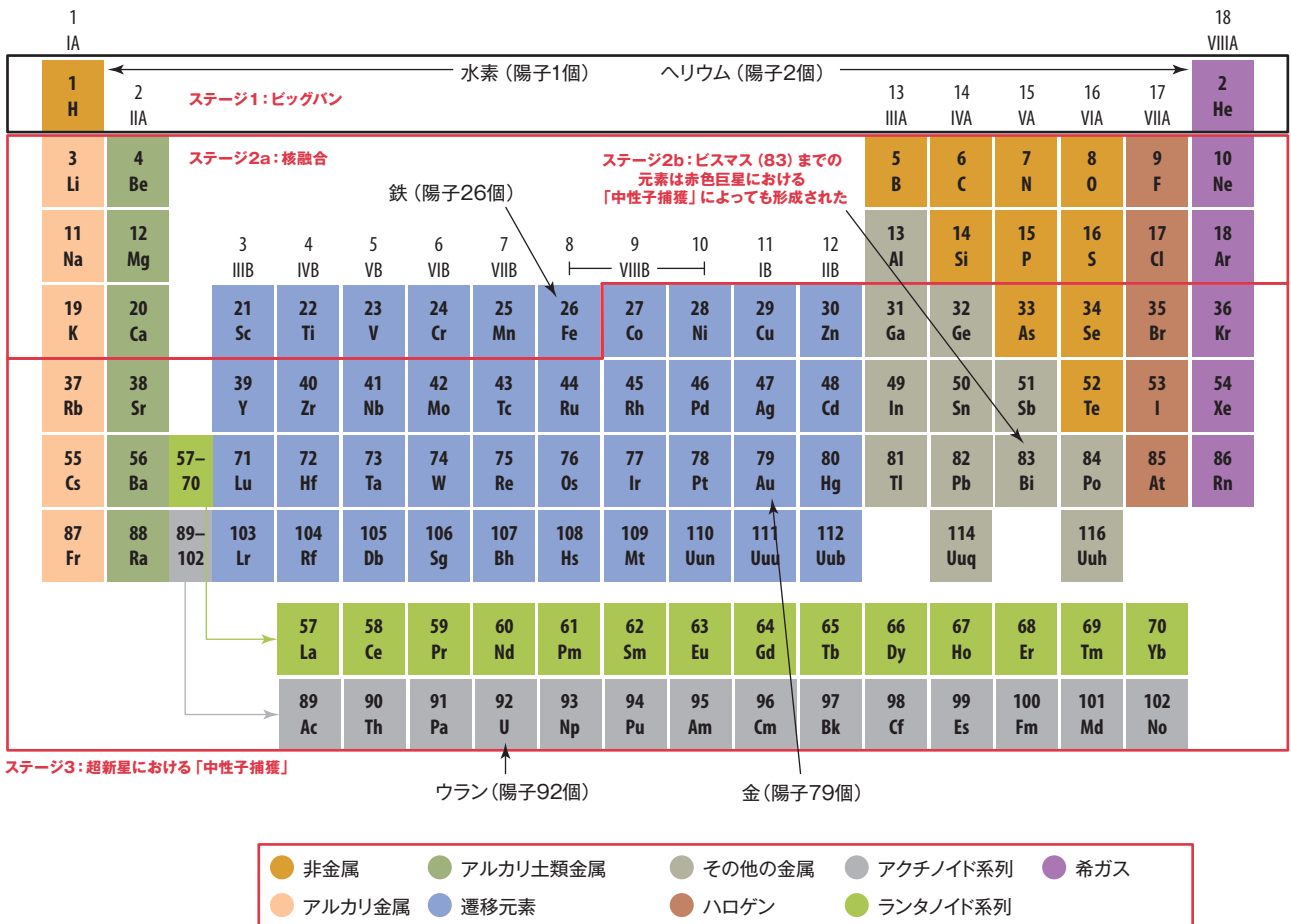


図 1.10 周期表

現在の周期表に収められている元素は、三つのステージで生成された。水素とヘリウムはビッグバンの直後に誕生した。鉄(原子番号 26)までの元素は「星の一生」を終えつつある巨星での核融合によって形成された。鉛やビスマス(原子番号 83)までの元素は「星の一生」を終えつつある巨星での**中性子捕獲**によって形成された。最後にその他の元素は、すべて超新星において形成された[93番元素以降のほとんどの元素は寿命が極めて短いこともあって自然界には存在せず人工的につくられる。113、115、117、118番元素の合成が2015年に国際機関で認められ、2016年11月に名称と元素記号が確定する(110、111、112、114、116番元素の名称はすでに決まっている)。113番元素は初めて日本人により合成・命名されたニホニウム(nihonium, Nh)である。以下、原子番号・名称・元素記号の順に、115番 モスコビウム moscovium (Mc)、117番 テネシン tennessine (Ts)、118番 オガネソン oganesson (Og)と続く]。



に中性となる。私たちの周囲にあるあらゆる種類の物質は、これら 92 種の元素の原子が結びついてできていて、それらは原子の外縁にある電子を介して隣の原子と結合することでより複雑な構造の分子や化合物になる。ここで元素が結びついてより複雑なものを作り出す仕組みを詳細に解明することが、「化学」の中心的な課題なのである。

19 世紀の化学者による偉業のひとつに、化学元素(化学の基本的な構成要素)と様々な種類の化合物(元素を組み合わせ形成された無数の物質)とを、明確に区別したことがある。化学元素とその性質を収めた現代的な一覧表は、ロシアの化学者ドミトリ・メンデレーエフ(1834年～1907年)による先駆的な研究に基づいている。彼が 1869 年に、

