講演

大量放射線源の利用

昨年12月1日開催の、IAEA アイソトープ局担当の Henry Seligman 博士を囲む講演・討論会は70余名の出席者をえて盛会であった。(世話人 木村健二郎氏、山崎文男氏、座長 藤岡由夫氏)

本稿は当日通訳をつとめられた斎藤一夫氏(東大・核研)によって当日の要旨を抄訳されたものである。なお、質問事項をテキストとして当日用意したので、末尾に添えることにした。

最近のラジオアイソトープ応用に関する発展を見ると、その発達はいわめて専門的に分科していることに気がつく。そのテクニックや方法論は共通であっても、石油工学、金属工学などに应用されているのはごく専門的な対象で、そういう各々の例はジュネーブの「原子力平和利用国際会議」の議事録や、また1957年のユネスコ主催「ラジオアイソトープ会議」の報文集を見てわかるとおりである。

ここでは一つラジオアイソトープの大きいソースを問題として取上げよう。一方この二、三年の間にウィーンの IAEA の主催で、いろいろのアイソトープの応用に関する会議が開かれた。たとえば医学におけるアイソトープの分布測定(スキミング)に関するもの、ラジオアイソトープの分析への応用といったものがそれである(近く印刷の予定)。また最近、今日のテーマについてワルソーで会議が開かれたが、まだ沢山研究すべきことが残っている。今回はトレーサーとしてのアイソトープ利用ではあるが、世界的規模で IAEA が計画している仕事を紹介したい。

IAEA の一つの新しい計画

日本も IAEA のメンバーとしてこの仕事に協力することになっているが、われわれの計画は水の循環率(turn over rate)をトリチウムをつかって測ることで、アメリカの Libby 博士が、ミシシッピー流域で、原爆で生じたトリチウムをトレーサーにつかって水の循環率を測った話をパリ会議でされたのを覚えておられる方もあると思う。われわれの計画はこれを世界的な規模に拡大して、比較的降水量の少ない地域でこれを測ろうというものである。わたくしがウィーンにもどるとすぐ、12月9、10日に Libby 博士を長とする小委員会が開かれることになっており、ここでサンプルの集め方、トリチウムの濃縮、測定といった事柄を標準化するわけで、その結果をメンバーの国々に持ち帰って、気象関係者とも緊密に連絡をとった上で実施して

もらうわけである。世界中にいくつかのセンターをつくって分析をやることを考えているが、結果は勿論集って集計するのであるが、自国だけではできないという国に対してはまわりから手伝うようになるだろう。いずれにせよ、これは国際的協力研究として成果が期待されている点である。

大線源としてどういうものが使えるか

つぎに大きい線源の利用についてのべると、ラジオアイソトープをトレーサーとして用いるほかに、エネルギー源としてつかう別の使い方があることはよく知られている。つまりエネルギー源として化学的、物理学的または生物学的なシステムを変更するのに使えるわけであるが、大きい線源としてどういうものが使えるか、近い将来に使えるようになるかという点を考えて見たい。

第1に、核分裂生成物をそのまま用いることが考えられる。これは容易でかつ安価な方法で、使用した核燃料を濃縮して、一方ではウランを回収し、プルトニウムなどをわけとり、そして核分裂生成物を大線源として使うというわけである。しかしこの線源はいろいろ問題も多く、たとえば核分裂生成物の混合したままのものを濃縮したのでは、その β 線、 γ 線のスペクトルが大変複雑で、また寿命もいろいろのものがあるので、スペクトルが時とともに変化するという問題がある。またこのことは線量測定を著しく困難なものにするし、また崩壊した最終生成物は安定同位体なので、これが放射能をうすめることになり、比放射能もある程度以上はあがらない。それでわたくしの知る限りでは、アメリカ、イギリス、ソ連、フランスのどの国もこれを線源として利用することを本気で考えているものはないようであるし、Aebersold も混合核分裂生成物はこの目的には向かないといっている。

