

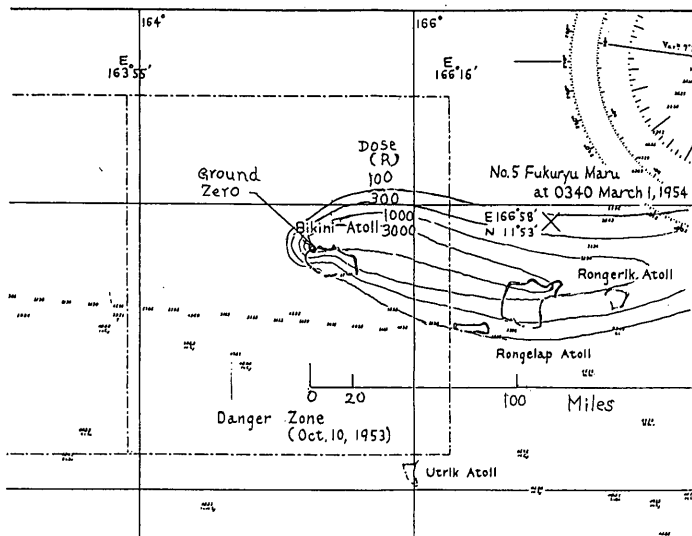
どこまで重い元素があるか (62・9・19)

西 朋太 (昭15理甲)

ご紹介頂きました西でございます。まことにお恥しい話を申し上げることになると思うのですが、今、木下さんからご紹介ありましたように、原子力の話しせえとおっしゃったんですが、私停年で辞めましてから六年もたちます。ただ、その間、チェルノブイリの事故とか、その前にはスリーマイルのこととかありますので関心を持って見てはおりますが、あまり生臭いようなことにもなりましてどうかと思えますので、他の話がいんじゃないかと思えます。

私が原子力関係の仕事をやったのは、木下さんからご紹介ありましたが、最初は工学部の工業化学で電気化学を勉強しておりました。何故原子力みたいな畑違いなことをやったかと申しますと、先程渾名もご紹介頂きましたように梅に鶯だったら当り前なんです、桜の木に止まるとる鶯なんてものは気が違つとるいう渾名をつけてくれたわけで、そういうなかが相当あつたんじゃないかと思えます。敗戦後、学校へ戻りましてやはり同じようなことでございまして、何か畑

図 1



違いのことをしてしまったわけです。この方面に入ります切っ掛けと申しますのは、三十年以上前のことですが、第五福龍丸事件というのがございました。太平洋のビキニ環礁でのアメリカの核実験で第五福龍丸の方々が被災されました。その時に灰の分析をしないかということと一緒にお手伝いしたのがきっかけだったわけです。

昭和二十九年三月一日早朝の核爆発の約三時間後から灰が雪のように降りはじめ、数時間にわたって降り続いたとのこととです。地表実験でしたから周辺の珊瑚礁が吹き上げられ、風に流されて船の上に積もったのです。参考のため現地附近の海図を示します。予想外のことでした

ので、最初は図に示した立入禁止区域の中にいたのではないかと疑われた程です。

その時、珊瑚礁の溶けた丸い粉に核分裂生成物などの放射性物質が附着していたので、放射線被曝を受けられたわけです。第五福龍丸の方だけでなく、ロンゲラップ環礁のポリネシアの人達もひどく被曝され、今でもその後遺症に悩んでおられるばかりか、島の放射能汚染のため帰島できないと聞いております。その被曝の程度は図にも示しましたように、数百レントゲンと云う極めて高い値になっています。

私共はこの珊瑚礁の粉に附着した放射能がどのようなものであるかを分析したのです。その時、大学院学生の松本智恵博君（現在四国電力重役）が、ペーパークロマトグラフ法で放射能の分離をした処、丁度ウランが動く場所に非常に強い放射能が見つかりました。この放射能の半減期が6.6日であり、 β 崩壊のエネルギーが240キロ電子ボルトであることが判明しました。これはウラン-237に相当します。ウラン-237はウラン-235に中性子が二個吸収されても生成しますが、一方ウラン-238から中性子が一個弾き飛ばされても出来ます。この放射能が非常に強いのは何故かという議論したのですが、結論を得ないまま、このことは興味があると表現することにしました。ビキニの放射性塵についての他の多くの研究と共に京都大学化学研究所報告の補遺号としてその年の十一月に刊行され、世界中の研究所に発送されました。その片隅にウラン-237のことも記載されていました。

五年経ちまして、アメリカのブルックヘブン研究所に留学した帰りがけに、ロスアラモス研究所のカワン博士を訪ねました。博士は私の顔を見るなり「お前はビキニの放射性灰の分析をしたか」と問われ、先の化学研究所の報告を出して来られました。ウラン-237の所を示し、これはどのようなことを云っているのかと質問されました。我々も当時この放射能が非常に強いので不思議に思い、ウラン-238が何かの形で相当使われたのではないかと思つたが、結論は得られなかつたと答えました。博士はアメリカでもこの報告を見て相当な議論をしたが、結局ブラボー実験はフィシオン・フュージョン・フィシオンの3F爆弾であり、水爆を包んだタンパーのウラン-238の一部も核分裂したために爆発力が予想外に大きくなつたと発表したのであると云われました。ウラン-237を見つけたのは私共だけではなく、東大の木村先生とか静岡の塩川先生なども見つけておられます。とにかく日本の研究者がウラン-237を見つけ、その放射能が非常に強かつたと云うことで、アメリカも発表したと云うことです。

