

# 放射線・放射性同位元素の利用について

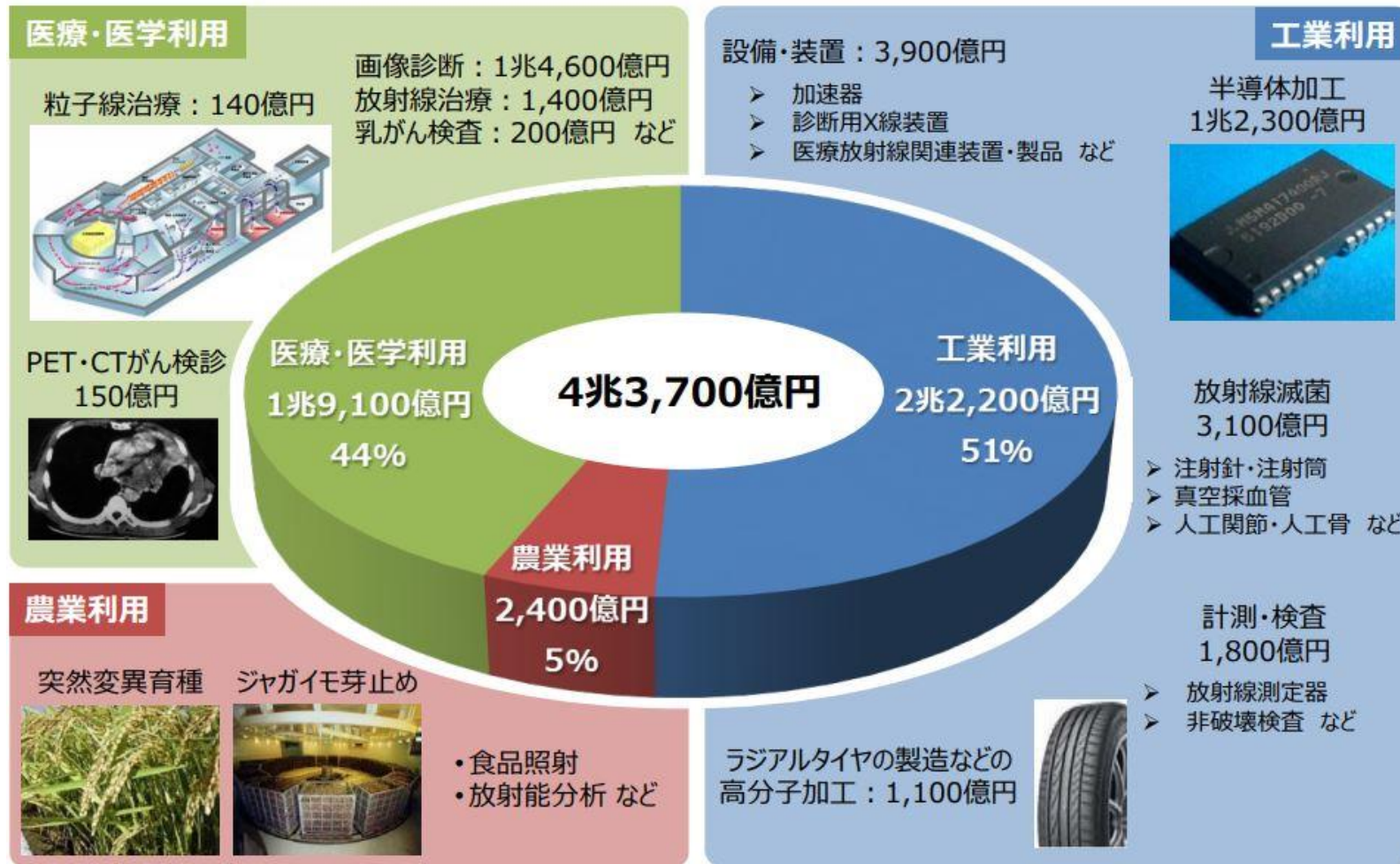
一般財団法人 放射線利用振興協会

柴田 誠一

令和4年6月14日

# 放射線利用の経済効果

2015年度(H27)内閣府調査



- 2005年度(H17)内閣府調査科技庁調査では、エネルギー利用(軽水炉)と金額で**ほぼ拮抗**していたが、今回はエネルギー利用は大幅減少。

- **放射線研修事業**: 第3種放射線取扱主任者認定講習を中心。  
1F事故特需収まり定常。
- **γ線照射事業**: 各種照射試験。おもに耐久性。  
軽水炉高経年化に関する規制庁事業も。  
⇔滅菌、ジャガイモ芽止め等の定常・大量照射は民間事業者が実施。
- **NTD\*ーシリコン製造**:  
ガスドーピング材、化合物半導体の伸長により、**再開見合わせ**。  
⇔ジュールホロビッツ炉も当初製造を計画していたが中止した模様。
- **中性子ビーム利用**: J-PARC、JRR-3を利用した産業界の中  
性子ビーム利用を申請・実験・解析・報告の全過程で支援。

NOTE:当法人の事業は、広大な放射線利用の分野のうち、ごく一部である。

- 軽水炉高経年化  
電線ケーブル、計装設備、樹脂類の耐放射線試験
- 宇宙開発  
小型衛星開発等にもなう耐放射線試験
- 福島対応  
カメラ、ロボットの開発に伴う試験
- 滅菌、変異体作出  
材料滅菌、菌類、植物等への照射
- 機能材料創製  
抗ウィルス性材料、医療材料の創製

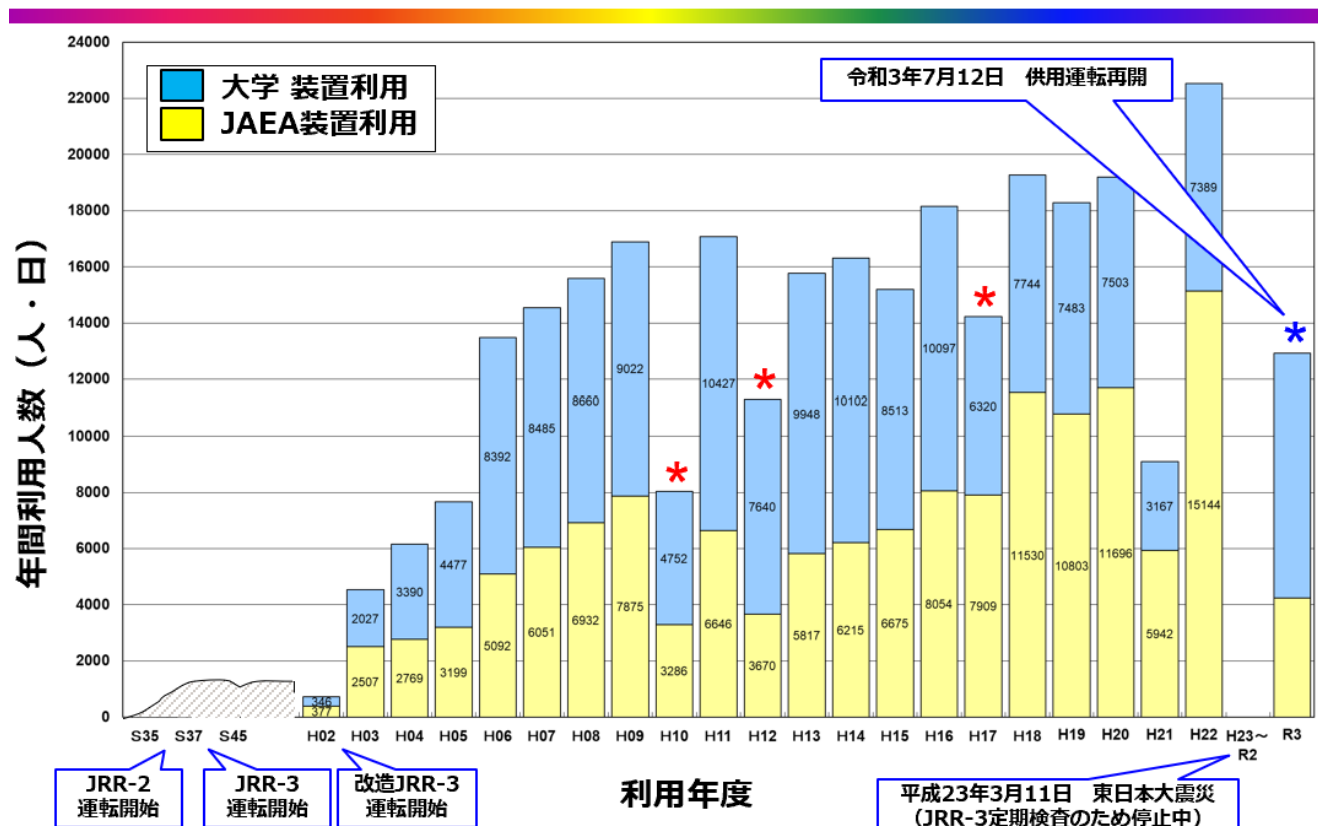
研究目的の放射線照射のニーズは増大している。今後は試験施設の老朽化対策と線源補充を両立させつつ、研究開発のニーズに対応できるよう整備していくことが重要。

# 中性子ビーム利用 (1/3)

- 物質の観測、分析分野のユーザーは改造3号炉の運転と共に急激に増加し、物理、化学、高分子、生物、材料、医学など広範な科学分野、学术界から産業界まで含む。



## JRR-3中性子ビーム利用者数の推移



\* 長期間の原子炉停止による低減

\* 4サイクル運転

JAEA資料より

- ・ ユーザー(特に産業界ユーザー)支援は利用の裾野拡大と科学技術発展への貢献につながるので、この支援部門の強化が急がれる。JRR-3にはJASRI\*、CROSS\*\*に対応する外部の利用支援機関が無い。
- ・ 最先端研究には大型原子炉(JRR-3や計画中の福井炉)や大型陽子加速器(J-PARC)の活用が必要である。
- ・ RADAは物質の観測・分析分野で大型施設利用の申請から報告までを支援している。

## 支援研究分野の例

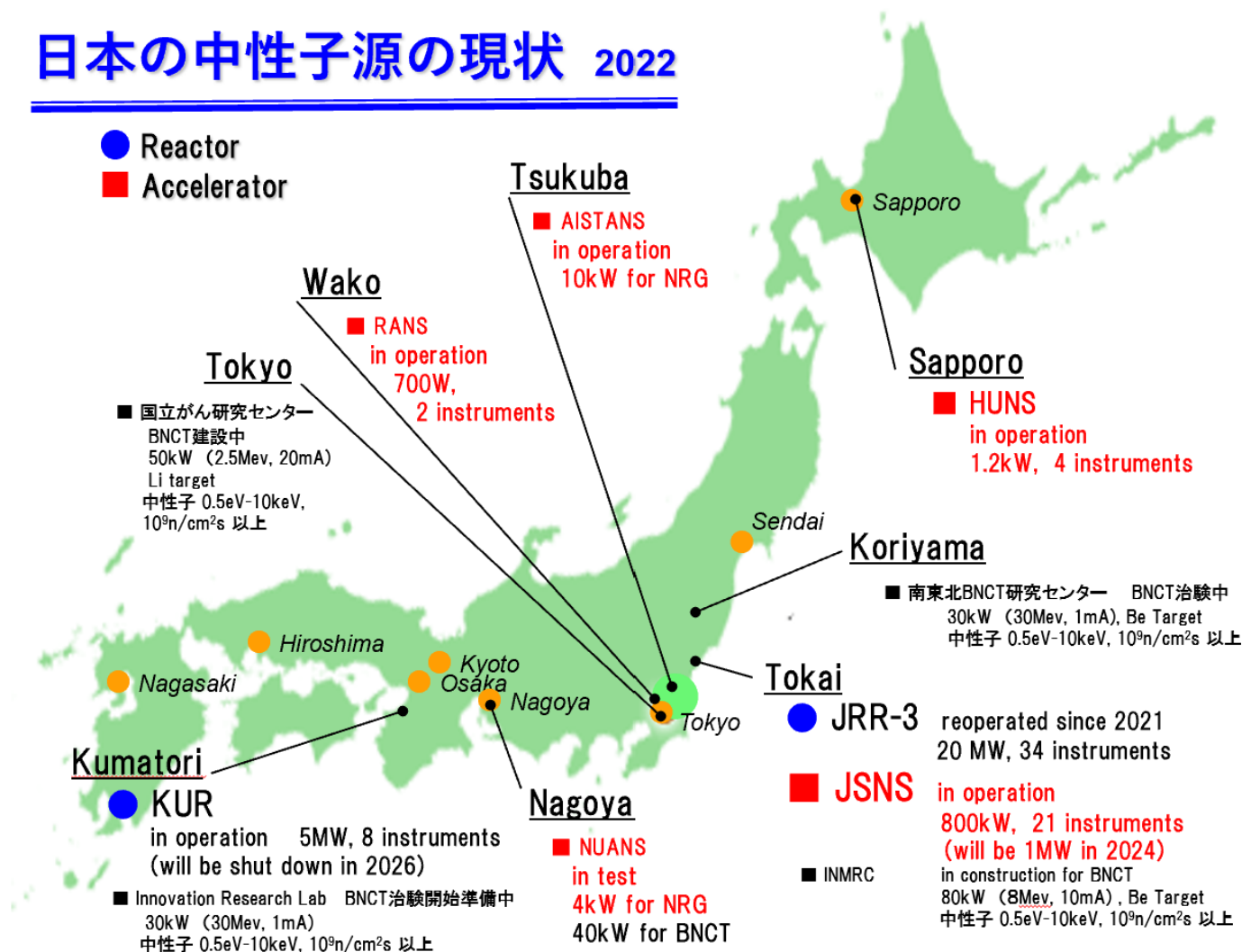
- ・ 金属部材の残留応力解析および集合組織解析
- ・ 高分子構造解析
- ・ CT解析
- ・ 結晶構造解析
- ・ 中性子遮蔽性能試験
- ・ 非弾性散乱解析