第2に、核燃料棒をそのまま用いることが考えられるが、CP-5(イギリスでは同じものを Dido とよんでいる)の使用済燃料棒など、たいしてむずかしくなく、

そのまま線源として用いることができる。

これは毎時数百万レントゲンの線源としてきわめて有用ではあるが、運搬に関していろいろ難点がある。そのため半減期や放射線のエネルギーがいろいろまざっていることを承知の上で、炉の近くで使うにはよいであろうが、遠くへ運ぶ場合は困ることになる。

第3に、長寿命の核分裂生成物をわけて使うことが考えられる。これで考えられるのは ^{137}Cs 、 ^{90}Sr であるが、これらは核分裂の際にでき、イールドが高いので、研究用の炉からも大きい線源として用いることができる。動力炉を用いればきわめて大きいものがえられ、出力1,000MW 当り3.3Mcの ^{137}Cs と、それと同程度の ^{90}Sr がえられる。このほか今はすてているが核分裂生成物 ^{133}Xe 、 ^{85}Kr も容易に集めることができる。これらのガスはシンチレーターと組合わせてランプにし、たとえば飛行場の標識にも使える。またこれらを有機物を使って集めることも容易である。イギリスの予定では、1965年には年20Mcの ^{137}Cs と、ほぼ同量の ^{90}Sr が、1975年には年100Mcずつが利用できる状態になるようである。イギリスではこの抽出操作は1個所に集めてやっているが、アメリカでは各所でやるような計画になっている。

第4は、すでによく知られている ^{60}Co の問題である。炉の中性子を使っていくらでもつくれるので、ある計算によると1キュリー当り70セントということであるが、勿論比放射能はそう高くないが、工業的な目的には十分である。

つぎに述べる各種の応用を考える場合に、こういったMc単位のものでなお線量が足りないこともあるという点に注意すべきであろう。たとえばゴムの加硫にこれを用いる場合、 10^7 キュリーという量が必要となる。普通の目的には——食糧の貯蔵のための消毒も含めて—— 10^6 キュリー（世界中）で十分であるが、加硫工業に 10^7 キュリーも必要ということになると、近い将来には間に合わないことになる。

第5に、炉そのものを用いることが二、三の国で考えられており、循環させる冷媒 (coolant) のナトリウム、カリウム（いずれも半減期は短いエネルギーの高いγ線を出す）などの金属が放射化されて出す放射線を利用しようとするもので、アメリカでも一度インジウムをこの目的の冷媒にすることが計画された。ポーランドではこれが本気で取り上げられているが、多くの国は炉からエネルギーを取り出すことを主に考えて、放射線のことを考えないが、ポーランドは石炭を十分産出するので、放射線利用に熱心なのである。前

に述べたようにゴムの加硫に用いればたしかに火をよばない質のよいものがえられるので、イギリスのダンロップ会社でこの炉からの放射線の直接利用を考えたことがあったが、採算が合わず結局やめてしまった。

第6に、加速装置、バン・ド・グラフや線型加速器の利用が考えられる。割りに安くしかも小さい容量で大きい線源がえられるという利点があるが、勿論これを拡げて広い面の照射がむずかしいといった問題が別にあるわけだが、アメリカで行なわれた計算によると25 MeV までのエネルギーのものなら——このエネルギーを使うことが工業的にどれだけの意味があるかという点は別にして——採算に合うということで、今アメリカで実際行なわれているように、ある特別な医学的生産物の消毒などといった目的に用いるには10 MeV ぐらまでのエネルギーで十分であると思われる。

