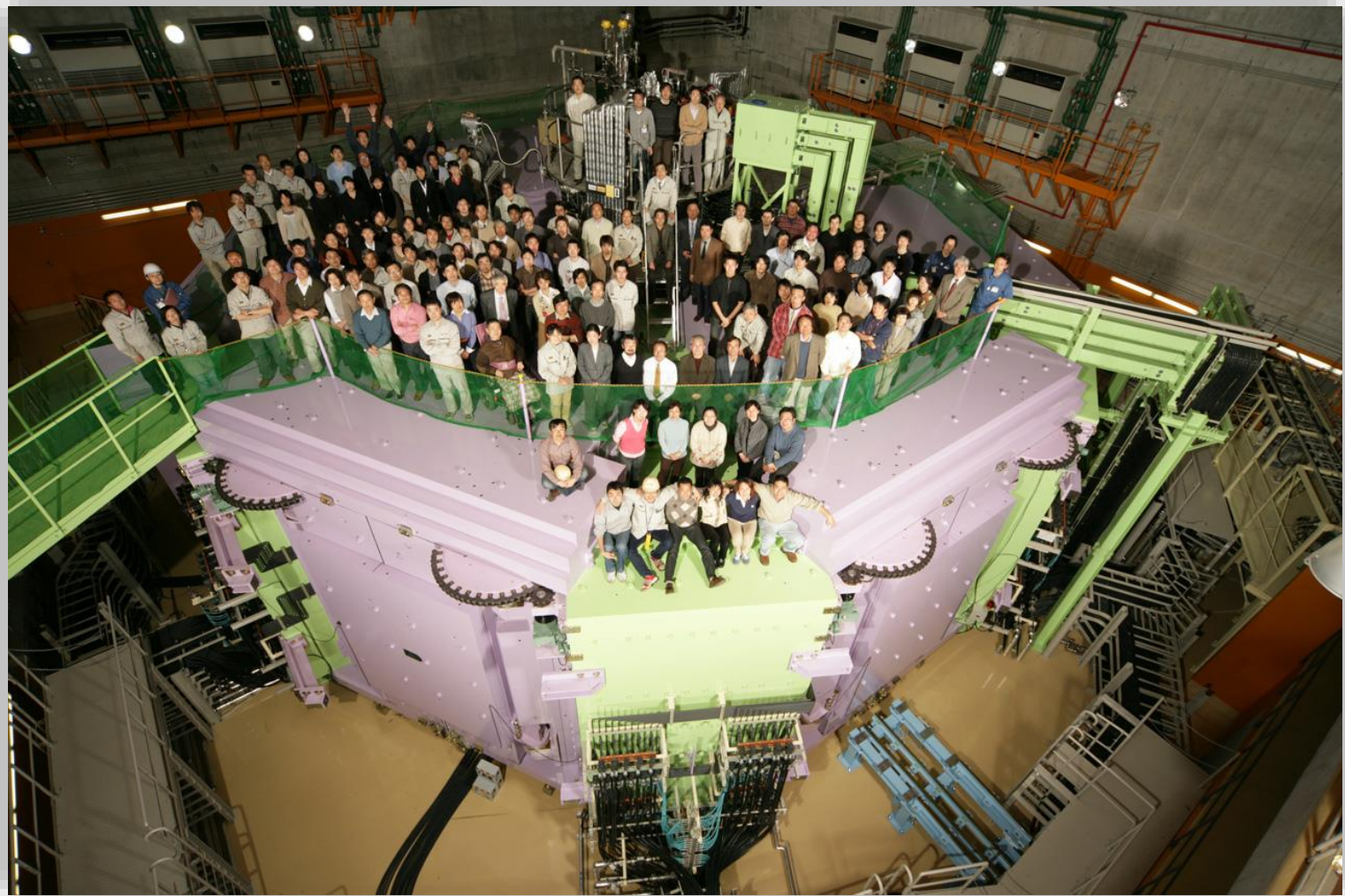


仁科先生の小サイクロトロン  
(理研第1号)  
日本初、世界で2番目のサイクロトロン

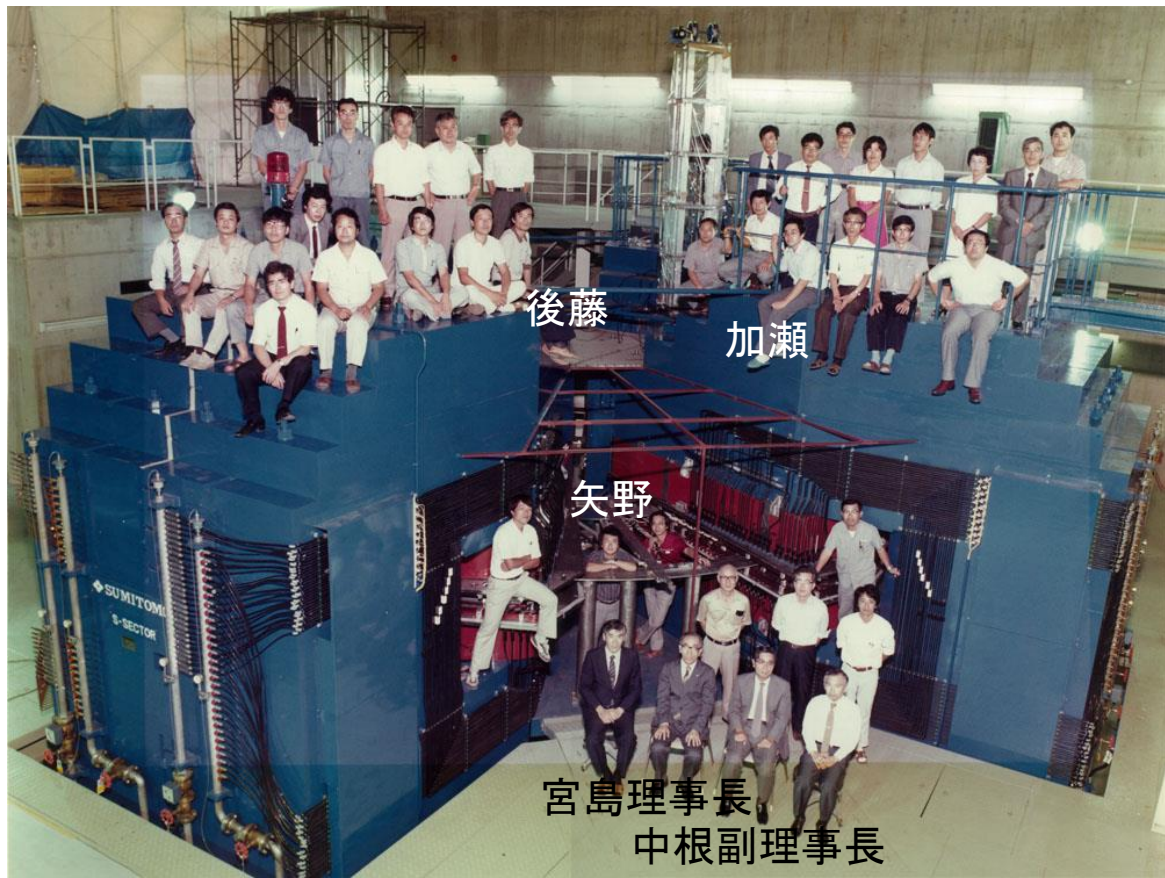


理研第9号サイクロトロン  
世界最大、世界初の超伝導サイクロトロン  
世界に冠絶する元素変換力



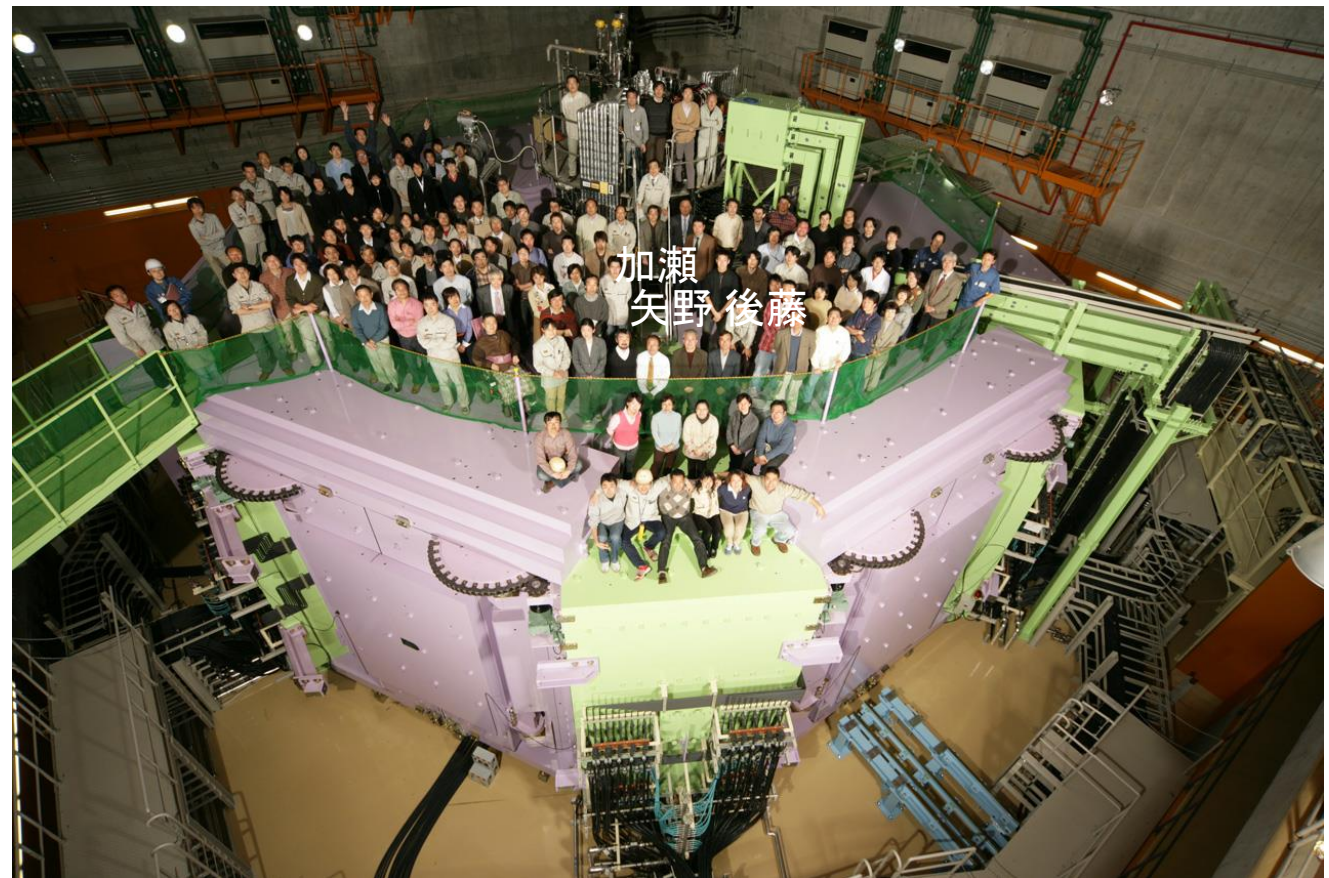


小サイクロロン電磁石モニュメント(駒込より移設)



(お二人とも仁科先生のお弟子さん)