\* JASRI: 公益財団法人 高輝度光科学研究センター

\*\* CROSS: 一般財団法人 総合科学研究機構

- 近年、簡便利用を目指した小型加速器型中性子源が物質の観測、分析や治療用に開発されており、注目される。

## 日本の中性子源の現状 2022





## ウィズ・コロナ・・・なら、ウィズ・放射線も

- 原子力の関係者にとっては、経済性とリスクを比較しているコロナ感染対策は、非常に新鮮(?)。
- ウィルスとは共存やむなしとの意見も多いが、放射線は？
- 実は放射性物質は、地球誕生の時から存在し、後から発生した人類・生命は、その環境に適合するようにできている。
- 主要な3つの崩壊系列やマイナーな放射性物質は、その同位体比を活用して様々な調査等に活用されている。
  - ← 地球は放射性同位元素の星
    - ウラン系列:  $^{238}\text{U} \rightarrow \dots ^{222}\text{Rn} \rightarrow \dots ^{206}\text{Pb}$
    - トリウム系列:  $^{232}\text{Th} \rightarrow \dots ^{220}\text{Rn} \rightarrow \dots ^{208}\text{Pb}$
    - アクチニウム系列:  $^{235}\text{U} \rightarrow \dots ^{219}\text{Rn} \rightarrow \dots ^{207}\text{Pb}$



2007年7月16日10時13分頃 中越沖地震発生

一般の方からの問い合わせ

当日夜 大阪 熊取地区 環境放射線レベル 上昇

地震と環境放射線レベルの上昇に因果関係があるか？

当日夜 大阪 熊取 局地的豪雨

# 空間線量率と降水量の関係

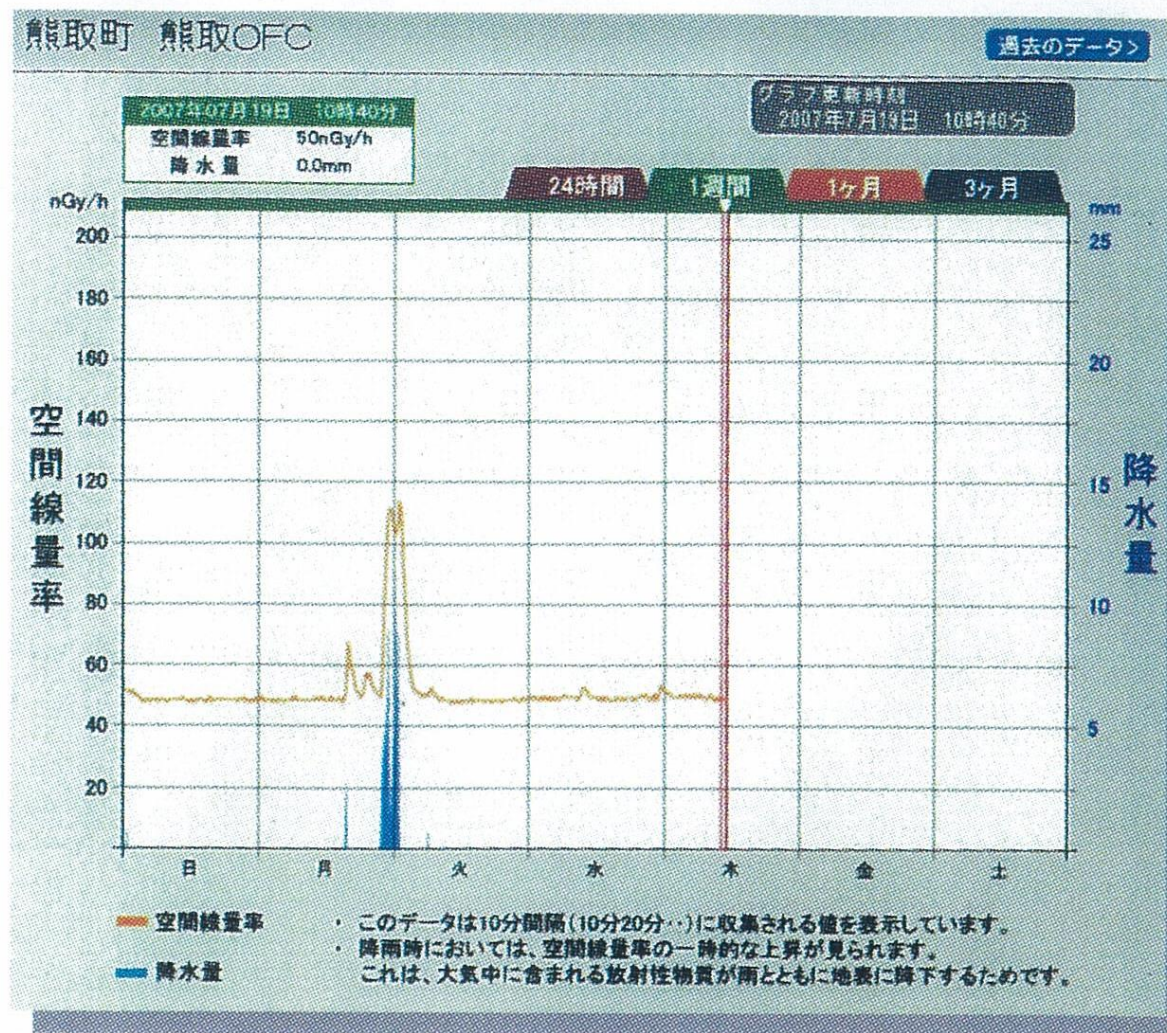


図1.空間線量率と降水量との関係(7/15~19)  
測定場所:熊取オフサイトセンター

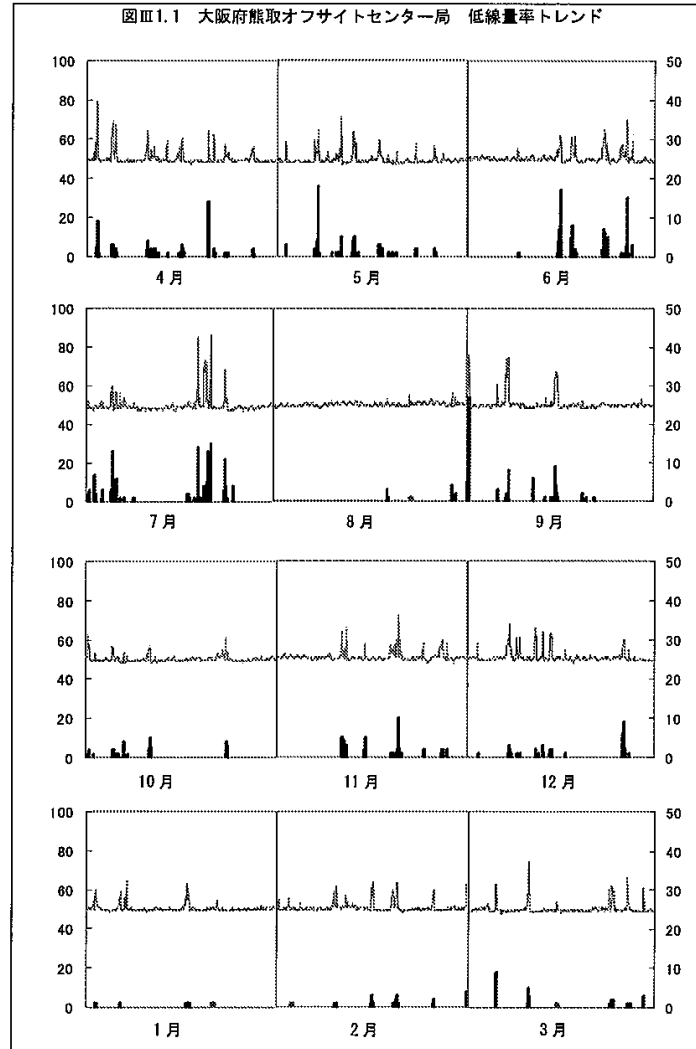
# 空間線量率と降水量の関係 (2)

Ⅲ 監視結果

図Ⅲ.1 大阪府熊取オフサイトセンター局 低線量率トレンド

空間線量率

降水量



※・は感雨(1mm未満の降雨)

## 放射性同位体の利用拡大を期待して

---

その日熊取地区には集中的にかなりの雨が降りました。降雨時には、大気中に含まれる放射性同位体 (RI) が雨とともに地表へ降下してきます。そのため地表付近では空間線量率の一時的上昇がみられます。

従って地震との因果関係はありませんが、大気中には、宇宙線との核反応や天然に存在するウランやトリウムの壊変を起源とする放射性同位体 (RI) が存在していることを実感できる現象です。

放計協ニュース No.69 Apr. 2022

## 放射性同位体の利用拡大を期待して (2)

---

現在、大学においてRIを取り扱う放射化学研究室が減少しています。RIの化学的取り扱いができる研究者も激減していて、この状況が危惧されます。RIの化学的取扱いは、我が国では「放射性同位元素等の規制に関する法律」の規制を受け、設定された管理区域内で実施しなければなりません。そのためRI利用研究は、規制上の問題から、簡単なテスト実験であっても直ちに行うことが難しい状況にあります。

放計協ニュース No.69 Apr. 2022



## 放射性同位体の利用拡大を期待して (3)

このような状況の打開に向けて、2016年度から文科省・新学術領域研究・学術研究基盤形成事業「短寿命RI供給プラットフォーム」がスタートしています。RI利用の裾野を広げ、利用者の拡大とRI利用科学の発展に資することを旨として、多様な分野の学術研究に用いられる短寿命のRIの供給が進められています。最近、アルファ線を放出するRIを用いた核医学治療が注目を集めています。このためには治療に用いるRIを加速器あるいは原子炉を用いて製造し、化学的な分離操作により純粋な形で抽出し、提供しなければなりません。これらのニーズに応えるためにもRI利用研究の重要性が再認識され、多方面での今後の進展を期待しています。

放計協ニュース No.69 Apr. 2022

平成28年度「新学術領域研究（研究領域提案型）  
『学術研究支援基盤形成』」リソース支援プログラム

## 短寿命RI 供給プラットフォーム

本プラットフォームでは、研究用RI供給の実績がある大阪大学核物理研究センター、理化学研究所仁科加速器研究センター、東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター、東北大学電子光物理学研究センターが緊密に連携することによって、研究用RIを速やかに供給する新たなシステムを構築することにより研究者の利便性を格段に改善するとともに、各加速器施設での運転計画を調整することにより、研究に必要なRIが年間を通じて供給できる環境を整えました。

プラットフォームの利用は、全ての分野の全ての研究者にオープンで、学術的な価値が高いと課題採択委員会で判断された研究課題は、我々が全力をもって支援します。本プラットフォームの利用により、短寿命RIを用いた革新的な研究が萌芽し発展していくことを切に願います。

文科省ホームページより



放射性同位体の利用拡大を期待して

柴田誠一 放計協ニュース 巻頭言 No.69 Apr. 2022

短寿命 RI 供給プラットフォーム事業を振り返って

中野貴志 アイソトープニュース 巻頭言 2022年4月号 No.780

$^{211}\text{At}$ ,  $^{225}\text{Ac}$

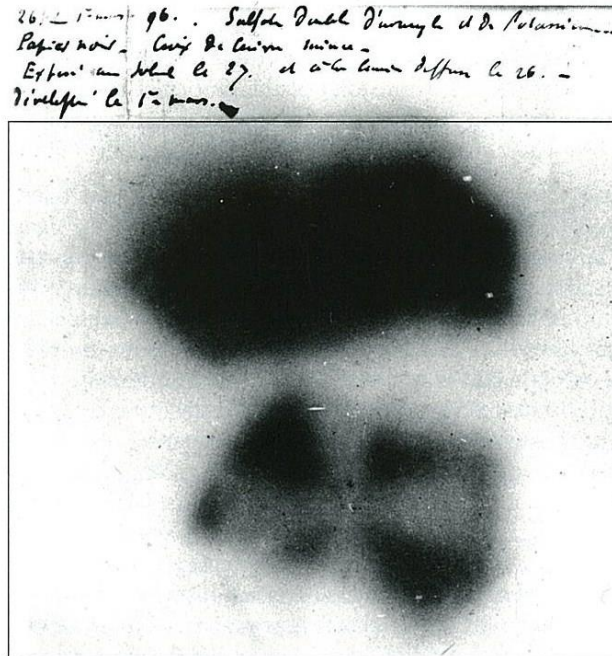
研究用原子炉 JRR-3 における RI 製造の再開

遠藤 章 アイソトープニュース 巻頭言 2022年6月号 No. 781

$^{99}\text{Mo}$  –  $^{99\text{m}}\text{Tc}$

# ベクレルの放射能発見

Photo développée le 1<sup>er</sup> mars 1896 par Henri Becquerel.



H. Becquerel était heureux d'avoir pu ainsi établir - selon la bonne tradition du Muséum d'Histoire Naturelle - une propriété remarquable nouvelle d'un corps naturel, l'élément uranium, qui émettait spontanément un rayonnement pénétrant. Il avait le sentiment d'avoir - au moins provisoirement - épuisé le sujet et allait maintenant se tourner vers un autre thème, des expériences sur l'effet Zeeman qui avait été découvert quelques mois plus tôt aux Pays-Bas. Il ne reprendra des expériences sur les corps radioactifs qu'en mars 1899, après la découverte du polonium et du radium par Pierre et Marie Curie dont il aura présenté les résultats à l'Académie.

