

201608-10 ニホニウム 超ウラン元素ニホニウム

新元素ニホニウム

元素の周期表にニホニウムという元素名が登場したことが大きく報道された。理化学研究所の重イオン加速器を用いた実験で四年ほど前までに新しい元素の確証を得たという。同じ頃に、他の実験所でも同じ様に証拠をつかんだという報告があるので、国際的な委員会で実験報告を精査して命名権を持つ実験グループとして認定され、昨年末に原子番号113の元素の命名権が理研のグループ(代表者が森田浩介)に与えられ、今年6月にニホニウムという名が提案されたと公表されたのである。大きなニュースになったのは、全部で118個にもおよぶ元素名のなかで日本のグループが提案したのはこれが初めてだったからもあった。

今回は4個追加

化学や物理の高校教科書に必ず載っている元素の周期表には百個ちかい元素名が並ぶ。今回、ニホニウム(113)、モスコビウム(115)、テネシン(117)、オガネソン(118)の四個が仲間に加わったのである。括弧内の数字は一番の水素、二番のヘリウム、・・・6番の炭素、・・・26番の鉄・・・などと並ぶ原子番号である。114番のフレロビウムと116番のリバモリウムは既に決まっていたので、これで118までは全部埋まったことになる。

今回の四つの名前は各々「日本(113)」、「モスクワ(115)」、「テネシー州(117)」、「オガネシアン(ロシア人名)(118)」を元素名風にアレンジしたものである。後の2つは「フレロフ(ロシア人名)(114)」、「リバモア(カリフォルニア州の地名)(116)」が元の名前である。「日本」とは国名で大きな存在の名前だが、元素名にはここに挙げた例のように個人の名前や地名が使われている。

元素と原子

もともと元素は物質の化学的な性質で分類したものであったが、いまは原子を構成する原子核の陽子の数で元素が区別されている。原子は中心の原子核とその周りを取り囲んでいる電子の殻から成る。原子核は陽子と中性子から成り、陽子の数 Z を原子番号、陽子と中性子の数の合算数 $(Z+N)$ は原子量 A である。同じ Z の原子は同じ元素だが、中性子の数が違う原子核もあり、アイソトープと呼ばれる。

電子殻の電子数は陽子の数と同じ数である。陽子のプラスの電気と電子のマイナスの電気の数が同じなので、原子は全体として電気が中性なのである。ただ、電子殻の電子の数は化学反応や周りの原子の存在で変化する。このため原子核の電気と電子の電気の数が違う場合もあり、こうした電気を持った原子はイオンと呼ばれる。

元素の周期表

元素の化学的な性質は原子の電子殻で決まっており、その性質は電子の数によって周期的に変わっていく。そこで原子番号順に似た性質のものが同じ列にくるように並べて作った表が元素の周期表である。周期表は 18 列 7 行の表であるが、この中に入らない欄外の元素も含めて、元素の数は、今回で 118 個になった。しかし、このうち原子番号 Z が 1 の水素から 92 のウラン までが自然にある元素で、93 から 118 までの元素は人工的に合成される超ウラン元素であり、今回の追加でその数は 25 個になったことになる。

元素の理解を深めるために、文科省では「一家に一枚周期表」を合言葉に http://stw.mext.go.jp/common/pdf/series/element/element_b9.pdf から詳しい周期表をダウンロードして下さいと呼びかけている。

宇宙での元素の起源

周期表に並ぶと色々な元素が宇宙的にどういうプロセスで作られたかは大体解明されている。まず大きくビッグバン時に形成された元素と星で形成された元素に大別される。前者には水素とヘリウムが含まれる。その他の大部分の元素は星で作られたものである。

そして星で作られるプロセスも二つに分けら、一つは安定な星の中心部でのゆっくりと進む核融合反応である。星の光のエネルギーはこの原子核の核融合反応で供給されている。このプロセスで作られるのは鉄の元素までである。もう一つのプロセスは超新星爆発の様な爆発的な核反応で作られる元素で、鉄より重く超ウラン元素まで短時間に作られる。