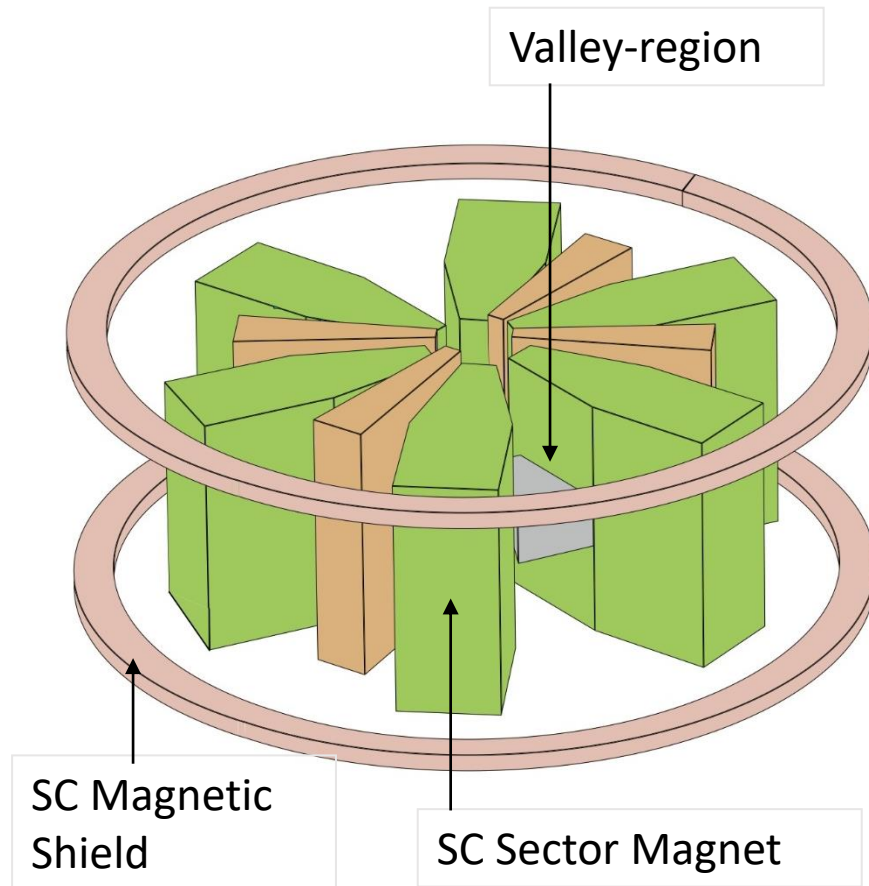
第5号サイクロトロン  
日本初の重イオン加速器



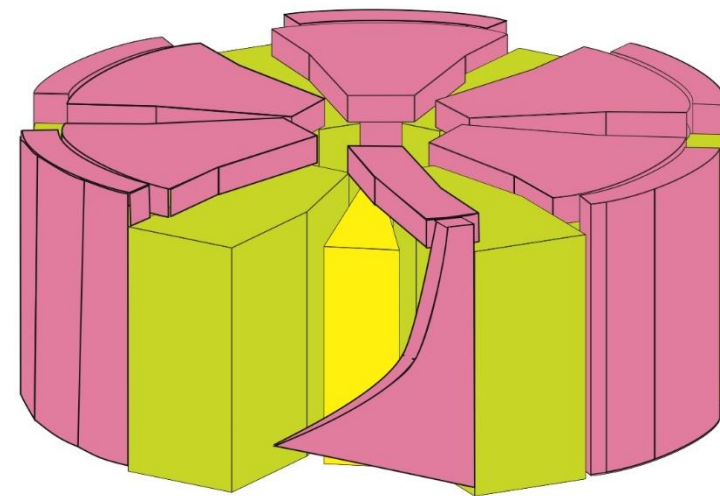
第9号サイクロトロン  
世界最大重イオンサイクロトロン  
世界に冠絶する元素変換力

In 1998 we concluded: Present design of SRC has too many problems to be solved to realize, because valley-region leakage flux is too large.

## My God! : The second struggle



In 1999 I decided: Cover valley-regions with thick iron plates to absorb leakage flux.



8,000 tons

# Superconducting Ring Cyclotron (SRC)

World's First, World's Strongest, World's Heaviest

K = 2,600 MeV

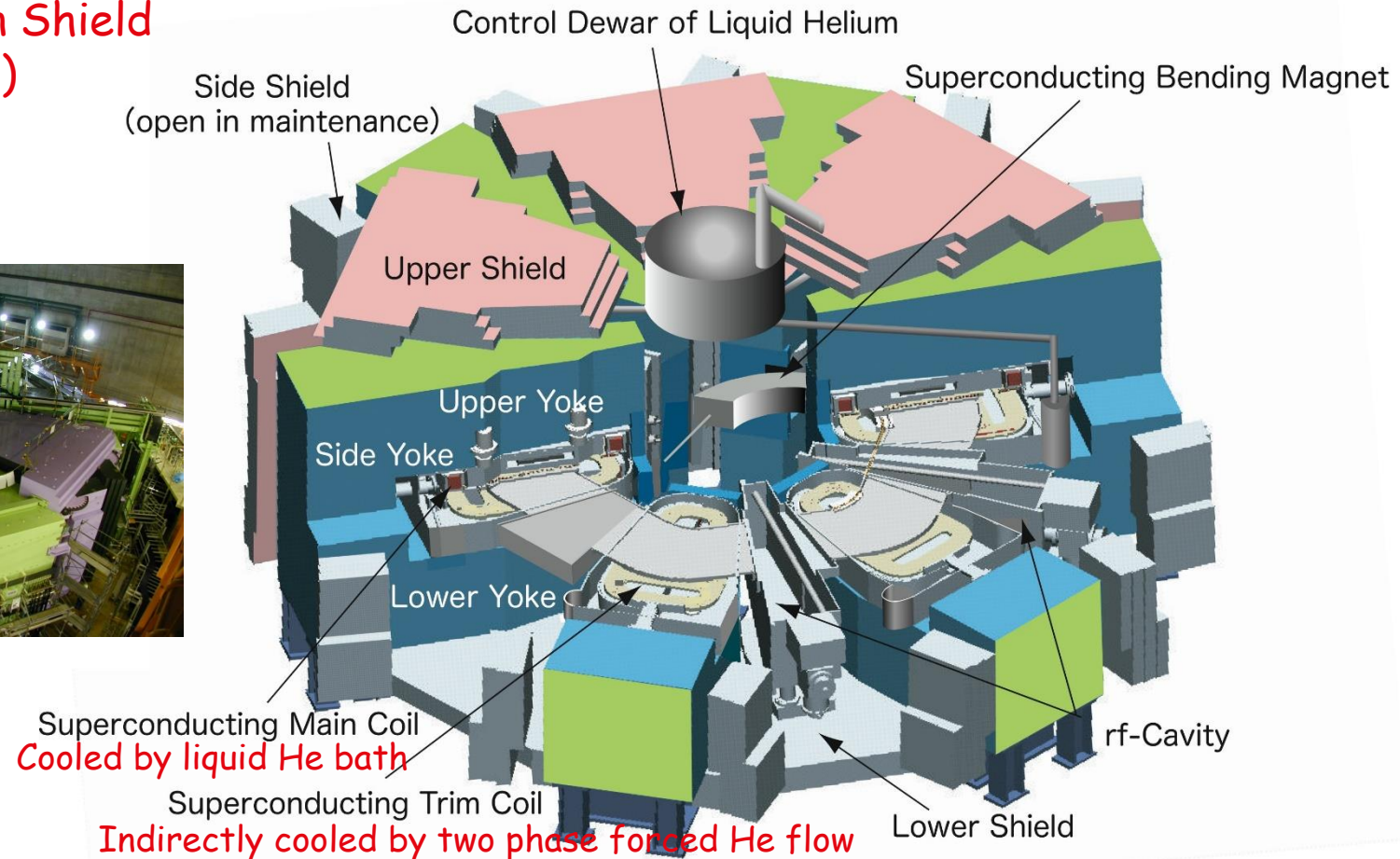
Self Magnetic Shield

Self Radiation Shield

3.8T (240 MJ)

18-38 MHz

8,300 tons



# 矢野安重特別顧問がGersh Budker賞を受賞

仁科加速器研究センターの矢野安重特別顧問（前センター長）がGersh Budker賞を受賞しました。

この賞は、加速器科学分野において顕著な貢献を果たした研究者に対して欧州物理学会加速器部会から贈呈されるものです。

矢野特別顧問は、世界で初めて世界最大の「超伝導リングサイクロトロン」を建造し、世界に冠絶する性能を有する「理研RIビームファクトリー」を創り上げました。この革新性とリーダーシップが高く評価されました。

授賞式は9月8日にスペインで開催された第2回世界加速器会議において執り行われました。

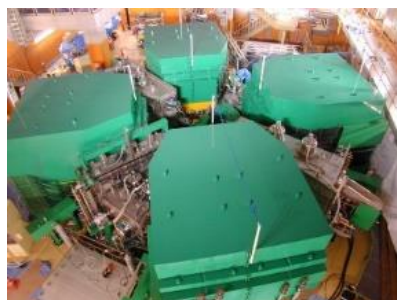


## EPS-AG Prize Medal



# 多段式重イオン加速と破碎反応による RI ビームの発生

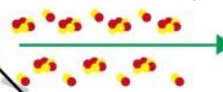
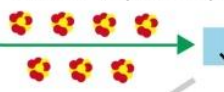
重イオン源



100億ボルト!!

一次ビーム  
重イオン(ウラン)

二次ビーム  
入射核破砕片(ウラン核分裂片)



標的物質

分析電磁石

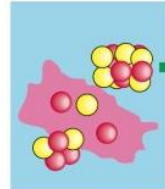
入射核破砕反応の場合

(反応前)



標的核

(反応中)



(反応後)



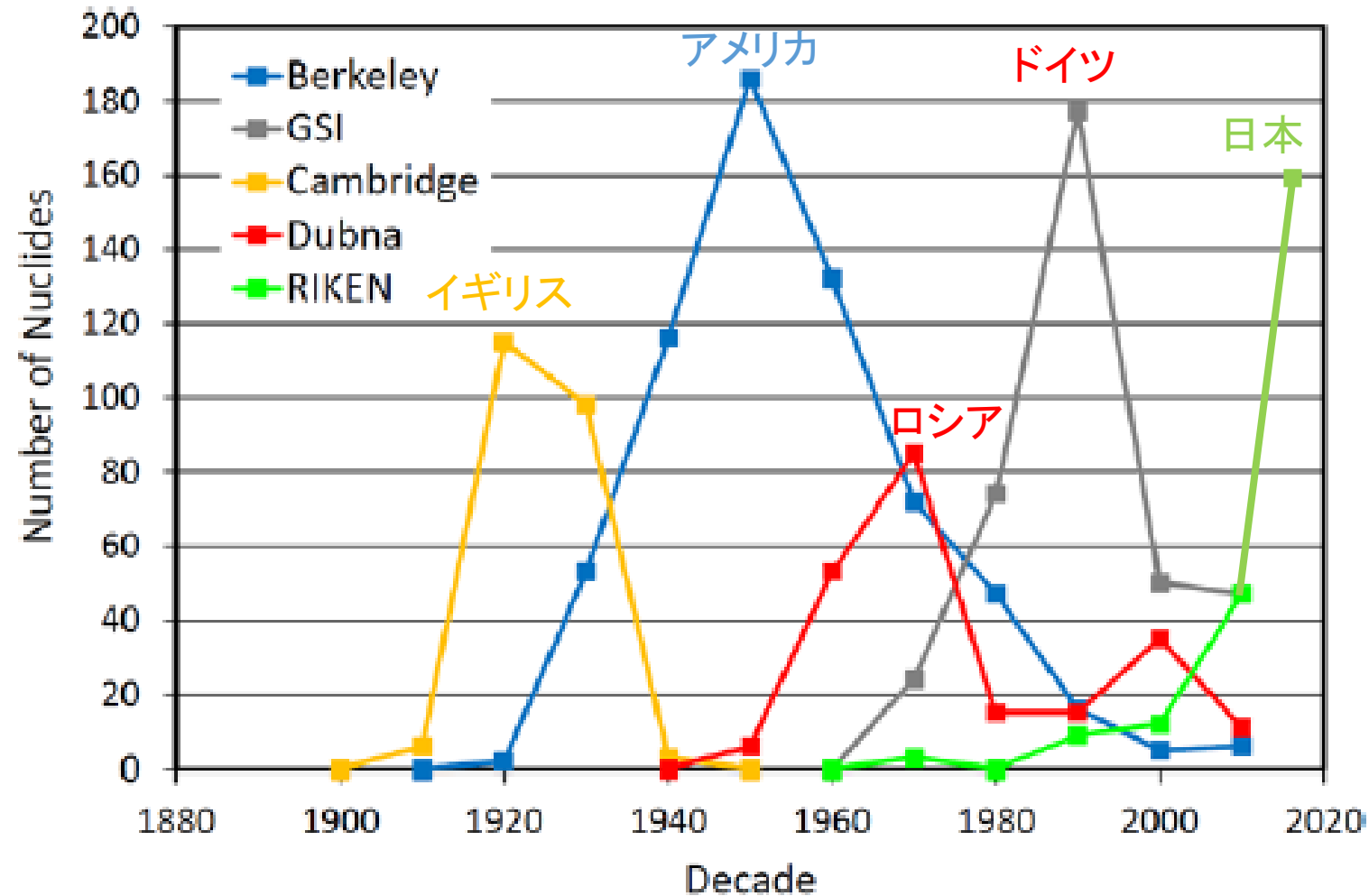
RIビーム

各種の実験装置へ





発見した新同位元素の数の比較



**Figure 1.** Number of nuclides discovered per decade at the top four laboratories, Berkeley, GSI, Cambridge, and Dubna. In addition, RIKEN is included because of the significant number discovered during the last decade.