レントゲンの実験をうけて、ベクレルは蛍光物質はX線を出すものかどうか。  
→ 疑問を抱いた。

ウラン塩は、前もって日光にさらしておくか否かに関係なく、黒い紙を透過する放射線を放出する。  
→ 結論が得られた。

## キュリー夫妻の新元素発見

1897年終わり～

ベクレルが発見した「新しい現象」についての研究に着手  
この現象の測定にピエール考案のピエゾ電気を発生する  
水晶を用いた電位計を使用

放射線の放出はウラン原子そのものの性質であることを  
確認

トリウムも同様の放射線を出していることを発見

この現象の呼び名として「**放射能**」という言葉を提唱

## キュリー夫妻の新元素発見 (2)

ウラン、トリウムを含む鉱物は予想通り放射性で、  
その中に、ウラン、トリウム含有量から計算される  
強度より大きいものがあった

鉱物中に高放射能の新元素が含まれていると予測



新元素の化学的抽出(放射線を目印)



ポロニウム<sup>○</sup>の発見

1898年7月 論文を科学アカデミーに提出

1898年9月 ラジウム<sup>○</sup>の発見を発表

放出されるエネルギーの源と、出てくる放射線の本性は何か？

# キュリー夫妻の実験ノートと化学分離のフローチャート

1<sup>re</sup> fusée sublimation vide  
distillation de sulfures Valant 12 f. ur  
sulf. Bi, Pb et **Po** 0.94

---

150° sublimé  
matière jaune fusible gouttelette  
et. area blanche

290° au dessus sulfure  
mat. brune marron  
Vire au jaune sur place

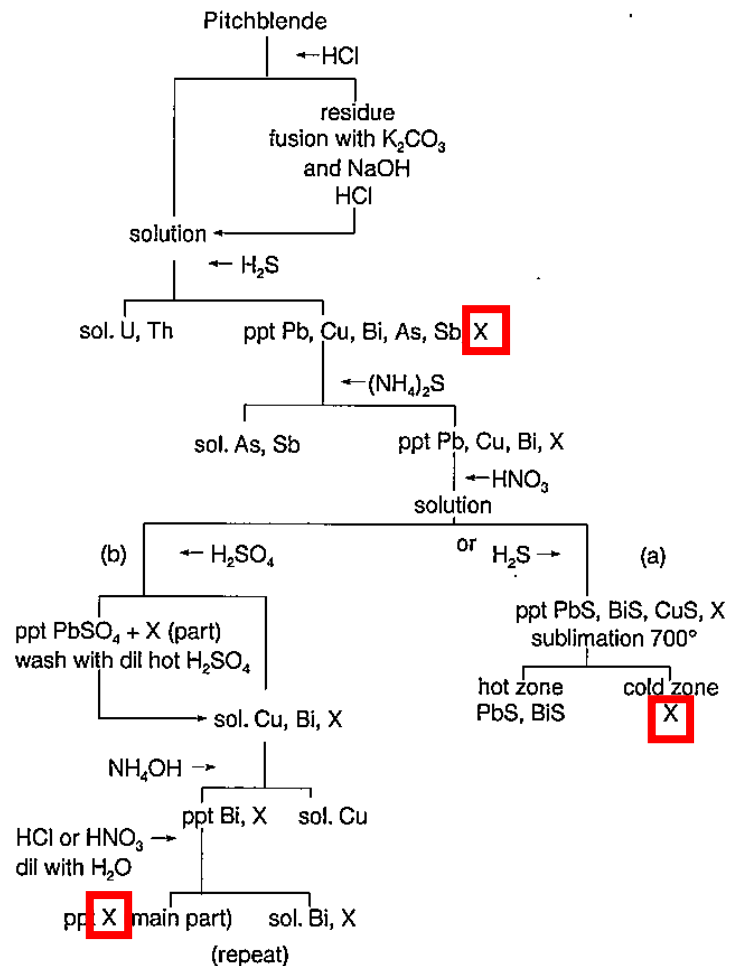
|      |     |      |    |
|------|-----|------|----|
| Comp | 17  | 240° | 1h |
|      | 37  | 450° | 1h |
|      | 650 |      |    |
|      | 74  | 820  | ?  |

ou laisse refroidir

morceau orange et jaune  
200 — 28"

morceau noir, jaune orange, pas mal noir  
1000 — 10.S  
— 11"

**Fig. 3.** Excerpt from the laboratory notebook of Pierre and Marie Curie; on this page, dated July 13, 1898, the symbol of polonium appears for the first time. The text refers to the sublimation of sulfides of Bi, Pb and Po with activity 12 times that of uranium.



**Fig. 4.** Flow chart of the chemical separations which led to the discovery of the element X, polonium. The polonium was partially separated from Bi by sublimation [path (a)] or by a wet method based on fractional precipitation of hydroxides [path (b)].

1903年 ノーベル物理学賞

|        |                          |
|--------|--------------------------|
| ベクレル   | 放射能の発見                   |
| キュリー夫妻 | ベクレルにより発見された放射線の現象に関する研究 |

1911年 ノーベル化学賞

|        |                                             |
|--------|---------------------------------------------|
| キュリー夫人 | ラジウムとポロニウムの発見と金属状態<br>ラジウムの分離ならびにこの元素の性質の研究 |
|--------|---------------------------------------------|

2011年 **世界化学年**      キュリー夫人のノーベル化学賞受賞から100年



# 核分裂の発見

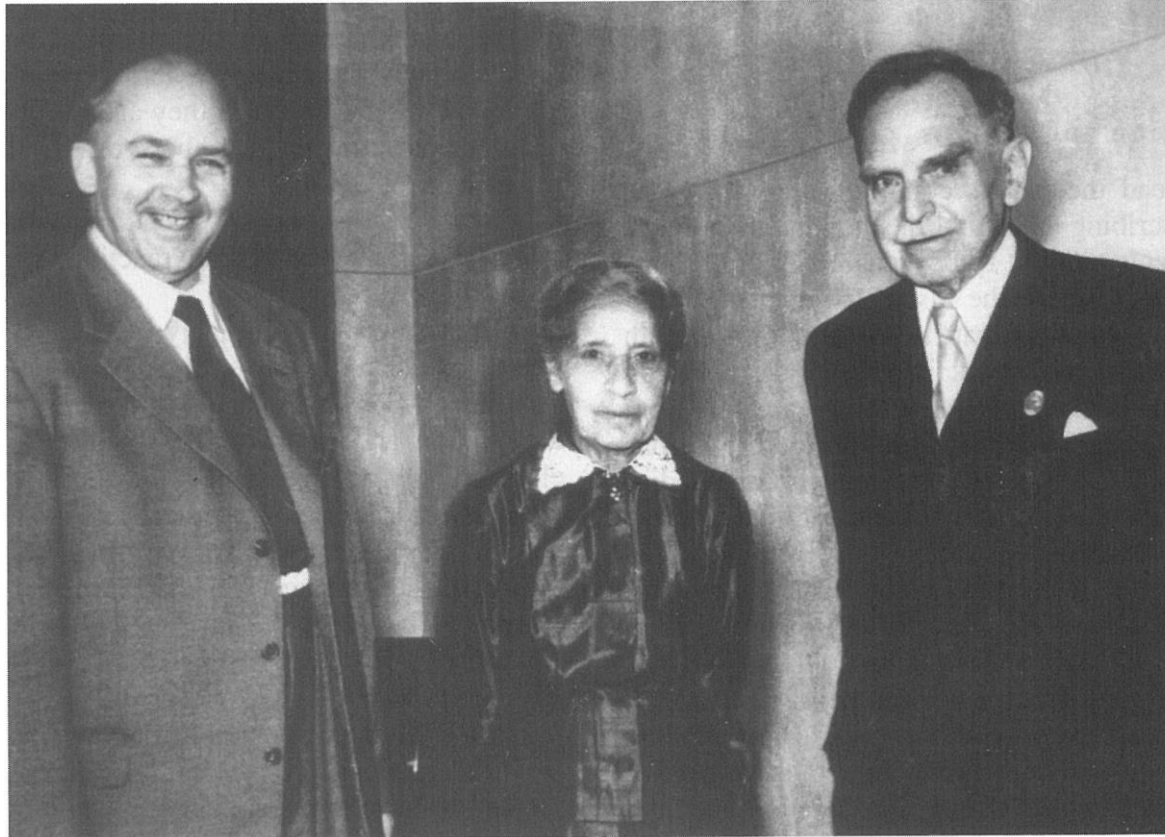


Fig. 2. Fritz Strassmann, Lise Meitner, and Otto Hahn, Mainz, Germany 1956.

ハーンとシュトラスマンは、ウランを中性子で照射したときの生成物の中に放射性の**バリウム**を見つけた。

## Radioactive Tracer Technique

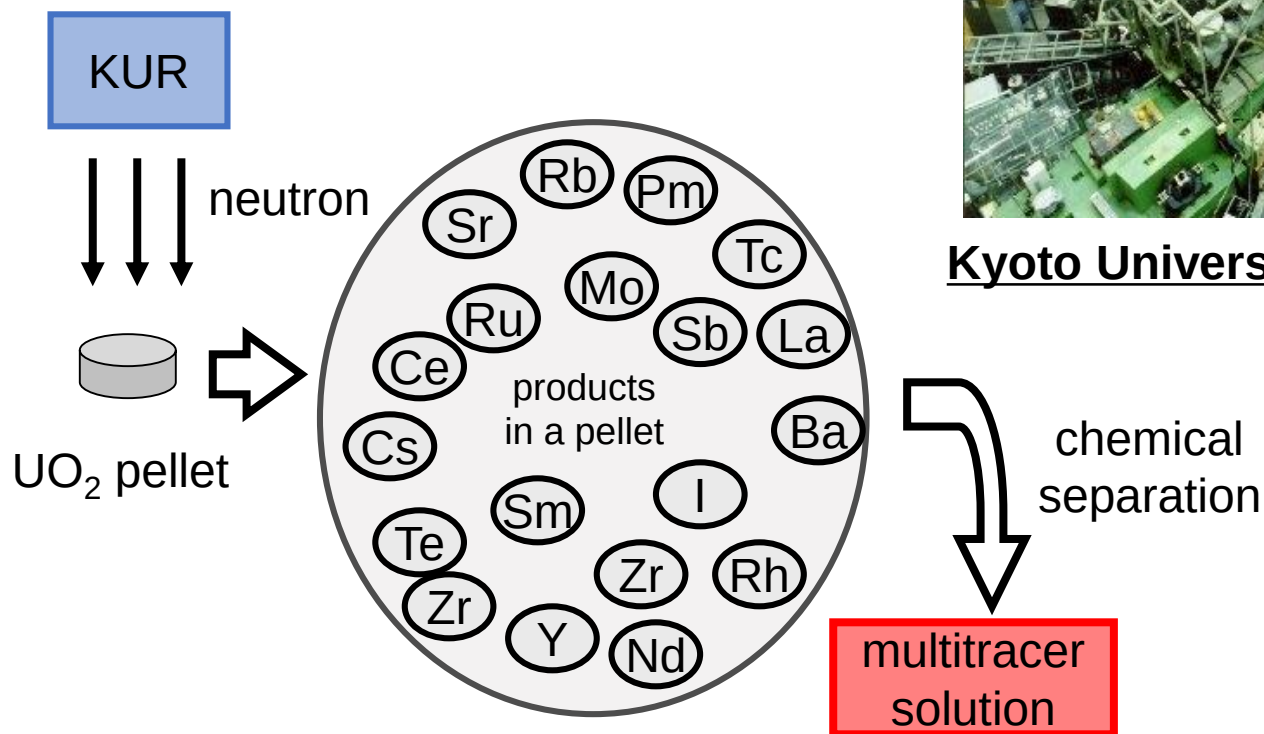
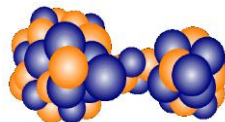
Radioactive tracer technique was developed by **G. von Hevesy** in 1913.

He and his coworker measured the solubility of lead chromate ( $\text{PbCrO}_4$ ) and lead sulfide ( $\text{PbS}$ ), slightly soluble compounds, using RaD as a radioactive tracer.

Since then this technique became widely used in many fields of science.



# KUR でのマルチトレーサーの調製



Kyoto University Reactor (KUR)

# KUR マルチトレーサーに含まれる元素

|   | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | H  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | He |
| 2 | Li | Be |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | B  | C  | N  | O  | F  | Ne |
| 3 | Na | Mg |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Al | Si | P  | S  | Cl | Ar |
| 4 | K  | Ca | Sc | Ti | V  | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr |
| 5 | Rb | Sr | Y  | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I  | Xe |
| 6 | Cs | Ba | *  | Hf | Ta | W  | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn |
| 7 | Fr | Ra | ** |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

|              |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| *Lanthanoids | La | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu |
| ** Actinoids | Ac | Th | Pa | U  | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr |

■ Neutron rich nuclei are contained in the KUR multitracer.

## KUR マルチトレーサーの供給



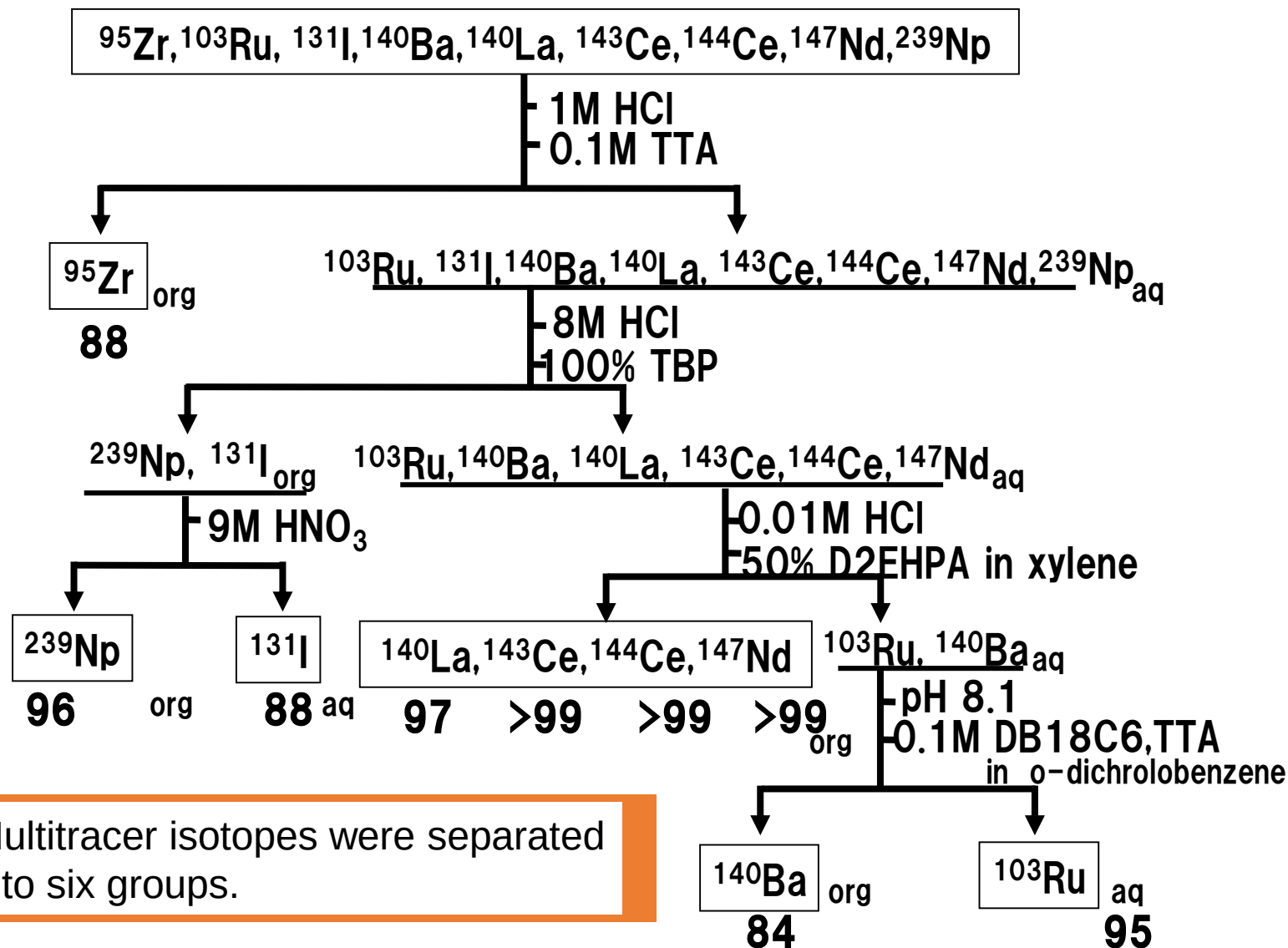
Multitracer solution is enclosed into ampoules.