線源としてどのくらいの大きさのものが必要かは目的によって大いにちがう。

ジャガイモの発芽防止	$10^2 \sim 10^4 \text{ r}$
害虫を殺す	10^5
有害バクテリアを殺す	10^5
ゴムの加硫	10^7

近い将来大きい用途になるとと思われる放射線化学の目的には線源を水中でなく空中におくことの方がよいと思われる。

〔つぎにスライドで照射室の建設に関する説明があった。〕

照射のいろいろの応用

照射によって生ずる物理的・化学的变化を利用することをまず第一に考えてみよう。この場合、100eVのエネルギー吸収ごとに变化した分子の数を示す数字Gを用いるが、Gの値の大きくなるのはいわゆる連鎖反応によってであり、一方この照射の影響というのは2つの方向にとりあげられている。1つは重合開始剤としての役目で、たとえばオレフィン系フッ化炭素(テフロンなど)の重合開始に用いることに関しては多くの研究がある。次に非常に興味のあるのはいわゆるグラフト重合で、これは重合した分子の長鎖を途中で所々つなぐようなことになり、新しい構造ができ上がるため、全く性質のことになった物質ができるのである。3年ほど前にこの分野の誌上発表は一時途絶えたことがあったが、これはこの時期に、それまで基礎研究の段階にあったものを工業が関心をもって取り上げ、有用なものを特許にとったための現象なのである。

周知のように照射温度、照射時間、線量などを代えて

いろいろの研究が行なわれているほか、空中、液体中、不活性ガス中での照射も研究されている。対象となる重合物は、トリフルオロクロロエチレン、フッ化ビニリデンなどのほか、ポリエチレンが放射線照射で耐熱性を増すことなどは勿論である。またアクリロニトリルとジメチルシロキサンをグラフト重合させると、耐油性のよいシリコンゴムができるとか、メタクリル酸メチルとスチレンを真空中で重合させてから天然ゴムにつけると、天然ゴムの性質がよくなるなど応用面が広いのである。

また興味ある問題は繊維に電導性を与えることもでき、テリレン（テロン—テレフタル酸とエチレングリコールの組合わせ重合体—のI.C.I.社の商品名）に、メタクリル酸をグラフトさせるなどはその1つの方法である。

いずれにせよこういう仕事が一たん大規模に動き出せば“放射線化学工業”ともいえるような大きい分野になることは確実で、目下のところこういう工業はないがわたくしは将来を大いに期待している。たとえばベンゼンの酸化でフェノールをつくるとか、ハロゲン化して塩化ベンゼンにするといったことも、今は採算に合わないが、将来は必ず有望であると思う。

つぎに生化学的の各種製品の照射による消毒にふれよう。バクテリアを放射線で殺したとき、抗生物質がどのくらい分解するか次表で示す。

照 射 量	照 射 前	$2.5 \times 10^4 \uparrow$	$2.5 \times 10^5 \uparrow$
ペニシリン	1,660 $\uparrow\uparrow$	1,650	1,611
ネオマイシン	666	639	644
ストレプトマイシン	742	720	706

$\uparrow$ 単位レントゲン

$\uparrow\uparrow$ 有効単位

これからわかるように確かに少しは効力が減るが、しかしそれはごくわずかで、結論としては効力を減ずることなく消毒したといえよう。

一方アルカロイドを使う場合を考えると、ヘパリンのようなアルカロイドは放射線による分解が著しいので、こういう消毒はできない。さらに二、三の例をあげてみると、病院の毛布の消毒はなかなかうまく行なわれていない（特に皮膚科疾患では5%ぐらいの患者が病院で病気を“もらって行く”ような状態）のであるが、これなどもうまく放射線の消毒を利用すれば有効であろう。また病院で手術用の医療器具も放射線で消毒できる。イギリスでは1日に50万本の注射が行なわれているが、プラスチックで注射筒をつくり、放射線

で消毒して“使い捨て”にすれば安く簡便に供給できるようになるであろう。また骨や動脈をつなぐとき、つなぐものを一種の銀行のように放射線消毒した状態で保存しておけば便利であろうし、ワクチンの消毒にも使えるであろう。