いずれの場合も、星の内部で新たに作られた元素が爆発や星風(太陽でも表面から物質が太陽風として流れ出ている)で星の外にばらまかれて星間物質となり、次の新たな星形成の材料物質となる。同じ物質が何回か星の中の物質となって、新たな元素が追加され、また外にばらまかれ、次第に重い元素が増えてきた。太陽系を作っている物質の元素は5, 6回の超新星や新星の爆発で作られたものと考えられている。

ニホニウムのような超ウラン元素は自然には存在していないが、ある型の超新星爆発ではいったん形成されたが、太陽系の寿命である46億年の間には自然崩壊して消滅したものと考えられている。

図1: 元素の周期表。原子番号 57-71 と原子番号 89-103 の元素はこの 18 列 7 行の表の欄外になり、この表では省略されている。この原図は朝日新聞2016年6月9日紙面。

元素の周期表																原子番号					
1 H															2 He						
3 Li	4 Be															5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg															13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr				
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe				
55 Cs	56 Ba	57~ 71	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn				
87 Fr	88 Ra	89~ 103	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og				

ニホニウム以外は
仮の日本語名

原子番号Zと中性子数N

元素の化学的性質の区別は原子を取り囲んでいる殻の電子数で決まっている。そして中性の原子ではその電子の数は中心にある原子核の陽子数と一致する。陽子の数Zを原子番号、陽子と中性子の数の合算数(Z+N)は原子量Aである。同じZで中性子の数が違う原子核もあり、それらはアイソトープ（同位体）と呼ばれる。アイソトープの多くは不安定な原子核であり、ある半減期で安定なものに崩壊する。自然に多く存在するアイソトープは安定な原子核や宇宙の年齢にも相当するぐらいに半減期の長いものである。

同じ元素の違ったアイソトープ

例えば、普通の水素はZ=1, A=1だが、Z=1, A=2という重水素やZ=1, A=3のトリチウムというアイソトープがある。昨年、梶田さんと一緒にノーベル物理学賞を受賞したマクドナルドさんは重水素を用いて太陽ニュートリノを検出した人である。アイソトープでも重水素は安定だがトリチウムは不安定で半減期12年でヘリウム3に崩壊する。

炭素元素はZ=6でA=12, 13, 14の三つのアイソトープがあるが、A=12が安定で自然界の物質では98パーセントを占め、A=14は不安定核で半減期は5700年である。この炭素14は遺跡の年代測定に使われる。酸素はZ=8で、A=16, 17, 18のアイソトープがあり、酸素16が圧倒的に多く、酸素18は気候変動などの探査に利用されている。鉄元素はZ=26だがA=54, 56, 57, 58の安定アイソトープがあり、この内A=56が91

パーセントを占める。ウラン元素は $Z=92$, $A=234, 235, 238$ のアイソトープがあり、自然では238が多いが、低速中性子の連鎖反応の核分裂には235が必要である。

安定な原子核の中性子過剰

図には各元素の安定なアイソトープをプロットしたものであるが、軽い元素では陽子と中性子の数は等しいが、重くなるにつれて中性子の数が陽子の数を上回ってくる。鉄56では陽子26, 中性子30, ウランでは陽子92, 中性子146などと、重い核ほど陽子に中性子の比率が多くなる。そして安定核がなくなる超ウラン元素のニホニウムでは陽子113に対して中性子は171と、中性子比率の過剰はさらに進む。

この理由は原子核に核子を結びつける核力の特徴によるものである。核力は電氣的に中性な中性子も結びつけたり、電氣的には反発力なはずの多くの陽子をもむすびつけている。この核力の性質は飽和性という性質である。ある核子に他の核子が引っ付くと「飽和してしまい」更に他の核子を引き付ける力が弱まるという意味である。この為に安定な原子核の核子の数は偶数である。互いに対をなす結びつきは強く結合しているので安定なのである。

ところが陽子の電気力には飽和性がないから、全体で大きな電荷になるとそれで核力での結合力を振り切ってバラバラになる傾向が一方向的に強くなる。この為に中性子の補強材が必要になって、中性子が過剰になると理解される。