Enclosed multitracer solutions are packed in a can to send to users.

- Kanazawa Univ. Medical Science Group (to trace elements in rats)
- Osaka Univ. Radiochemistry Group (to develop chemical separation apparatus)
- Niigata Univ. Radiochemistry Group (to develop chemical separation apparatus)

## 溶媒抽出法によるマルチトレーサー元素の分離

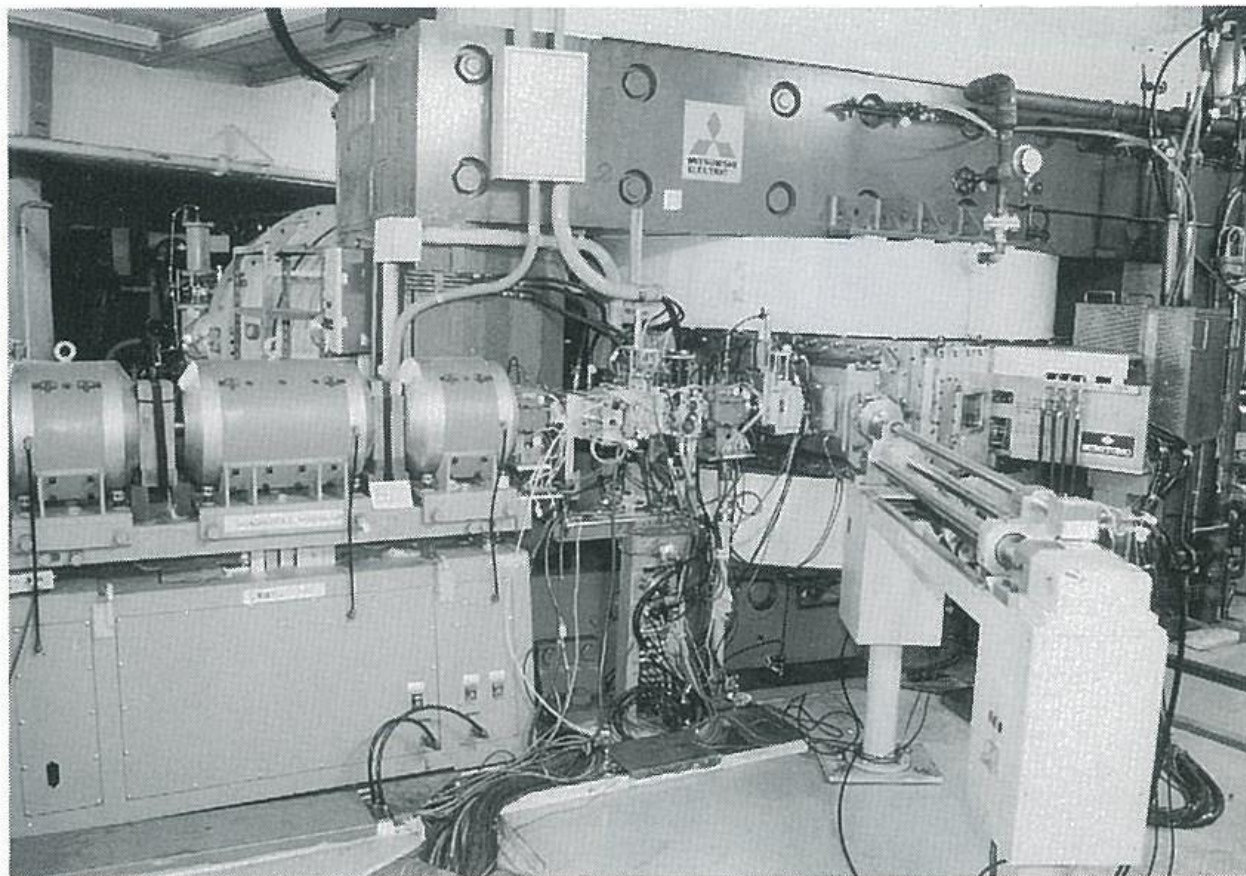


Multitracer isotopes were separated into six groups.



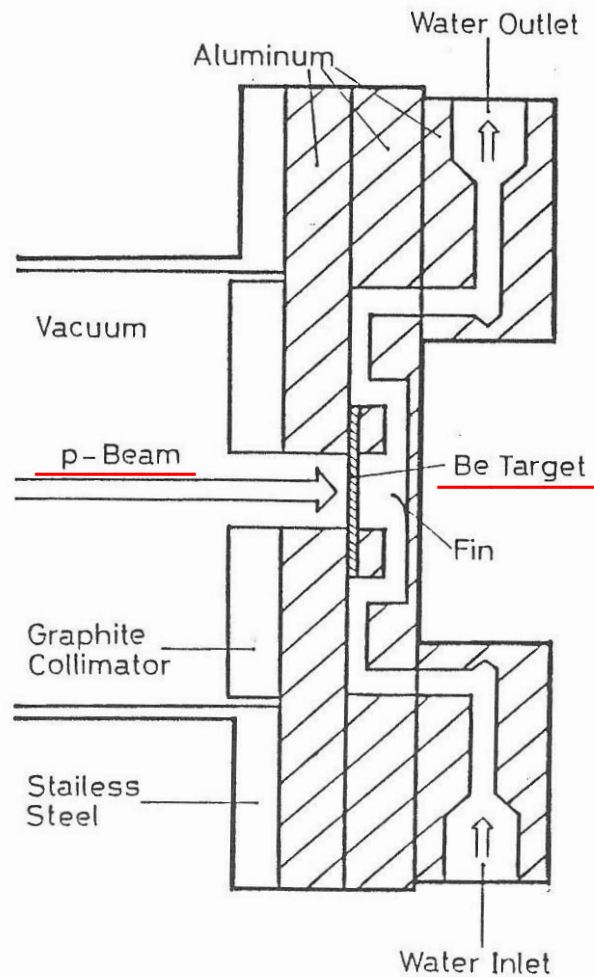
## 準単色中性子場の設置と利用

SFサイクロトロン▶▶



核研のSFサイクロトロンに、p-Be準単色中性子場(その後、p-Li場)を設置し、この準単色中性子を利用して核反応断面積の測定を行った。

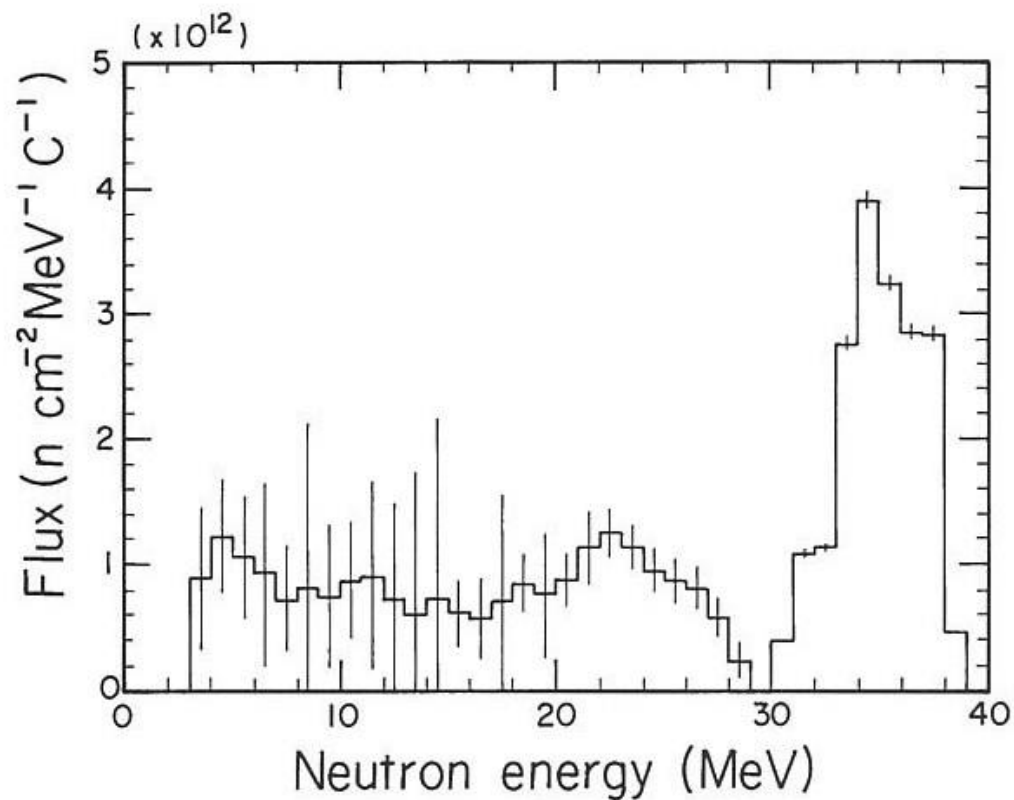
## p-Be中性子ターゲットシステム



p-Be中性子  
ターゲットシステム

図 1、ターゲットシステム断面図

# 中性子エネルギースペクトル (p-Be場)



**Fig. 1.** Neutron energy spectrum at a p-Be neutron field ( $E_p = 40$  MeV).

# p-Li 中性子ターゲットシステム

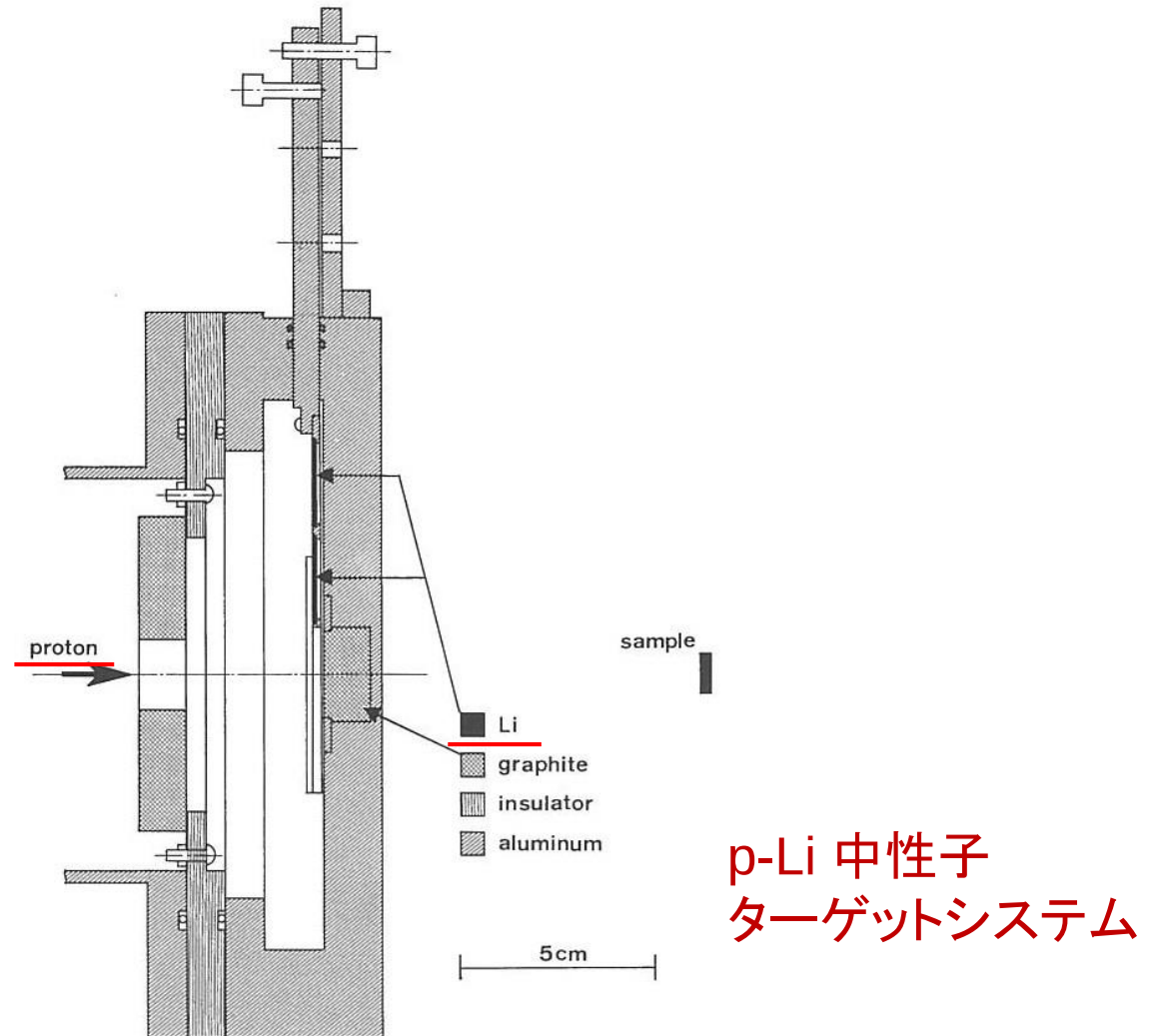
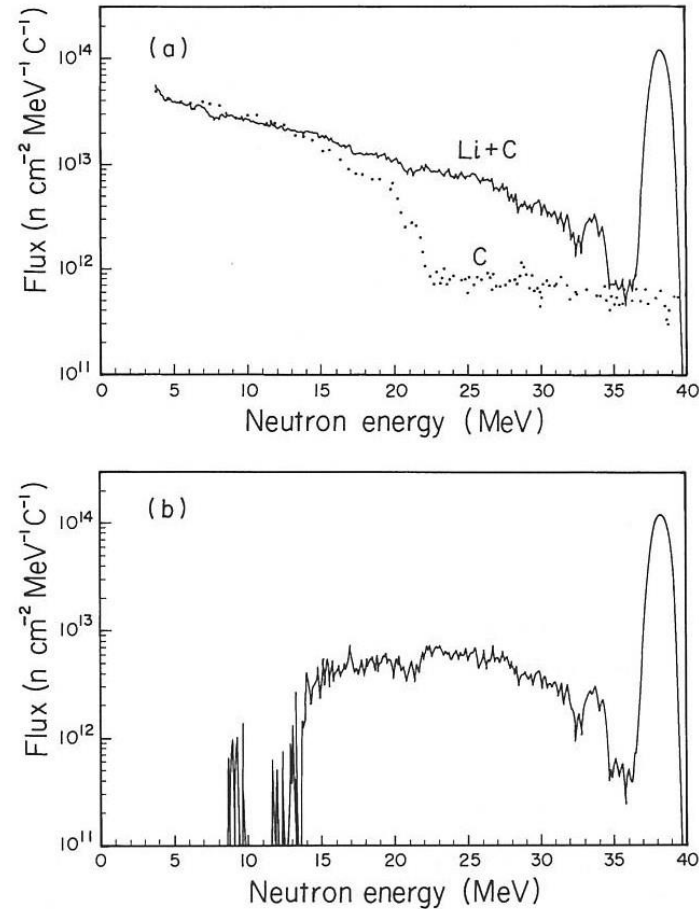


