

# 原子力平和利用の現状

## 飯塚 義助

…はじめに…

戦後原子力平和利用の問題が各方面で注目され、世界各国も鋭意その開発に努力し、急速な進展を遂げつつある。わが国においても、おくれはせながらこの問題に着手し、本格的実用化もようやくその緒につこうとしている現状である。

原子力の平和利用は、これを大別して、動力源としての利用と放射性同位元素(ラジオアイソトープ、一般には単にアイソトープともいう)の利用とに分けることができる。動力源としての利用というのは、原子炉、特に動力炉を用い、ウランなどの原子核の分裂によって生ずる熱を利用し、蒸気を起こしタービンを回して発電などを行なうものである。特に原子力発電は、今後の重要なエネルギー源として注目され、既に大規模な実用にはいつている。一方、放射性同位元素の利用は、原子力発電ほどのはなばなしではないが、工業・農業・医学などほとんどあらゆる分野に関係し、世界各国も

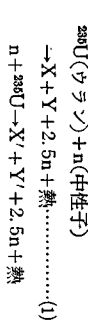
競ってその開発に努力しており、既に実用的にも大きな奇手をなしつつあるものである。以下には、わが国における現状を中心に、できるだけ平易にその状況を概説する。

### 一 動力源としての利用

#### (1) 原子炉

原子核の分裂反応を、おだやかに、持続的に行なうための装置を、原子炉という。天然のウランの中に約〇・七%含まれているウラン235という同位元素は、特別な性質があつて、(1)式に示すように、これに中性子があつると、原子核が二つの切片に分裂し、その際平均二・五個の中性子を再生し、同時に多量の熱を出す。そして再生された中性子は、また別のウラン235の原子核を分裂し、多量の熱を出す。このようにして反応はネズミ算

式に激しくなり、適量のウラン235が存在すれば、瞬時にして爆発に至る。広島に投下された原爆は、このような型のものであつたといわれている。

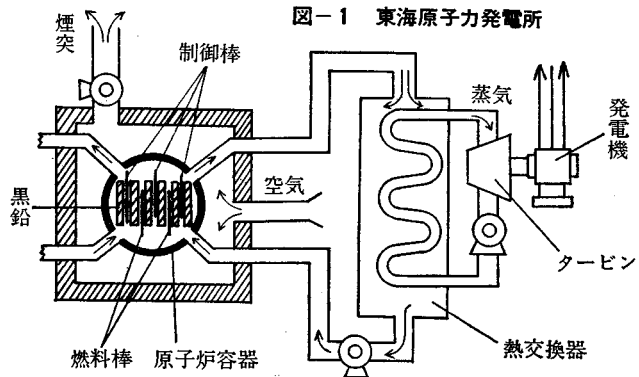


平和利用のためには、爆発したのではこまるので、これをうまく制御して、おだやかに持続的に反応を行なうことが必要である。そのために、中性子をよく吸収する性質のあるカドミウムあるいは硼素の棒を炉心に挿入し、(1)の反応で再生する中性子を適当に吸収除去して、反応を制御する方法が用いられる。このような棒のことを制御棒あるいは安全棒という。制御棒を炉心までいっばいに挿入すれば、炉の反応は止まり、原子炉の火は消える。反対に制御棒を引き上げれば、反応は激しくなる。制御棒が自動的に調節されて、原子炉はおだやかに燃えつづけるわけである。原子炉の中では、このよ

うに核分裂によって多量の中性子が生成しているのを、これを利用して、後述するように、いろいろな放射性同位元素を製造することもできる。

核分裂によって生ずる熱を動力源として利用するための原子炉を、特に動力炉という。動力炉にもいろいろな型のものが開発されているが、それらの詳細は省略し、一つの例として、わが国初の原子力発電所として建設され、既に営業運転を行なっている東海原子力発電所の構造

