

綜 報

1. 放射性同位元素の應用

木 村 毅 一

Application of Radioisotopes

Kiichi Kimura

General explanations regarding "tracer" experiments are given to those who will adopt radio-isotopes for their researches, and are commented on the importance of the experiments not only to various fields of scientific investigations, but also to the human welfares.

吾々の研究室で放射性磷 P^{32} が作れるようになり、醫學部ではこれを用いて二十日鼠につき追跡実験が行われた。その結果は昨日発表された通りである。

研究は未だ練習実験の域を脱しないが僅か $1/20 \mu C$ 即ち $1.7 \times 10^{-13} \text{ gr}$ (3×10^9 原子)の P^{32} を、しかも10匹の二十日鼠に等分してその皮下に注射し、肝臓、腎臓、脾臓、小腸、筋肉、骨、血漿、排泄物中の存在を追跡し得たことは誠に驚異に値することである。

電子顕微鏡の拡大率も素晴らしいが、追跡法は従來の微量分析技術の限界を遙かに突破するのみならず、生体内の物質追跡が生きたままで行えるのであつて他の追隨を許さぬところである。以下同位元素に関する基礎的なことがらを述べこれから Tracer を始められる方々の御参考に資したい。

放 射 性 同 位 元 素

同位元素は放射性、非放射性併せて 1000 近くあるが、一般によく使われるものは下表に示す通りである。

第1表に於いて、 β^- は陰電子、 β^+ は陽電子を示し、K は原子核が K 殻電子を捕獲し原子番号が一つ下の原子に轉ずることを示す。この場合X線が出る。 γ は γ -線放射である。

核から出る β -線 (+, - 共) のエネルギースペクトルは連続である。その例として第1図に C^{14} 及び S^{35} の β 線スペクトルを示す。そこで各元素特有の β -線を色付けるにはそれらの最大エネルギーを以つてする。時には平均エネルギーを以つてすることもある。

γ -線が核から出る時、その原子の殻電子がたたき出されることがある。これを internal

conversion という。この場合、電子のエネルギーは連続的でなく線スペクトルを示す。

Table 1

Element	Z	A	Radiation	Half life in days	Max. energy of beta-ray in Mev	Fraction disintegrates per day	Weight per mc in 10 ⁻⁹ gr	Max. range in water (mm)
C	6	11	β ⁺	0.014	0.99	1.0	0.0012	4.2
	6	14	β ⁻	1.7 × 10 ⁶	0.156	4 × 10 ⁻⁷	18 × 10 ⁴	0.24
N	7	13	β ⁺	0.007	1.25	1.0	0.0007	5.6
Na	11	22	β ⁺ , γ	1100	0.575	6.3 × 10 ⁻⁴	197	2.1
		24	β ⁻ , γ	0.61	1.390	0.68	0.113	6.4
P	15	32	β ⁻	14.5	1.712	0.047	3.6	8.0
S	16	35	β ⁻	83	0.169	0.0079	24	0.2
Cl	17	38	β ⁻ , γ	0.026	5.2	1.0	0.0076	27
K	19	42	β ⁻ , γ	0.515	3.58	0.74	0.167	19
Ca	20	45	β ⁻	130	0.260	0.0039	62	0.8
Sc	21	46	β ⁻ , γ	85	0.36	0.008	30	1.0
V	23	48	β ⁺ , K, γ	16	0.72	0.042	5.9	2.8
Mn	25	52	β ⁺ , K, γ	6.5	0.58	0.101	2.6	2.2
Fe	26	59	β ⁻ , γ	47	0.46	0.015	21.3	1.5
Co	27	56	β ⁺ , γ	85	1.50	0.008	36.6	7.0
		60	β ⁻ , γ	1940	0.310	3.6 × 10 ⁻¹	895	0.8
Cu	29	61	β ⁺ , K	0.142	1.205	0.992	0.037	5.5
		64	β ⁺ , β ⁻ , K	0.53	0.571(β ⁻) 0.657(β ⁺)	0.73	0.26	2.6
Zn	30	63	β ⁺ , K, γ	0.027	2.36	1.0	0.013	12
As	33	76	β ⁻ , γ	1.12	3.04	0.46	0.655	15.7
Br	35	82	β ⁻ , γ	1.5	0.435	0.37	0.95	1.6
Sr	38	89	β ⁻	55	1.50	0.013	38	7
		90	β ⁻	9000	0.61	8 × 10 ⁻⁵	6200	2.2
Y	39	90	β ⁻	2.6	2.35	0.24	18	11
In	49	114	β ⁻ , (γ)	50	1.98	0.014	44	9.4
Sb	51	124	β ⁻ , γ	60	2.37	0.012	57	12.3
I	53	128	β ⁻ , γ	0.017	2.02	1.0	0.017	9.8
		130	β ⁻ , γ	0.525	1.03	0.73	6.53	4.5
		131	β ⁻ , γ	8.0	0.595	0.083	8.1	2.2
Au	79	198	β ⁻ , γ	2.7	0.960	0.23	4.1	3.8
RaE	83	210	β ⁻	4.35	1.17	0.133	7.35	5.2

