アイソトープの常識

株式会社島津製作所レントゲン部

後 藤 義 雄

Introduction to Radioisotopes

Yoshio Goto

X-ray Department of Shimazu Seisakusho Ltd., Kyoto.

第二次の世界大戦に於て、原子爆弾が出現してから原子力に関する研究は、日と共に盛んになり最早今日の新聞紙上に於ては、原子力に関する記事が見当らない日が無い程、我々の日常生活にとって最も関係深いものになってきました。

扱て我々医療器械を取扱っているものにとって、原子力の医療方面への応用特に原子爆弾の副産物であるコバルト 60 等の人工放射性のアイソトープが、天然の放射性同位元素であるラジウムやエックス線の深部治療装置にとって代り普及しつつある現状を見ますと、アイソトープ即ち、これ等放射性の同位元素に関心を持つ事は最も必要な事であります。

それではアイソトープ即ち、日本語に訳して同位元素とは一体なんであるかと申しますと、先ず元素や原子がなんであるかという事から御説明申し上げなければなりません。

我々の周囲にあるあらゆる物質例えば、空気でも水でもこれをこまかく分けてゆくと、最早これ以上幾等分割しても其の化学的性質が変わらない窮極のものに達します。この極限のものを我々は元素と称しております。例えば水をこまかく分けてみますと、水という分子が沢山集まって出来ており、更にこの水の分子をこまかく分けると、最早水とは言われない水素と酸素とから出来ていることが解ります。この水素もこれ以上分割しても 水素とか酸素とかの化学的性質が変わりませんからこれを元素と称しております。これら元素は軽いものは水素から重いものはウランに至る迄 100 余種類あって 各々が組合せられてあらゆる物質を形造っております。それはあたかもイロハ 48 文字又はアルファベット 26 文字が種々組合せられて数多くの言葉が作られてるようなものであります。

更にこの元素を物理的構造から細分しますと、原子といふ微粒子から出来ており、従って元素は原子の集りという事が出来ます。例えば水の場合ですと

第 1 図の如く水の分子は水素と酸素の元素から出来ておりますが、いい換えれば 2 個の水素原子と 1 個の酸素原子から出来てるものという事が出来ます。それではこの原子とはどういう構造であるかと申します

第 1 図

と、第 2 図(b)の如く陽子と中性子からなる原子核と、これを取りまく電子から出来ており、直径が大体 10^{-8}cm 即ち一億分の一程という非常に小さいもので、陽子は (+) の電気を持つており質量は電子より遙かに重く、電氣的に中性である中性子と共に原子の質量の大部分を占めております。一方電子は電氣的に (-) の電荷と陽子の千八百四十分の一の質量を持っており、原子核の周囲をぐるぐる回転しております。電子の数は原子核内の陽子の数と同数で、即ち陽子の (+) の電気と電子の (-) 電気は釣合っておりますから、従って原子全体としては電氣的に中性を保っております。水でも空気でも皆かように釣合を保った原子から出来ております。

さて原子の陽子の数と中性子の数を加えたものを質量数といって原子の重さを表わし、又陽子の数を原子番号といって原子の性質を表わしております。又陽子の重さと中性子の重さは殆んど等しく 1.7×10^{-24} グラムと言われております。

今一番簡単な水素原子を例にとって見ますと、第 2 図のように原子核に陽子 1 個のものと、陽子 1 個に中性子 1 個を加えたものと、更に又陽子 1 個に中性子 2 個を加えたものと三種類あります。

この陽子 1 個のものは天然に最も多く存在して所謂水の水素核です。又中性子 1 個のものは重水と称する重い水で天然の水の中に若干含まれております。更に陽子 1 個に中性子 2 個を加えたものは三重水素核と

第 2 図

(a) ${}^1_1\text{H}^1$ (水素核) (b) ${}^2_1\text{H}^2$ (重水素核) (c) ${}^3_1\text{H}^3$ (三重水素核)