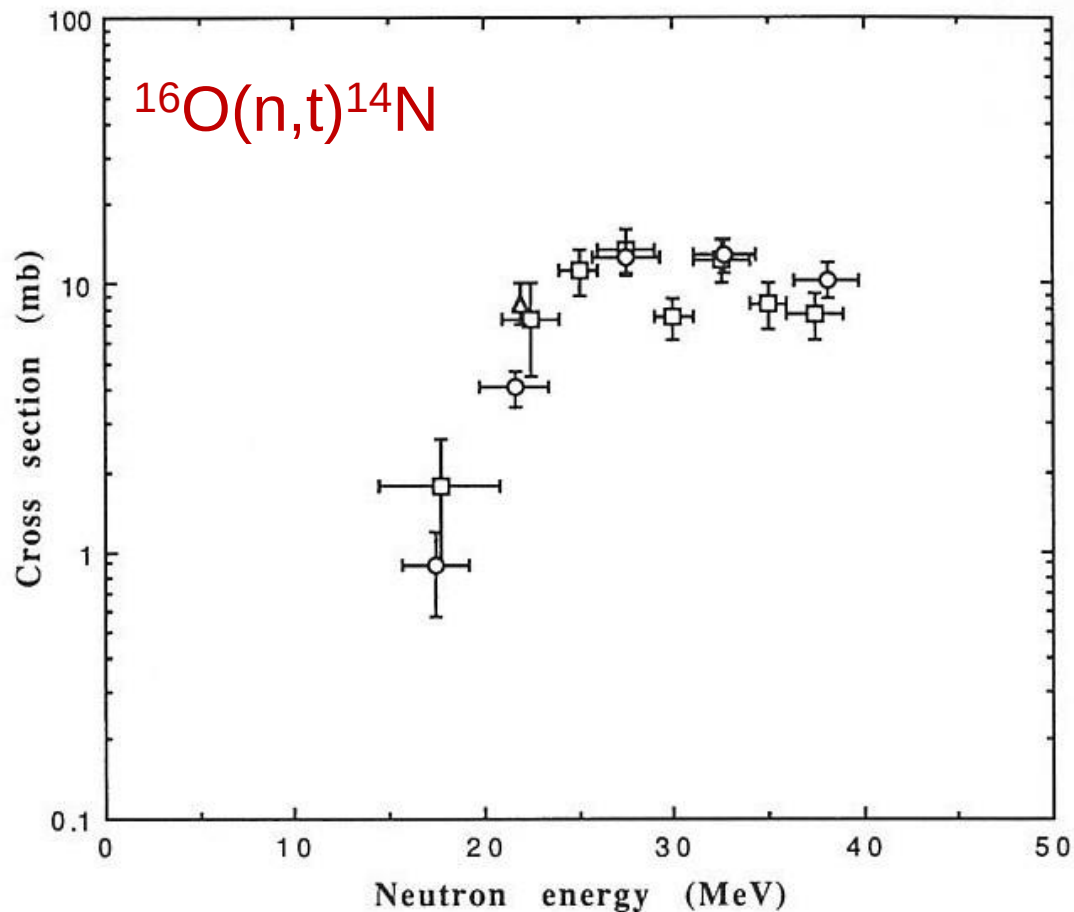
Fig. 2. Target system for a p-Li neutron field.

# 中性子エネルギースペクトル (p-Li 場)



**Fig. 3.** (a) Neutron energy spectra obtained from Li+C and C targets ( $E_p = 40$  MeV). (b) Neutron energy spectrum for Li target ( $E_p = 40$  MeV), the difference of the spectra from Li+C and C targets.

# $^{16}\text{O}(n,t)^{14}\text{N}$ の励起関数



**Fig. 5.** Excitation function for  $^{16}\text{O}(n,t)^{14}\text{N}$  reaction. ( $\square$ ): p-Be neutron, ( $\circ$ ): p-Li neutron, and ( $\triangle$ ): deuteron break-up neutron with continuous energy spectrum (FWHM = 15.8 MeV) [9].



# 放射性同位体の同定



$^{92}\text{Mo}$ ,  $^{96}\text{Mo}$ ,  $^{100}\text{Mo}$ ,  $^{89}\text{Y}$  + 800 MeV proton, 500MeV proton

Los Alamos Scientific Laboratory での実験



## Nuklidkarte (1974)

## Mo ターゲットの調製

Enriched  $^{92}\text{Mo}$ ,  $^{96}\text{Mo}$  or  $^{100}\text{Mo}$   
( metal powder )

↓  $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$   
Soln.

↓ evaporated  
Residue

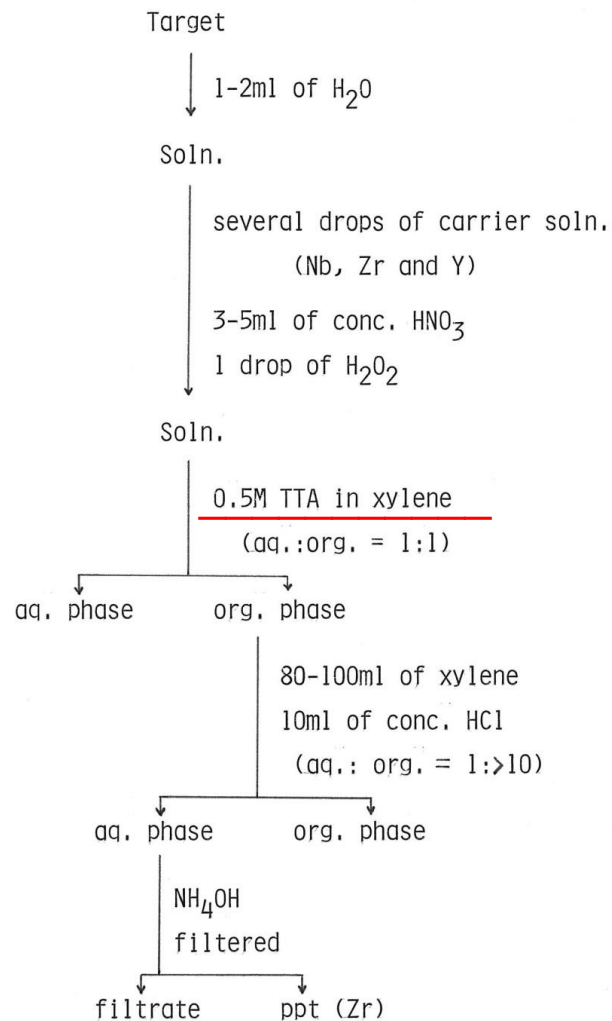
↓  $\text{NH}_4\text{OH}$   
Soln.

↓ evaporated  
Residue  
( Ammonium Molybdate )

Target preparation at  
Carnegie-Mellon Univ.

# Zr の化学分離

Zr chemistry



Zr chemistry developed  
at Carnegie-Mellon Univ.

Separation time: 7-8 min

## 測定された Zr の放射性同位体

### Decay Properties of Observed Nuclides

| Nuclide | Half-life | Gamma-ray<br>(keV) | Abundance<br>(%) |
|---------|-----------|--------------------|------------------|
| Zr-84   |           |                    |                  |
| 85      | 7.9 m     | 454                | 41.5             |
| 86      | 16.5 h    | 243                | 96.0             |
| 87      | 1.6 h     | 1228               | 4.0              |
| 88      | 83.4 d    | 393                | 97.3             |
| 89m     | 4.18m     | 588                | 89.5             |
| 89      | 78.5 h    | 909                | 99.9             |
| 95      | 64.0 d    | 757                | 54.6             |
| 97      | 16.8 h    | 743                | 93.3             |
| Y-84    | 40.0 m    | 793                | 98.0             |
| 87m     | 13.0 h    | 381                | 78.5             |

# γ線スペクトルの解析結果

NCS012.003;001  
EXPERIMENT 0. SPECTRUM 3. COUNTER 60 COUNT LENGTH 2. SHELF 2 SAMPLE TYPE 0  
ZERO ( 0) 0.00000 COUNT ( 0) 0.00000 READOUT 0.00000 GAIN 0.500 KEV/CH ZERO 0.0  
69 Zr 1

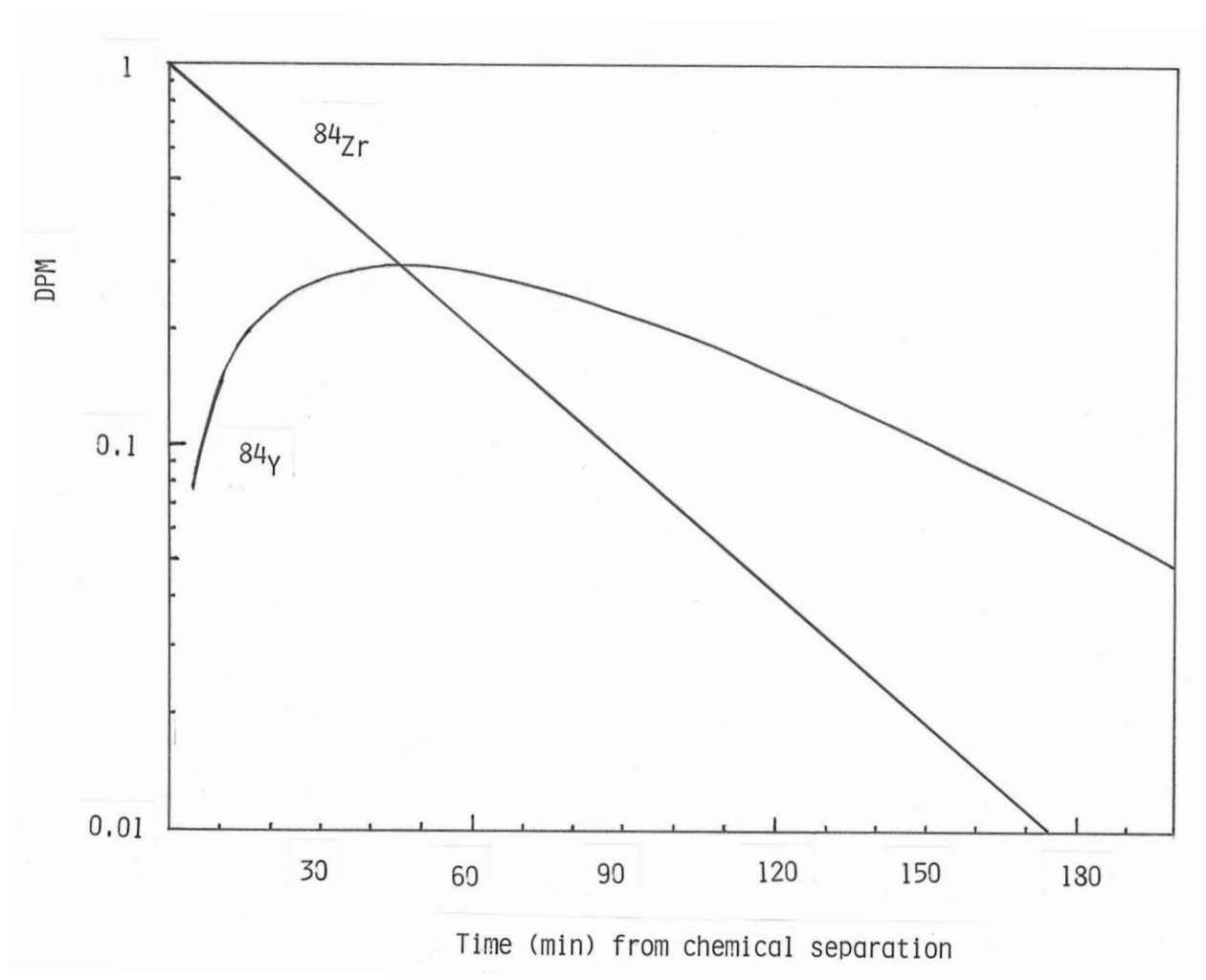
| CHANNEL | START  | END   | AREA  | ENERGY | CAMS/MIN | ERR       |         |
|---------|--------|-------|-------|--------|----------|-----------|---------|
| 1       | 225.7  | 221.  | 228.  | 538.   | 112.86   | 3.226E+02 | 8.2 ← ? |
| 2       | 251.0  | 246.  | 252.  | 108.   | 125.52   | 6.458E+01 | 28.5    |
| 3       | 263.6  | 260.  | 267.  | 227.   | 131.80   | 1.361E+02 | 21.6    |
| 4       | 464.0  | 462.  | 465.  | 135.   | 232.01   | 8.074E+01 | 21.2    |
| 5       | 486.3  | 483.  | 491.  | 2404.  | 243.15   | 1.442E+03 | 3.2     |
| 6       | 761.8  | 759.  | 763.  | 219.   | 380.90   | 1.315E+02 | 13.1    |
| 7       | 832.5  | 830.  | 836.  | 703.   | 416.27   | 4.218E+02 | 6.5     |
| 8       | 908.6  | 903.  | 913.  | 1099.  | 454.32   | 6.595E+02 | 5.3     |
| 9       | 1021.9 | 1009. | 1036. | 27748. | 510.94   | 1.665E+04 | 1.4     |
| 10      | 1175.8 | 1171. | 1178. | 227.   | 587.91   | 1.361E+02 | 11.9    |
| 11      | 1585.8 | 1581. | 1590. | 178.   | 792.88   | 1.071E+02 | 15.0    |
| 12      | 1815.1 | 1814. | 1816. | 31.    | 907.57   | 1.867E+01 | 30.4    |
| 13      | 1817.9 | 1816. | 1819. | 58.    | 908.50   | 3.476E+01 | 21.6    |
| 14      | 1930.9 | 1926. | 1934. | 77.    | 965.44   | 4.645E+01 | 35.3    |
| 15      | 2047.1 | 2043. | 2050. | 54.    | 1023.55  | 3.255E+01 | 30.7    |
| 16      | 2201.1 | 2201. | 2202. | 15.    | 1100.55  | 8.766E+00 | 33.7 ✓  |
| 17      | 2418.2 | 2416. | 2421. | 46.    | 1209.08  | 2.765E+01 | 29.1    |
| 18      | 2452.2 | 2449. | 2457. | 155.   | 1226.12  | 9.285E+01 | 15.5    |
| 19      | 2999.0 | 2999. | 2999. | 5.     | 1499.50  | 3.108E+00 | 54.6 ✓  |
| 20      | 3147.0 | 3147. | 3147. | 5.     | 1573.50  | 3.241E+00 | 52.4 ✓  |
| 21      | 3292.0 | 3292. | 3292. | 5.     | 1646.00  | 2.851E+00 | 55.7 ✓  |
| 22      | 3430.0 | 3430. | 3430. | 5.     | 1715.00  | 2.926E+00 | 54.3 ✓  |