核から放射された陽電子 β^+ は陰電子 β^- と合一して電磁波を出す。これを annihilation radiation という又 β^- は吸収体内で停る時には電磁波を出す。これを bremsstrahlung という。(これらは入射 β^- 線数よりはずつと少い。)

こんなわけで、核から出た放射線も計数管に達するまでには二次的な放射線に変ることも考慮に入れておく必要がある。

上述の事項を心に含んで、研究者はそれぞれの目的に應じた同位元素を選び且つ測定装置をこれに適合せねばならない。

尚、同位元素の内では非放射性の D^2 , C^{13} , N^{15} , O^{18} 等も追跡実験に使われるが、これらの検出には質量分析器を必要とするから、特殊の研究室でないと直ぐ着手出来ない。

放射線の測定

第1表でわかる如く、 C^{14} , S^{35} , Ca^{45} , Fe^{55} , Co^{60} 等は低エネルギーの β^- 線を出す。かかる場合にはなるべく不要の夾雑物を種々の方法で除去してから薄い窓の Geiger-Müller (G-M) counter 或は electroscope で測定する。この際特に注意すべきは幾何学的関係と試料の自己吸収(後出)である。

試料は液体、固体時には気体の状態に調製される。従つてこれ等に應ずるよう計数管の形が工夫される。一つの型は dipping 型で、計数管を直接液体中に入れて測る。この場合は周囲から β^- 線(や γ^- 線)が入射するから感度が良い。普通管壁は薄い硝子で内壁は薄く金属鍍金を施すか又はグラフアイトが塗つてある。実験者自身でこの型の計数管を作ることは六ヶ敷い。

