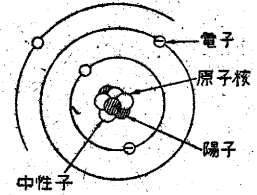


動力としての原子力



熊 谷 寛 夫

1. 動力と質量

この頃では動力の話が出ると、たいてい原子力のことも考えるようになった。しかしこれは考えられているだけで、実際に原子力がエンジンを動かしたことはまだないのである。しかし数ヶ月のうちにも運轉されるかも知れない状態にある。

いまから 20 年以上まえには、マッチ 1 本の質量をエネルギーに変えると、それを使つて汽船が太平洋を何回も往復できるということを物語のように聞いたものである。これはアインシュタインが相対性原理の結果として質量 m 瓦の物質が E エルグのエネルギーに相當するものであり、その間には

$$E = mc^2 \quad (c \text{ は光の速さ}) \quad (1)$$

の関係があることを提唱したので、この式の通りにマッチ 1 本をエネルギーに変えると、ほんとうに汽船が太平洋を何回も航海できるのである。しかしこれにはあく迄物語りであつて、實現はできそうもないことであつた。

汽船は石炭や重油をつかつて得られる動力で航海するわけであるが、このときに出る動力や熱はやはり上の (1) の関係によつて質量から變化したものである。このことはあまりはつきり指摘されていなかったことであるが、つかつた石炭の質量と、燃焼に費した酸素の質量の和は、できた灰や炭酸ガスの質量の和よりもたとえわづでも大きいはずである。たゞこの差はわれわれの技術ではとうてい検出できない程に僅かなものである。このことを原子の構造から考えてみると、原子は原子核とその周囲を廻っている電子からできているが、石炭などが燃える變化、一般にいつて化學變化はこの周囲の電子のありさまの變化によつて起るものであるが、このときに消滅する質量の割合がごく少いのである。それで實驗的にはいわゆる「質量不滅」の法則が成立つており、(1) 式の関係が正しいかどうかを實驗的に調べることは思いもよらないことである。

しかし原子核に變化が起るときには事情がちがう。1895 年にキュリー夫人がラヂウムを發見してから放射能の研究がさかんになつたが、このときの放射線は原子核が崩壊して出てくるもので、 α -線、 β -線、 γ -線のもつ

ているエネルギーはやはり物質が消滅して出てくるものである。このときに消滅する質量のはじめの質量に對する割合は、ふつうの化學變化のときよりも大變に大きく、大體 100 萬倍になつている。これで、(1) 式の關係を實驗的に確めるのぞみが出てきた。しかし實際に消滅する質量と、發生するエネルギーの關係が量的に確かめられたのは、1932 年のコックロフトの實驗である。コックロフトはリシウムに水素原子を衝突させてヘリウム (α -粒子) を作つたもので



のように書ける變化を起し、このときの三つの He の運動のエネルギーと、このときに消滅する質量の間にはちょうど (1) 式の關係があつた。 ${}^7\text{Li}$ などの質量は質量分析量できめられていたものである。この實驗は質量とエネルギーの關係を確立した大切な實驗である。

このようなことができたのは、原子核の反應では消滅する質量の割合が大きいためである。これを一方から見ると原子核の反應を使うならば、同じ質量の物質からふつうの化學變化によるよりも、もつと多量のエネルギーをとり出すことができることになる。その比は上にも述べたように大體 100 萬倍である。はじめに述べた、マッチ 1 本の例えは、全部の質量がエネルギーに變化したときのことであるが、原子核變化でもまだこれにははるかに遠いが、化學變化に比較すれば全質量の消滅に近づいている。

(2) 式のような原子核の變化は、この外にも實にたくさんある。しかしこれを使つてわれわれはエネルギーを得ることはできない。それは (2) 式の變化を起すためには實に多くの水素原子が無駄にリシウムをたぐいでいて、このために必要なエネルギーの和は、得られるエネルギーより大きいのである。いいかえると、(2) 式のような變化は外部から常に大きいエネルギーを費して刺戟していないと起らないのである。

そこで考えることは、われわれが木炭、石炭、石油などを燃焼するときには、たとえば炭素の原子が炭素原子と化合したときに出る熱線をわれわれが利用している以外に、このときにでる熱線の一部は他の炭素原子の化合を刺戟して起し、そのために反應が次々と起つている