こんなことを申しますのも、昨日米ソの間に核兵器の部分的な廃止の合意がなされたと報道されましたので、思い出して急遽スライドをひっくり返して持って来たのです。このようないきさつでその後原子力関係の研究にのめり込んだわけです。

どこまで重い元素があるか

PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

IA		IIA		IIIA		IVA		VA		VIA		VIIA		0						
1 H 1.0079	2 He 4.00260	3 Li 6.941	4 Be 9.01218	5 B 10.81	6 C 12.011	7 N 14.0067	8 O 15.9994	9 F 18.99840	10 Ne 20.179	11 Na 22.98977	12 Mg 24.305	13 Al 26.98154	14 Si 28.086	15 P 30.97376	16 S 32.06	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948			
III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		X		XI		XII		
19 K 39.098	20 Ca 40.08	21 Sc 44.9559	22 Ti 47.90	23 V 50.9414	24 Cr 51.996	25 Mn 54.9380	26 Fe 55.847	27 Co 58.9332	28 Ni 58.70	29 Cu 63.546	30 Zn 65.38	31 Ga 69.72	32 Ge 72.59	33 As 74.9216	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.80	37 Rb 85.4678	38 Sr 87.62	39 Y 88.9059
39 Zr 91.22	40 Nb 92.9064	41 Mo 95.94	42 Tc 98.9062	43 Ru 101.07	44 Rh 102.9055	45 Pd 106.4	46 Ag 107.868	47 Cd 112.40	48 In 114.82	49 Sn 118.69	50 Sb 121.75	51 Te 127.60	52 I 126.9045	53 Xe 131.30	54 Ba 137.34	55 La 138.9055	56 Ce 140.12	57 Pr 140.9077	58 Nd 144.24	59 Pm (147)
61 Sm 150.4	62 Eu 151.96	63 Gd 157.25	64 Tb 158.9254	65 Dy 162.50	66 Ho 164.9304	67 Er 167.26	68 Tm 168.9342	69 Yb 173.04	70 Lu 174.97	71 Hf 178.49	72 Ta 180.9479	73 W 183.85	74 Re 186.207	75 Os 190.2	76 Ir 192.22	77 Pt 195.09	78 Au 196.9665	79 Hg 200.59	80 Tl 204.37	81 Pb 207.2
83 Bi 208.9804	84 Po (210)	85 At (210)	86 Rn (222)	87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 Ac (227)	90 Th (232)	91 Pa (231)	92 U (238)	93 Np (237)	94 Pu (242)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (260)

*Lanthanum Series

○ Stable and radioactive natural isotopes

**Actinium Series

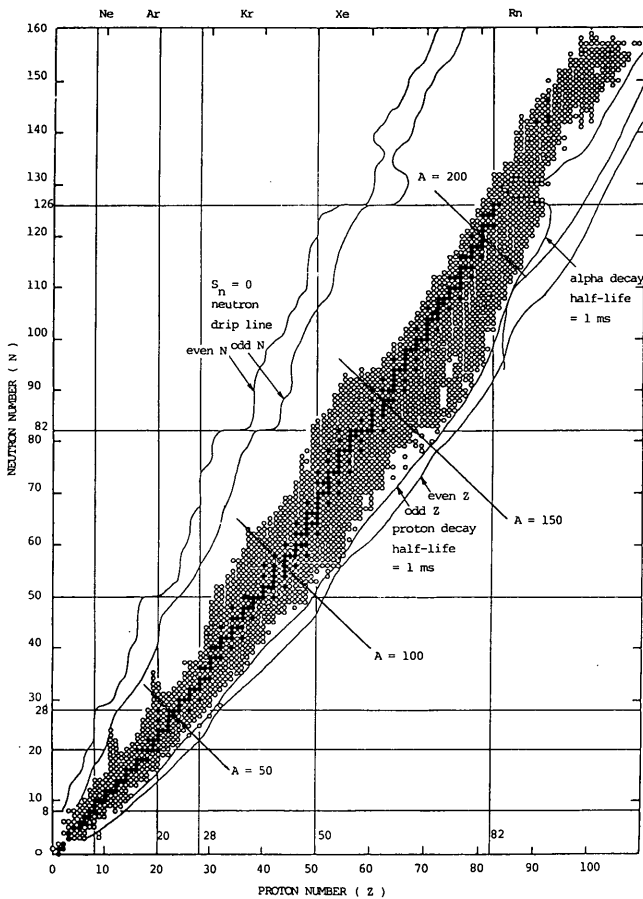
● No stable isotopes

今から約二十年前のことですが、自然界にはまだもつと重い元素があるのではないかと云う説が飛び出しました。これに関して活発な議論がなされ、現在も続いています。これに関連した話を申し上げたいと思います。

地球上の元素は皆さんよくご存知の周期律表に示しますように、原子番号一番の水素から九十二番のウランまであるわけですが、途中のテクネシウムとプロメシウムは抜けています。また、ポロニウムからアクチニウムに至る六元素とプロトアクチニウムはウランとトリウムの崩壊系列に属する放射性のものが微量あるだけです。