不完全ながらも初となる元素の一覧表をまとめたのだ。元素を取めたこの一覧表は現在は**周期表**と呼ばれているが、これはメンデレーエフが発見したように、陽子の数が増えるにしたがって、よく似た化学的性質が規則正しく繰り返されているようだからである(図 1.10)。たとえば不活性ガス——ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノン、ラドン——はこの表の右端にまとめられていて、**希ガス**と呼ばれている。このようにまとめられる理由は、ひとつには、どれもよく似た化学的性質を持つからであり、もうひとつには、含まれる陽子の数が規則正しく増えていくからだ(それぞれの陽子の数は、ヘリウムは 2 個、ネオンは 10 個、アルゴンは 18 個、クリプトンは 36 個、キセ

ノン(54個、ラドンは86個)。

新たな化学元素の生成を説明するには、現在も宇宙にある原子の大半を構成している水素原子に戻らねばならず、それゆえ非常に基本的な化学をいくつか振り返って見ていく必要がある。水素は原子核に陽子を1個しか持たないため、1という原子番号を与えられて、周期表に最初の元素として登場する。少数の水素原子(約0.02%)は核に1個の中性子を持ち、これは重水素と呼ばれる。中性子の質量は陽子とほぼ同じであるため、重水素の重さは通常の水素原子のおよそ2倍になる。このように原子番号=陽子数は同じでも中性子数が異なる異体を、化学者は原子の**同位体**と呼んでいる。このあとに見ていくが、ほとんどの元素は[その中性子数が主流であるような]標準型であるものの、標準型よりも中性子数が多かたり少なかたりする同位体も存在している(序章に出てきた炭素14は炭素の同位体で、6個の陽子と8個の中性子を持つ。炭素の標準型は炭素12で、6個の陽子と6個の中性子を持つ)。

周期表で水素の次に登場する元素のヘリウムは、2個の陽子と2個の電子からなる。地球上にはほとんど存在しないため、発見されたのはようやく19世紀後半になってからのことであり、天文学者が分光器を用いて太陽に大量のヘリウムがあるのを検出してからだ。ヘリウムの標準型は陽子2個と中性子2個[ヘリウム4]だが、中性子が1個という同位体[ヘリウム3]も存在する。当然ながら、その質量は通常ヘリウム原子のおよそ4分の3になる。