言われ、天然にも存在するが、原子炉でも製造され、非常に不安定であるが β 線という放射線を出して、より安定な He (ヘリウム) の原子になります。

以上のように水素原子には三種類もありますが、陽子の数は必ず1で、これが水素という原子の化学的性質を決定しております。従って陽子の数が等しくても中性子の数が異なる原子核は、互いに化学的性質が同じであっても物理学的性質が非常に異なるものです。そこでこのような原子核からなる元素を互いに同位元素と称しております。この同位元素には安定なものと、不安定なものとあって、即ち三重水素核のように不安定で β 線という放射線を出すものもあります。このように放射線を出す同位元素を放射性の同位元素といひます。この放射性の同位元素の中にはラジウムのように天然に放射線を出すものと、或は又コバルト60のように人工的に原子炉等で作り出されるものと二通りあって、後者を人工放射性同位元素と呼んでおります。我々が普通「アイソトープ」と称するものはこの人工放射性同位元素、即ちラジオ・アイソトープを指すものです。

一般に質量数、即ち陽子と中性子の多い原子は水素やヘリウムのように質量数の少ない原子に比べて陽子と電子の結合が不安定で、原子核の変化によって放射線を出し常に安定した元素に変ろうとしております。即ちウランとかラジウムは不安定な元素であって、其の為、天然に放射線を出してより安定な元素に変るものです。それでは逆に原子から放射線を出させる為には何等かの方法で、原子を不安定にしてやれば良いのですから、人工的にも原子から放射線を出させる

事も可能ですし、一つの元素を他の元素に変える事も可能なのです、それなら核変化をさせる為にはどうしたら良いかと申しますと、原子を構成している電子陽子中性子の結合を乱せば良いのですから、他からこれ等のものを原子にぶつけてやれば良いわけです。所が種々の実験結果、電子線や陽子線は原子の電気と互ひに反発しあって近づきにくく、電氣的に中性である中性子線が容易に原子に近づき易い事が解ったのです。ですから人工的に原子核を破壊する為に

は中性子を用ひます。即ち中性子は電氣的に力を受ける事なく、エネルギーの低い、而も遅い中性子でも容易に原子核近く迄入る事が出来ます。

例えば原子炉の燃料である ${}_{92}\text{U}^{235}$ (ウラン 235 一般に原子記号の左下に原子番号右上に質量数を書く) の如きものは 1 eV (エレクトロンボルト) 以下の中性子を当てると、原子核が分裂して、所謂核分裂の連鎖反応を起します。ここで 1 電子ボルトというのは、1 ボルトの電位差で電子を運動させた時に得るエネルギーの事で、放射線のエネルギー単位として用いられております。

${}_{92}\text{U}^{235}$ に 1 個の中性子を当てると、第 3 図の如く種々な分裂の仕方をしますが、二つの中位の原子 ${}_{42}\text{Mo}^{95}$ (モリブデン) と、 ${}_{57}\text{La}^{139}$ (ランタン) に分裂し、2 個の中性子、 β 線、 γ 線を出します。この新しく出来た中性子が別のウランの原子核に吸収されて、鼠算式に中性子の数が増えこの反応を制御しないと、所謂原子爆弾になるのです。そこで 1 回の核分裂に依り発生した 2 個の中性子の中常に 1 個を次の核分裂に使用し、他の 1 個は黒鉛とか硼素等の減速材で吸収してや

第 3 図

るようにすれば、一定の連鎖反応を繰返し爆発しないで済みます。これが原子炉の原理で、1瓦の ^{235}U の分裂で発生する其のエネルギーは石炭約3.3トンの燃焼に匹敵すると言われておりますから、原子爆弾が如何に莫大なエネルギーを持っているか想像に難くありません。

さて核分裂によって斯様に中性子が発生致しますので、原子炉の中では簡単に中性子が得られますから、人工的に放射性元素も容易に作り得られるわけです。

例えばコバルト 60 の如き 放射性の同位元素がどうして作られるかと申しますと、原鉱の ^{59}Co を採鉱精錬して原子炉の中に入れて中性子を与えると原子核変化を起して、放射性同位元素の ^{60}Co になり、逐次変化して β 線や γ 線を出してニッケルになります。其の他アイソトープとして広く医療方面に用いられる放射性の磷とか、ヨードも同様にして作られる比較的軽い不安定な元素です。