また、これらの元素の原子核を見ますと一種類の原子核で出来ているのもありますが、錫のように同位体が10ヶもあるものもあります。これらの原子核をそれらのもつ陽子の数 Z と中性子の数 N を座標にとつて並べますと、図—3の黒点で示したようになります。各元素の存在比だけでなく、各元素の同位体比も、地球上の岩石や月の石、殆んど全ての隕石について同じであります。このことから我々の太陽系の元素は太陽が生れた四十六億年前に核反応によって生成されたものとされています。太陽が生れた時に生成された原子核でも、その寿命が短いものは崩壊してしまつて現在まで残っていないわけです。寿命の長い核種は残っているわけで、ウラン—238、ウラン—235、トリウム—232、カリウム—40はそのよい例ですが、この他にも安定と思われていた十以上の原子核が放射性であることが判っています。理屈の上では質量数が百以上のものは核分裂する可能

核種一覽図



性があり、百四十以上のものは α 崩壊してもよいわけですから、今後もっと多くの原子核が放射性であることが見つけられるでしょう。

図13には黒丸で示した天然に存在する二百七十二個の核種以外に、今迄に見つけられた短寿命の放射性核種千六百余りを白丸で示してあります。これは丁度日本列島のような形をしています。この島の両側の線で示した部分は原子核が存在し得る所で、その数は三千とも六千とも云われています。黒丸の核種は丁度島の中央を通る β 崩壊に対して安定な β 安定線上に乗っています。原子核が重くなりますと α 崩壊をすることはよく知られていますが、これ以外に自然に核分裂をして崩壊します。ウランやトリウムも α 崩壊以外に、この自発核分裂をして崩壊しますが、その割合は微々たるものです。原子番号がさらに大きくなりますと、自発核分裂が次第に優勢になり、遂には瞬間的に核分裂をするようになると考えられ、その限界は原子番号が百十〜百二十であると推測されていました。

話が多少脇道にそれますが、地球を構成している重い元素がどうして出来たのだろうかと言うことが問題となります。我々の太陽が燃えているのは、四ヶの水素が融合してヘリウムになる時に発生するエネルギーによるのですが、その太陽のスペクトルを観察しますと地球上にある重い元素が全部見受けられます。宇宙にはいろいろな種類の星がありますし、また星の種類によっていろいろな核反応が起っていると推測されます。ヘリウムが融合して炭素に、炭素から珪素に、

更に鉄、ニッケルへと原子核合成が進むと考えられています。鉄、ニッケル附近の核は最も安定ですので、これ以上は進めません。鉄以上の重い元素が合成されるのは別の反応が考えられています。水素が融合するC-Nサイクルが進行するような条件では、 α 粒子との反応で中性子が発生します。この中性子が鉄、ニッケルに吸収されて次々と重くなり、 β 安定線に沿って鉛やビスマスが合成されます。しかしこの反応は一個の中性子を吸収するのに百年〜十万年かかる極めて緩やかなもので、これをs-プロセスと云います。この反応ではウランやトリウムを合成することは出来ません。

ウランやトリウムが合成されるのは他の反応がなければなりません。我々の銀河系には二百〜三百年に一度超新星と名付けられる星が急に出現し、またすぐに消えてゆくものがあります。藤原定家の明月記にも天空に客星が現れたと記してあります。中国の天文書にも二、三記されています。超新星は太陽質量の1.5倍位のものとして10倍以上のものと二種類あるとされていますが、何れも反応は秒の単位です。特に大型超新星は爆縮して中性子星となり、宇宙に大量の物質を放出します。これをr-プロセスと呼んでいます。この時、星の核となっていた鉄、ニッケルなどの原子核は大量の中性子を吸収すると共に β 崩壊を繰返し、 β 安定線から遠く離れた経路を通じて重くなると共に原子番号も大きくなって、ウランやトリウムが合成されると考えられます。表1にこれらのプロセスの一例を示しておきます。

今では消滅してしまった放射能の研究から、太陽系が生れた四十六億年の一・二・五億年前にr-プロセス原子核合成があったと推測されますが、太陽系の元素の平均の年齢は約百億年と考えられますので、我々の太陽系は何回かの超新星爆発の後の塵が集まって出来たものと考えられます。

重い原素の合成の現状

原子核が重くなりますと α 崩壊や自発核分裂が起り易くなると申しました。ウラン-238の半減期は四十五億年、ウラン-235は七億年、トリウム-232は百四十億年ですから、四十六億年前に太陽系が生れた時にr-プロセスで生成したものが現在まで残っています。これ以外の重い核の半減期は短いので、当初生成したものも崩壊し尽して見つけることは出来ません。唯一つだけですが、希土類元素の鉱石から希土類元素を製造した大量の廃液中からプルトニウム-244（半減期八千三百万年）が微量見つかったと云う報告があります。

原子炉の燃料の中でプルトニウムやアメリカシウム、キュリウムなどの重い核種が生成していることは周知のことですが、これらの重い核種を更に原子炉中で中性子を吸収させた後、 β 崩壊させて、 β 安定な原子番号の大きい重い核種を合成する方法があります。カリフォルニウム-252はこの方法で製造・販売されています。しかし表1に示しますように人工の方法は自然界のs-プ

表 I

	$nv(n/cm \cdot sec)$	Δt	$nv\Delta t(n/cm)$
s-process	$\sim 10^{16}$	$\sim 10^2 a$	$10^{26} - 10^{27}$
r-process	$> 10^{27}$	$10^{-3} - 100 sec$	$10^{27} - 10^{42}$
Nuclear reactor	$\sim 10^{14}$	$\sim 3 a$	$\sim 10^{22}$
Thermonuclear reaction	$> 10^{31}$	$< 10^{-6} sec$	$\sim 10^{25}$