つまり、各元素の特徴を決定づけるのは、原子核における陽子の数なのだ。これで原子番号が決まるのである。だがそれぞれの元素には、原子核にある中性子の数が異なった同位体も存在するため、同一元素のそれぞれの同位体では**原子量**は異なったものとなる。このほかの重要な元素としては、炭素(原子番号6)、酸素(8)、鉄(26)、そして全安定元素の中で最も大きいウラン(92)がある。リチウム(3)より重い元素はほとんどすべて、「星の一生」を終えつつある恒星の内部でできたものだ。

## 🌀 恒星の生と死

これまで見てきたように、初期宇宙の原子物質はほぼ水素とヘリウムからなっていた[ビッグバン元素合成]。新たな元素を作り出すには、より大きな原子番号を持つより大きな原子核を形成するために、陽子を激しくぶつけ合って融合させる必要がある。これを行えるほど高温の場所は、宇宙のどこだろうか？ 答えは「星の一生」を終えつつある恒星である[恒星内元素合成]。つまり、「星の一生」を終え

つつある恒星で元素が生成される方法を理解するには、「星の一生」を理解する必要があるのだ。

ごく短命の恒星でも数百万年もの永きにわたって燃え続けるため、ひとつの恒星が生まれ、成長し、死ぬという「星の一生」を観測するのは無理である。そこで天文学者は、「星の一生」の各局面にある恒星を無数に調査してきた。彼らは19世紀から蓄積されてきたこの膨大なデータベースをじっくりと念入りに用いて、恒星が生まれてから死ぬまでの全体像を作り出したのである。

恒星の研究で最も重要な器具は、長い間分光器だった。先に見たように、恒星の光のスペクトルにおける吸収線により、その恒星に含まれている元素がわかり、その強さによって各元素の存在量を推測できるからである(ある元素がある特定の周波数の光をより強く吸収すると、吸収線は濃くなる)。

恒星の表面温度は色から推測することができる。赤色星は一般に青色星よりも表面温度が低い。恒星の**実際**(本来)の明るさ、つまり恒星が放出する全エネルギーは、恒星に含まれる物質質量次第である。これは、一般的に質量の大きい恒星のほうが高密度かつ高温の中心核を持つため、より多くのエネルギーを放出できるからだ。一般に、巨星のほうが表面温度が高く質量も大きいですが、例外もあり、この例外はかなり興味深いものである。

天文学者は分光器と強力な望遠鏡を使うことで、恒星の質量や温度、化学組成について多くを知ることができる。彼らはこの情報を基にして、恒星が生まれてから死ぬまでの一般的な説明を組み立ててきた。

科学ではよくあることだが、複雑な情報の意味を理解する簡単な方法が見つかり、理解が進む場合がある。この好例は、ニュートンが当時入手できた膨大なデータを用いて、恒星の動きに関して行ったことである。彼はこのデータを解析して、重力の働きに関するいくつかの簡単な方程式を発表したのである。メンデレーエフも、化学元素の周期表を初めて作成した際に、似たようなことを行った。1910年に、デンマークの天文学者アイナー・ヘルツシュプリング(1873年～1967年)とアメリカの天文学者ヘンリー・ラッセル(1877年～1957年)が、恒星に関して急速に集まってきたデータの解析方法を見つけ、それによって「星の一生」について多くのことが解明され始めた(図1.11)。二人は多くの様々な恒星に関する情報を集めると、それを単純なグラフにしたのである。一方の軸で恒星の実際の明るさを示し(これまで見てきたように、これで質量つまり含まれる物質質量がわかる)、もう一方の軸で表面温度を示したので。二人によるこのグラフは**ヘルツシュプリング**