このように核変化に依り簡単に放射性の同位元素を製造する事が出来るようになりましたが、其の核変化により放出される放射線には α , β , γ の三種類があり、之等の放射線がどのような性質を持っているかと申しますと、先ず α 線とは ^4He (ヘリウム) の原子核の粒子で陽子が2ヶ、中性子が2ヶの粒子線で、即ち(+)の電気の粒子線です。従って強い電離作用を持っておりますが透過力は弱く大体空気中で数センチで水や生体ならば1センチ内外で1枚の紙で阻止する事が出来ます。ここで電離作用というのは先に原子の電子と陽子は数が等しく電氣的に釣合を保っていると申しましたが、これらの数が等しくなくなり電氣的に釣合を保てなくなる事、即ち原子として負に帯電したり正に帯電したりすることのような状態を電離又はイオン化といっております。

次に β 線とは(−)の電気をもった粒子線、即ち電子線で α 線に比べて電離作用は弱い透過力は α 線より強く、空気中なら数十センチから1メートルで、水中や生体なら2センチ以内で、数センチのアルミニウムで包めば外へは飛び出ません。

最後の γ 線は非常にエネルギーの大きい電磁波で、透過力は最も強く、我々の身体等は平気で透過致します。アイソトープのコバルト 60 から出る γ 線は1センチの鉛板で覆っても半分になる程度で、普通 400 キュリー程度の照射装置では鉛の厚さ 20 センチ位のボンベに収容されております。電磁波というのは形も重さもない電氣的エネルギーと磁氣的エネルギーを含む一つの波動で光も、ラジオも、レントゲン線も皆電磁波です。キュリーとは放射性物質そのものの多い少いを表わすもので後程申し上げます。

さて次にこれ等の放射線を測定するにはどんな測定器が用いられているかと申しますと、皆さん御承知のガイガー、ミュラー計数管というのがあります。これは独逸の物理学者 "ハンスガイガー" と "ウオルターミュラー" の二人の名前をとったもので、G.M.管ともいわれております。大さは種々ありますが、普通直径1センチ長さ5センチ位の金属の筒で其の先に雲母が張っており、中にアルゴンガスとアルコールを入れ、0.02 位のタングステン線を中心に張って、これを内極(陽極)と呼び、外側の金属筒は真鍮又はアルミニウム等から出来ておりこれを外極(陰極)といって、両極間に約1500Vの電圧をかけておきます。

今放射線が入ってくると中のガスを電離して、陽極と陰極間に放電を起し電流を流します。この電流を増幅器で増幅しネオンランプを点滅させたり、又拡声器で音を出すようにしてあります。

次にシンチレーション計数管というのがあります。これはシンチレーターと呼ばれる螢光体と其の光を受けて電氣的パルスに変換増幅する増幅器から出来ており、螢光体の発する光子の数が入射粒子に比例して非常に感度がよくて螢光物質としては沃化ナトリウム、タングステン酸カドミウム等が用いられております。其の他に散乱線測定用として、放射線に曝射した時間丈の積算量がミリレントゲンで判る電離作用を利用した小型万年筆状直読式ポケットチェンバー、又は障害予防に胸等につけてフィルムの黒化度から曝射線量を測定するフィルムバッジ等があります。

それでは前述のミリレントゲンとはどんな単位かと申しますと、乾燥した空気1立方センチ(0°C, 1気圧)にレントゲン線を照射して発生した正負のイオンにより1静電単位の電氣量が運ばれるような線量を1レントゲンといって、千分の一をミリレントゲンといいます。

簡単に申しますと普通レントゲンの直接胸部撮影では、30~300 ミリレントゲン位です。

又コバルト 60 等の放射性物質そのものの多い少いを表すのに、キュリーという単位を使用していますが、これは放射線源そのものの放射能の量を意味し、放射線量を示すものではありません。1キュリーとは放射性元素が1秒間に370億個の原子を崩壊する時、その物質の放射能の強さを1キュリーといって、これはラジウム1瓦が1秒間に崩壊する放射能の強さと同じであります。

又別に、カウントという言葉がありますが、これはG.M.管に入った粒子に依り決められるもので、1ヶ入れば1カウントを示しますが、どんな種類の放射線が入って来たかは解りません。従って以上のレントゲン、キュリー、カウントは其の測定している意味も方

法も異なりますから、この三者は一定条件の下でなければ関係づける事は出来ません。

さてアイソトープの利用には、二通りの方法があって、其の一つは放射線の線源として用いる事、他の一つはアイソトープが安定な同じ種類の元素と同じ行動をさせて放射能により所在が判る事を利用、即ちトレーサーとして利用する事であります。