**世界に冠絶する**  
**新同位元素発見・力**  
**RIBF**

「放射性廃棄物の処理方法」が「21世紀発明賞」を受賞  
 公益社団法人発明協会平成30年度全国発明表彰



### 核廃棄物「変換」に活路

原子力発電所の廃止に伴って増える放射性廃棄物の処理方法として、原子力発電所が「核廃棄物変換」の研究を進めている。従来の核燃料サイクルとは異なり、核燃料の燃焼後に発生する放射性廃棄物を、原子力発電所で再び核燃料として利用できるようにする。これにより、放射性廃棄物の量を大幅に削減できる見込みだ。

原子力発電所の廃止に伴って増える放射性廃棄物の処理方法として、原子力発電所が「核廃棄物変換」の研究を進めている。従来の核燃料サイクルとは異なり、核燃料の燃焼後に発生する放射性廃棄物を、原子力発電所で再び核燃料として利用できるようにする。これにより、放射性廃棄物の量を大幅に削減できる見込みだ。

### 安定な物質へデータ取得開始

原子力発電所の廃止に伴って増える放射性廃棄物の処理方法として、原子力発電所が「核廃棄物変換」の研究を進めている。従来の核燃料サイクルとは異なり、核燃料の燃焼後に発生する放射性廃棄物を、原子力発電所で再び核燃料として利用できるようにする。これにより、放射性廃棄物の量を大幅に削減できる見込みだ。

原子力発電所の廃止に伴って増える放射性廃棄物の処理方法として、原子力発電所が「核廃棄物変換」の研究を進めている。従来の核燃料サイクルとは異なり、核燃料の燃焼後に発生する放射性廃棄物を、原子力発電所で再び核燃料として利用できるようにする。これにより、放射性廃棄物の量を大幅に削減できる見込みだ。

### 放射性廃棄物「高レベル」処分場未定

原子力発電所や原子力研究所から発生する放射性廃棄物を処分する際に、高レベル放射性廃棄物の処分場が未定である。高レベル放射性廃棄物は、放射性物質の濃度が高く、長期間にわたって放射能を放出する。そのため、適切な処分方法と処分場の確保が急務となっている。

高レベル放射性廃棄物の処分方法は、ガラス固化法と深地層処分法が主流となっている。ガラス固化法は、放射性廃棄物をガラスに封入して安定化させる方法で、深地層処分法は、地下深くに処分場を掘削して放射性廃棄物を埋め込む方法だ。

原子力発電所の廃止に伴って増える放射性廃棄物の処理方法として、原子力発電所が「核廃棄物変換」の研究を進めている。従来の核燃料サイクルとは異なり、核燃料の燃焼後に発生する放射性廃棄物を、原子力発電所で再び核燃料として利用できるようにする。これにより、放射性廃棄物の量を大幅に削減できる見込みだ。

## 「核のごみ」から希少金属

放射性廃棄物変換研究のイメージ

新しいごみ 核分裂生成物 (FF)

マイナーアクチノイド (MA)

加速器で別物質に変換

原子炉で「無害化」研究も

### 加速器で別物質に変換

原子力発電所の廃止に伴って増える放射性廃棄物の処理方法として、原子力発電所が「核廃棄物変換」の研究を進めている。従来の核燃料サイクルとは異なり、核燃料の燃焼後に発生する放射性廃棄物を、原子力発電所で再び核燃料として利用できるようにする。これにより、放射性廃棄物の量を大幅に削減できる見込みだ。

原子力発電所の廃止に伴って増える放射性廃棄物の処理方法として、原子力発電所が「核廃棄物変換」の研究を進めている。従来の核燃料サイクルとは異なり、核燃料の燃焼後に発生する放射性廃棄物を、原子力発電所で再び核燃料として利用できるようにする。これにより、放射性廃棄物の量を大幅に削減できる見込みだ。



**ギネス世界最高記録認定  
世界最高エネルギーサイクロトロン**



# Emperor and Empress's Visit

March 12, 1992  
First Visit of Emperor



On No.5 RIKEN Cyclotron

October 3, 2006  
Second Visit of Emperor with Empress



Near by No.9 RIKEN Cyclotron

理研第2号サイクロトロン (1939)

理論物理学 の始祖

宇宙線研究

元素変換研究

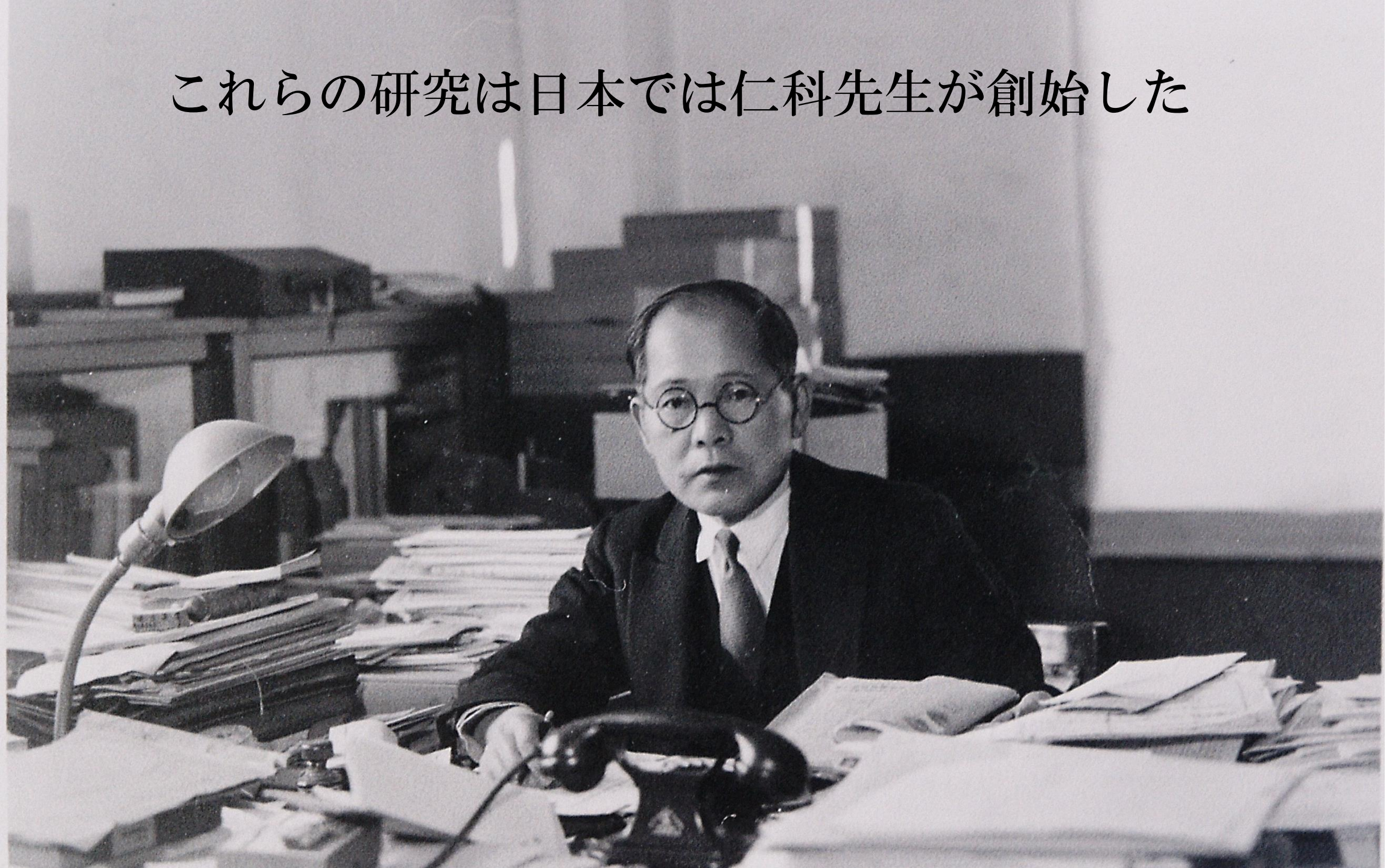
加速器

アイソトープ科学  
(放射線生物・医学)

原子力研究開発

土門拳 文化人写真集「風貌」

これらの研究は日本では仁科先生が創始した



# 小サイクロترون モニュメント



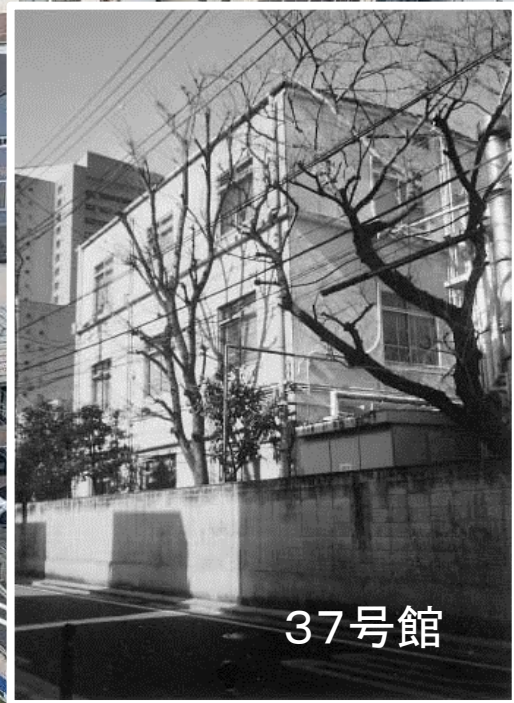
仁科記念室







37号館跡



37号館

復元した「仁科芳雄記念室」



# ご略歴

1890年12月6日、岡山県里庄村（現・里庄町）に生まれる。岡山中、第六高等学校をへて、1918年東京帝大電気工学科卒。（卒業論文は英文の大作）これが後の大型実験装置建設の素地となる。創立まもない理化学研究所で原子物理学者・長岡半太郎に師事し、1921年から28年まで英、独、デンマークに留学。デンマークのボーア、ヘベシーら著名な物理学者の指導を受け、その実力が認められる。米国で著名物理学者と会って帰国。こうしてわが国には類まれな国際的科学家（英語、ドイツ語、デンマーク語に堪能）となった。

1931年、理化学研究所の主任研究員になり仁科研究室開設。現代物理学の伝道者として奔走、日本に素粒子・原子核物理学、核化学、放射線生物学などを定着させ、後にノーベル賞を受賞する湯川秀樹、朝永振一郎ら多くの世界的科学家を育てた。

太平洋戦争中は、軍の要請を受けて原爆研究に傾注（？？？）。この研究はニシナの頭文字をとって「二号研究」と言われた。ウラン235濃縮は困難を極めた（実は原子力開発）が、それでも、仁科が開発にまい進したのは、日本の基礎研究のレベルを高め、若い学徒を戦場に送らないためだったと言われる。仁科が指導した理研には、旧習にとらわれがちな帝国大学とは違った自由闊達な雰囲気があり、「科学者の自由な楽園」だったと述懐する科学者もいる。

広島に原爆が投下された際には、軍の要請を受けて被ばく覚悟で現地調査。被害状況などから原爆と断定した。長崎でも現地の様子を調べた。この報告が終戦への契機になったと言われている。

終戦後の混迷の時代に、理研解体を語学力と政治力でアメリカ占領軍と交渉して回避、原子力の平和利用を強く思い描き、原子力の国際管理を提唱。さらに、科学者による不戦同盟を結成し、日本学術会議初代副会長として科学者が戦争に巻き込まれ利用されることを防ぐ枠組みをつくることを提案した。

