

核兵器解体と宇宙での原子力の平和利用

吉村 高男

〈山口県立大津高等学校 〒759-41 山口県長門市東深川田屋〉

宇宙でのエネルギー源の確保の仕方については、基本となる太陽エネルギーの利用がまず考えられるが、太陽から遠く隔たった火星をはじめとする惑星・衛星の探査やそこに移住した時のエネルギー源としては、必然的に原子力に頼らざるを得ない。なぜなら、地球とは違い生命の歴史のないところでは、石油・石炭などの化石燃料が期待できないからである。よって、地球上に存在している核兵器の解体後に得られる核燃料はその時に極めて有効な原子力エネルギー源として利用することができる。宇宙でこそ、原子力エネルギーが本質的な役割を果たすことになる。

1. はじめに

ベルリンの壁解消による東西ドイツの融合、ソ連邦崩壊など大きな政治的動きがあり、世界的な軍事・核兵器体系も大きく変わろうとしている。

核兵器は、使用目的の規模の順に、戦術・戦域・戦略核兵器に分けられる。すでに、戦域核兵器に関しては、INF(中距離核戦力)全廃条約が米国・旧ソ連の間に調印されている。

また、最近新しく米国・ロシア間による第二次戦略核兵器削減条約『START II』の調印が成立した。来世紀初頭までに核弾頭数を現在の約3分の1までにしようというものである。そこで、核兵器解体の話題がマスコミレベルにおいても取り上げられるようになった。それにともない、核兵器内部に含まれているプルトニウム (^{239}Pu) やウラン (^{235}U , ^{238}U) など軽水炉、増殖炉などの原子力発電の核燃料となる物質が多く得られることになる。筆者は、それらの有効的な利用方法として、宇宙探査・移住の段階で宇宙において用いるべきだと考えている。

即ち、地球公転軌道から離れ、太陽から遠ざかる深宇宙での開発をはじめ、火星やスペースコロニーなどに宇宙移住した時のエネルギー源としてそれらを考えているわけである。

実は、筆者は約10年前に、核兵器解体について議論をした。人類の平和・エネルギー・環境問題について取り組んだ一環として考えたものである。核兵器が極めて非人道的武器であると同時に、核兵器の使用が『核の冬』に代表されるように、最大の地球環境汚染・生態系の破壊につながるが故に、その廃棄が人類にとって急務であると考えたからである。

一方、核兵器解体の計算は、化学・モル計算の応用、原子核物理学入門、平和教育の自然科学的アプローチとして役立つ。

21世紀を前に、いろいろな分野においてむずかしい問題が山積しているが、地球・人類史的な大きな視点に立ち、改めて私達は現状について深く考え直す時期に来ていると言える。本稿がそのための契機となれば幸せである。

2. 広島・長崎型原爆

よく知られているように、戦時下において武器として核兵器が使用されたのは、世界で日本が唯

Takao Yoshimura: The Dismantlement of Nuclear Weapons and Peaceful Uses of the Nuclear Fuels in Space

一の国である。核兵器の怖さは爆発の結果生じる、想像を絶する爆風・熱・放射線の影響にある。中でも、放射線の生命に与える効果には急性・晩発性・遺伝性の3種類にわたる影響があり、長く生命を脅かす。核兵器がいかに悪質な非人道的武器であるかがわかる。

広島原爆では、100%に近い高濃縮の ^{235}U が砲身型の容器の左右に配置され、一気に高性能火薬で爆縮して臨界量にもっていき連鎖反応を可能にした(図1)。爆発威力は60kgの ^{235}U の内、約1.2%の核分裂が起こり、TNT火薬に換算して約15ktの威力であった。

また、長崎原爆には、 ^{239}Pu が用いられた。臨界量が ^{235}U より小さいために、丸い容器の中に細かく分けて配置して、その周辺部に高性能火薬をつめたものであった(図2)。その火薬にはちょっとした工夫がしてある。この方法は後に述べる水爆の引き金となる原爆部分にも用いられている。つまり、 ^{239}Pu が効率よく爆縮できるようにするため、爆縮レンズとして同時刻にプルトニウムの外周部に圧力がかかるように、反応速度の異なる火薬を幾何学的に分布させているわけである(図3)。長崎原爆は8kgの ^{239}Pu の内、約13.7%の核分裂が生じて、TNT火薬換算に直して約22ktの威力であった。

3. 水爆

水爆の構造については、早い時期から多くの人達によりいろいろと予想されていたが、1979年に米国のH. MorlandがProgressive, 11月号に『The H-bomb Secret』と題して本格的にその構造をあばいた。引き金部分の原爆と核融合を起こす部分の重水素化リチウム(LiD)を離して配置しているところを指摘したのがポイントで、それ以後1980年代中頃までに、多くの人々によって具体的に合理的な構造が予測された。その当時、筆者は水爆の構造(図4)が見えてきたわけであるから、逆に核兵器の解体について考えると面白いと