線源として用いる場合は医療方面に於ては、ラジウムやエックス線 深部治療装置に代り コバルト 60 が用いられるようになった。その理由としては、ラジウムと比較すると価格が低廉である事、放射線量が多い事で、即ちラジウムは1ミリキュリー 1,500 円、コバルト 60 は6 円、又線量の方は1キュリーで1 米の距離で1 時間に付ラジウムは 0.84 R. h. m. コバルトは 1.35 R. h. m. 又エックス線に比べると線質が硬く、深部特性が良く 3 MeV. の超高圧エックス線に匹敵する放射線が大量に照射出来、取扱が非常に簡単であります。然し寿命が短いのが欠点で、即ち半減期が5.3 年です。

半減期とは放射線の寿命即ち減り方を表すもので、放射性の元素は日々其の放射線量を減少していますから初めの半分になる期限を半減期といいます。

其の他医療用として利用されてるアイソトープとしては、放射性沃度 (I^{131}) 放射性磷 (P^{32}) 放射性ナトリウム (Na^{24}) 等があり、放射性沃度は γ 線を放出して半減期が8 日で、沃度が甲状腺に特に集る性質を利用して甲状腺の悪性腫瘍や機能診断の目的に使われ、又放射性磷は β 線を出して半減期が14 日、特殊な方

法で濾紙に浸みこませて外へ漏れないようにして必要な時間丈アザに貼るとこの β 線は深く行かないで表面のアザの所丈エネルギーが働いてアザの治療に用いられております。

放射性ナトリウムは β 線を出して半減期が15 時間で、薬品にまぜて身体に入れてやり、これを G. M. 管で測定して所在を確め所謂トレーサーとして使用されます。

最後にアイソトープに関する障害について簡単に述べますと、 α 線、 β 線、は何れも荷電粒子であって物質を通る時は電離を起します。又 X 線、 γ 線、中性子線は荷電粒子でなく電磁波でありますが何れも二次的な作用で電離を起して生物体がこれ等の放射線を受けると組織が直接電離されたり、又は周囲の電離を介して間接的に化学変化を受ける結果細胞に変化が起り、白血球の減少、脱毛、貧血、悪性の腫瘍、白血病等の放射線の障害を起します。

それでは我々人体に対する放射線の許容量はどれ丈であるかと申しますと、1950年の国際放射線学会に於て最大許容量を1 週間当り 300 ミリレントゲンと決められましたが、これでは多過ぎるという声も盛んになり昨年の国際放射線防禦委員会では、更に少くして1 週間当り 100 ミリレントゲンと決めてありますがなほ減少の方向に進んでおります。然し何れにしても我々は外部から来る直接の放射線は勿論の事、空気や食べ物を通して来る放射性物質に対しても充分に気をつけなければなりません。

燃やして見分ける新繊維

綿 燃えやすい、紙を燃す臭いがして白い灰となる。

麻 木綿と同じように燃えやすく白い灰がのこる。

絹 じりじりと燃えて髪を焼く臭いがする。少しかたい灰となる。

羊毛 くすぶり燃え、髪をやく臭いがする。ややかたい灰となる。

ビスコースレーヨン パツと燃えて白い灰となる。紙を燃やす臭いがする。

銅アンモニアレーヨン ビスコースレーヨンとほぼ同じように燃える。

アセテート 熔けるように燃え醋酸の臭いを発する。

ナイロン 火を近づけると熔け、火の中では熔けつつ燃える。冷えるとかたい球となる。

ビニロン 火を近づけるとちぢみ、そのご熔け、冷えるとかたくなる。

塩化ビニリデン 火を近づけると、ちぢんで熔け、クロール臭を発し、黒色を呈する。

(13頁よりつゞく)

500ccを流すことは危険であるので、自ら限界がある。大体200~250ccの間で流すのが能率を高め安全で、これが大体限界ではないかと思う。

次は透析装置を並列又は直列に連結した場合であるが、第28図の程度の違いがあるにすぎない。

透析する際の血液あるいは灌流液の温度であるが、温度は38℃の場合透析能率はよいのである(第29図)。人工冬眠というのがあって、心臓手術とか脳の手術などに屢々身体を冷却するがこういうときに身体を冷やすと透析能率は低くなってくる。やはり一定の体温程度の温度がないといけない。

x	x	x	x
	x	x	x
x	x	x	x