ロセスに比べて極めて小規模なものです。この方法はアインスタインウム-254（半減期二七六日）を少量製造するのがやっとです。アメリカでは研究用にこれを作ろうとする計画があります。

では、rプロセスに似た核爆発を利用すればと考えられます。ネバダの地下核実験の際に爆弾の傍にトリウム、ウラン、プルトニウム等の重い元素を置いて、実験後速やかにボーリングをして岩石と共に持帰って分析したことが何回かあります。この時でも、フェルミウム-257（半減期百一日）が微量見つけれただけです。これより重い核種は急速に自発核分裂をして無くなってしまふことが後で判りました。このように、天体の核反応をまねてβ安定線の中性子過剰側の重い元素を合成する試みでは原子番号が百で止まりであることが判りました。

この他の重元素合成の方法としては、加速器を使う

方法があります。鉛やウラン又はプルトニウムやキュリウムなどの重い原子核を標的核として使用し、これに炭素、窒素、酸素、ネオンやアルゴンなどの重い核を加速して衝突させる方法です。つまり長距離砲のようなもので、先の方にポンと原子核を作ろうとする方法です。最近原子番号が百以上の核を合成するために、同位体の中でも最も中性子過剰のカルシウム 48 、クロム 54 や鉄 58 などを濃縮分離して、重イオンとして加速することが行なわれています。

陽子や α 粒子による核反応と比べますと、重イオン核反応は極めて複雑で、いろんな機構の反応が起ります。しかし、軽イオンを用いる核反応と同じように、衝突する二つの核が融合して複合核を形成する反応も少ないながらもあります。生成核は中性子を放出するか、核分裂を起して崩壊します。重い核の生成収率を上げるために衝突する二個の原子核のクーロン反撥力をすれすれに反応させて、複合核の励起エネルギーが極力小さくなるようにするのですが、目的とする核は反応生成物全体の百万分の一〜一兆分の一程度の極めて少ないものですから、検出して測定するためには他のものと分離する必要があります。半減期が一分程度より長いものであれば化学的に分離することもできますが、原子番号が百以上の核では半減期が秒又はそれ以下のものが多くなるため、各研究所でそれぞれ特別な物理的分離装置、例えば速度分別装置や質量分離装置などが考案されています。

また、生成核の原子番号と質量数は、その粒子の飛行速度や薄い検出器中のエネルギー損失と

全運動エネルギーとを同時測定することにより決定する方法が考案されました。

また、生成核種が何であるかは、その核種の α 崩壊系列の核が放出する α 線の数とエネルギー及びこの系列に属する既知の娘核を測定することによっても推定されています。

最近ソ連で発見したと報道された百十番元素については精細が判明しませんが、西独の重イオン研究所で発見された百七番以上の核種は、 $^{262}\text{107}$ 、 $^{264}\text{108}$ 、 $^{265}\text{108}$ 、 $^{266}\text{109}$ 、です。これらの核の半減期は百分の一秒以下です。

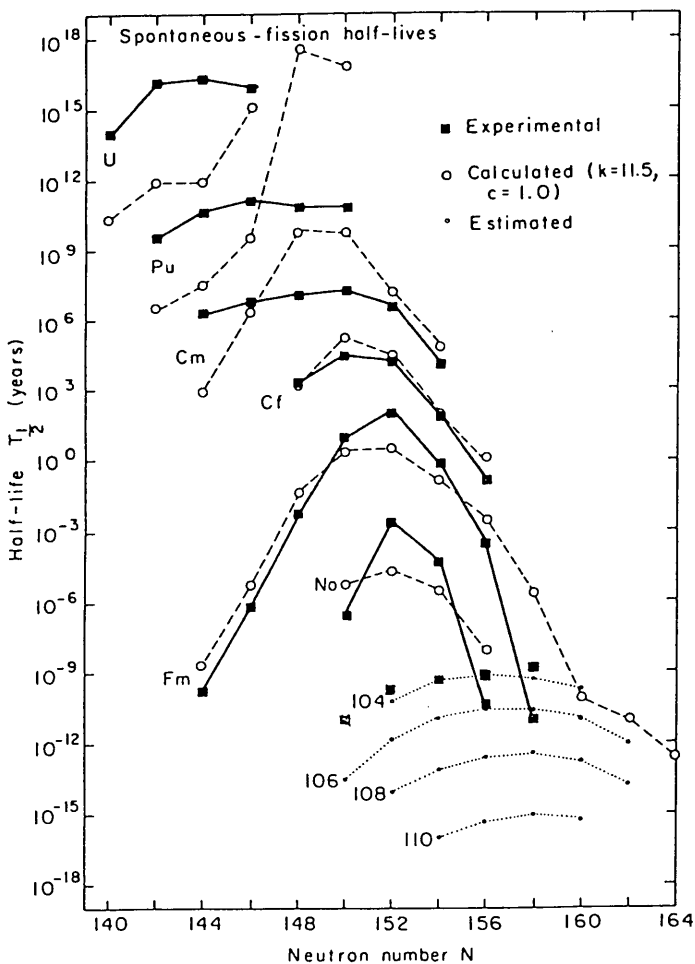
しかし、世界でも最優秀の重イオン加速器を二百五十時間運転しても、これらの重い核が生成したと認められた事象は僅かに一ヶとか三ヶとかの極めて少ないものです。