道半ばで1951年1月10日に没した。享年60歳。仁科の夢の実現は後輩に引き継がれた。



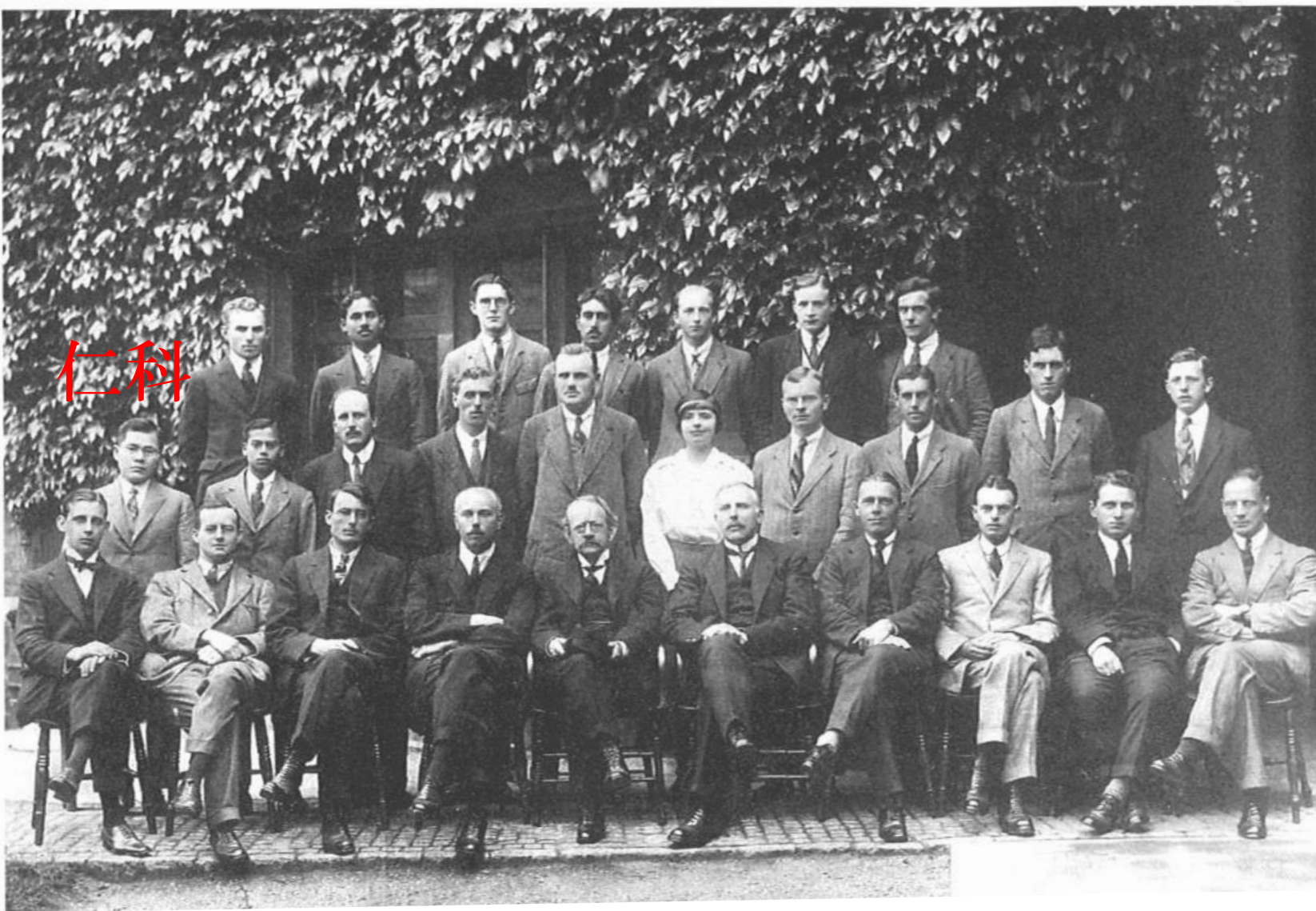
## ミクロの世界と遭遇

理研からイギリスへ留学前

(1920年 30歳 兄遠平宅・東京芝区)

東大工学部を主席で卒業し、理研に入所

仁科先生は、電気エンジニアだった



仁科

- J.J.トムソン：電子の発見  
(→エックス線の発見)
- ラザフォード：原子核の発見  
元素の人工変換
- アストン：質量分析器発明  
同位元素を発見  
(→原子核は陽子  
と中性子からなる)
- アップルトン：電離層発見  
(短波通信)
- カピツア：ヘリウム超流動の発見

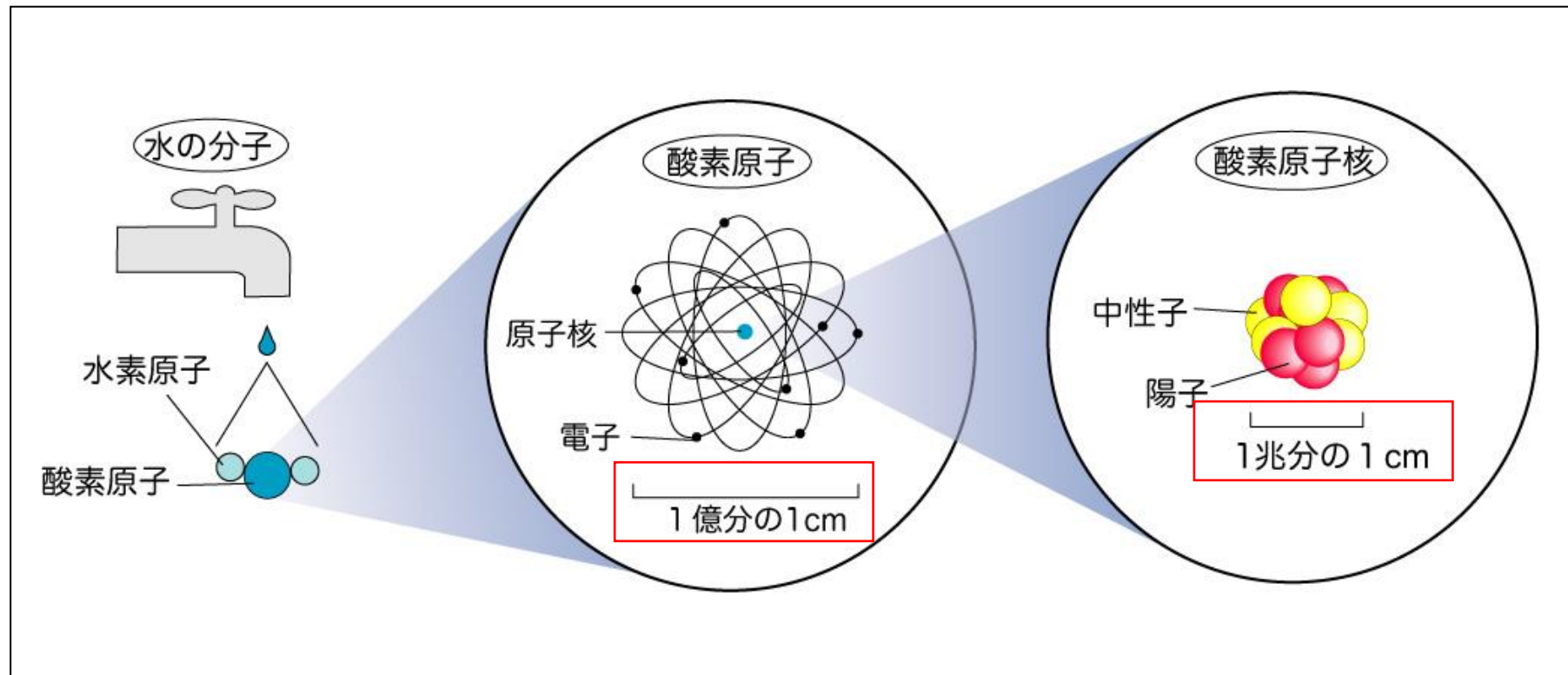
財源：大英帝国

キャベンディッシュ研究所

ラザフォード（ボーアの師）のもとでエックス線分光学を学ぶ  
(1921-1922)

ニールスボーアと出会い、ボーア原子模型に傾倒

日常目にするものは、**光**と、**何個かの陽子と中性子からなる原子核**と**陽子と同数の電子の衣（電子雲）**をまとった**原子の集合体**でできている。

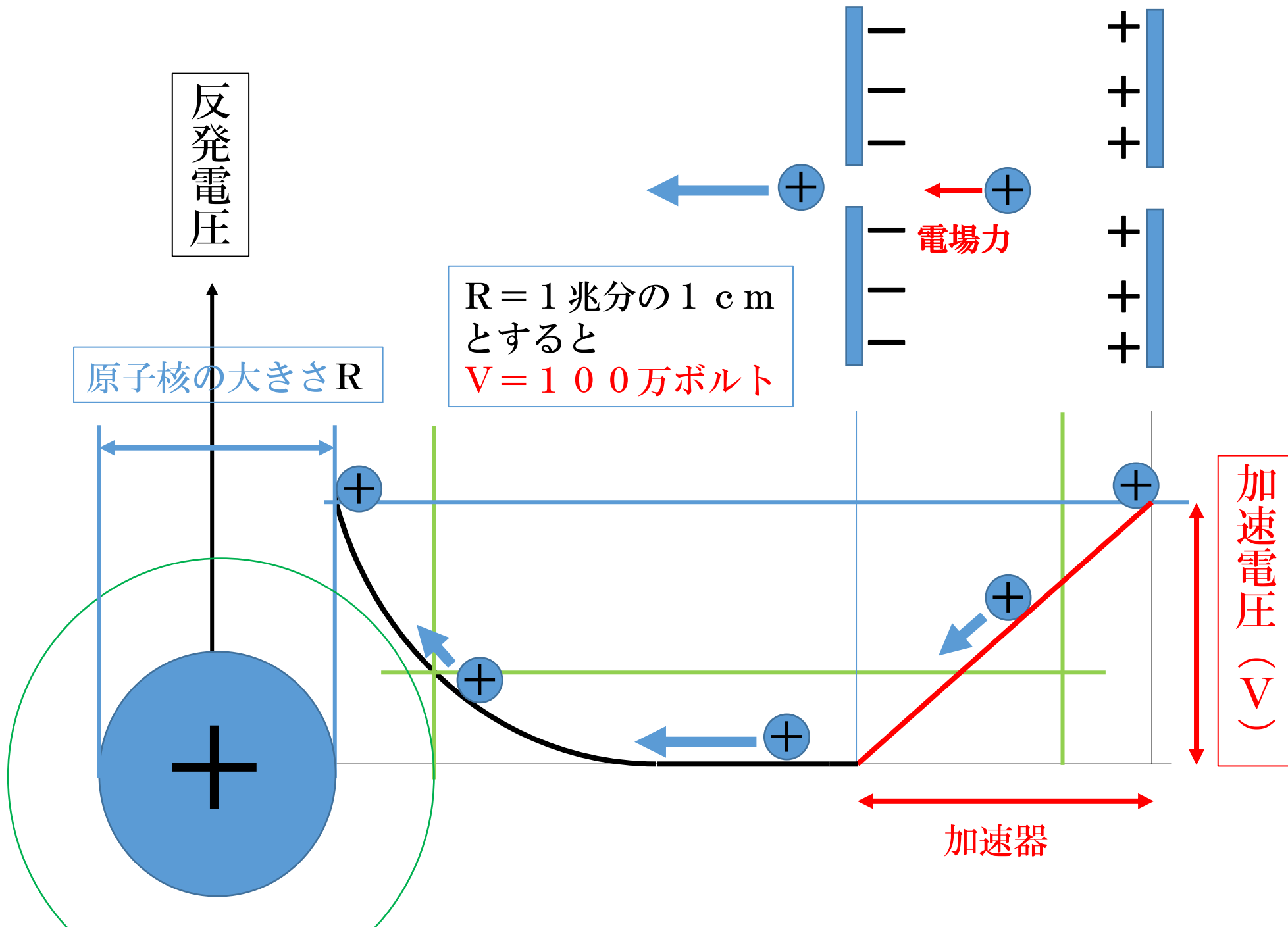


原子に**原子核**があることがわかったのは1911年。

(**ラザフォード**、**人類最初の連金術師**：1908年ノーベル化学賞)

原子核が**陽子**と**中性子**でできていることがわかったのは1932年。

(**チャドウィック**：1935年ノーベル物理学賞)