つぎに農業関係の問題として、植物病のペストの問題にふれよう。南アフリカなどではある伝染病で1/3も収穫がへることがあり、この消毒にはいろいろの方法が研究されているが、放射線を応用することもできる。またオーストラリアでは羊毛の殺菌消毒に放射線が使われていることを付言したい。キュラソ島の例を1つあげると、病気を伝播する蠅のめすは一生に1回しか交尾しないが、おすはきわめて多くのめすと交尾するという特性があるので、これを利用して、おすに実験室で放射線をあてて不妊にしておいて放つと、多くのめすは交尾しても受精能力がないので繁殖できず、蠅の駆除にも役立つわけである。

最後に、発生学に関する分野ではX線を用いていろいろの仕事ができるのであるが、放射線の照射も有効なことは勿論で、突然変異で生じた変種の中から黒錆病に強い変種を見つけたり、2種の交配できない種から交配できるようなものをつくったり、一方成長期間中に体細胞にγ線をあててもその世代では大した変化は見られないといわれている。

なお、医学的目的に ^{137}Cs 線源が使われるようになってきているが、これと ^{60}Co 線源との利害を比較すると、セシウム of 不利な点は比放射能が低く22 c/g ぐらいにおさえられるので、容積が大になるということ、およびコバルトが1崩壊当り2本のγ線を出すのにセシウムは1本であるという点である。一方セシウムの利点は0.5 MeV ぐらいのγ線はちょうど都合のよいエネルギーで透過力が十分で、シールドが小規模ですむという点、また将来は安くなるという——これは非常に有利な点だと思いが——ことだと思われる。

次の表はこういう各種の目的に放射線を使った場合の経済的問題を示した数字である。これから見ると化学工業以外のものは合わせて20 Mc もあれば十分で、

	用いる線量 (γ)	経費増加 (セント)	キュリー当り (ドル)	必要線源量 (Mc)
タバコの消毒	10^6	4	1.50	10
衣類の消毒	2×10^6	8	0.75	0.5
病院での消毒	$0.5 \sim 3.0 \times 10^6$	8	1.50	2
ゴム工業グラフト	10^5	12	1.50	5
食糧の消毒	5×10^5	1	3.45	100

化学工業の分野では今までにない新しい製品ができるので、大変興味深いのだが、それを合わせても年 100 Mc ぐらいの使用量かと思う。

最後にご静聴を感謝するとともに、日本に招かれたことを深く感謝します。

◇質疑応答◇

(質問の大部分はあらかじめ書面で提出されたものを事務局で整理したものです)

山本寛(東大生研)・**井上啓次郎**(原子力局) 使用済みの核燃料から有用なラジオアイソトープを分離する方法についての一般的見解について、またこのようにことで原子力発電原価を下げるのに貢献できるか。

セリグマン この答の一部はただいたの講演に折りこまれていたと思うが、こういった使用済燃料の利用で発電原価を下げるというようなことは若干期待できるが、大しては期待できないと考えた方がよい。年 100Mc ぐらいではそれをつくるための経費がよけいかって利潤まで行かない。

団野隆暉(原研) ラジオアイソトープの検定または強さの標準試料などについての IAEA の活動状況および ^{60}Co などの大量線源の検定なども含まれているか。

セリグマン 現在の IAEA はごく小さい実験室しかないで、大きい活動はできないが、医療用を目的とした ^{32}P , ^{131}I , ^{198}Au については絶対標準と相対標準の試料をつくる考えである。大線源の標準試料については、今の場所ではとうていできないが、オーストリアの原子力委員会が協力してくれることになっているので、1960年あたりから実施計画を考えてゆきたい。

原田常雄(東芝) 超ウラン元素の中には ^{252}Cf や ^{241}Am などのように軟γ線源または長寿命α線源として有用なものがあるが、こういうものを海外に供給するような計画があるか。