図-1 東海原子力発電所



を模式的に示してみる(図1)。天然ウラン一八六トンを使用し、最大出力一六・六万千瓦ワットの設備である。

(2) 原子力発電

米国・英国を始めとして、世界各国において、大規模な原子力発電所の建設が進められ、既に稼働にはいつているものも少なくない。

米国においては、一九六六年中に発注された原子力発電設備は、二一基、約一七二〇万千瓦ワットに達しており、なかでもテネシー河流域開発公社が建設することになった原子力発電所は、一一〇万千瓦ワット二基という大容量のもので、産炭地という条件にもかかわらず、よりすぐれた経済性を有することが明らかにされた。米国原子力委員会は、米国における原子力発電の今後の見通しとして、一九八〇年(五五年)には八〇〇〇万ないし一億一〇〇〇万千瓦ワットに達するとの想定を発表している。また世界における原子力発電設備容量について、経済協力開発機構では、四一年八月に、総合エネルギー政策を発表し、一九七〇年(四五年)に一八〇〇万千瓦ワット、一九七五年(五〇年)に七五〇〇万千瓦ワット、一九八〇年(五五年)に一億九〇〇〇万千瓦ワットに達すると想定し発表している。

わが国においても、日本原子力発電

(株)(川原電)が、茨城県東海村に建設した東海発電所(出力一六・六万千瓦ワット)は、既に営業運転を行なっており、また同社が、福井県敦賀市に建設する敦賀発電所(三二・二万千瓦ワット)は四四年度完成を目前に建設が進められている。東京電力(株)が福島県双葉郡に建設する福島原子力発電所(四〇万千瓦ワット)は四五年度完成を目前に建設に着手され、関西電力(株)の美浜原子力発電所(三四万千瓦ワット)も四五年度完成を目前に建設に着手している。中部電力(株)においても、原子力発電所の建設を計画しているが、建設地の折衝が難航しておきている。中国電力(株)も四九年運転開始を目前とし、島根県八束郡鹿島町を候補地として、調査を開始している。また東電・関電においては、ひきつづき二号炉以降の建設が検討され、二ないし三年おきに原子力発電所の建設が予定されている。

以上のごとく、わが国における原子力発電の規模は、四五年度までに総計一三〇万千瓦ワットに達することになる。現在建設中の発電炉は、その発電コストは、重油専焼火力発電に比較して、若干高いといわれているが、その技術の進歩とともに、経済性も著しく向上しつつあり、四〇年代後半に運転を開始するものは、重油専焼火力発電と、同等またはそれ以上の経済性を達成するものと予測されている。

わが国における原子力船、特に動力炉の建設は、なおその多くを外国の技術に依存しているのが現状である。今後急速に発展することが予想される新型炉の開発に、また燃料の確保とその有効な利用のために、わが国独自の技術を開発することが強く望まれる。そのため政府では、動力炉・核燃料開発事業団を設置し、研究開発の強力な推進をはかることにした。

(3) 原子力船

軍事目的は別として、平和利用のための原子力船の実用化は、発電ほどには進んでいないのが実情である。ソ連の原子力砕氷船レーニン号は有名であり、米国でも、実験船としてサブナ号を建造し、原子力商船の運航試験をうるため、西欧各国を歴訪し、極東諸国も訪問した。

わが国においても、日本原子力船開発事業団が中心となって検討が進められ、ようやく原子力第一船の開発基本計画がきまり、四六年度末完成を目前に、四二年度から着手している。原子力第一船は、総トン数約八〇〇〇トン、主機出力約一萬馬力、航海速度一六ノットとし、特殊貨物の輸送および乗組員の養成に利用することになっている。建造費は約一〇八億円が見込まれ、内二〇億円は民間の出資が予定されている。

二 放射性同位元素の利用

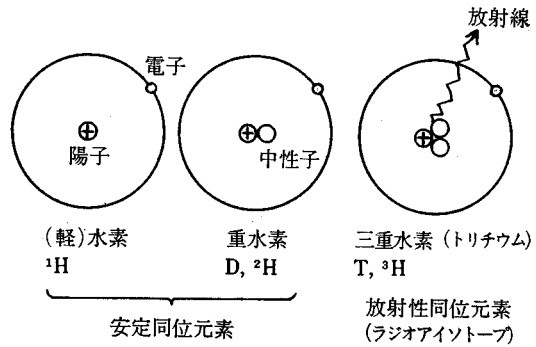
(1) 放射性同位元素

放射性同位元素というのは、簡単に言えば、放射線を出す同位元素のことである。いま水素を例にとつて説明する。

水素原子の構造 水素の原子は、あらゆる原子のうちで最も簡単な構造をしたものであって、中心の原子核は、陽電荷をもった一個の粒子(陽子)からなり、そのまわりを負の電荷をもった一個の電子がとりまわっている。