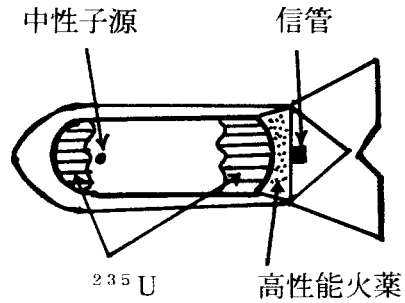


図1 広島型原爆 (ウラン爆弾)

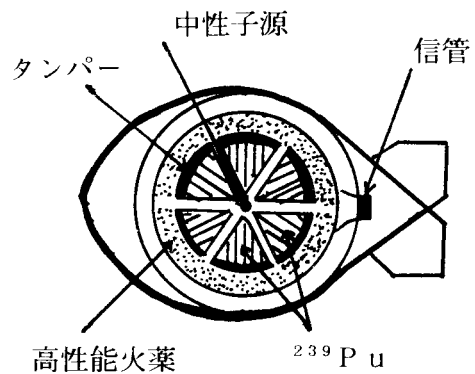


図2 長崎型原爆 (プルトニウム爆弾)

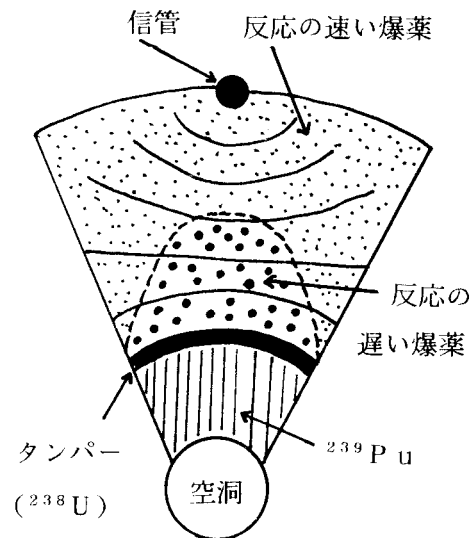


図3 爆縮レンズ

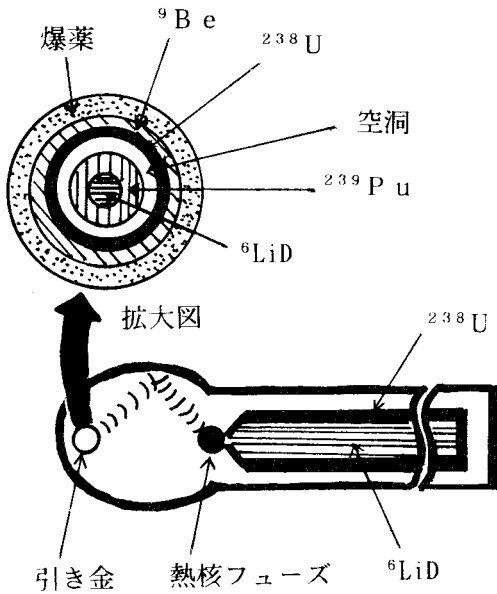


図4 水爆の構造

思い、いろいろと議論をしたわけである。

水爆は ^{239}Pu の核分裂 (Fission), LiD によるD-T核融合 (Fusion), 最後に容器の外周部に配置された ^{238}U の核分裂 (Fission)により多大なエネルギーを放出する。よって、それらの頭文字を取り、別名『3F爆弾』とも呼ばれている。その3段階を経て、中性子をはじめとする放射線や核分裂生成物 (死の灰) など多くの放射性物質を生み出す。

さて、 LiD (重水素化リチウム) の ^6Li は、引き金部分の原爆などから放出された中性子を吸収することで ^4He (ヘリウム) とT (三重水素) に分裂する (4.8 MeVのエネルギーを放出)。そして、この三重水素と LiD に含まれている二重水素の間にD-T核融合反応が起こる。それにより、 ^4He ができ中性子と17.6 MeVのエネルギーが放出される。この中性子は次の ^6Li に吸収され、再び三重水素を作り出し、D-T反応が繰り返される。温度が上昇してくると、点火温度が高いD-D反応も起こる。同時に、外周部の ^{238}U も核分裂を起こし多量の中性子とエネルギーを放出する。

図4より明らかなように、構造的には回転楕円

体の一つの焦点に引き金となる原爆が配置される。その引き金の爆発による衝撃波が、核融合を誘発させる熱核フューズに同時に到達できるように、それを回転楕円体の他の焦点に離して置かれている。 LiD とそれを覆っている外周部の ^{238}U の量で水爆の威力が決まる。