これらの核の合成には標的核と重イオン共に中性子の多い同位体を用いたのですが、それでも生成核は β 安定線の中性子欠損側にあります。これらの核は α 崩壊の寿命も非常に短かいのですが、また自発核分裂の寿命も急速に短くなりますのでこれらの重い核を検出することは極めて困難になります。

参考のために、陽子と中性子の数が共に偶数の重い核の半減期を図—4に示しておきます。

超重元素発見の可能性

話は前後しますが、原子核の外側の電子が殻構造をしていて化学的性質を決定しているように、



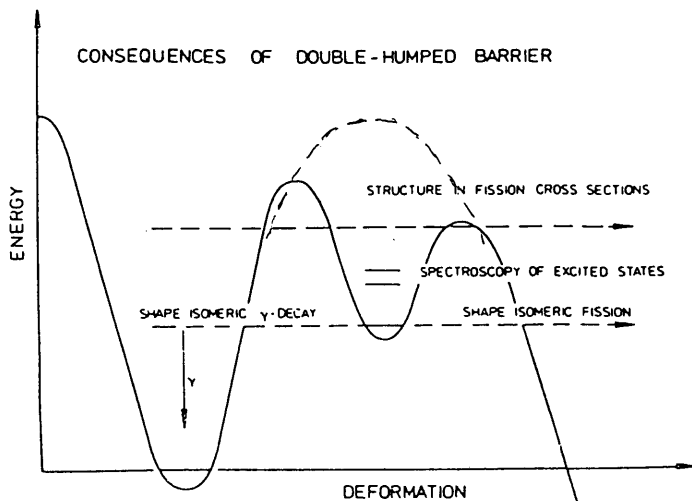
原子核を構成する陽子と中性子は原子核の中でそれぞれ別々に殻構造の軌道に入っており、この殻を充滿した時に安定性が著るしく増大するいわゆる魔法の数があることは古くから知られていました。陽子、中性子共に魔法の数は、2、8、20、28、50、82があり、中性子は更に126があります。陽子と中性子が共にこの魔法の数の所で原子核は真ん丸の形をとるのが安定だと考えられています。この魔法の数の中間の原子核は多少変形した形、すなわち葉巻型とかパンケーキ型とかの形をとるときに最も安定になると考えられています。陽子の魔法の数が82の次に幾つになるかは時々話題になる程度でした。

一九六二年に核分裂をする核異性体が初めて見つかったのですが、これがスピンの大きく異なる普通の核異性体ではなく、核の変形が異なる状態にあるものらしいと云うことが判りました。この核分裂性異性体は今では約三十個発見されています。

また、アクチナイド核が、核分裂障壁以下の0.5〜3キロ電子ボルトのエネルギーの中性子によって、鋭く群状をした共鳴的な核分裂を起すことが見つかりました。

これらのことから、核の変形について大きな関心を呼び、核の殻構造と変形を考慮した核ポテンシャルの計算方法が多く提案されました。原子核の液滴模型に殻補正を行ない、いろいろな変形を考慮することで核ポテンシャルを表すのです。このようにして、核の変形に対する核ポテンシャルの変化の一例を図—5に示します。

図 5

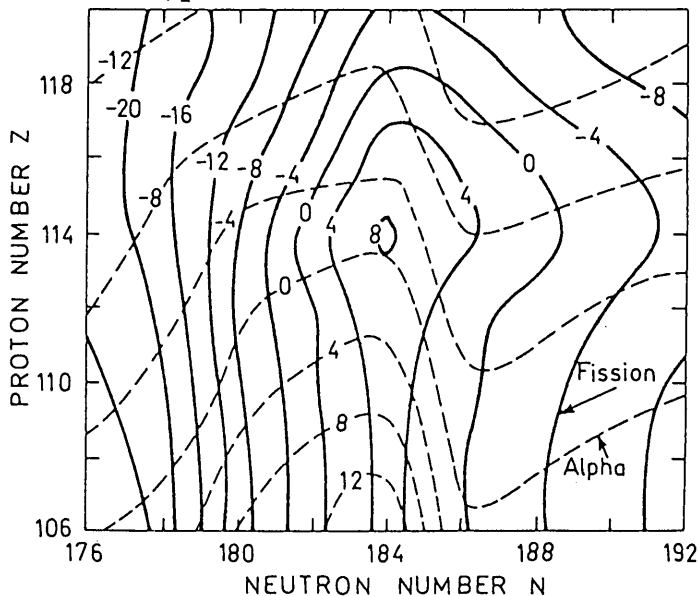


核分裂の障壁が今迄の液滴模型で考えられていた一山ではなく、二山に分かれたのです。これによって前述の核分裂性異性体や障壁以下のエネルギーでの群状共鳴核分裂がよく説明されたのです。

それで陽子の次の魔法数は幾つになるかが大きく関心を呼びました。多くの人がいろいろと精細な計算を行ないました。また、核の変形や障壁の高さと巾を推定することができましたので、障壁を越えて α 崩壊する確率や自発的に核分裂する確率すなわち寿命を計算することができました。その一例を図-6に示します。但し、殻補正を補外して推定していますので、一億倍位のあやふやさがあると思われます。しかし、何れにしても原子番号114、中性子数184の附近に