ところが天然の水素は一色ではなく、〇・〇二%弱の割合で違った水素がまじっている。どう違うかというところ、原子核が、陽子といま一つの、電荷をもたない

図-2 水素の同位元素



中性子とからなっており、普通の水素にくらべて、目方が約二倍になっている。このような水素を重水素といい、普通の水素のことを特に軽水素ともいう。水素にはこの他に、更に目方の重い三重水素というものが知られている。原子核に更にもう一個の中性子のはいったものである。これら三種のものは、いずれも水素の仲間であって、水素の同位元素という。これらのものを符号で表わすときは、水素の元素記号Hの肩に、原子核を構成する粒の数を記し、 $^1\text{H}$ 、 $^2\text{H}$ 、 $^3\text{H}$ などと表わして区別する。また重水素のデューテリウム、三重水素のトリチウムの頭文字をとって、それぞれD、Tの符号も

用いられる。

これら三種の水素の同位元素のうち、普通の水素と重水素とは、本来が安定なものであって、そのままでは変化しない。このような同位元素を安定同位元素という。これに対して三重水素は、原子核が不安定な状態にあり、何かを放出して安定になろうとする性質がある。このような性質を放射能といい、その放出されるものを放射線という。このような放射能をもった同位元素のことを、放射性同位元素 (ラジオアイソトープ) という (図2参照)。

放射性同位元素の種類

放射性同位元素には、天然に存在するものも数多く知られている。キューリー夫妻によって発見されたラジウムはその代表的なものであり、古くからガンの治療などに利用されてきた。しかし現在では、多くの放射性同位元素が人工的に製造され、広く利用されている。人工的に放射性同位元素を製造する方法はいろいろあるが、例えばコバルト59という普通のコバルトを、原子炉に入れて中性子をあてると、原子核に中性子が一個はいってコバルト60という放射性同位元素ができる。また原子炉燃料の燃えかすである原子炉灰の中には、多種類の放射性同位元素が含まれており、これから分離して利用することも行なわれている。セシウム137、ヨウ素131などはその例である。現在人工的に造ら

れている放射性同位元素の種類は、主なものだけでも二五〇種の水素に及んでい

放射線の種類

放射性同位元素から出る放射線にはいろいろな種類がある。ヘリウムの原子核に相当する粒子を放出するもの ( $\alpha$ 線)、電子を放出するもの ( $\beta$ 線)、光やX線と同様の電磁波を出すもの ( $\gamma$ 線) などがある。 $\alpha$ 線は透過力が極めて弱く、 $\beta$ 線は中程度であり、 $\gamma$ 線は極めて透過力の強い放射線である。一つの同位元素から出る放射線は一色とは限らず、 $\alpha$ 線と $\gamma$ 線、 $\beta$ 線と $\gamma$ 線というように、異種の放射線が相伴って出るような場合もあるが、いずれにしても出る放射線の種類は、放射性同位元素の種類によって決まっている。種類が決まっているばかりでなく、そのエネルギー、つまり放射線の速度あるいは透過力といったものも決まっている。さらに、放射線を出して放射性同位元素が減少していくその速さも決まっています。煮ても焼いてもそれを変えすることはできない。この減少の速さを表わすのに、もとの半分までに減るに要する時間即ち半減期が用いられる。半減期は、一〇万分の一秒というような短いものから、何億年、何千兆年というように長いものまでいろいろである。放射性同位元素を利用するに当たっては、出る放射線の種類とそのエネルギーおよび半減期から、利用目的にあつた

ものを選択することになる。

放射性同位元素の利用

放射性同位元素の利用 放射性同位元素の利用は、これを大別すると、トレーサーとしての利用と、放射線源としての利用とに分けることができる。

トレーサーとしての利用

放射性同位元素を目印として、物の動き、変化の様態を跡付けるものである。放射性同位元素は、放射線を出しているので、極めて微量であっても容易に検知し定量することができ、しかも放射線によって物を透過する力が強いので、物を隔てて遠隔的にもその存在を検知し、定量することができる。また放射性同位元素は、非放射性の安定な同位元素と、化学的な性質においてはほとんど差異がなく、同じような挙動をする。これらの特徴を生かし、放射性同位元素を目印として利用するものである。

放射線源としての利用

放射性同位元素から出る放射線的作用を利用するものである。放射線の透過散乱などの物理作用、物質に化学変化を起こして、性質を変えるなどの化学作用、あるいは突然変異の誘発、殺菌、治療効果などの生物作用が利用される。