周期表と星

ビッグバンで出来るヘリウムなどの軽い元素以外の元素は星の一生の中で作られたものである。星の中深くでの原子核反応で出来たものが、そのあとの段階で外に流れ出たり、爆発で飛び散ったものです。我々が現在見ている元素は、この辺りにかつて存在し今は消えてしまった先代の星の中で出来たものなのである。その意味では我々も星の子なのである。

ウランまでの自然にある周期表の元素は鉄の辺りまでの比較的軽いものと、それ以上の重いものとの間には、その出来方を考えると大きな差がある。鉄までの元素は何億年かけてゆっくりと作られるが、重い元素は爆発などのさいに数秒間で作られると言って良い。

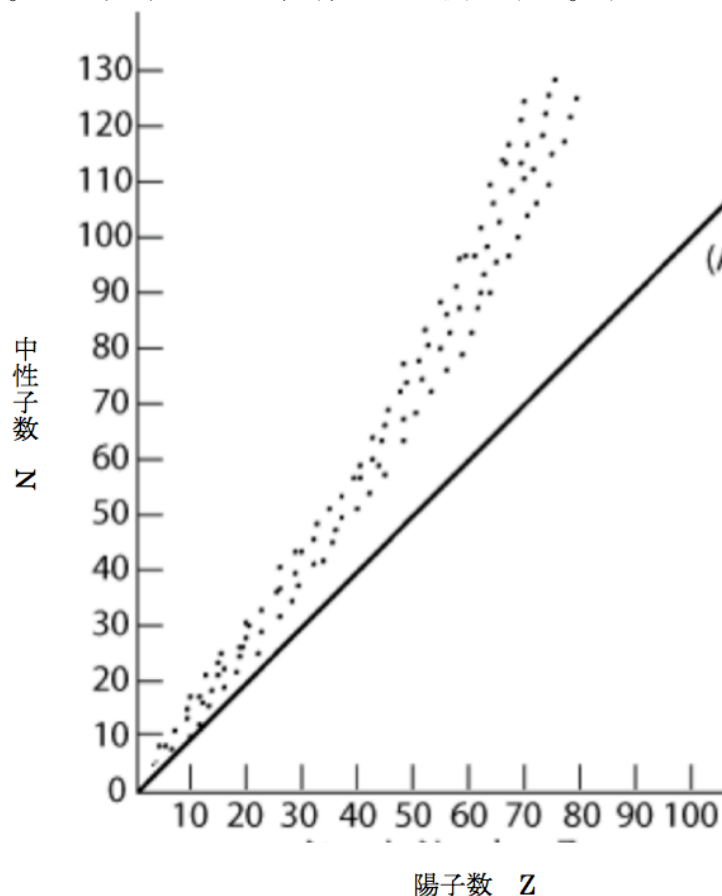
元素は合成の基本は原子核反応同士を合体させることであるが、電荷が大きいと反発力で近づけないので、ヘリウムのような大量にある原子核をどんどん引っ付けていく出来方がある。また星の爆発時には温度も大きくなるから重い元素同士の反応も起こりやすくなることもある。

中性子がひっついて重い元素へ

しかしウランに至る様な重い元素の形成には、別のメカニズムで中性子を大量に作って、反発力のない中性子を重い核に照射してさらに重い核に成長していくことが考えられている。近くまで行った中性子が、陽子に β 崩壊して陽子になっ

て、原子番号の大きい元素が次々と出来ていくというシナリオである。現実のプロセスは複雑だが、高密度になると中性子製造が起こることをまず知らねばならない。次回はそれをみる。