図 6

$\log \tau_{1/2}$ (years) for SHE



非常に安定な長寿命の一群の核の存在が予見されたわけです。計算によっては陽子数126や中性子数196などの報告もあります。この安定と思われる超重核は β 安定線の延長上に存在します。ここで図12の週期率表を見てください。アクチナイド元素は103番で終り104番からは6d電子をもつ遷移元素となり、その化学的性質はその上の同族元素に似ることが予想されます。

原子核の液滴模型によれば、原子番号が120程度になると瞬間的に核分裂をするために、原子核は存在し得なくなると考えら

れていたもので、安定な超重元素があるのではないかとの予言は非常な衝撃を与えたのです。

重イオン核反応による超重元素の合成

人工的に超重元素を合成する方法として、原子核に中性子を多重吸収させる方法は、先に述べたようにフェルミウムで止ってしまいます。

超重元素を合成することが出来そうな核反応は重イオンを用いる核反応だけと云えます。今迄に超重元素を見つけたと云う報告が幾度ありましたが、何れも他のものを誤認したことが後で判明しており、理論的に予測された安定な超重元素の島は未だ発見されていません。

重イオンによる核反応は複雑で、いろいろな機構の核反応が起ることが判っています。この中で最も反応機構が明らかかなものとして、衝突する二つの核が融合して複合核を形成する反応については前に申し上げた通りです。重イオンとして質量数が40〜60のものを衝突させるとき、励起エネルギーが小さくなることが判り、先に述べた107〜109番元素を発見した際には、クロム154や鉄158の重イオンを用い、複合核から中性子が一ヶだけ蒸発したときに生成したとされています。

また、一般的に重イオン核反応では β 安定線の中性子欠損の核が生成しますので、図16に示した安定な超重元素を合成するには、標的核と重イオン共に中性子の多い核の組合せを考えなければなりません。重イオンとしてはカルシウム148、標的核としてキュリウム1248やプルトニウム

124の組合せが最も有望とされています。この反応でそれぞれ中性子数179ケの116番元素や中性子数177ケの114番元素が見つかる可能性があります。

実は以前にカルシウム148をキュリウム248に衝突させる実験が行なわれたのですが、超重元素は見つかりませんでした。この理由はカルシウムイオンの運動エネルギーが大きく、複合核の励起エネルギーが高過ぎたためではないかと考えられています。イオンの加速エネルギーを細かく調整して再実験することが試みられています。

重イオン核反応に特徴的な反応に「深い非弾性散乱反応」と云うのがあります。これは二ケの核が多少中心をずれて衝突する時に起り、核が融合しないまでも多数の陽子や中性子を移行させる反応で、二ケの核が共に大きい程顕著になります。

西独の重イオン加速器はウランのイオンを核反応が起る程度に加速することが出来るので、これを用いてウランの核にウランを衝突させ、反応生成物をいろいろな化学分離法を使って分離し、 α 線や自発核分裂の測定とその時に発生する中性子の測定などをしました。しかし図12の周期律表に示す108～118番に相当する化学性質を示す放射能は見つかりませんでした。これは核反応の際に核分裂が予想したよりも激しく起り超重核の生成が検出限界以下となったか、又は自発核分裂の崩壊をして測定するまでに無くなったとも考えられます。

深い非弾性散乱反応で重い核の生成が数桁増加すると考えられる反応として、キュリウム248

を標的としてウランを衝突させる実験を続行しています。

さらに、重イオン核反応の中に「不完全融合反応」と云う反応があることが最近判明しました。これは原子核のもう少し表面に近い所で起る反応で、重イオンの大部分が標的核と融合しますが、残りの部分は反応前と余り変らない速度で飛去ってしまうために、不完全融合した核の励起エネルギーが小さくなると云われています。カルシウム 48 をキュリウム 248 に衝突させた時に、 176 ケの中性子をもった 112 番元素や 178 ケの中性子をもった 113 番元素が生成するのではないかと云う提案もありません。

また、以前スイスのセルンにある高エネルギー陽子加速器のビームを止めるタングステンを分析して、水銀に似た化学性質をもち自発核分裂する放射能が見つかり、超重元素を発見したのではないかと騒がれたことがありました。しかし追試の結果、この放射能はカリフォルニウムなどのアクチナイド元素であることが判りました。これは高エネルギーの陽子がタングステンと反応する時に生じる相当大きな運動エネルギーをもった破片がタングステンと核反応をした二次生成物であると説明されました。この高エネルギー加速器で最近重イオンを加速することが出来るようになりました。このイオンをウランなどに衝突させますと、中性子が非常に多い破砕片、例えば炭素 16 、マグネシウム 32 などが生成します。このような中性子過剰の重イオンを重い核に衝突させる二次反応を利用してはどうかとの提案もあります。

このように、超重元素をいろいろな方法で合成しようとする研究が盛んに行なわれています。

この鍵となる自発核分裂の半減期を図—4に示しておきましたが、中性子数が152、154の所に中性子の準閉殻によって寿命が伸びる有様が見られます。これは非常に力強いことです。中性子数184の閉殻により原子核がどの程度安定になるかが決め手となるでしょう。

また、陽子と中性子が共に偶数の場合よりも、奇数の方が寿命が相当長くなります。それで奇質量核、又は共に奇数の奇核に目をつけて発見の努力をするのがよいとも云われています。