## クーロンポテンシャル

$$V = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 R}$$

$R = 1$  兆分の  $1$  cm

とすると

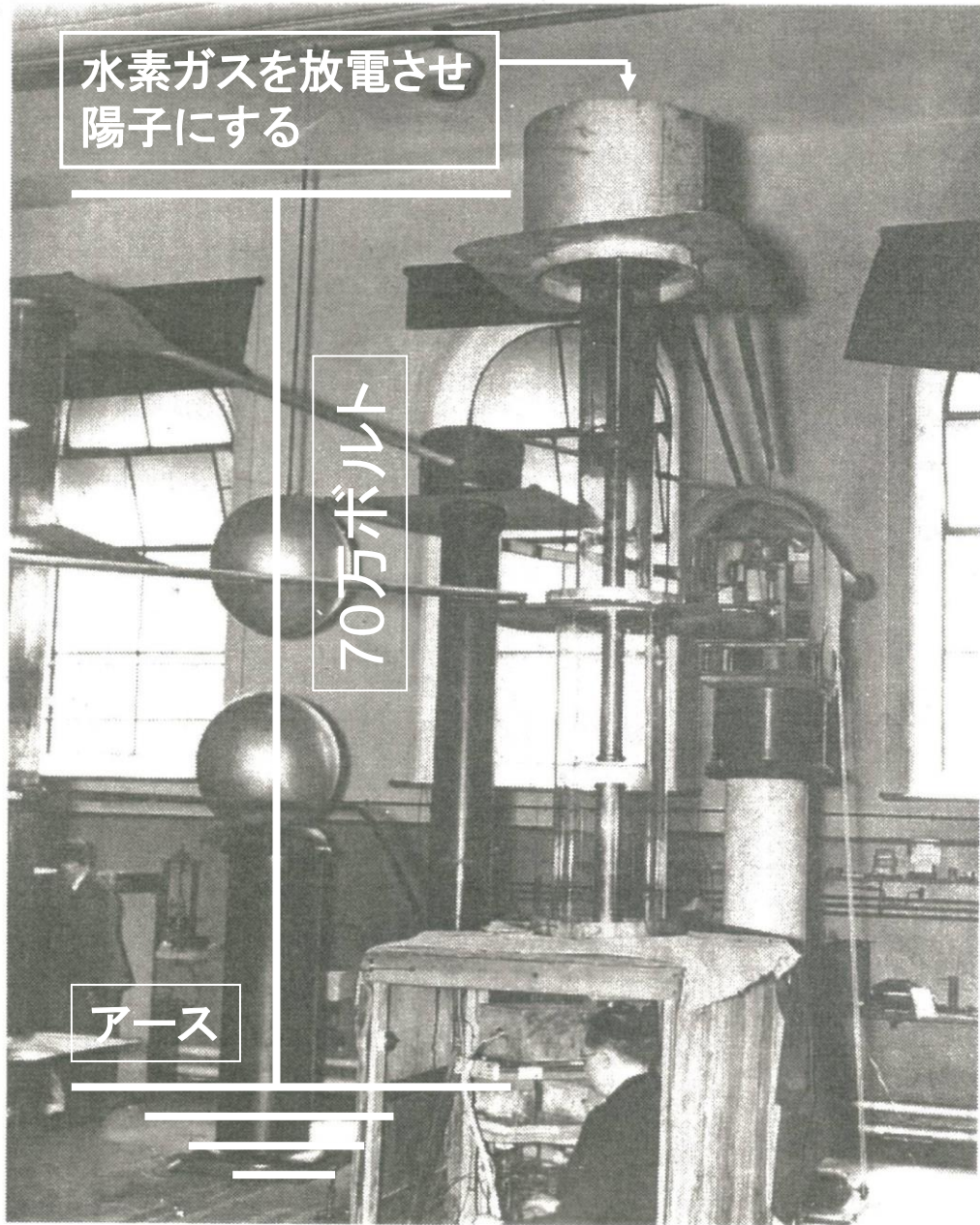
$V = 100$  万ボルト

# 何が分かったか

＋の電荷をもった原子核同士に働く反発力  
 $\propto 1 / (\text{距離})^2$  乗

原子核が極めて小さく接触するときの  
距離での反発力がめっちゃくちゃ大きい

原子核を接触させるには、**100万ボルト**  
**以上**の電位差で加速する必要がある



水素ガスを放電させ  
陽子にする

70万ボルト

アース

コッククロフト

## 高電圧加速器の誕生

## 原子核の人工変換に成功

70万ボルト 陽子Hビーム

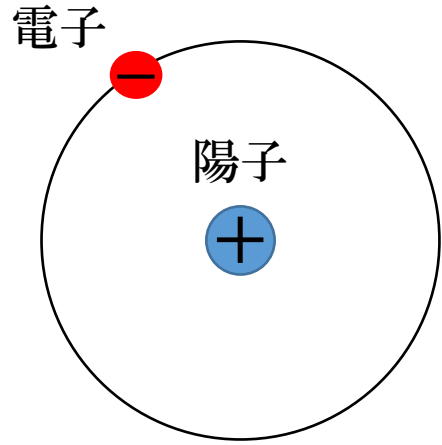


リチウム Li  
標的

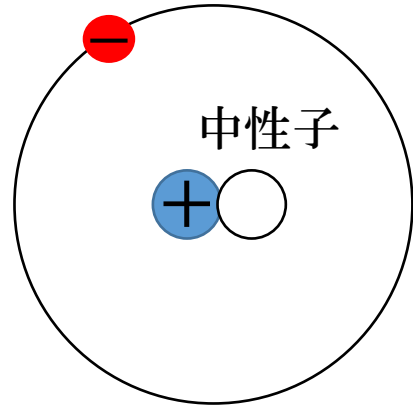
ヘリウム He 原子核

ヘリウム He 原子核

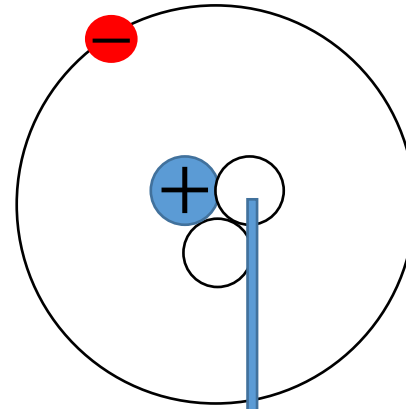
水素元素



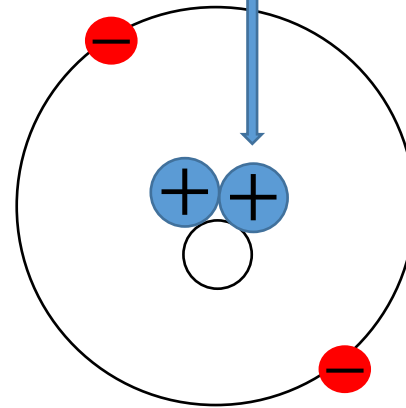
水素の同位元素  
(重水素)



水素の放射性同位元素  
(三重水素)

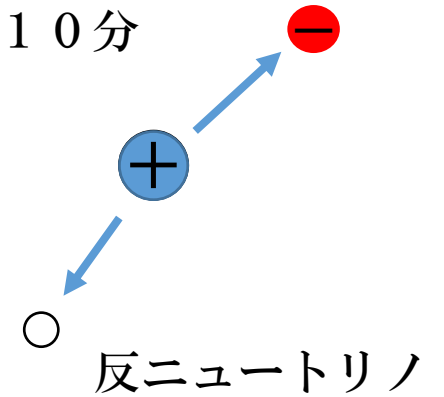


約12年



ヘリウムの同位元素  
(ヘリウム3)

約10分



ベータ崩壊  
(放射線を発生)



ユーリー  
 1934年「重水素の発見」  
 ノーベル化学賞  
 (重水素加速が実現)  
 →中性子の発生に使用

# 周期表

族 周期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1 <b>H</b> 水素 1.008																		2 <b>He</b> ヘリウム 4.003
2	3 <b>Li</b> リチウム 6.941	4 <b>Be</b> ベリリウム 9.012											5 <b>B</b> ホウ素 10.81	6 <b>C</b> 炭素 12.01	7 <b>N</b> 窒素 14.01	8 <b>O</b> 酸素 16.00	9 <b>F</b> フッ素 19.00	10 <b>Ne</b> ネオン 20.18	
3	11 <b>Na</b> ナトリウム 22.99	12 <b>Mg</b> マグネシウム 24.31											13 <b>Al</b> アルミニウム 26.98	14 <b>Si</b> ケイ素 28.09	15 <b>P</b> リン 30.97	16 <b>S</b> 硫黄 32.07	17 <b>Cl</b> 塩素 35.45	18 <b>Ar</b> アルゴン 39.95	
4	19 <b>K</b> カリウム 39.10	20 <b>Ca</b> カルシウム 40.08	21 <b>Sc</b> スカンジウム 44.96	22 <b>Ti</b> チタン 47.87	23 <b>V</b> バナジウム 50.94	24 <b>Cr</b> クロム 52.00	25 <b>Mn</b> マンガン 54.94	26 <b>Fe</b> 鉄 55.85	27 <b>Co</b> コバルト 58.93	28 <b>Ni</b> ニッケル 58.69	29 <b>Cu</b> 銅 63.55	30 <b>Zn</b> 亜鉛 65.38	31 <b>Ga</b> ガリウム 69.72	32 <b>Ge</b> ゲルマニウム 72.63	33 <b>As</b> ヒ素 74.92	34 <b>Se</b> セレン 78.97	35 <b>Br</b> 臭素 79.90	36 <b>Kr</b> クリプトン 83.80	
5	37 <b>Rb</b> ルビジウム 85.47	38 <b>Sr</b> ストロンチウム 87.62	39 <b>Y</b> イットリウム 88.91	40 <b>Zr</b> ジルコニウム 91.22	41 <b>Nb</b> ニオブ 92.91	42 <b>Mo</b> モリブデン 95.95	43 <b>Tc</b> テクネチウム (99)	44 <b>Ru</b> ルテニウム 101.1	45 <b>Rh</b> ロジウム 102.9	46 <b>Pd</b> パラジウム 106.4	47 <b>Ag</b> 銀 107.9	48 <b>Cd</b> カドミウム 112.4	49 <b>In</b> インジウム 114.8	50 <b>Sn</b> スズ 118.7	51 <b>Sb</b> アンチモン 121.8	52 <b>Te</b> テルル 127.6	53 <b>I</b> ヨウ素 126.9	54 <b>Xe</b> キセノン 131.3	
6	55 <b>Cs</b> セシウム 132.9	56 <b>Ba</b> バリウム 137.3	57~71 ランタノイド	72 <b>Hf</b> ハフニウム 178.5	73 <b>Ta</b> タンタル 180.9	74 <b>W</b> タングステン 183.8	75 <b>Re</b> レニウム 186.2	76 <b>Os</b> オスマニウム 190.2	77 <b>Ir</b> イリジウム 192.2	78 <b>Pt</b> 白金 195.1	79 <b>Au</b> 金 197.0	80 <b>Hg</b> 水銀 200.6	81 <b>Tl</b> タリウム 204.4	82 <b>Pb</b> 鉛 207.2	83 <b>Bi</b> ビスマス 209.0	84 <b>Po</b> ポロニウム (210)	85 <b>At</b> アスタチン (210)	86 <b>Rn</b> ラドン (222)	
7	87 <b>Fr</b> フランシウム (223)	88 <b>Ra</b> ラジウム (226)	89~103 アクチノイド	104 <b>Rf</b> ラザホージウム (267)	105 <b>Db</b> ドブニウム (268)	106 <b>Sg</b> シーボーギウム (271)	107 <b>Bh</b> ボーリウム (272)	108 <b>Hs</b> ハッシュウム (277)	109 <b>Mt</b> マイタネリウム (276)	110 <b>Ds</b> ダームスタチウム (281)	111 <b>Rg</b> レントゲニウム (280)	112 <b>Cn</b> コペルニシウム (285)	113 <b>Nh</b> ニホニウム (278)	114 <b>Fl</b> フロロビウム (289)	115 <b>Mc</b> モスコビウム (289)	116 <b>Lv</b> リバモリウム (293)	117 <b>Ts</b> テネシン (293)	118 <b>Og</b> オガネソン (294)	