Y85+Y85m  
Zr86  
Zr87-Y87m  
Zr85  
Zr89m  
Y84  
Zr89  
Zr87

未同定の112 keVの γ線を検出  
この γ線の減衰から半減期26 minと得られた。



## $^{84}\text{Y}$ の成長-壊変曲線



$^{84}\text{Zr}$ の半減期を26 minとした場合、 $^{84}\text{Zr}$ の壊変に伴う $^{84}\text{Y}$ の成長曲線

# 測定された $^{84}\text{Y}$ の成長-壊変曲線

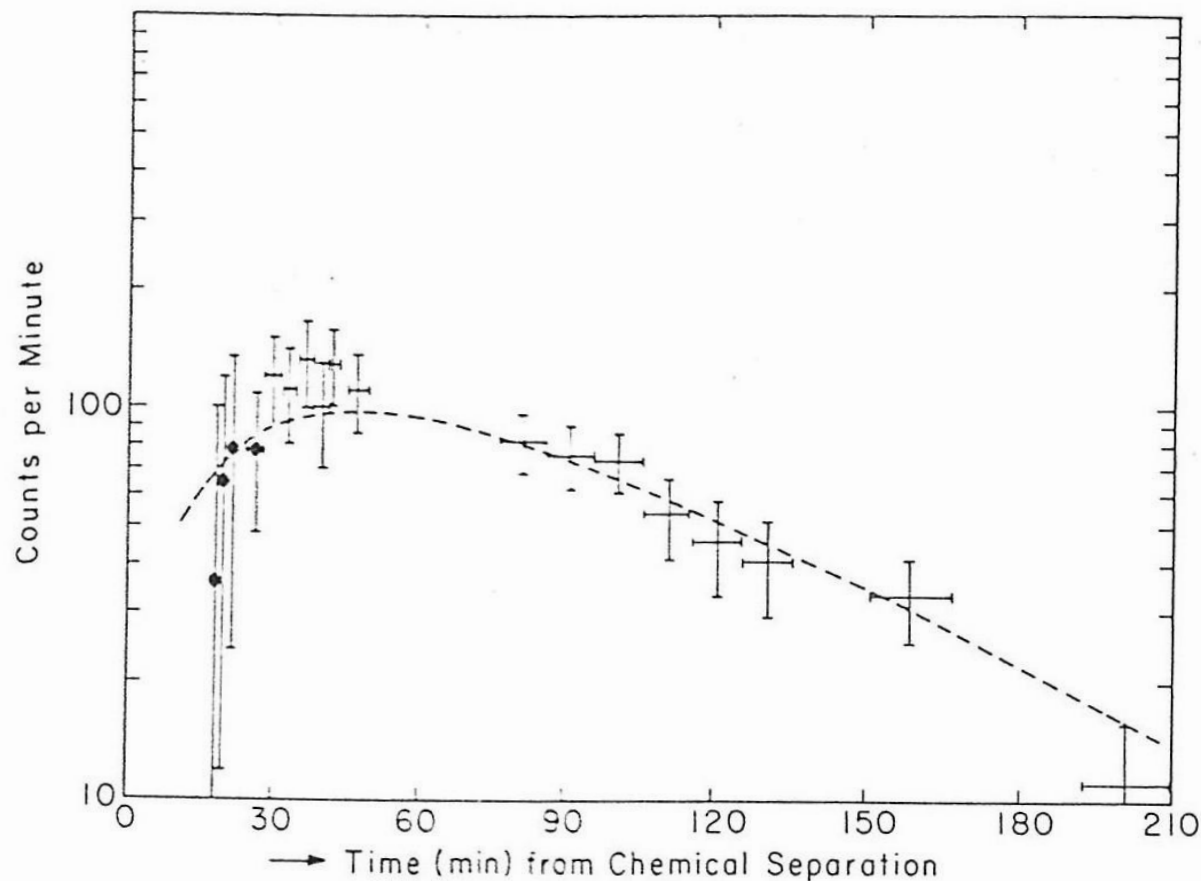


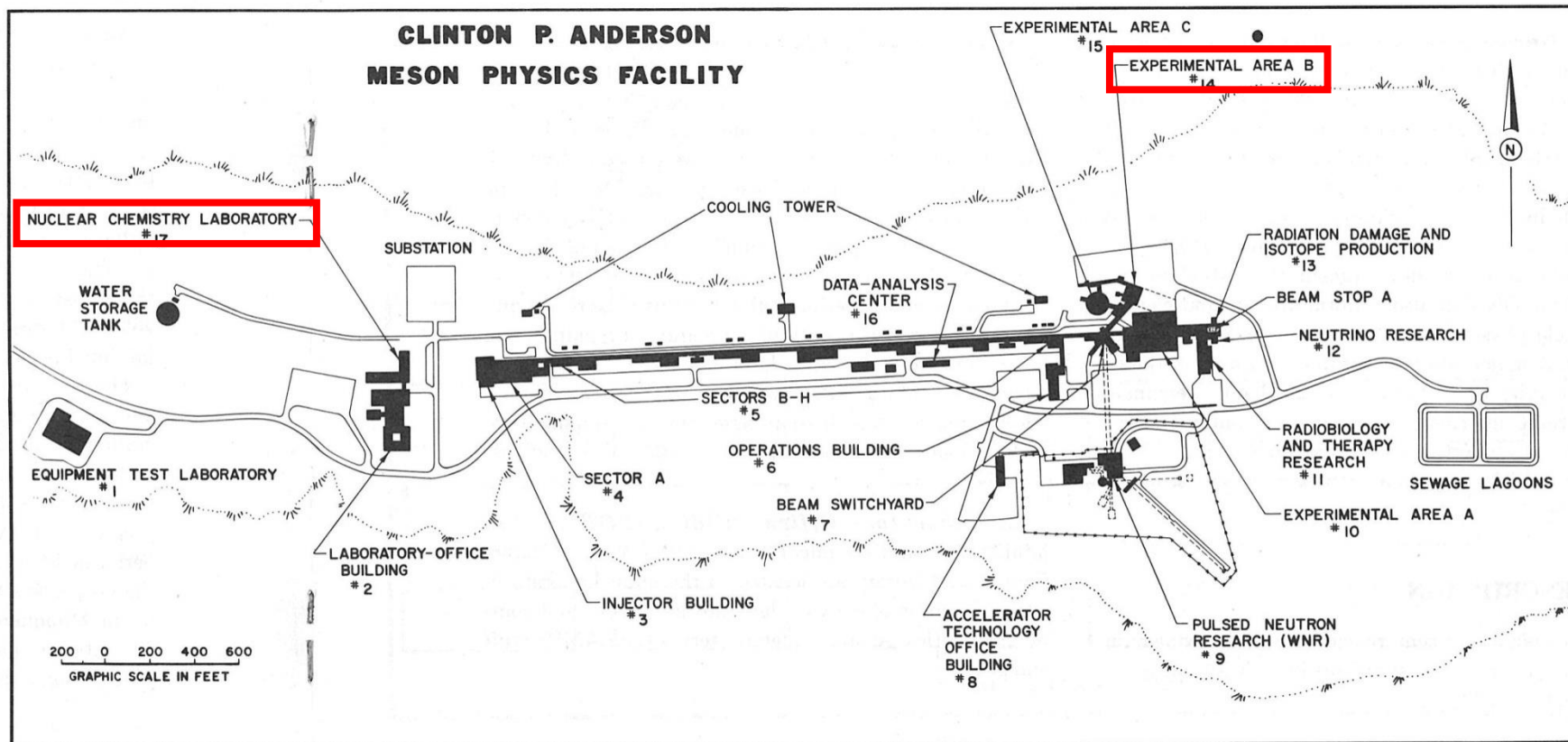
FIG. 1. Counting rate of 1040 keV  $\gamma$ -ray emitted from  $^{84}\text{Y}$  in a zirconium fraction plotted as a function of time. Target =  $^{92}\text{Mo}$  and  $E_p = 800$  MeV. Dotted curve corresponds to the predicted counting rate of the 1040 keV  $\gamma$ -ray produced from decay of  $^{84}\text{Zr}$ .

TABLE 1. Half-life of  $^{84}\text{Zr}$  from measurements of the 112.5 keV  $\gamma$  transition

| Target            | $E_p$ (MeV) | Half-life (min) |
|-------------------|-------------|-----------------|
| $^{92}\text{Mo}$  | 800         | $26.1 \pm 1.6$  |
| $^{92}\text{Mo}$  | 800         | $24.2 \pm 0.9$  |
| $^{96}\text{Mo}$  | 800         | $29.3 \pm 2.3$  |
| $^{92}\text{Mo}$  | 800         | $27.8 \pm 1.2$  |
| $^{100}\text{Mo}$ | 800         | $23.4 \pm 2.1$  |
| $^{92}\text{Mo}$  | 800         | $25.8 \pm 1.0$  |
| $^{92}\text{Mo}$  | 500         | $26.4 \pm 2.6$  |
| Weighted mean     |             | $25.7 \pm 0.5$  |



# Los Alamos Meson Physics Facility (LAMPF)



# ニュートリノの質量測定(LB膜線源調製)

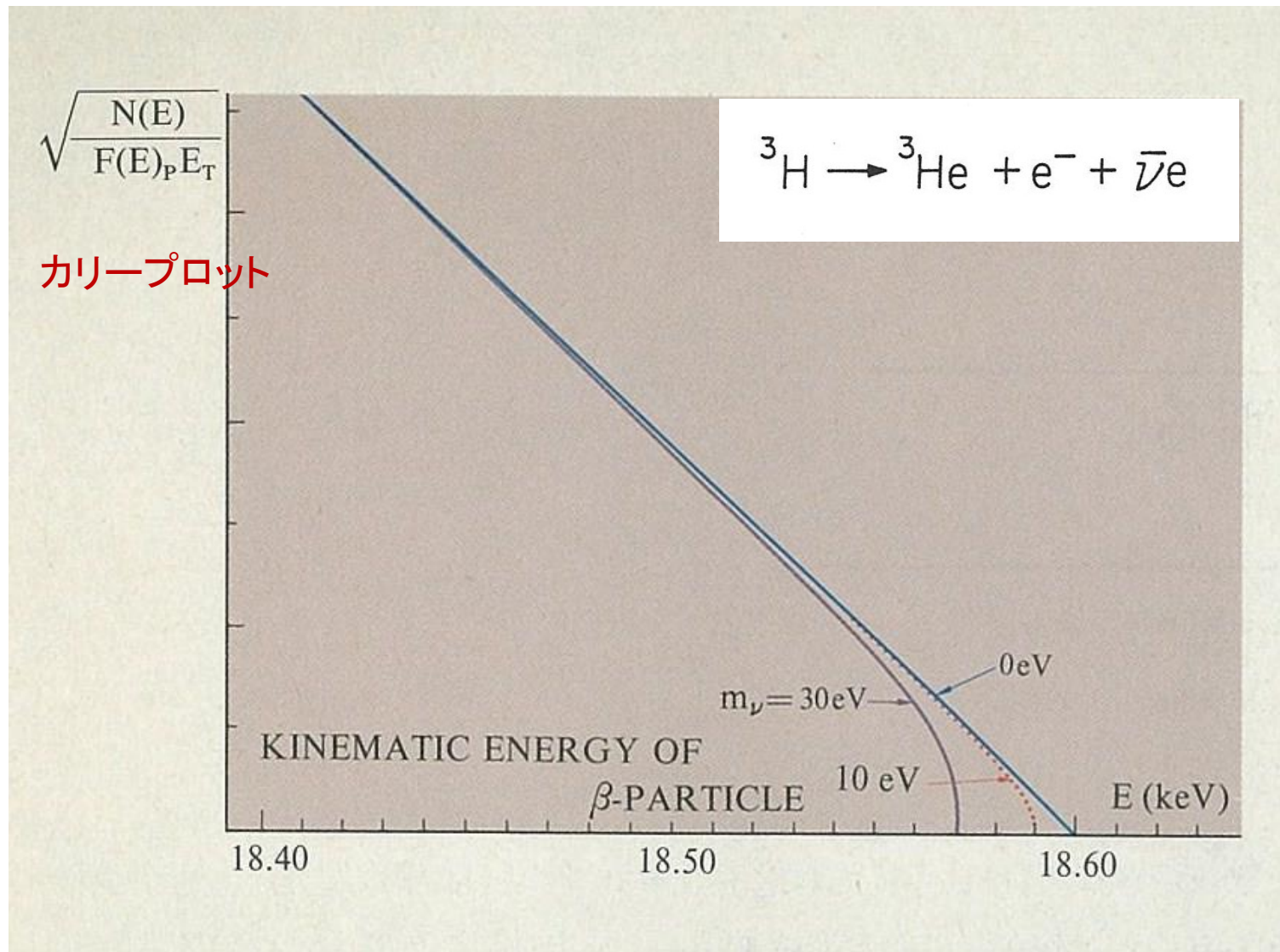
Table 1. Direct measurements of electron anti-neutrino mass