自然界における超重元素発見の試み

四十六億年前に太陽系が誕生した時に、果して超重元素は生成したでしょうか。これに関しては非常に多くの理論計算が発表されています。重い元素の生成については、星の爆発即ち超新星の条件をどのようにとるかによって結果に大きなばらつきがあります。太陽誕生の一、二億年前に起ったと考えられる先代の星の爆発の条件が大きく左右すると思われませんが、太陽も何代目かの星であると推察されることと、空にはいろいろな種類の星があり、また元素合成もその星の部分によって異なることを考慮しますと一概に結論することは出来ません。大ざっぱなことですが、ウランとトリウムの和に対して超重元素は0・三%位生成したとおきます。

現在我々が観測できる自然界の物質としては、宇宙線中の元素、隕石、月の石と地球上の鉱物

があります。これらの中の超重元素を探して今迄に判ったことを申し上げます。

宇宙線中の超重元素

地球上に降って来る一次宇宙線は気球を成層圏まで上げたり、最近では打上げた衛星に測定器を積込んで観測されています。一次宇宙線の大部分は陽子で、ヘリウムが十五%位です。このうち、エネルギーが核子当り一億〜二億電子ボルトの低エネルギー成分は太陽から放出されているものですが、核子当り数億電子ボルト以上の高エネルギー成分は主に我々の銀河系から来ているもので、超新星の爆発で放出されたものとされています。この宇宙線の平均年齢は約二千万年と測定されています。

また、写真乳剤やプラスチック膜飛跡検出器を用いた観測で宇宙線中には鉄などの重粒子が十万分の一度含まれていることが判っている以外に十年間の観測中にトリウムやウランなどの重粒子が23ヶ見つかっています。超重元素を見つけるには、ずっと大きな百平方メートル以上の面積の飛跡検出器を積込む必要があるとされています。

最近では、ガスシンチレーターやチェレンコフ検出器が探査衛星に積込まれています。何れにしてもこれらの観測は長期間を要し、忍耐強い測定が必要となります。

この他に隕石中の宇宙線の飛跡を観測する方法があります。隕石は地球などの惑星とほぼ同時

期に生れた小惑星が、その後太陽の周囲を回っている間に衝突して壊れた破片であるとされています。隕石の表面に近い所はその後宇宙線に曝されることとなります。隕石が宇宙線に曝される期間は数万年から十億年位まで広く分布していますが、石質隕石の期間は短く、数千万年までであり、鉄隕石は数億年のものが多く見受けられます。

これらの隕石のうち石質隕石や石鉄隕石の中には直径一―三兆のカン攪石が含まれています。この中を宇宙線が通ると結晶に欠陥を生じます。これを弗酸などでエッチングすると孔が開き見えてきます。最近、カン攪石を適当な温度で焼鈍すると宇宙線中に比較的多い鉄などによる欠陥は無くなり、重稀土類元素以上の宇宙線による欠陥だけがエッチングによって見えて来ることが見つけられ、この観測法が大いに改良されました。この方法を用いて、宇宙線被曝年齢が五千万年から二億年の隕石中に含まれる一・五立方糶のカン攪石中の飛跡を観察した報告があります。原子番号が74以上の宇宙線が五千ヶ観測され、この中にトリウム・ウランの宇宙線が三百ヶと、百十番以上の元素に相当するものが三ヶ見つかりました。この割合は超新星による元素合成の割合とほぼ一致しています。一・二億年前には我々の太陽は超新星が多発する銀河の腕の中に位置していたことと、長期間宇宙線に曝されたことが相俟って非常に多数の飛跡が観測されたものと思われます。

いろいろな隕石についてこのような観測をすれば、果して超重元素が星の中で合成されたかど

うか明らかとなるでしょう。

隕石と地球の岩石中の超重元素

隕石の源である小惑星も地球もほぼ同時期に生れたのですが、小惑星は速かに冷却固化します。地球上の最も古い岩石の年齢は三十六億年ですから、誕生してから約十億年して固化を始めたこととなります。最も長寿命の超重元素の半減期が図—6に示すように二億年だとすれば、太陽が誕生してから四十六億年の間には八百万分の一に減少していることとなります。隕石や地球の石の中に超重元素が生残っていると、トリウム・ウランの約百億分の一程度の微量と考えられます。

隕石中のカン攪石をエッチングした時に宇宙線の飛跡が見えることは前に申しましたが、これとは別に長さが十数ミクロンの短い飛跡が見えます。これは鉱石に含まれるウランが自発核分裂した時の分裂片が飛んだ跡です。隕石や月の石の中にはこの飛跡の数がその中に含まれているウランの自発核分裂に由来するものより遙かに多いものが見つかりました。隕石の源である小惑星や月の石のあるものは、生成後急速に冷却固化したと考えられますから、その時に残存していた長寿命のプルトニウム²⁴⁴（半減期八千万年）などのアクチナイド核種の自発核分裂によって出来たもので、今は死滅した核の化石のようなものと思われれます。

このような化石は他にもあります。ゼノンの元素は質量が124、136の範囲の9ヶの同位体から出ています。隕石中のゼノンの同位体比を測定しますと、質量が132、134、136の重い同位体は太陽が生成した時に存在した始源ゼノンの同位体比より過剰にあります。この過剰分はウランなどの自発核分裂によって出来たものを差引いてもなお余りがあります。この残存過剰分は飛跡の場合と同様にプルトニウムなどの長寿命核の自発核分裂によると考えられています。