ことである。これが連鎖反応といわれるものである。原子核の反応の場合にもこのような連鎖反応が起つてくれないものであろうか。ところが 1938 年に獨逸のハーンとストラスマンが、ウラニウムに中性子をあてると、ウラニウムの同位元素 U^{235} が大體二つの原子核に分れ、このときに數個の中性子が出ることを知つた。これを原子核分裂とよぶ。このときに中性子が 1 個でなくて數個出ることが注目すべきことであつて、この中性子が他のウラニウムの原子核に同じ核分裂を起すことができるから、連鎖反応が可能になるのである。出る中性子がちょうど 1 個では、それが他の核分裂を引き起す確率は 1 より小さいから連鎖反応に起らない。中性子が數個出れば反応が持続できる。ハーン等の発見を利用すると、原子核の變化を使つてエネルギーを取り出すことが可能であると思ひつた人が世界に何人もいた。以上の発見によつて原子核エネルギーを利用することが可能になつたのであつて、残る問題はそれと如何にして實際に行かうかということだけである。

ふつう原子力又は原子エネルギーといつているのは、以上の説明でわかるように原子核エネルギーといつた方が正しいものである。

2. 原子爐と原子エンジン

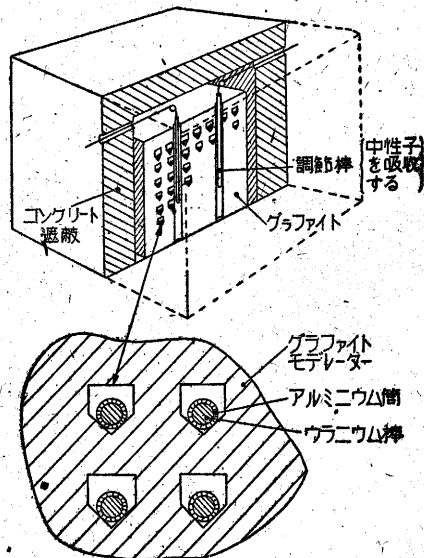
1942 年の 12 月に、米國のシカゴ大學の西側の運動場に 10 トンに近い目方のウラニウムがあらかじめ設計された方式にしたがつて積み重ねられた。そして中性子を媒介とする連鎖反応を起すことに成功した。中性子も發生しているが、もつと大切なことは熱も發生していることであつて、調節によつて 0.5 から 200 ワットの熱を出した。もともとラヂウムなどは自ら崩壊していくにつれて僅かであるが熱を出している。しかし原子核の反應によつて上のように多量の熱を、しかも制御できる形で出すことはそれまでになかつたことで、人類の歴史に特筆されるべきことである。このようにウラニウムを適當につみ重ねて連鎖反応を起すものを原子爐 (Atomic Pile) という。

原子爐の中の現象はふつうの燃焼に似ている。ことに木炭を燃やすときに似ている。木炭はあまりに僅かで、しかも灰などによる保護のないときには燃焼しない。適當な量を使い、しかも熱保護を行うと具合よく燃える。原子爐でもある分量以上のウラニウムを用い、發生する中性子が外に逃げないように工夫する。又ウラニウムの原子核が分裂したときに出てくる中性子はかなりの速さをもつていて、これが他のウラニウム原子核を分裂させるにはそのまゝの速さよりも、速度を小さく、すなわちエネルギーを小さくしたものがずつと具合がよい。そのためエネルギーを吸収して、中性子自身を吸収してしまわない物質、たとえば炭素のようなものを第 1 圖に示

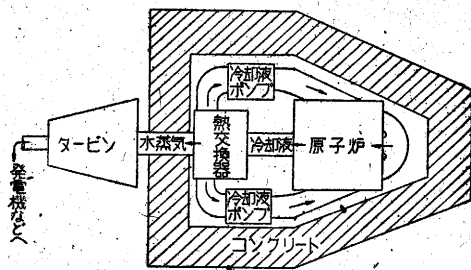
すように適當に原子爐の中に入れておく。最初に原子核を分裂させる中性子は宇宙線のなかのものでよい。原子爐の中の反應を調節するためにはエネルギーの少い中性子を非常によく吸収するカドミニウムの棒を入れ、それを動かして行く。これも第 1 圖に示してある。

原子爐から發生する熱はエンジンに利用できる。たとえば第 2 圖のようにこの熱で水蒸氣を發生してタービンをまわせばよい。これが原子エネルギーの動力利用として考えられているうちで最も期待できるものである。そしてすでに建設が行われ、試運転も近いと聞いている。第 3 圖で原子爐の熱を水蒸氣に傳えるものは、Na, Pb, Bi などの液體を用いる。これらのものは原子爐の中の中性子によつて放射能をおびても、これが更に水蒸氣にうつることはないから、有害な放射能がタービンに入つてこないで運轉者の入體保護のために具合がよい。

核分裂をおこす U^{235} はウラニウムの 0.7% だけ入つているのであつて、大部分は U^{238} である。そのため



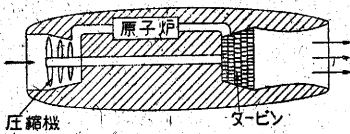
第 1 圖 原子爐



第 2 圖 原子力機關

ウラニウムのまゝでは多量のもを積み重ねないと連鎖反應が起らないが、熱擴散又はイオン分析の方法で U^{235} の割合を大きくしたのを使うと原子爐を小型にすこ

とができる。又後に述べるように原子爐の中ではプルトニウムという新しい元素ができていて、これも核分裂を



第 3 圖 原子力ターボジェット

起すが、これを用いてもやはり原子爐を小型にすることができる。潜水艦のエンジン、又はターボジェットなどの熱源としてはこのようにして小型にしたものが用いられるであろう。