次の型は円筒形 G-M 計数管で、矢張り薄い管壁をもち、壁から β^- 線が透過し得るもの

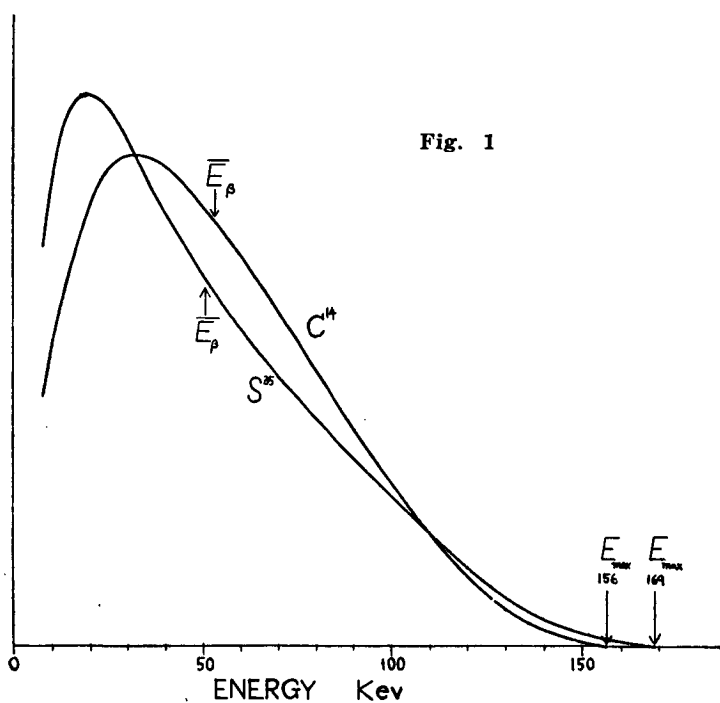


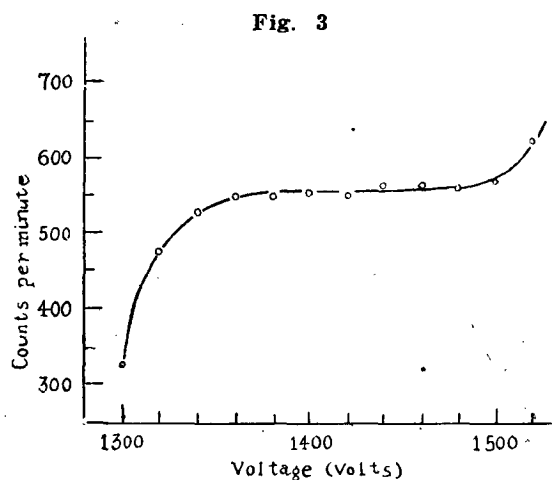
Fig. 1

である。試料は固体、又は液体を皿に入れたものを用いその厚さはなるべく薄くする。

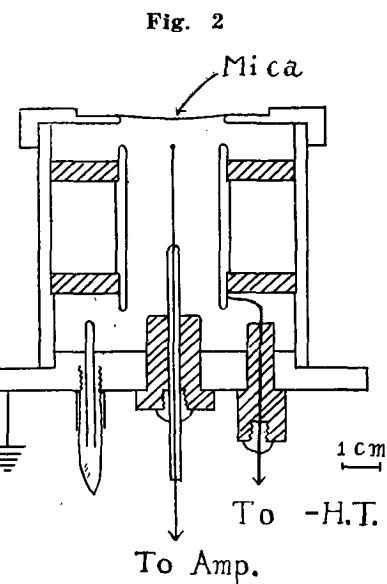
今一つは鏡型 (2π -型) で、計数管の一端に薄いアルミニウム又は雲母膜が張つてある。(第2図)これが一番普及した型である。窓の厚さは $2\sim 3\text{mg}/\text{cm}^2$ が限度で 2mg 以下の製作は困難である。その理由は管内の気圧が 10cmHg 程度であるから、 $2\text{mg}/\text{cm}^2$ 以下の薄さは大気圧に耐えられないのである。最近園田教授により比例計数管が試作されたが、これは管内の圧力が一気圧であるから、窓はいくらでも薄く出来る点で G-M 等より有利である。将来この型が普及するであらう。その形は第2図に示したのと同じである。

G-M 計数管で注意しなければならないのは、普通の光にも感ずること(光電効果)である。この対策として、グラフアイトを窓及び管内の電極に塗付(或ひは電極のみ)するのである。日本では放射性元素を除去したグラフアイトが得られないから当分自作できない。最近神戸工業では雲母窓に薄くアルミニウムを Sputter して光を遮蔽し光電光果を防止した計数管を試作した。

良く出来た G-M 計数管では、電圧-計数曲線は第3図の如く平坦部(プラトー又はテレス)が出来る。そこで使用時には電極にかかる電圧をの平坦部の中央におく。又計数管及び附属



の増巾器、録数器等には全体として一定の分解時間があるから、一般に毎分1万以下の計数率が適当であるが、それより以下でも分解時間内に入つた Pulse は一つに数えられるから精密測定には相正を要する。



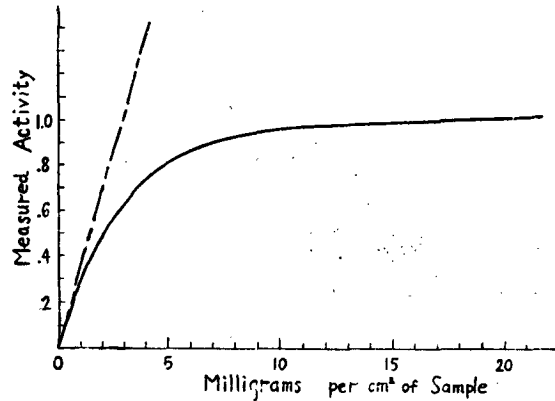
計数管の自然計数は普通の大いさの計数管では毎分 $10\sim 50$ である。計数管の寿命は全計数 $10^8\sim 10^9$ であるから、かりに毎分連続して $10,000$ づゝ数えるとすれば延べ $10^4\sim 10^5$