放射性同位元素は純学問的な面でも広く利用されているものであるが、ここには特に実用的な利用面を中心として、若干の例をあげて説明する。

(2) トレーサーとしての利用

①工業におけるトレーサー利用 河川・地下水などの流速・流量を知ること、堤防の構築などの土木工学の上からも、水資源利用の上からも重要なことである。放射性同位元素を少量投入し、その放射能を跡付けることによって、容易に流速を知ることができる。また、下流での放射能の分布を測定することによって、その薄まり方から流量を算出することができ、工場廃液の追跡や、大気汚染の調査など、公害調査にも放射性同位元素を目印として利用することができる。堤防の漏洩、下水管の漏洩などをしらべるにも、トレーサー利用は極めて便利な方法である。また摩擦の試験にも放射性同位元素は威力を発揮する。例えば、よう素I<sub>131</sub>を自動車のタイヤの摩擦試験に利用している例もある。微量のよう素I<sub>131</sub>をタイヤの表面に浸み込ませておき、自動車を走らせて放射能の減少から摩擦度を求める方法である。従来法では、所要走行距離三〇〇〇ないし五〇〇〇キロメートルであるのに対し、この方法では三〇ないし五〇キロメートルで十分目的を達しうるという結果をえている。その他、混合度の試験、拡散の試験など、放射性同位元素がトレーサーとして工業に役立ちうる面は枚挙にいとまがないほどである。

②農業におけるトレーサー利用 農業

におけるトレーサー利用で代表的なものは、放射性同位元素で標識した肥料・農薬などを用い、施肥法の改善、農薬の使用効果の増大などをはかるものである。例えば、<sup>32</sup>Pを含んだ標識過燐酸石灰を作り、これを作物に与えて吸収の様子をしらべ、どういう時期に、どのような位置に施肥するのが最も効果的かをしらべる。この場合、吸収の様子は、作物をつぶすことなく、生育している状態のまま、放射能を目印にしらべることができ

③医学におけるトレーサー利用 医学

の診断には現在広く放射性同位元素が利用されている。各種代謝機能の検査、内分泌疾患の診断などに実用されている。よう素I<sub>131</sub>を患者に与えると、よう素は甲状腺に集まる。その放射能を外から計測することによって、甲状腺の肥大の様子などを外からの確に診断することができ、医学における放射性同位元素の利用は急速にのびており、診断・治療に放射性同位元素は欠かせない道具となっている。

(3) 放射線源としての利用

線源利用というのは、放射性同位元素から出る放射線の作用を利用するもので

●最新刊／好評発売中

# 市民のための法律入門

中川善之助・遠藤 浩・林屋礼二著

四三〇円

●「不動産を買う前に」「建築を始める前に」「月賦で商品を買う前に」ぜひお読み下さい。この本は、日常よく使われる届書、契約書、申請書などを豊富に盛り込んで、いろいろな交渉がスムーズに運ぶように、そして後日めめごとが起らないように、十分な法律の知識を提供いたします。(二九二頁)

有斐閣 東京神田神保町

- 家族生活 戸籍／婚姻／離婚／親子／扶養／相続
- 契約と市民生活 不動産の売買／建築／借地・借家／月賦販売／金銭貸借と担保／手形・小切手／労働／株式と社債／保険／事故と賠償
- 市民と国家 参政権／税金／公害／土地収用／犯罪と刑罰／私的紛争の解決／民事訴訟／私的紛争の解決／調停など／私的紛争の解決／強制執行
- 資料(総計73) 戸籍／住民票／婚姻届／離婚届／認知届／生活保護決定通知書／死亡届／遺言書／相続税の申告書／土地売買契約書／印鑑証明書／委任状／不動産売渡証／建築物確認申請書／借家契約解除通知書／金銭借用証書／約束手形／小切手／株券／火災保険証券／日本人平均余命表・ホフマン式複式計数表／固定資産税納付書／逮捕状／訴状／等々。

放射線の種類と発生源

放射線の種類		本 体	発 生 源
$\alpha$	線	ヘリウムの原子核	放射性同位元素
$\beta$	線	電 子	
$\gamma$	線	電磁波	
重 粒 子	線	水素、ヘリウムなどの原子核	放射線発生装置
電 子	線	電 子	
X	線	電磁波	
中 性 子	線	中性子	原子炉、放射線発生装置
宇 宙	線	おもに粒子	大気圏外