| year | mass<br>value<br>(eV/c <sup>2</sup> ) | confid.<br>level<br>(%) | first author | (institute)*  | ref.    |
|------|---------------------------------------|-------------------------|--------------|---------------|---------|
| 1948 | <5000                                 |                         | Cook         | (Indiana)     | Coo48   |
| 1949 | <1700                                 |                         | Curran       | (Glasgow)     | Cur49   |
| 1949 | < 500                                 |                         | Hanna        | (Chalk River) | Han49   |
| 1951 | < 250                                 |                         | Hamilton     | (Princeton)   | Ham51   |
| 1952 | < 250                                 |                         | Langer       | (Indiana)     | Lan52   |
| 1953 | < 150                                 |                         | Hamilton     | (Princeton)   | Ham53   |
| 1958 | <1000                                 |                         | Friedman     | (BNL)         | Fri58   |
| 1968 | <4100                                 | 67                      | Beck         | (MPI)         | Bec68   |
| 1969 | < 200                                 | 80                      | Salgo        | (Zürich)      | Sal69   |
| 1969 | < 75                                  | 67                      | Daris        | (Quebec)      | Dar69   |
| 1972 | < 55-60                               | 90                      | Bergkvist    | (Stockholm)   | Ber72   |
| 1973 | < 100                                 |                         | Piel         | (Indiana)     | Pie73   |
| 1976 | < 35                                  | 90                      | Trechakov    | (ITEP)        | Tre76   |
| 1980 | <u>14 ~ 46</u>                        | 99                      | Lubimov      | (ITEP)        | Lub80 ← |
| 1981 | < 65                                  | 95                      | Simpson      | (Guelph)      | Sim81   |
| 1983 | < 50                                  | 90                      | Derbin       | (Leningrad)   | Der83   |
| 1985 | 20 ~ 45                               | 90                      | Boris        | (ITEP)        | Bor85   |
| 1986 | 17 ~ 40                               | 90                      | Lubimov      | (ITEP)        | Lub86   |
| 1986 | < 18                                  | 95                      | Fritschi     | (Zürich)      | Fri86   |
| 1987 | < 32                                  | 95                      | Kawakami     | (INS)         | Kaw87   |
| 1987 | < 27                                  | 95                      | Wilkerson    | (LANL)        | Wil87   |
| 1988 | < 29                                  | 95                      | Kawakami     | (INS)         | Kaw88a  |
| 1991 | < 13                                  | 95                      | Kawakami     | (INS)         | Kaw91   |
| 1991 | < 9.3                                 | 95                      | Robertson    | (LANL)        | Rob91   |
| 1992 | < 11                                  | 95                      | Holzschuh    | (Zürich)      | Hol92   |

\* BNL: Brookhaven National Laboratory (USA)  
 MPI: Max. Planck Institut für Kernphysik (Germany)  
 ITEP: Institute for Theoretical and Experimental Physics, (Russia)  
 INS: Institute for Nuclear Study (JAPAN)  
 LANL: Los Alamos National Laboratory (USA)



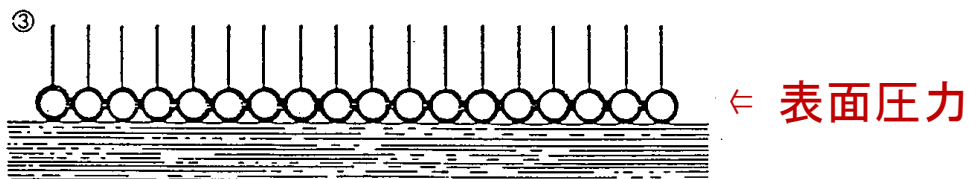
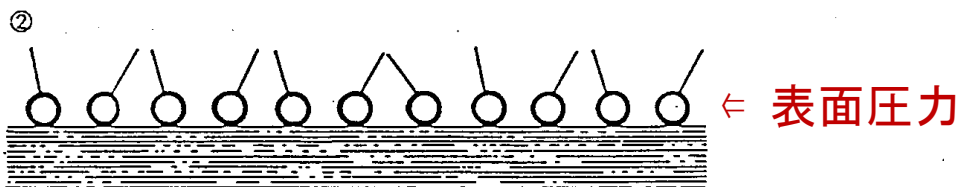
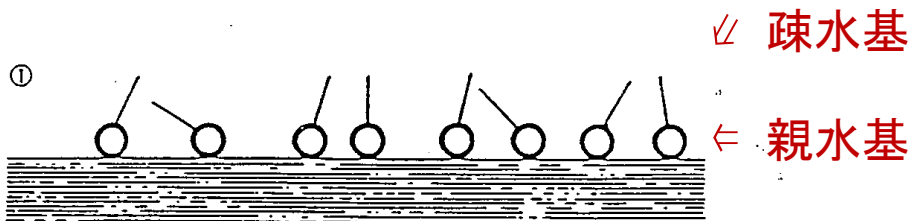
# トリチウムの $\beta$ 線スペクトル



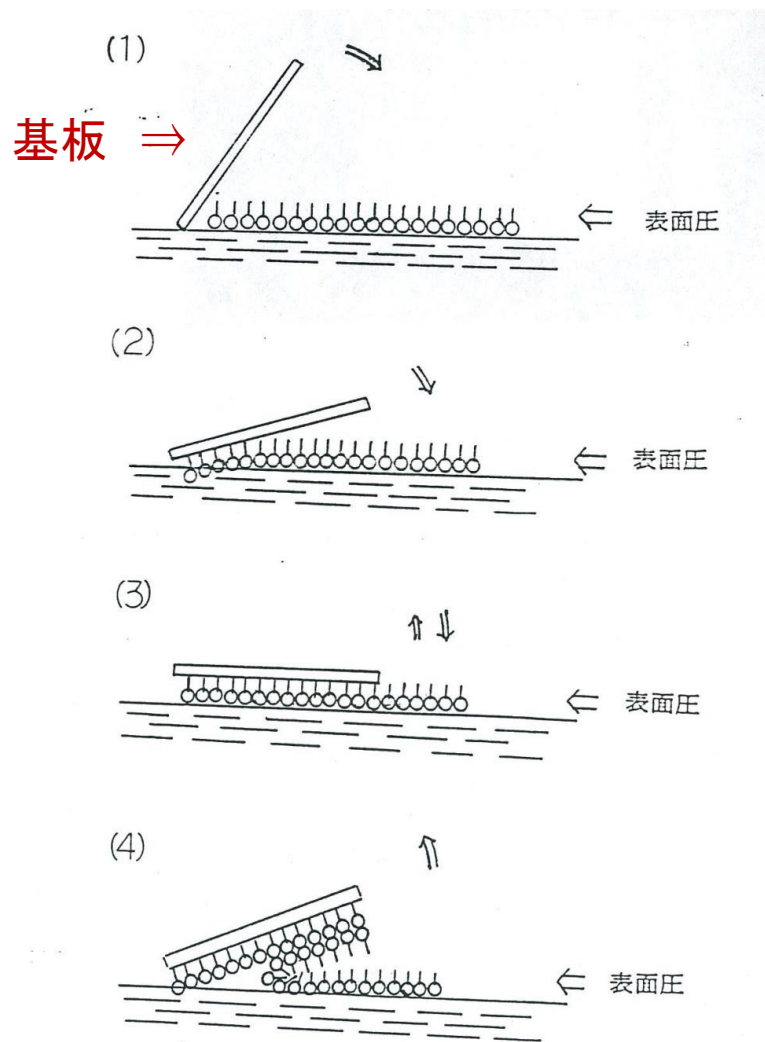
# 単分子膜の調製

- ①分子がまだばらばらになっているときの分子の状態
- ②親水性の部分を下にしてすし寄せられてきたとき
- ③一分子層の膜になっている。

下層液 ⇒



## LB膜累積過程

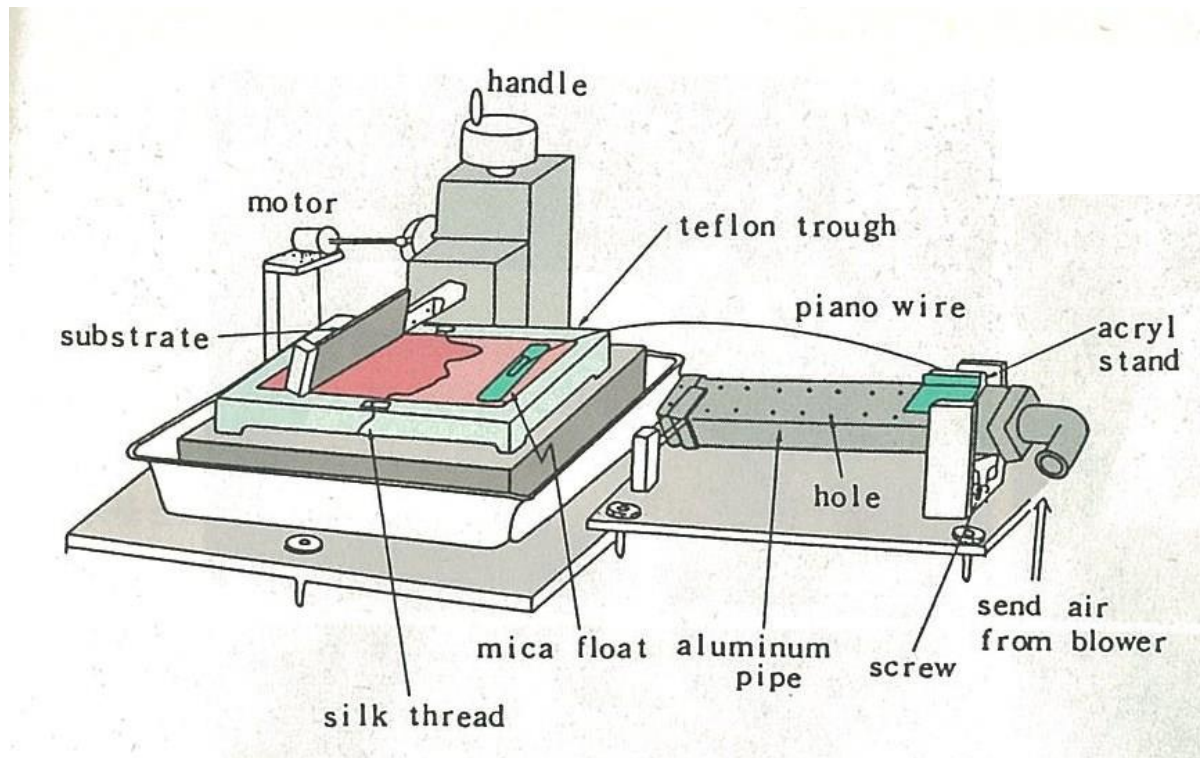


水平付着法

## Langmuir – Blodgett (LB) 法による線源調製

### Langmuir – Blodgett (LB) 法

線源の厚さが単分子膜厚単位で制御可能で非常に薄く、しかも分子サイズのレベルで均一で、さらに線源の面積を大きくすることで放射能強度を高くすることができる。

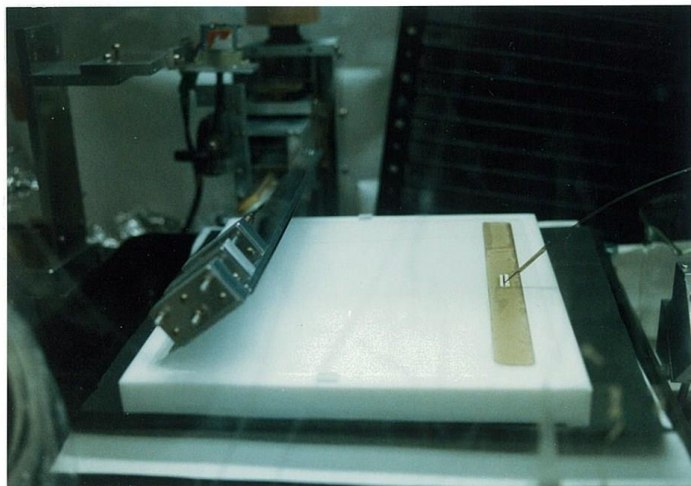


LB膜累積装置(図の左側)、表面圧力発生装置(図の右側)

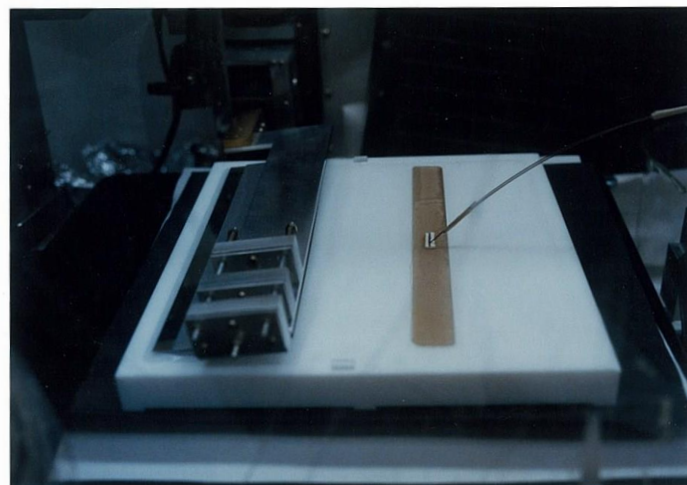


## LB膜累積過程

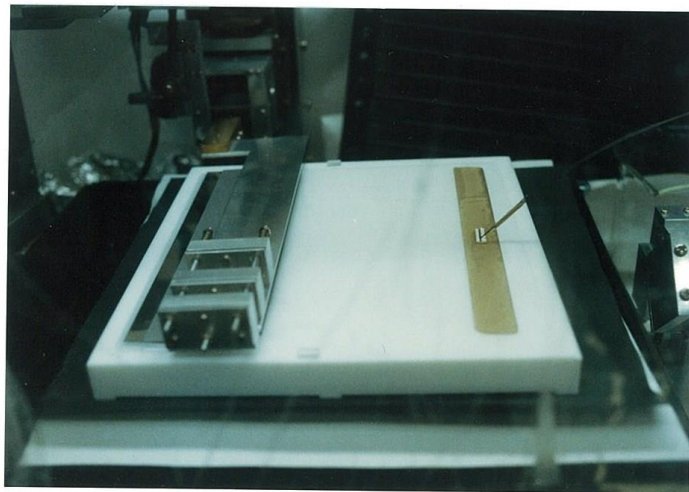
(1)