水爆の引き金部分の爆発威力は、次の段階の核融合反応を起こさせるために40 kt程度が必要と言われている。この値が後程述べる核兵器解体の具体的な計算を実行する際に重要な情報となる。

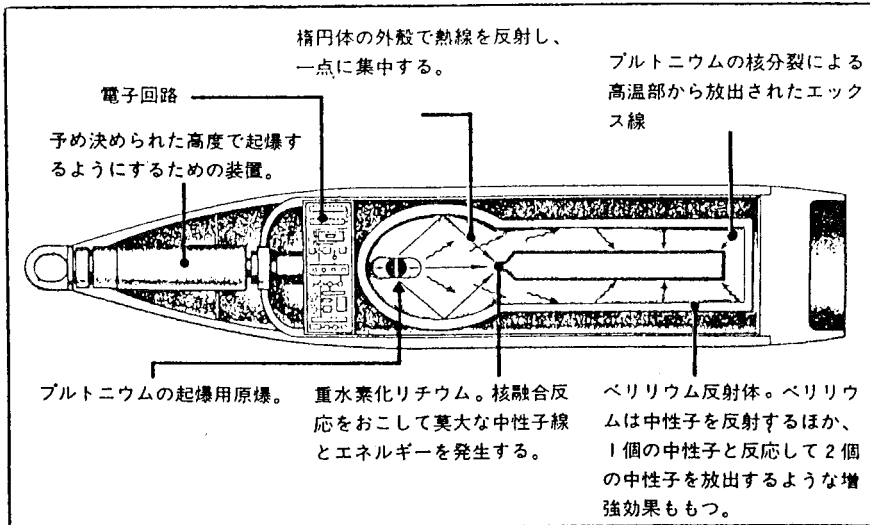
水爆の原料となる LiD は無毒である。 ^{238}U には重金属毒性があるが、半減期が極めて長いのでその放射線にはあまり気にしないでもよい。中性子を増やすために用いている ^9Be (ベリリウム)には生体組織に炎症を起こさせる性質がある。よって、核兵器解体に際してはいろいろと注意を要する。そして、何よりも慎重に扱うべきものが ^{239}Pu である。人間一人当たりの許容量がマイクログラムオーダーの猛毒である。肺に許容量以上のものを吸引すると確実にガンになるとも言われている。

この ^{239}Pu は、原子力発電所の原子炉の中でも、 ^{235}U の核分裂で出て来た中性子を ^{238}U が吸収して β (ベータ)崩壊をすることにより発生する。処理の仕方によりいろいろな平和利用が可能である。最近、フランスで再処理されたプルトニウムが『あかつき丸』で日本まで海上輸送された。

いずれにせよ、 ^{239}Pu の取り扱いについては核兵器解体作業時においても細心の注意を要する。

4. 中性子爆弾

図5に示してある通り、2F爆弾では3F爆弾の最後の段階にあたる ^{238}U のFissionがない。戦術核兵器として開発され、TNT火薬に換算して、1 kt程度の小型の水爆と考えられている。一番外側に ^9Be (ベリリウム)の反射体を置き、中性子を倍増しているわけである。よって、他の核爆弾に比べて発生する中性子の割合が多くなる。中性子は生命体に致命的な打撃を与える。



西ドイツの環境保護連盟 (BBU) 発行のパンフレット「核戦争の結末」(1982年6月)より引用

図5 中性子爆弾の構造

引き金用原爆としては、Am や Cf などを使っていることも否定できないが、臨界量、半減期、経済的コストなどの面から²³⁹Puを用いている可能性が高い。

5. 核兵器解体の方法と管理について

さて、いよいよ核兵器の解体について考えてみることにする。

現在の核兵器のほとんどが、エネルギー効率や経済面で原爆より優れている水爆である。その基本的な構造については、すでに述べて来たように3F爆弾で、結果的にTNT火薬換算でメガトン級の大爆発になる威力をもっている。

また、最近の核兵器は多弾頭化されており、全世界の弾頭数は約6万発あると言われている。核兵器の解体を考える際に、最も問題になるのがすでに述べたプルトニウムである。これは猛毒で取り扱いに注意を要するが、核分裂エネルギーとして有効に利用できる。以下では、特にプルトニウムについて議論を進める。

さて、水爆の引き金部分の威力は40kt程度が最適と言われている。内部には重水素化リチウムも配置されており、周囲をベリリウムで囲み核分

裂・核融合に必要な中性子を倍增できるため、プルトニウムの臨界量はかなり少なくできる。大まかに20kt分のエネルギーをプルトニウムの核分裂エネルギーで得るとする。TNT火薬の量が1kgで、

$$9.25 \times 10^6 \text{ cal} \approx 3.885 \times 10^6 \text{ J}$$

のエネルギーを反応熱として得ることができる。よって、TNT火薬20kt分のエネルギーは、

$$3.885 \times 10^6 \text{ J} \times 20 \times 10^6 = 7.77 \times 10^{13} \text{ J}$$