あるが、放射線としては、放射性同位元素から出るもの他に、放射線発生装置によって、人工的に発生した放射線も利用される。現在知られている主な放射線とその発生源をまとめてみると右表のとおりである。

①物理作用の利用 放射線は物を透過する性質があるが、しかし物があれば、吸収・散乱によってそれだけ弱くなる。この場合、物の厚さが厚ければ厚いほど、また密度が高いほど、放射線の弱まり方は大きくなる。この性質を利用して、放射性同位元素を用いた厚さ計・密度計・液面計などが考案利用されて、工程管理などに威力を発揮している。また

鋳物や溶接部内部の欠陥検査にも放射線が利用される。方法としては医師のX線診断と全く同じであるが、ただ金属製のものやコンクリートなどが対象になる関係で、透過力の強い放射線が用いられる。このような検査方法を、破壊しないで検査するところから、非破壊検査という。また宇宙開発の方面などに使用する安定な電源として、放射性同位元素を用いた原子力電池も開発されている。

②化学作用の利用 放射線が物質にあたりと化学変化を起こす。これを利用して、物質の合成に、また物質の品質改善に役立てることができる。ポリエチレンなどのプラスチックに放射線をあてると、糸状分子の間に架橋ができて三次元的な巨大分子になり、耐熱性・耐溶剤性などが向上する。またポリエチレンのフィルムに放射線をあてて架橋を起こし、これを温度を上げて伸長し、そのまま冷したものは、再び温度を上げるとき収縮する性質があり、食品などの包装材料に用いられている。繊維やプラスチックに他の物質を接木重合(グラフト重合)して性質を改善する方法もいろいろ工夫されている。例えば、織物にシリコン油を浸ませてこれに放射線をあてると、シリコン油が織物の繊維に化学結合し、洗濯しても落ちない永久的な防水加工ができる。木材の中に重合性の物質を浸み込ませ、放射線をあてて重合あるいはグラフト重合させると、木材とプラスチックとのいわば合金のような状態になる。このようにして、木材の寸法安定性・耐衝撃性・耐水性・耐薬品性を向上させることができる。物質の合成反応に放射線を利用する試みもあり、臭化エチルの合成、軟質洗剤の合成などに、実用的に成功している例もある。

③生物作用の利用 植物の種子などに適量の放射線を照射すると、遺伝子に変化を起こし、突然変異を誘発することができる。この方法を利用して品種改良の研究が広く行なわれている。わが国においても、水稲では「レイメイ」、大豆では「ライデン」などの新品種が育成され、実際に栽培されている。また稲のみに放射線をあてたものから、蛋白含量が普通五ないし五・八%に対して、約二倍の八・九ないし一一・四%に増加したものが見つかったとの報告もある。

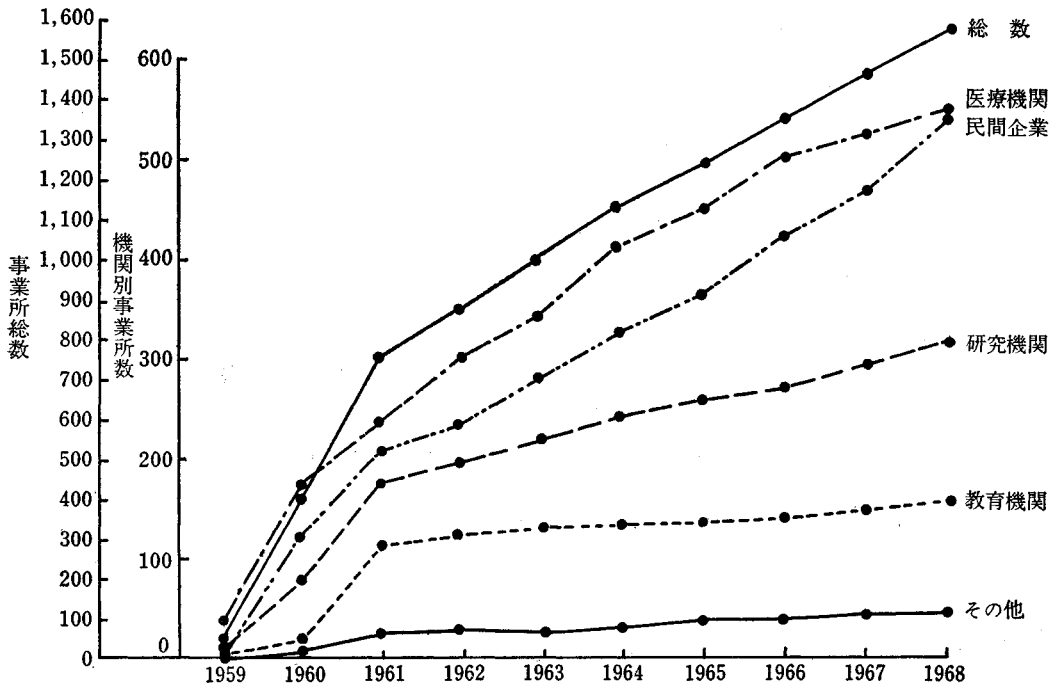
放射線を強くあてれば生物は死滅する。細菌・虫なども例外ではない。放射線によって殺菌を行なって、食品の貯蔵に役立つという試みは古くから行なわれており、米国をはじめ諸外国において、ようやく実用化にはいるとうとしてい