このような事実に力づけられて、今も残っているかも知れない超重元素を発見しようとする研究が進められています。減衰せずに残っている超重元素はトリウム・ウランの量の百億分の一位と推定されます。地殻中のトリウム・ウランは約十万分の一ですから、超重元素は存在するとしても石の中に千兆分の一程度の極微量と考えられます。このためには極めて高感度の検出器が必要となります。

検出器としていろいろと工夫されましたが、何処にあるか判らないものを探すのですから感度を上げるためにも多量のものを取扱えることが望ましいので、特別な中性子検出器が考案されました。試料の回りを数十本の中性子カウンターで囲んで試料中で起る自発核分裂の際に放出される中性子数が判別できるようにした測定器で、ウランの自発核分裂と区別できるようにしたものです。先進諸国の諸研究所に設置されていますが、ソ連のドゥブナ研究所の装置は宇宙線の影響を少なくするために地下数百米の岩塩坑中に設置されており、超重元素が千兆分の一含まれてい

でも検出できる世界最高感度のものです。

以前に西ドイツの研究所でこのような中性子測定器を使用して、超重元素候補の同族元素の鉱石、金属或は精錬工程の副産物など百ヶ以上の試料について測定しましたが、宇宙線と試料との核反応による中性子以外の計数は見られませんでした。

最近ソ連で新鋭測定器を用いて三ヶの隕石を測定した処、試料中のウランの自発核分裂に由来する中性子の十〜三十倍の中性子を観測しました。これらのものがどのような化学的性質を持っているかを調べるため、電気炉中で酸化と還元を繰返しながら千度に加熱し、揮発成分を集め、中性子の測定をしたところ、元の隕石中の自発核分裂をする元素の30%〜50%が集まっていることが判りました。しかし、この揮発性物質を熱クロマトグラフ法や硫化物沈澱法で分離しても超重元素が属すると思われる同族元素の所に放射能を濃縮することが出来ず、元素の特定は不可能でした。これは放射能が微弱であったことありますが、同族元素でも互いに化学的性質が多少異なるためとも考えられます。

隕石の中に超重元素の放射能があるのであれば地球上にも同様に存在する筈です。これなれば大量の試料を用いて濃縮すれば原子番号や質量数を決定できる可能性があります。

カスピ海のチェレケン半島に、タリウムや鉛のような揮発し易い重金属が多い温泉があります。この鹹水は固形分が海水の十倍近くあり、揮発性重金属は百倍近く含まれており、マグマ水と堆

積岩中の埋没水が絞り出されて涌出していると思われる。

ドウブナ研究所の研究者らは二千立方メートルもの鹹水を陰イオン交換樹脂に通し、重い元素を吸着濃縮し、これから約25キログラムの水酸化物を得ました。これを先の新鋭中性子測定器で測定した処、隕石の50倍位の強い、と云っても一キログラム当り一日に一回の自発核分裂が見つかる位ですが、を見つけました。この中に核実験の降下物か実験室の汚染が混入した恐れもありますので検討しましたが、その恐れは最大で百分の一程度と云っております。更にこの水酸化物から硫化物沈澱を繰返して50グラムの試料を得ましたが、放射能も十分の一位に減ってしまいました。彼等はこの後もいろいろな実験を繰返していますが、この自発核分裂を示す核がどの元素に属するか未だ決定することが出来ていません。

彼等は今迄の実験結果を検討して、超重元素が濃縮されている鉱石を探すことを最近提案しています。類似した化学的性質をもつ微量の元素はどのような挙動をするのでしょうか。主成分の鉱物の結晶の中に許容されて入ってしまうのだろうか。或は主成分元素と置換せずに何処か片隅に独自の鉱石を作っているのでしょうか。このことについてマグマの結晶化過程と鉱物結晶の成長に対する揮発性、酸化還元状態、イオン半径などの影響を鉱物学的に検討することが必要だと云っています。このようにして、最低百倍以上濃縮された鉱石を見出すことができれば、測定の手数を大いに省くことが出来、超重元素発見の可能性が高まると考えられます。

私共も同じようなことを考えたことがありまして、閉山される前年に兵庫県の生野鉱山へ参りました。生野鉱山はマグマが分別結晶作用をした残液である熱水が、既に固化した岩石の弱い所に沿って貫入した熱水鉱脈です。非常に長時間かかって分化し固化したためでしょうか、いろいろな鉱石がきれいに層状に生成しています。鉱脈の一番地表に近い先端には金、銀が多く含まれており、徳川時代に採掘されていました。その下には順番に硫化亜鉛鉱、硫化錫と硫化鉛の鉱石、次に硫化鉄と硫化銅の鉱石、最下方にタングステン鉱石がきれいに層状をなして生成しています。私共も最深部の地下千メートルの所まで降りて行き、夫々の代表的な鉱石を頂戴して来ました。地下千メートルとなりますと地熱で相当熱いものですから、ゴム製作業衣の下は禪一つになって鉱石を担ぎ上げました。超重元素を測定しようとしても、日本ではおいそれとは出来ませんので、大切に保管したままになっております。もし、どなたかやってみようとおっしゃる方がおられましたら喜んで差上げますので調べて頂ければ幸いです。つまらない話を致しましてお耳を汚しました。

(京都大学名誉教授)