定の標準試料（半減期の長い元素）を常備して常に検定する必要がある。

試料の自己吸収

放射能を測定する際試料をなるべく薄くしたいが、そうすると放射線数が少くなり検出が困難となるから、適当な厚さとし、第4図に示した様なグラフを書いて見る。放射線量は試料の分量に比例するが、試料の分量が増すとその自己吸収により計数は直線的には増加しない。そこで0-点で切線を引き、これによつて試料の分量と放射線量の関係を求める。このグラフは研究者が夫々の場合につき前以つて求めておくべきである。

Fig. 4



その他 G-M counter による計数には統計的動揺があることを、是非心得ておかねばならないがこれについては専門書によりたい。

尙写真乾板により放射性元素の生物体内の分布を写す方法 (Radioautograph) がある。これは目的によつては重宝な方法である。

應用 警 見

以上放射性同位元素の検出に必要な基礎的な事項について述べたが、次にこれを用いる研究の内重要なことがらをまとめてみよう。

放射性同位元素の用途を大別すれば二つある。即ち (1) 放射線源として、(2) 追跡用としてである。

(1) 放射線源

これに用いられる主要な元素は Na^{22} , Fe^{59} , Co^{60} , Zn^{65} , I^{131} 等で、いづれも γ -線を出す。従来 Ra は癌の治療になくはならぬ元素であつたが、今後は安價な上記元素で充分治療目的を達するから、貧者にとつて福音とならう。これは又 X-線管の及ばぬ分野を開拓する。即ち放射線源を点光源となし得るから、機械の検査に於いて X-線管球の入り得ぬ部分に挿入することが出来る。手軽だから X-線装置の無い工場や研究所にとつては重宝となる。

(2) 追跡法

これは 1923 年 Hevesy が植物体内での Pb の追跡を目的として、その同位元素なる

ThB, RaD を Pb と混じて (labelして) 用いたのが始まりであるが、1932年中性子が発見されて放射性元素の人工製造が容易となるや彼はこれを以つて label し、各種の追跡実験を殆んど独占的に行い多くの成果を収めた。次でサイクロトロンにより更に戦後はパイルによつて、同位元素が多量に生産されるに至つて、急に各分野の研究者が Hevesy になつたのである。追跡法の発明は顕微鏡の発明に劣らず画期的であり、今日顕微鏡なき研究があり得ないと同様、将来追跡法を無視した研究は成立しなくなるであらう。追跡法の利点は、微量の目印で立派に目的を達し得るところにある。例えば P^{32} を用いた場合、僅かに 10^{-16} gr の放出する β -線がよく G-M 計数管で容易に数へられる。実際は計数管の自然計数及び試料の自己吸収等により 10^{-13} gr 位が限度であるが、これとて今までこれに及ぶものがあつただらうか。

追跡法が偉力を発揮する研究分野は、生物学、医学、農学方面である。即ち生体内での物質代謝、生化学の研究等に対しては着々として功を奏しつつある。その他工学或は基礎科学方面に於ける研究も、その文献はすでに数百を越える有様で個々の問題については今更申上げるまでもない。

結 び

人類は今や、放射性同位元素という新しい協力者を得て、これまでなし得なかつた研究も容易に実施せられ、研究テーマも一段と高く廣い領域に求められるようになった。ひいては各分野の研究も相互に相依り相助けて益々その level の向上へと進め合うであらう。かくて人類の大きい期待たる植物による光合成の神秘もやがては解明され、食糧やパルプの人工合成も單なる痴人の夢とするわけにはゆかなくなるであらう。

所謂原子力も、平和的な應用に廣く提供され、エネルギー資源の開発や眠れる資源の活用、或は又基礎医学の啓発等に用いられるならば、自然界は凡て人類の幸福に役立つこととなるであらう。

(昭和25年9月10日受理)