放射線殺菌の最も大きな特徴は、温度を上げないで殺菌できること、そして特別な薬剤などを用いないという点にある。わが国では、実用化研究はおくれているが、国の施策として、四二年度から三年計画で、まずじゃがいも・たまねぎの発芽抑制の実用化研究に着手し、それと並行して米の殺菌・殺菌について研究を推進することになった。

放射線殺菌の対象としては、食品の他に重要なものとして医療品がある。近時注射器・縫合糸などの医療品で、殺菌済みのものが市販され、実用されるようになった。この殺菌に放射線を利用する方法は、諸外国では既に大々的に実用化にはいつており、わが国でも鋭意研究が進められ、近く実用化することが期待されているものである。

放射線の医学的利用で代表的なものは、悪性腫瘍の治療である。悪性腫瘍の細胞のように、盛んに分裂し、活発に活動している細胞ほど放射線には弱いという性質を利用したものである。最近わが国において、脳腫瘍の治療に原子炉の中性子線を利用し、好結果をえたとのニュースもある。これは腫瘍部分に集まる性質をもった硼素の化合物を患者に注射しておき、原子炉の中性子線を患部に照射する方法であって、硼素の原子が中性子によって核反応を起こし、その際放出する $\alpha$ 線を利用して、腫瘍の組織を破壊し、

図-3 使用事業所数の年度推移  
(科学技術庁原子力局編、放射線利用統計による)



治療するものである。これまで米国などでも試みられ、ことごとく失敗したといわれていたものである。

### 三 わが国における放射性同位元素利用の現状

放射性同位元素を利用している事業所数は、年とともに増加しており、四二年度末現在で一五四〇に達している。また放射性同位元素の他に、バンデグラフなどの放射線発生装置を利用しているところもあるが、その数は四二年度末で二〇八台に達している。事業所数では医療機関が最も多く、民間企業・研究機関などの順となっている。事業所数の年度推移の様子は図3に示すとおりである。

各種工業における利用の状況をみると、化学工業をはじめ、鉄鋼・機械・電機など諸工業に及び、大企業において利用の率が高くなっている。これら企業における放射性同位元素の利用面からみると、厚さ計・液面計などのゲージング利用が最も多く、ついで非破壊検査の利用、トレーサー利用、照射利用の順となっている。昭和四二年度末における非破壊検査装置および厚さ計などの放射性同位元素装置の使用台数は、総数二〇九五の多きに及んでいる。

わが国で利用される放射性同位元素のほとんどは外国からの輸入にあおいであるが、日本原子力研究所においても、短寿命すなわち半減期の短い放射性同位元素の製造を開始し、利用に供するようになった。わが国で利用されるもののほとんどは、日本放射性同位元素協会の手を経て利用者に供給される。

\*\*\*

以上原子力の平和利用について概観した。紙面の都合で詳しい説明は省略したが、だいたいの様子でも把握していただければ幸いである。原子力の利用は、大なり小なり常に危険性を包蔵していることは事実である。しかしながら、世界の勢からいって、また将来のエネルギー事情からみて、これを避けて通ることは考えられない。エネルギー資源にめぐまれないわが国においてこそ、この問題に積極的に取り組んでいく必要があると思われる。いかにして安全にしかもより有効に原子力を活用するかが今後の課題である。

(めしづか・ぎすけ 東京都立  
アイソトープ総合研究所長)