■ 非金属

■ 金属

□ くわしいことが  
わからない

● 気体

● 液体

◆ 固体

20°C, 1気圧での  
単体の状態

元素 記号
元素名
原子量

ランタノイド	57 <b>La</b> ランタン 138.9	58 <b>Ce</b> セリウム 140.1	59 <b>Pr</b> プラセオジウム 140.9	60 <b>Nd</b> ネオジウム 144.2	61 <b>Pm</b> プロメチウム (145)	62 <b>Sm</b> サマリウム 150.4	63 <b>Eu</b> ユウロピウム 152.0	64 <b>Gd</b> ガドリニウム 157.3	65 <b>Tb</b> テルビウム 158.9	66 <b>Dy</b> ジスプロシウム 162.5	67 <b>Ho</b> ホルミウム 164.9	68 <b>Er</b> エルビウム 167.3	69 <b>Tm</b> ツリウム 168.9	70 <b>Yb</b> イッテルビウム 173.0	71 <b>Lu</b> ルテチウム 175.0
アクチノイド	89 <b>Ac</b> アクチニウム (227)	90 <b>Th</b> トリウム 232.0	91 <b>Pa</b> プロト-アクチニウム 231.0	92 <b>U</b> ウラン 238.0	93 <b>Np</b> ネプツニウム (237)	94 <b>Pu</b> プルトニウム (239)	95 <b>Am</b> アメリシウム (243)	96 <b>Cm</b> キュリウム (247)	97 <b>Bk</b> バークリウム (247)	98 <b>Cf</b> カリホルニウム (252)	99 <b>Es</b> アインスタイニウム (252)	100 <b>Fm</b> フェルミウム (257)	101 <b>Md</b> メンデレビウム (258)	102 <b>No</b> ノーベリウム (259)	103 <b>Lr</b> ローレンシウム (262)



## 理論物理学研究所

ボーア（師と仰ぐ）のもとで量子力学を学ぶ（1923～1928）

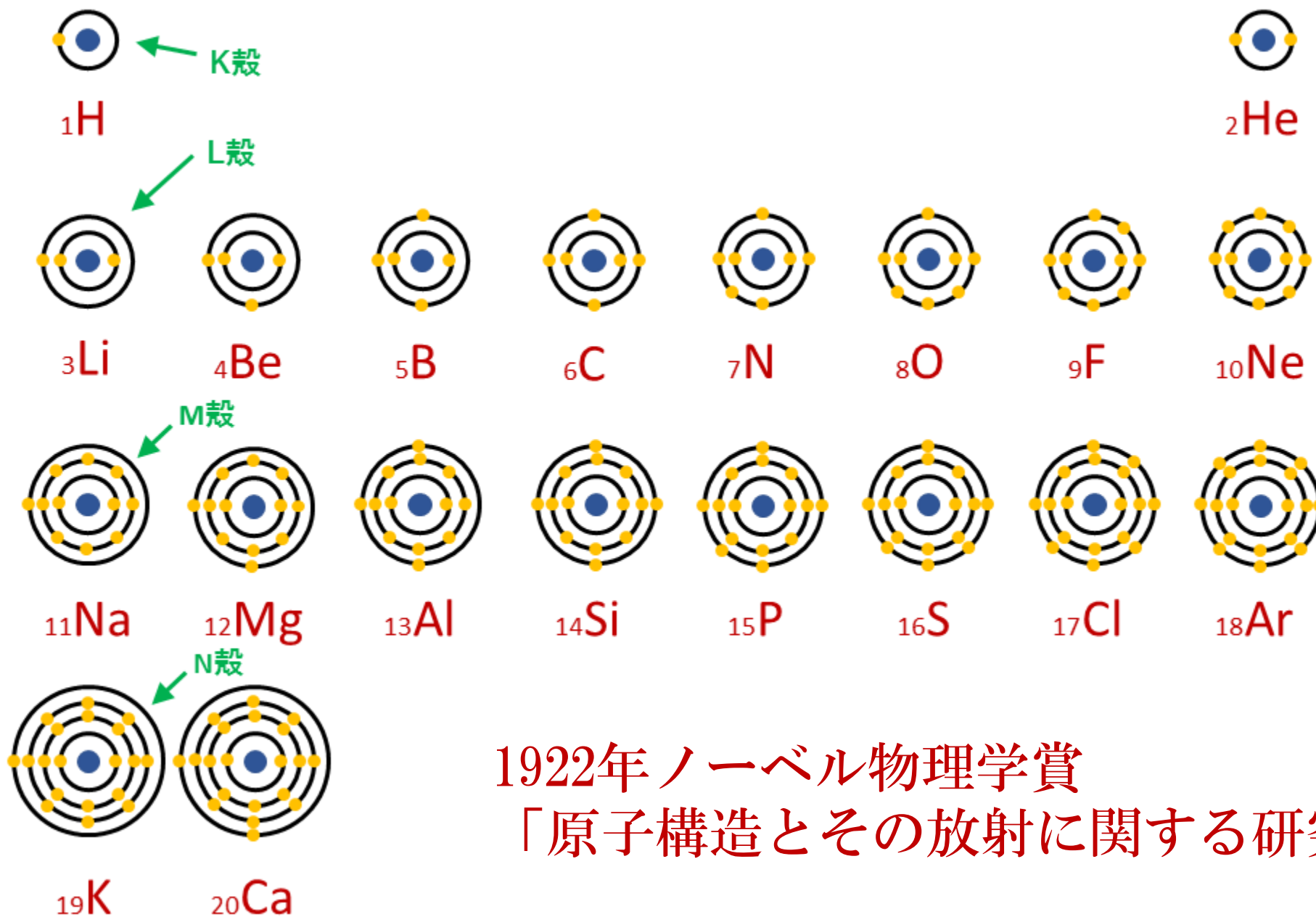
量子論建設者が皆いた「コペンハーゲン精神」を享受

→原爆開発に従事させられる

財源：カーレスベリー財団、ロックフェラー財団

名目：実験生物学の推進

一番外側の軌道（K殻L殻M殻N殻）の電子数が元素の性質を決める



1922年ノーベル物理学賞  
「原子構造とその放射に関する研究」

bei Frau Nolde  
Schillerstr. 49  
Göttingen, Germany  
25<sup>th</sup> Mar. 1923

To  
Professor N. Bohr  
Theoretical Physics Dept.  
University of  
Copenhagen, Denmark.

Dear Sir,

You may remember that I was working in the Cavendish Laboratory when you came to Cambridge about a year ago. At that time I was counting  $\beta$ -rays excited by  $X$ -rays by means of Geiger's counter, and had the honour of speaking to you in the laboratory.

I left Cambridge last September and came here for the purpose of learning the German language.

As I spoke to you in Cambridge, I have the great desire of studying in Copenhagen under your guidance, and I should be gratefully obliged to you if you could accept me.

257-1922

As my Institute in Tokio does not allow me to stay in Europe longer than two more terms, I do not know whether it is wise to set up new work. My chief wish is to study your theory of spectra and atomic constitution in details. But if any one wants assistance in the experiment or the calculation, I should do it with pleasure.

I should esteem it a favour if you would give me the early information in the matter.

I beg to remain

Yours faithfully  
Y. Nishina

p. 8.

I belong to the Institute of Physical and Chemical Research in Tokio, to which Dr. Takamine also does as you know.



仁科会館  
ハフニウム原子模型



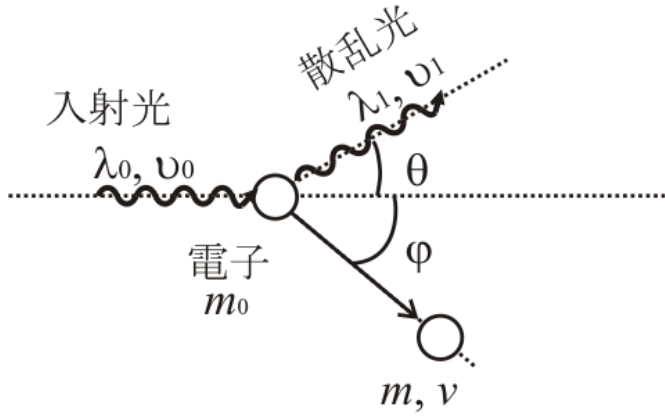
ボーア家族と仁科先生



©独立行政法人 理化学研究所

仁科博士はボーアが予言しヘベシーが発見した  
ハフニウムのX線分光に「準拋物質添加法」を発明  
実験物理学者として世界的に認められた

理論物理学者に転身し、クラインとともに  
 デイラック方程式を解いて  
 光と電子の散乱を説明しようと試みる



## クライン-仁科の公式

$$\mathcal{E}^2 \text{-term} = \frac{4k}{\alpha \nu} \left\{ \frac{\nu}{\nu'} + \frac{\nu'}{\nu} \right\} \mathcal{E}^2$$

$$(n'\mathcal{E})^2 \text{-term} = -\frac{8k}{\alpha \nu} (n'\mathcal{E})^2$$

$$I = \frac{e^4}{2m^2 c^4 \hbar^2} \left( \frac{\nu'}{\nu} \right)^3 \left\{ 2 \left( \frac{\nu}{\nu'} + \frac{\nu'}{\nu} \right) \mathcal{E}^2 \right.$$

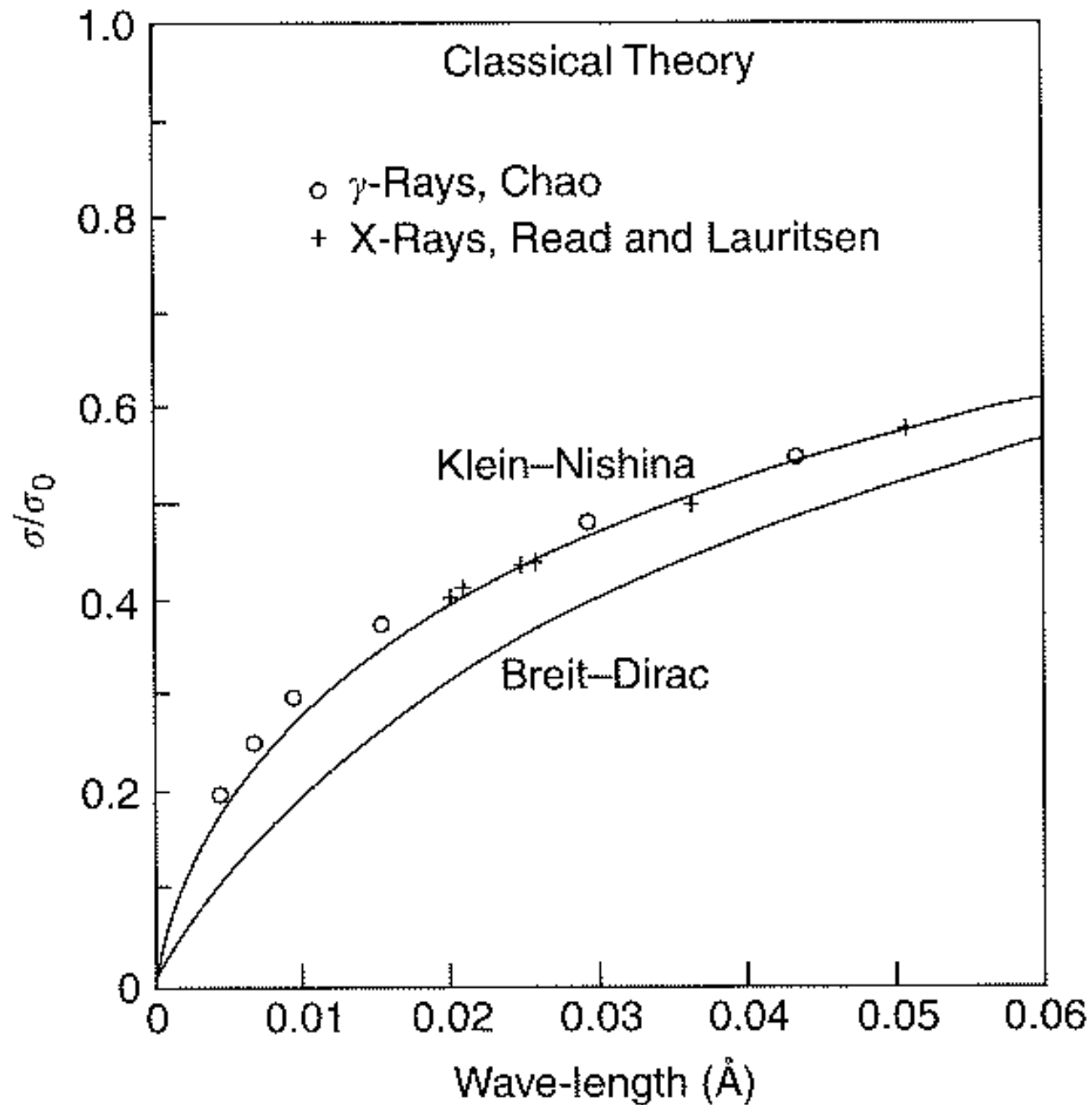
$$I = \frac{e^4}{m^2 c^4 \hbar^2} \left( \frac{\nu'}{\nu} \right)^3 \cdot \frac{1}{8} \frac{\alpha \nu}{k} \left[ \frac{4k}{\alpha \nu} \left( \frac{\nu}{\nu'} + \frac{\nu'}{\nu} \right) \mathcal{E}^2 - \frac{8k}{\alpha \nu} (n'\mathcal{E})^2 \right]$$

$$= \frac{e^4}{2m^2 c^4 \hbar^2} \left( \frac{\nu'}{\nu} \right)^3 \left[ \left( \frac{\nu}{\nu'} + \frac{\nu'}{\nu} \right) \mathcal{E}^2 - \frac{2k}{\alpha \nu} 2 (n'\mathcal{E})^2 \right]$$

$$\frac{\nu'}{\nu} = \frac{1}{1 + \alpha(1 - \cos \theta)} \quad \frac{\nu}{\nu'} = 1 + \alpha(1 - \cos \theta)$$

$$\therefore \frac{\nu'}{\nu} + \frac{\nu}{\nu'} = \frac{1 + (1 + \alpha(1 - \cos \theta))^2}{1 + \alpha(1 - \cos \theta)}$$

$$\therefore I = \frac{e^4}{2m^2 c^4 \hbar^2} \frac{1}{(1 + \alpha(1 - \cos \theta))^3} \left\{ \frac{1 + (1 + \alpha(1 - \cos \theta))^2}{1 + \alpha(1 - \cos \theta)} \mathcal{E}^2 - 2(n'\mathcal{E})^2 \right\}$$