図2:横軸に陽子数Z、縦軸に中性子数Nをとって安定な原子核の(Z, N)を点で示した。重い元素はN=Zの直線から上側に来る。すなわち中性子の比率が多い。



原子核チャート

ここに示したような図は原子核チャートと呼ばれる。周期表は化学的性質での分類表であるが、こちらは原子核の性質を表す。横軸が原子核の中性子数、縦軸が陽子数である。小さな黒四角■が安定な核で、それを囲む橙色の部分の核は不安定な核である。陽子数82の核は鉛Pbであるが次の陽子数83のビスマスBiで一旦途切れて、その先にトリウムTh(陽子数90)、プロトアクチニウムPa(91)、ウランU(92)がある。鉛とこれらの間の核は不安定な放射性元素だが、地球年齢よりも長寿命の核もあるので、崩壊で徐々に減少しながらも、まだ無くならず自然界に存在するのである。

安定核から大きく離れると不安定な核も存在しなくなる。この橙色部分が右上にどこまで伸びているかという問題が超ウラン元素の課題であり、ニホニウムはこれを広げるのに貢献し。橙色領域の外側の緑色の領域の核は、地上実験では確認されていないが、理論上存在すると考えられる非常に短寿命の核である。宇宙において軽い核からより重い核を作る際の中継点として存在しないと困ることもある。

“安定”の意味

陽子と中性子をあわせて核子と呼ぶ。例えば核子56個の集団を考え、陽子と中性子の比率を変えてみると、陽子が26で中性子が30の場合が一番安定である。ここで“安定”とは質量が軽いことである。アインシュタインの質量エネルギー公式 $E=mc^2$ によると、質量 m が小さいことはエネルギー E が小さいことである。“エネルギー大の状態”から“エネルギー小の状態”には、エネルギーの一部を外部に放り出せば、自ら変われる。他からエネルギーを与えなくても変化できてしまう。それに対して、“エネルギー小状態”は外部からエネルギーを供給してやらなければ“エネルギー大状態”に変われない。“安定”とは“自ら変われる”という意味である。

「安定核の谷」

いま平面の地図に山や海の高さを表現した立体地図模型を想像しよう。同じように平面地図の「原子核チャート」の上に各原子核の質量の大きさを立体地図の標高に見立てた立体地図模型が作れる。すると安定核の部分が長く続く深い谷で、その両側に崖が切り立っている風景が想像されてくる。高い場所にある不安定核は谷底の安定核めざして落下するのである。

例えば、核子数56の核には鉄Fe(陽子数26)以外にマンガンMn(25)、コバルトCo(27)とニッケルNi(28)という不安定核がある。原子核チャートでいうと、黒四角の安定核の並びの右下にMnがあり、左上にCoとNiがある。そこから谷底に転がってFeになるのである。

元素合成とは中性子化

ビッグバン宇宙論によれば、始まりは陽子が大部分だったから、元素合成とは陽子を中性子に変えるプロセスのことと言える。中性子化のプロセスはまず鉄より軽い元素と鉄より重い元素に大別される。“軽い方”では、陽子が多すぎる核が一時的に出来、陽電子を放出するベータ崩壊で安定な核になる。原子核チャートでいうと、安定核の上の領域の核が右下に下がることである。“重い方”では、中性子が多すぎる核が一時的に出来、それが電子を放出するベータ崩壊する、すなわち、安定核の谷の右下の領域から左上の方に落下していくイメージになる。

星の高密度化で電子を核に押し込む

星での元素合成には、何千万年もかけてゆっくり起こるものと、超新星爆発時の数秒間でさっと起こるものがある。後者は鉛よりもずっと重いウランなどの元素である。ここでは原子を構成していた原子核の外にある電子が原子核に押し込まれて陽子を中性子に変えるプロセスがおこる。これで中性子化が極端に進むと原子核はバラバラに融解して中性子星の形成となる。

電子がこのような振舞うのは、進化の後期で星の中心部が高密度になるからである。高密度になると電子は量子統計でいうフェルミ粒子なので、エネルギーが増大してくるのである。このフェルミ粒子としての性質は、固体中で原子の外側の電子が伝導電子となって金属の電気伝導を引き起こすのと同じ効果である。

図3:原子核チャート：横軸は中性子(Neutron)数、縦軸は陽子(Proton)数。■印が安定核(Stable nuclei) (出所IUPAP-ICNPのHP)