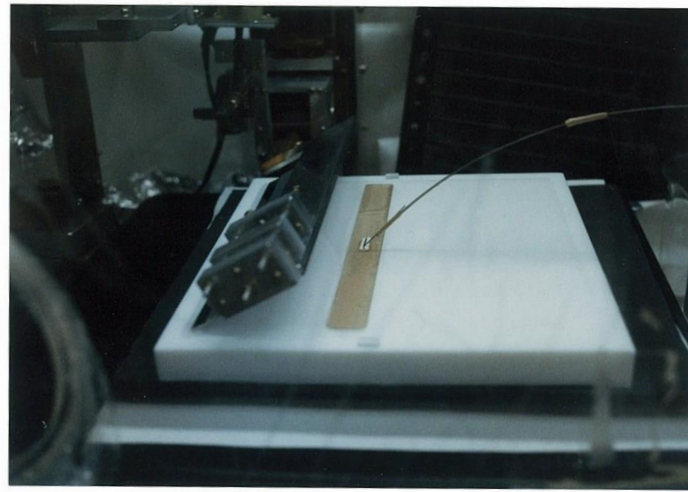
(3)



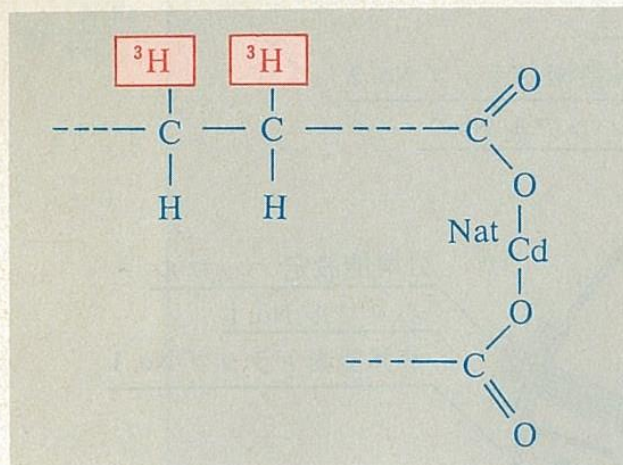
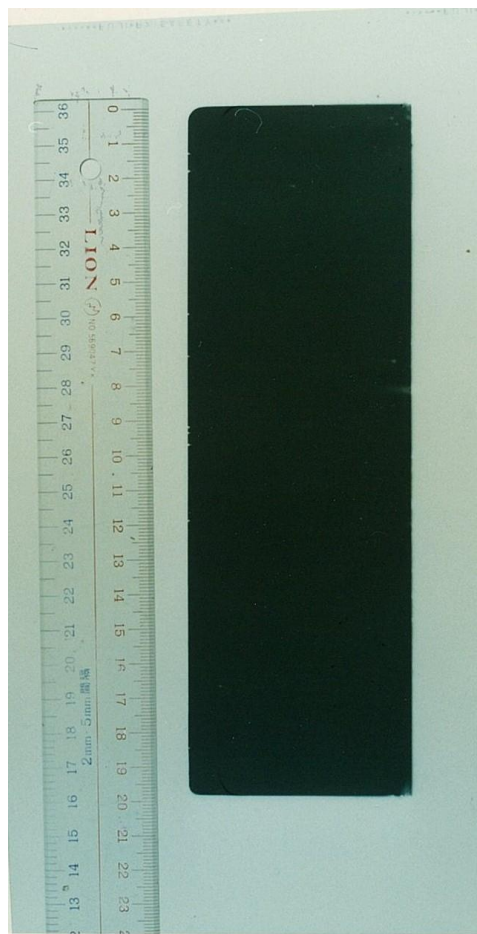
(2)



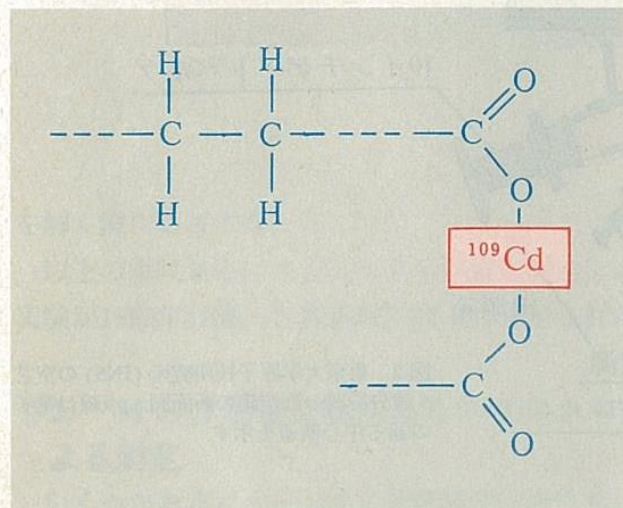
(4)



# LB膜線源

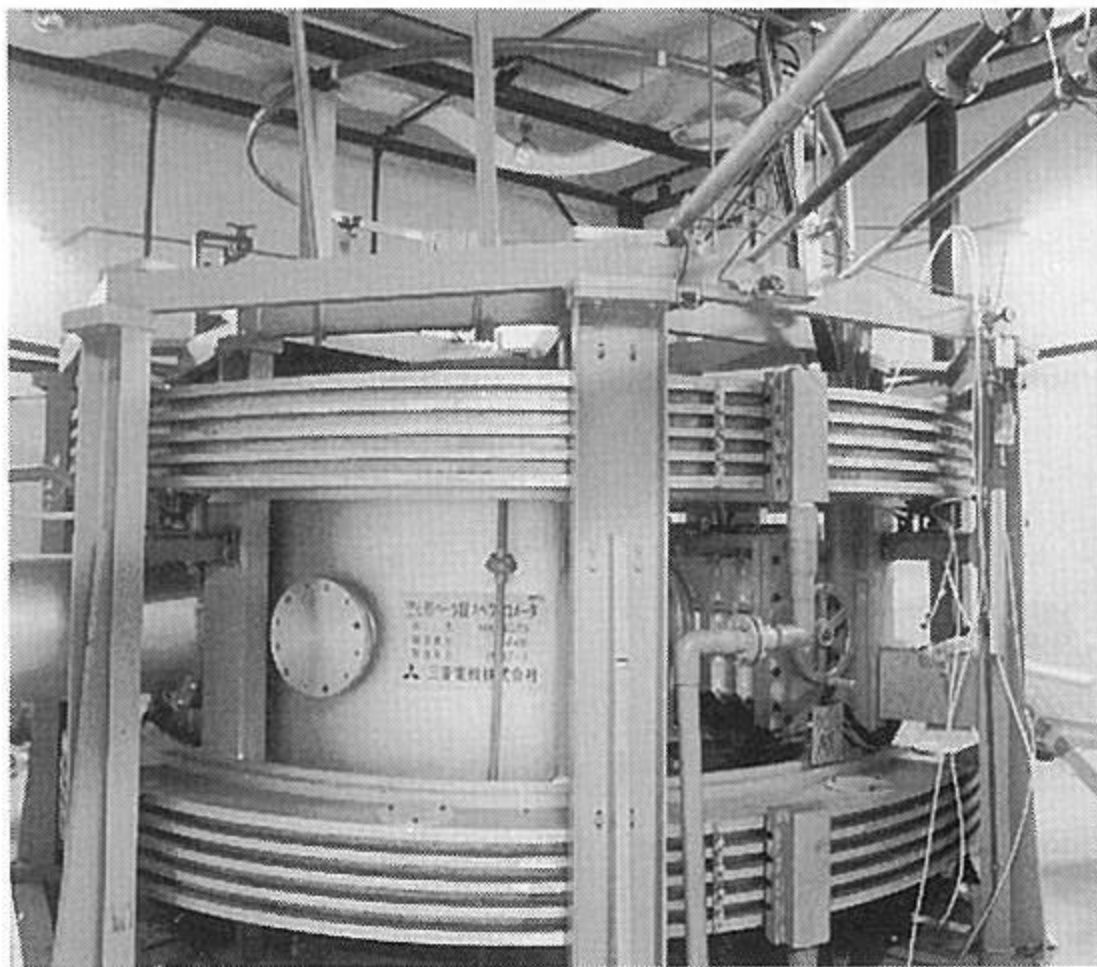


トリチウム線源  
( $\sim 10^9$  Bq)



標準線源( ${}^{109}\text{Cd}$ )  
( $\sim 10^7$  Bq)





▲空芯ベータ線分析器

# トリチウムの $\beta$ 線スペクトル (18.4 – 18.7 KeV)

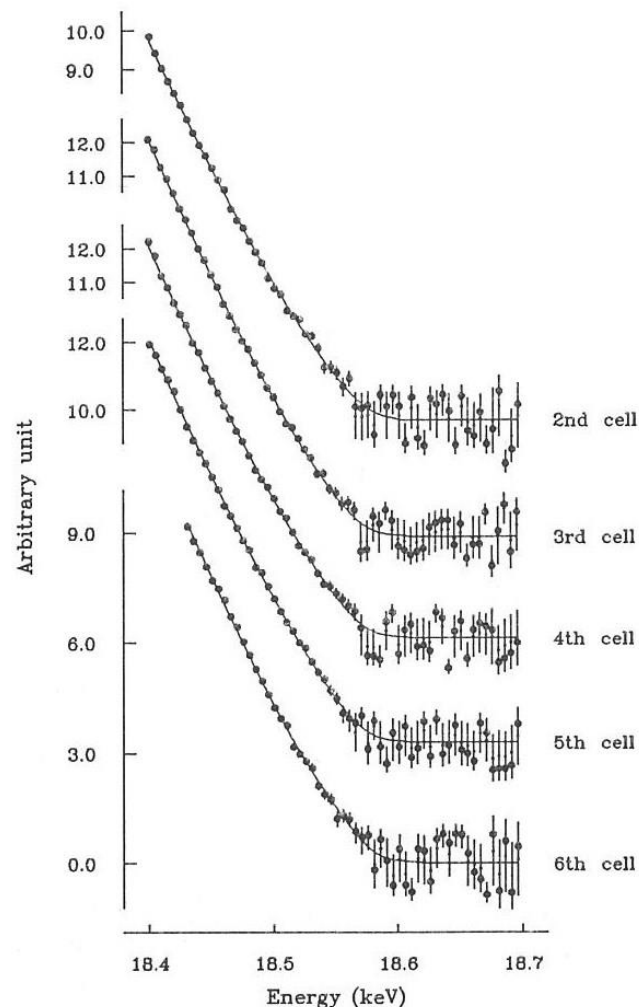


Fig. 3. Observed data and the best fit curves are shown for the energy region from 18.4 to 18.7 keV in the form of Kurie plots. The detection efficiency  $\eta$  is corrected and overlapping data are summed up in the figure.

最終結果  
 $m_\nu < 13 \text{ eV}$

Lubimovらの  
報告を否定  
する結果が  
得られた。

# オージェ電子スペクトル

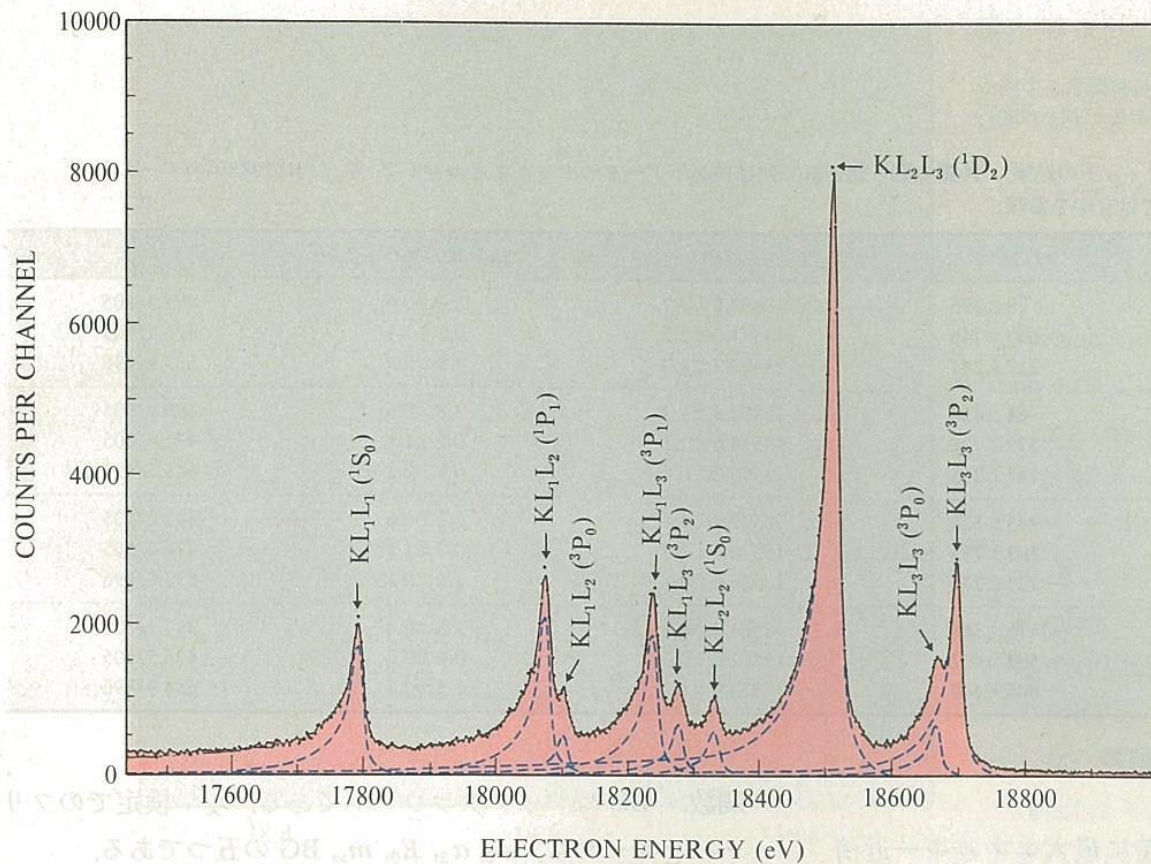


図4  $^{109}\text{Cd}$  の電子捕獲崩壊後の Ag の KLL オージェ・スペクトル.  
(H. Kawakami, *et al.*: Phys. Lett. 121A (1987) 414 より転載.)

## 放射性同位体の利用拡大を期待して (3)

このような状況の打開に向けて、2016年度から文科省・新学術領域研究・学術研究基盤形成事業「短寿命RI供給プラットフォーム」がスタートしています。RI利用の裾野を拡げ、利用者の拡大とRI利用科学の発展に資することを目指して、多様な分野の学術研究に用いられる短寿命のRIの供給が進められています。最近、アルファ線を放出するRIを用いた核医学治療が注目を集めています。このためには治療に用いるRIを加速器あるいは原子炉を用いて製造し、化学的な分離操作により純粋な形で抽出し、提供しなければなりません。これらのニーズに応えるためにもRI利用研究の重要性が再認識され、多方面での今後の進展を期待しています。

放計協ニュース No.69 Apr. 2022