「光は粒子である」という  
「コンプトン散乱」実験データを  
見事に説明し

世界的な理論物理学者と認められる

- **マイケルソンとモーレーの実験（重力波観測も同じ）**  
**光速は不変**（地球の太陽周回速度と干渉計で確認）

- **アインシュタインの特殊・一般相対論**

原理：「**粒子（物体）は光速をこえられない**」

走っているものの中の時間は観測者には進みが遅いように観測される  
重力の強いところに時間は弱いところより進みが遅い→GPSの補正

粒子は速くなると、慣性質量が大きくなる

加速度 = 力 / 慣性質量（ニュートンの第2法則）

**質量は新たなエネルギーである**

質量 → 運動（熱）エネルギー（原爆、原子力、粒子壊変）

運動エネルギー → 質量（新粒子発生・発見）

ができる

質量は新たなエネルギーである

質量 → 運動（熱）エネルギー （原爆、原子力、粒子壊変）

ウラン、プルトニウムの核分裂エネルギー

運動エネルギー → 質量 （新粒子発生・発見）

ができる

加速器は電場（電位差）で加速

1Vの電位差で1価の粒子が得る運動エネルギーを1eV（電子ボルト）とする

粒子の質量（エネルギー）を eV で表すと

電子 : 0.5 M（メガ、百万）eV

陽子 : 939

中性子 : 940（陽子、電子、ニュートリノに崩壊）

ミューオン : 100（電子、2ニュートリノに崩壊）

パイ中間子 : 140（ミューオン、ニュートリノまたは2ガンマ線に崩壊）

パイ中間子を人工発生するには最低140Mボルトの電圧が必要

電圧が欲しい！！！！

■ **ボーアの原子模型**（ラザフォードの原子の核のまわりを回る電子軌道は離散的でなければならない→原子の発するエックス線スペクトルが説明できる→**元素の周期律を説明**→ランタノイドを説明→ランタノイドの次のハフニウムを予言、ヘベシーが発見、**仁科がより詳細に測定：仁科会館の入り口に原子模型がモニュメントに**）

■ **ハイゼンベルグ・シュレーディンガーの量子論**  
「**粒子は確率の波として伝わり、粒子として捕まる**」  
波の伝わり方はそれぞれの方程式（干渉、回折、障壁をトンネル）

■ **ディラックの相対論的量子論**  
**スピン、反粒子**を予言 後に宇宙線で確認（アンダーソン陽電子発見）

■ **朝永振一郎のくりこみ理論（原理）**  
ディラックの相対論で説明できない実験を超高精度で説明

帰国後、1931年「仁科研究室」創設  
「量子力学」を大学で講義



理化学研究所提供

京都大学での集中講義の際の記念写真

# 日本のノーベル物理学賞の系譜

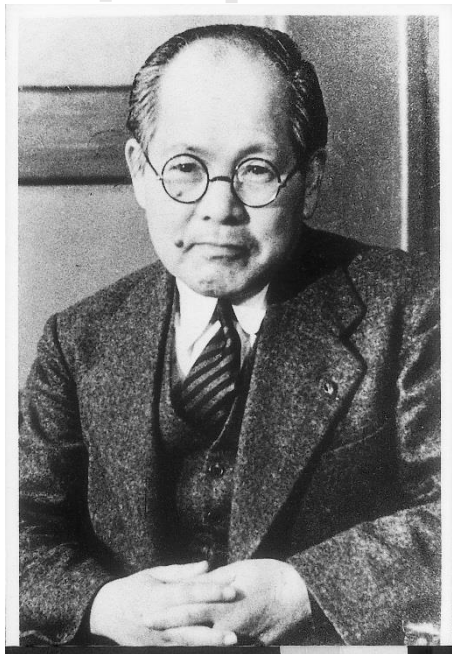


長岡半太郎

理研主任研究員



西川正治



仁科芳雄



坂田昌一



湯川秀樹(49) 朝永振一郎(65)

仁科研究室



益川敏英



小林 誠  
(08)



南部陽一郎



小柴昌俊(02)

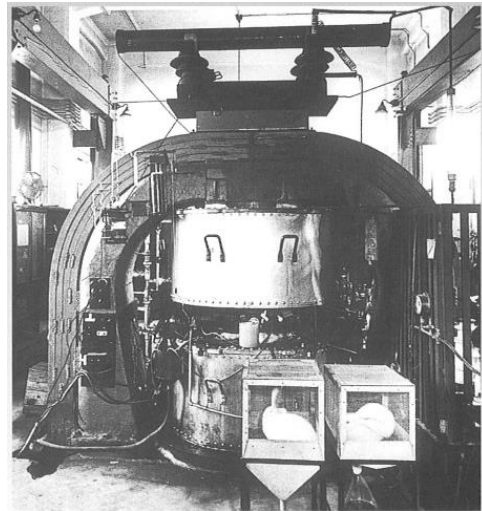


梶田隆章(16)

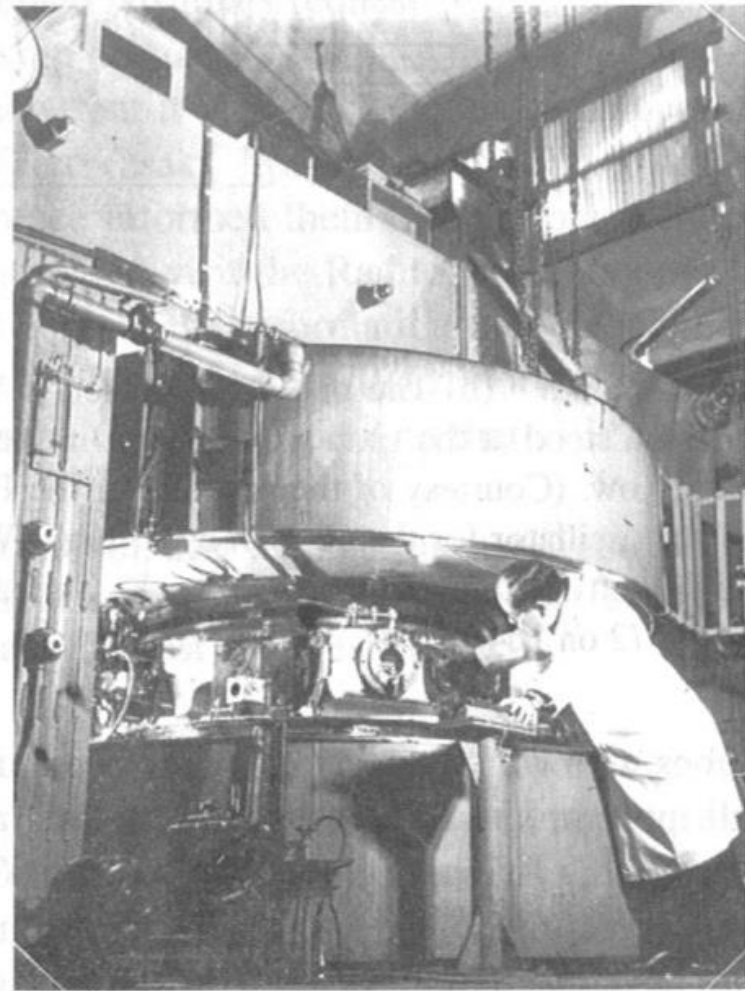




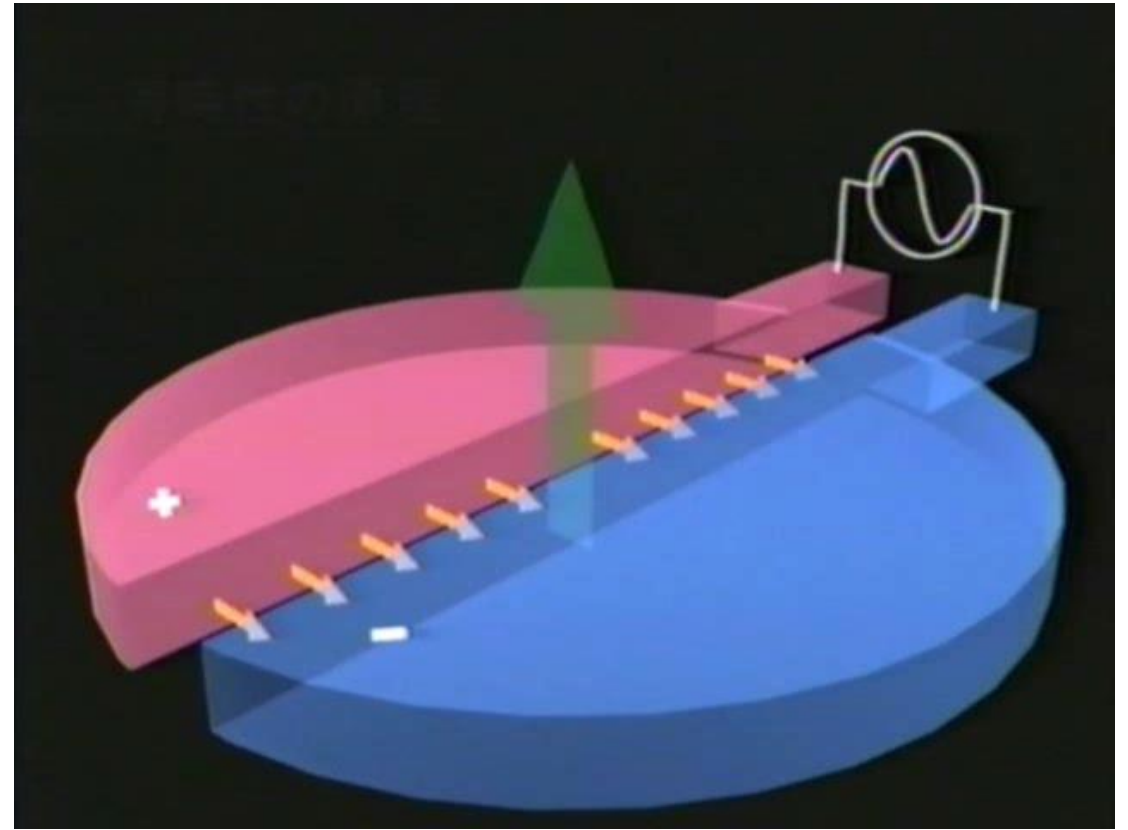
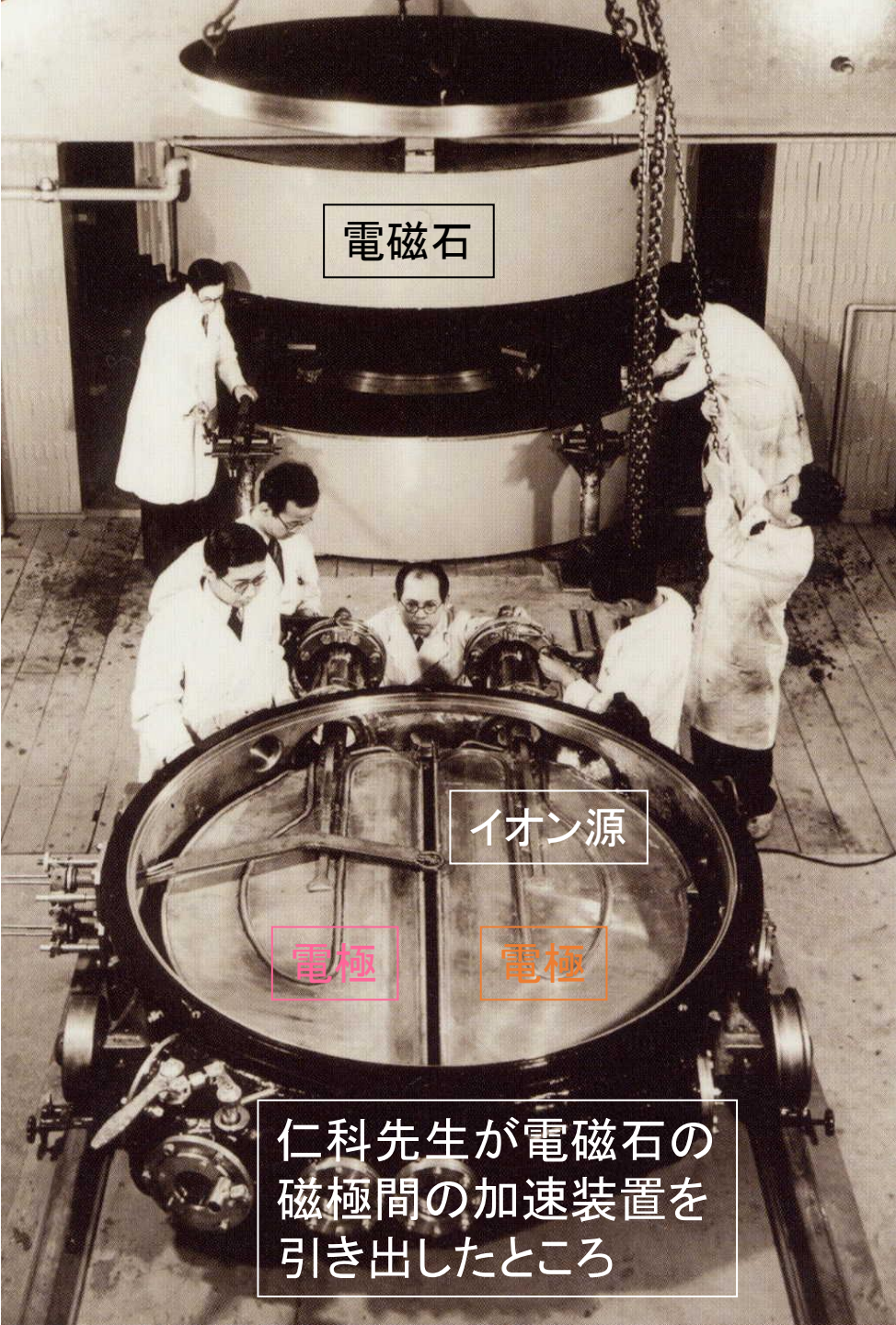
仁科研究室研究紹介パネル