セリグマン このような目的には線源として使う超ウラン元素が相当多量に必要だという点が問題で、またこれらは中性子源としても(ベリリウムなどと組合わせて)用いることができるわけで、わたくしがイギリスを去った時(1957年)まではイギリスにもその余裕はなかった。ごく少量ならカタログにでていないものでも供給できる場合があるから、個々について問い合わせるのはいいが、いずれにしても IAEA 自身としては何もできない。ただ方々に

問い合わせたりするだけである。私見では海外に供給する余裕のあるのはソ連だけだと思うが、一度話してみよう。

寛弘毅(千葉大), **原田** 大線源のコバルト容器から ^{60}Co がもれて出ていることがあるが、その対策について。

セリグマン これは小児病的な心配だと思う。要はコバルトの酸化の問題であろうが、不活性気体の中で処理して封じてしまえば何でもない。炉燃料などは封じたものを水槽の中に永くつけておくものだから、内容がもれないように包装できるのだから、コバルトなど技術的には問題はないと思う。勿論不慮の事故というものはあったこともあろうが。

宮川正(東大医) 人体における ^{90}Sr の分布に関するいわゆる“non-uniform factor”に関して、この時間的係数について何か一致した見解が示されているか。

セリグマン わたくしは ICRP のメンバーではないので、はっきりした答はできかねるが、この問題に関して目下 IAEA で計画していることを述べる。

- (1)人体中におけるSr含有量の地域差についての調査を行なうこと。
- (2)これは長期計画になるが、大規模な仕事は大きい動物のSr含有量の地域的・時間的差についての調査をやること。

で二、三の大きい地方について、多くの数をとって統計的誤差をへらすというやり方で、永い時間をかけてやってゆきたいと思っている。なかなか金と時間のかかる仕事だが。

宮川 診断の目的には ^{125}I を用いる方が ^{131}I よりすぐれていると思うが、 ^{125}I をミルキングで取り出す親の ^{129}Te はイギリスでは広く供給されているか。

セリグマン たしかに ^{125}I の方がすぐれているが、 ^{125}I の寿命が短いので、これは是非現場でやっていただく必要がある。ところがイギリスでは病院でうまく抽出をやってくれない。医師を訓練することが先決問題だと思う。

宮川 個々の病院でやらないで小さいセンターを方々につくってやるという方法はどうか。

セリグマン センターから先の運搬などがどうだろうか。イギリスでは各病院でやる方法であるが。

セリグマン(補足発言) 癌の手術をやったあとと再発防止のため金を体中に入れる場合、コロイドを使うのと金の固体を使う方法があるが、後者の方が線量が正確につかめるからいいと思う。

藤岡 長時間どうもありがとうございました。

質問事項 (テキスト)

- (1) I would like to ask you about general aspects concerning the separation of useful radioisotopes from spent fuels. Is there any possibility that this would contribute to the decrease in cost of power production?
- (2) Concerning the non-uniform factor of the distribution of ^{90}Sr in human bodies, could you tell me if there is any agreed concept about its time factor?
- (3) Could you tell me about the activity of IAEA concerning the standardization or assay of radio-

isotopes? Is the assay of multi-curie source (e.g. ^{60}Co) included in your plans?

- (4) It appears that there are various trans-uranium elements which can be used as a soft gamma-ray source or a long-lived alpha-ray source, for instance ^{252}Cf - and ^{241}Am . Although the export of trans-uranium elements is severely restricted, is there any plan concerning the supply of these nuclides to foreign countries?
- (5) Sometimes a significant amount of cobalt leaks from the capsule of a multi-curie source of ^{60}Co . I would like to know in which way you are going to solve such a problem.
- (6) I think for clinical purposes the use of ^{132}I is more advantageous than that of ^{131}I , because of its short life. Is ^{132}Te from which ^{132}I is extracted by milking, widely used in England?

本誌合本用ファイル

本誌Vol.1 (Nos.1~7) を収める別製合本用ファイルをご利用下さい。布装幀で金文字の誌名が背に入っている美麗・堅牢なものです。ビンの操作で入れ替えが簡単にできます。

1冊 ￥150.— (千円)