次に原子エネルギーの工業的利用について、C. Goodman¹⁾ が述べていることの 2, 3 を紹介してみよう。まづいろいろの燃焼が同じエネルギーを出すために必要な體積の比は次のようである。

燃料の種類	同じエネルギーを出す體積の比 10,000,000 ft ³
石炭ガス	8,000 ft ³
石炭	4,400 ft ³
油	1/4 inch ³
ウラニウム	

又世界中の一年間のエネルギー源の統計は次の表のようになる。この表ではウラニウムはその質量の全部がエネルギーになるものとして計算してある。

エネルギー源	年間世界エネルギー源		ウラニウムに換算ポンド
	エネルギー量 10 ¹² kWh	生産量 10 ¹² ton	
太陽より	1.2 × 10 ⁶	—	120 × 10 ⁹
石炭	17.5	2,200	175 × 10 ⁴
石油	4.4	510	44 × 10 ⁴
天然ガス	1.0	130	11 × 10 ⁴
水力発電	0.42	—	4.2 × 10 ⁴
原子(核)エネルギー	0.0066	—	660
合計(太陽をのぞく) ²³	2,840	2.34 × 10 ⁹	

又これに関して米国のウラニウム埋蔵量の推定は次のようである。

1% 含有量のもの	10 ⁶ ポンド
10 ⁻¹ % " "	10 ⁸ " "
10 ⁻³ % " "	10 ¹⁰ " "
10 ⁻⁵ % " "	10 ¹² " "

これによると、1% 含有の鑛石からウラニウムをとつたのでは、世界の一年分にも足りない。しかしこの程度の含有量のものは現在精練されているもので、米国外のカナダ、コンゴなどにもつと多量にある。しかしもし 10⁻³% の含有量のものまで精練できれば、ほとんど無限といつてもよい程の埋蔵量になる。

又原子エネルギーで発電したときの費用については、

1kWh あたり 4~10 ミル(ミルは 1/10 セント)であると報告されたものがある。水力又は火力によるものは、場所によつても違ふが、1kWh あたり 5~17 ミルであつて、場所によつて原子力発電が有利であることになっている。

3. 原子爐の利用

原子爐はこのように原子力の平和利用として、すでに有用なものになつてゐるが、一方この爐の中でウラニウムの中の同位元素 U²³⁸ は中性子の作用で、プルトニウムという新しい元素になり、これがやはり核分裂を起す性質をもつてゐる。

原子爆弾は核分裂を起す物質を密にあつめて原子爐のような反應を極めて短時間の間に急激に行つて爆發させるもので、U²³⁵、プルトニウムなどをなるべく近いところに集めればよい。この目的のためにはウラニウムから U²³⁵ を分けるか、又は原子爐の中でできたプルトニウムを分離してあつめればよい。しかしプルトニウムをあつめる方が經濟的に有利であるので、現在の原子爆弾にほとんどプルトニウムを使つてゐる。しかし原子力の動力としての利用には、あまりに急激な反應を起さなくてよいから、ウラニウムの中の U²³⁵ の割合を多くしたものでよいのである。

原子爐はこのようにプルトニウムを作る外に、種々の人工放射性元素を作ることができるので、發熱作用の外にも有用な力をもつてゐる。このような作用は原子核研究の道具として見逃すことができないもので、ちょうどサイクロトロンを作るように原子爐を實驗道具として建設することもある。そしてサイクロトロンがなければ研究内容が貧弱になり、新しい発見もあまり期待されないように、原子爐のないところでは學問的に見ても、又原子力を更に容易に工業に利用することについても新しい発見はあまりできないであろう。新しい発見によつて原子力の問題はどのように姿を變えるか全く豫測できない。われわれが思いもよらなかつたことが、一つの物理的発見によつてたちまち可能になることがあるのは、過去の經驗によつて知れることである。

原子力の利用の可能性は非常に濃くなつてゐるとはいつても、石炭や石油又は電力の利用のように、原子力がわれわれの生活に幸福をもたらすためには、更に數多くの未知の発見が必要ではなからうか。現在の原子力研究はそれに到着する一つ道程であろう。この意味において、原子爆弾を使う物理的研究に期待することが大きい。もちろんサイクロトロンのような装置もこれと同じように大きい役目を果たすであろう。

☆

☆

1) The Science and Engineering of Nuclear Power Vol 2 (Addison-Wesley Press.)