である。このエネルギーに匹敵するものをプルトニウムの核分裂で得るものとして、その量を求める。プルトニウム1個の核分裂で、

$$\text{約 } 200 \text{ MeV} \approx 3.20 \times 10^{-11} \text{ J}$$

が得られるので、モル数にしてプルトニウムは、 $7.77 \times 10^{13} \text{ J} / (3.20 \times 10^{-11} \text{ J} \times 6.02 \times 10^{23}) = 4.03$ モル

必要である。これは、質量に直すと、

$$239 \text{ g} \times 4.03 = 963.17 \text{ g} \approx 1 \text{ kg}$$

となる。仮に、核分裂する割合が50%とすると、水爆一弾頭内に約2kgのプルトニウムが存在することになる。全世界で約6万発の核弾頭が存在しているので、全体で、

$$2 \text{ kg} \times 6 \text{ 万} = 120 \text{ t}$$

になる。プルトニウムの密度は

$$19.5 \text{ g/cm}^3 = 19.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

であるから、この量を体積に直すと、

$$\begin{aligned} 120 \times 10^3 \text{ kg} / (19.5 \times 10^3) \text{ kg/m}^3 \\ \approx 6.15 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

となる。これらの²³⁹Pu が²³⁵U に崩壊する時に出る崩壊熱は、半減期が 24000 年なので平均化すると、約 150 kw になる。崩壊熱はあまり気にしないで良いが、プルトニウムは臨界量が小さいので、核兵器解体の処理中、および処理後にも、その毒性とともに管理には十分注意をする必要がある。

平和利用については、²³⁹Pu 120 t がすべて核分裂した際には、

$$\text{約 } 9.64 \times 10^{18} \text{ J}$$

のエネルギーが放出される。ここで、50 % の燃焼率で電気エネルギーへの効率を 1/3 とすると、

$$9.64 \times 10^{18} \text{ J} \times (1/2) \times (1/3) \approx 1.6 \times 10^{18} \text{ J}$$

となる。これは膨大な量で、例えば 10 年間で使用すると、常時、

$$\text{約 } 500 \text{ 万 kW}$$

の電力を得ることができる。核兵器解体後に出てくるウラン燃料とともに、高速増殖炉などに用いるとさらに有効である。重水素化リチウム (LiD) は無毒で、将来の核融合炉時代が来た際に極めて重要な原料になる。

6. おわりに

はじめにも述べたように、原子力が本格的な有効性を発揮するのは宇宙でのエネルギー源としてである。太陽から益々遠ざかる深宇宙に進出する際や惑星・衛星・人工天体などに宇宙移住する時にはなくてはならないものとなるであろう。その意味でも、地球上では省エネルギー・省資源に努めると同時に、太陽エネルギー・自然エネルギーなどの有効的な利用方法について地域的にもこれからは本気で考えて行く必要がある。

21 世紀は宇宙時代になる。宇宙の開発・平和利

用は国際協力のもとで初めて可能になる。そのためには、地球の平和が大前提である。

大隕石が地球に飛来して来た場合には、よく知られているように、全面的核戦争の後に生じる地球規模の気象変化『核の冬』と同じ現象が生じる。核兵器の全面的廃絶・廃棄は共通した人類の願望であるが、上述したような宇宙からの訪問者を撃退するための武器として、核兵器の全面的廃絶が実行される際には、国際的管理のもとで緊急時のために少し核兵器を残しておく必要がある。

いずれにせよ、これからの教育においては、地球的・宇宙的・人類史的視点に立った議論を基本的に組み立てて行くことを忘れてはならない。

参 考 文 献

- 1) Morland, H 1979, 'The H-bomb Secret' Progressive, November issue.
- 2) H. モーランド 1979, 「水爆の秘密をあばく」, 朝日ジャーナル, 11 月 16 日号.
- 3) 吉村高男 1983, 「平和教育の自然科学的アプローチについて」, 全国教育研究集会, 10 月.
- 4) 岡本良治 他 1984, 「核分裂兵器と爆縮技術」, 日本の科学者, 19(3).
- 5) 岡本良治 他 1984, 「水爆とは何か」, 日本の科学者, 19(10).
- 6) 安齋育郎 1986, 中性子爆弾と核放射線, 連合出版.
- 7) 吉村高男 1986, 「教育実践レポート」, 地域研究・山口第 11 号.
- 8) 吉村高男 1991, 「核兵器解体の具体的試算」, 日本物理学会秋の年会.
- 9) 吉村高男 1993, 理化 第 20 号, 山口県高等学校教育研究会.

☆

☆

☆

☆