日本初、世界2台目  
小サイクロトロン



世界最大  
大サイクロトロン



# 超ウラン元素発見の歴史の始まり

(ウランよりも核分裂性の大きい元素を求めて)

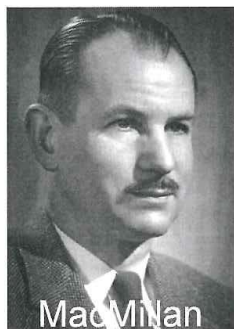
Z	sym.	Reaction	Investigators	
93	Np	$^{238}\text{U}(n,\gamma)^{239}\text{U} \rightarrow ^{239}\text{Np}$	MacMillan, Abelson	1939-1940
94	Pu	$^{238}\text{U}(d,2n)^{238}\text{Np} \rightarrow ^{238}\text{Pu}$	Seaborg, MacMillan	1940
95	Am	$^{239}\text{Pu}(2n,\gamma)^{241}\text{Pu} \rightarrow ^{241}\text{Am}$	Seaborg et al.	1944
96	Cm	$^{239}\text{Pu}(\alpha,n)^{242}\text{Cm}$	Seaborg et al.	1944
97	Bk	$^{241}\text{Am}(\alpha,2n)^{243}\text{Bk}$	Seaborg et al.	1949
98	Cf	$^{242}\text{Cm}(\alpha,n)^{245}\text{Cf}$	Seaborg et al.	1950
99	Es	$^{238}\text{U} + 15n \rightarrow ^{253}\text{Es}$	Seaborg et al.	1953 水爆の降下灰
100	Fm	$^{238}\text{U} + 17n \rightarrow ^{255}\text{Fm}$	Seaborg et al.	1953 水爆の降下灰
101	Md	$^{253}\text{Es}(\alpha,n)^{256}\text{Md}$	Seaborg et al.	1955 fission-fusion-fission
102	No	$^{246}\text{Cm}(^{12}\text{C},4n)^{254}\text{No}$	Seaborg et al.	1958
103	Lr	$^{252}\text{Cf}(^{11}\text{B},6n)^{257}\text{Lr}$	Ghiorso et al.	1961

中性子吸収か d アルファ融合反応

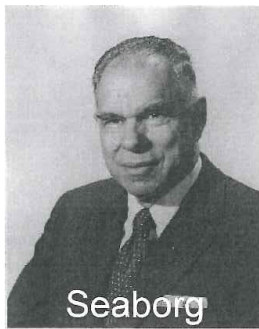
軽イオン融合反応

重イオン源の発明

仁科先生と木村先生の93番元素の発見  
(理研第1号(小)サイクロトロン)



MacMillan



Seaborg

1951年ノーベル化学賞  
ローレンスのサイクロトロンで  
超ウラン元素を発見

# 周期表

族 周期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 <b>H</b> 水素 1.008																	2 <b>He</b> ヘリウム 4.003
2	3 <b>Li</b> リチウム 6.941	4 <b>Be</b> ベリリウム 9.012											5 <b>B</b> ホウ素 10.81	6 <b>C</b> 炭素 12.01	7 <b>N</b> 窒素 14.01	8 <b>O</b> 酸素 16.00	9 <b>F</b> フッ素 19.00	10 <b>Ne</b> ネオン 20.18
3	11 <b>Na</b> ナトリウム 22.99	12 <b>Mg</b> マグネシウム 24.31											13 <b>Al</b> アルミニウム 26.98	14 <b>Si</b> ケイ素 28.09	15 <b>P</b> リン 30.97	16 <b>S</b> 硫黄 32.07	17 <b>Cl</b> 塩素 35.45	18 <b>Ar</b> アルゴン 39.95
4	19 <b>K</b> カリウム 39.10	20 <b>Ca</b> カルシウム 40.08	21 <b>Sc</b> スカンジウム 44.96	22 <b>Ti</b> チタン 47.87	23 <b>V</b> バナジウム 50.94	24 <b>Cr</b> クロム 52.00	25 <b>Mn</b> マンガン 54.94	26 <b>Fe</b> 鉄 55.85	27 <b>Co</b> コバルト 58.93	28 <b>Ni</b> ニッケル 58.69	29 <b>Cu</b> 銅 63.55	30 <b>Zn</b> 亜鉛 65.38	31 <b>Ga</b> ガリウム 69.72	32 <b>Ge</b> ゲルマニウム 72.63	33 <b>As</b> ヒ素 74.92	34 <b>Se</b> セレン 78.97	35 <b>Br</b> 臭素 79.90	36 <b>Kr</b> クリプトン 83.80
5	37 <b>Rb</b> ルビジウム 85.47	38 <b>Sr</b> ストロンチウム 87.62	39 <b>Y</b> イットリウム 88.91	40 <b>Zr</b> ジルコニウム 91.22	41 <b>Nb</b> ニオブ 92.91	42 <b>Mo</b> モリブデン 95.95	43 <b>Tc</b> テクネチウム (99)	44 <b>Ru</b> ルテニウム 101.1	45 <b>Rh</b> ロジウム 102.9	46 <b>Pd</b> パラジウム 106.4	47 <b>Ag</b> 銀 107.9	48 <b>Cd</b> カドミウム 112.4	49 <b>In</b> インジウム 114.8	50 <b>Sn</b> スズ 118.7	51 <b>Sb</b> アンチモン 121.8	52 <b>Te</b> テルル 127.6	53 <b>I</b> ヨウ素 126.9	54 <b>Xe</b> キセノン 131.3
6	55 <b>Cs</b> セシウム 132.9	56 <b>Ba</b> バリウム 137.3	57~71 ランタノイド	72 <b>Hf</b> ハフニウム 178.5	73 <b>Ta</b> タンタル 180.9	74 <b>W</b> タングステン 183.8	75 <b>Re</b> レニウム 186.2	76 <b>Os</b> オスマニウム 190.2	77 <b>Ir</b> イリジウム 192.2	78 <b>Pt</b> 白金 195.1	79 <b>Au</b> 金 197.0	80 <b>Hg</b> 水銀 200.6	81 <b>Tl</b> タリウム 204.4	82 <b>Pb</b> 鉛 207.2	83 <b>Bi</b> ビスマス 209.0	84 <b>Po</b> ポロニウム (210)	85 <b>At</b> アスタチン (210)	86 <b>Rn</b> ラドン (222)
7	87 <b>Fr</b> フランシウム (223)	88 <b>Ra</b> ラジウム (226)	89~103 アクチノイド	104 <b>Rf</b> ラザホージウム (267)	105 <b>Db</b> ドブニウム (268)	106 <b>Sg</b> シーボーギウム (271)	107 <b>Bh</b> ボーリウム (272)	108 <b>Hs</b> ハッシュウム (277)	109 <b>Mt</b> マイトネリウム (276)	110 <b>Ds</b> ダームスタチウム (281)	111 <b>Rg</b> レントゲニウム (280)	112 <b>Cn</b> コペルニシウム (285)	113 <b>Nh</b> ニホニウム (278)	114 <b>Fl</b> フロロビウム (289)	115 <b>Mc</b> モスコビウム (289)	116 <b>Lv</b> リバモリウム (293)	117 <b>Ts</b> テネシン (293)	118 <b>Og</b> オガネソン (294)

■ 非金属

■ 金属

□ くわしいことが  
わからない

● 気体

● 液体

◆ 固体

20°C, 1気圧での  
単体の状態

元素記号
元素名
原子量

ランタノイド	57 <b>La</b> ランタン 138.9	58 <b>Ce</b> セリウム 140.1	59 <b>Pr</b> プラセオジム 140.9	60 <b>Nd</b> ネオジム 144.2	61 <b>Pm</b> プロメチウム (145)	62 <b>Sm</b> サマリウム 150.4	63 <b>Eu</b> ユウロピウム 152.0	64 <b>Gd</b> ガドリニウム 157.3	65 <b>Tb</b> テルビウム 158.9	66 <b>Dy</b> ジスプロシウム 162.5	67 <b>Ho</b> ホルミウム 164.9	68 <b>Er</b> エルビウム 167.3	69 <b>Tm</b> ツリウム 168.9	70 <b>Yb</b> イッテルビウム 173.0	71 <b>Lu</b> ルテチウム 175.0
アクチノイド	89 <b>Ac</b> アクチニウム (227)	90 <b>Th</b> トリウム 232.0	91 <b>Pa</b> プロト-アクチニウム 231.0	92 <b>U</b> ウラン 238.0	93 <b>Np</b> ネプツニウム (237)	94 <b>Pu</b> プルトニウム (239)	95 <b>Am</b> アメリシウム (243)	96 <b>Cm</b> キュリウム (247)	97 <b>Bk</b> バークリウム (247)	98 <b>Cf</b> カリホルニウム (252)	99 <b>Es</b> アインスタイニウム (252)	100 <b>Fm</b> フェルミウム (257)	101 <b>Md</b> メンデレビウム (258)	102 <b>No</b> ノーベリウム (259)	103 <b>Lr</b> ローレンシウム (262)

# 中性子によるショウジョウバエの突然変異

*Sex-linked Mutations of Drosophila melanogaster  
Induced by Neutron Radiations  
from a Cyclotron.*

By Yoshio NISHINA and Daigoro MORIWAKI.

(Received August 31, 1939.)

## INTRODUCTION.

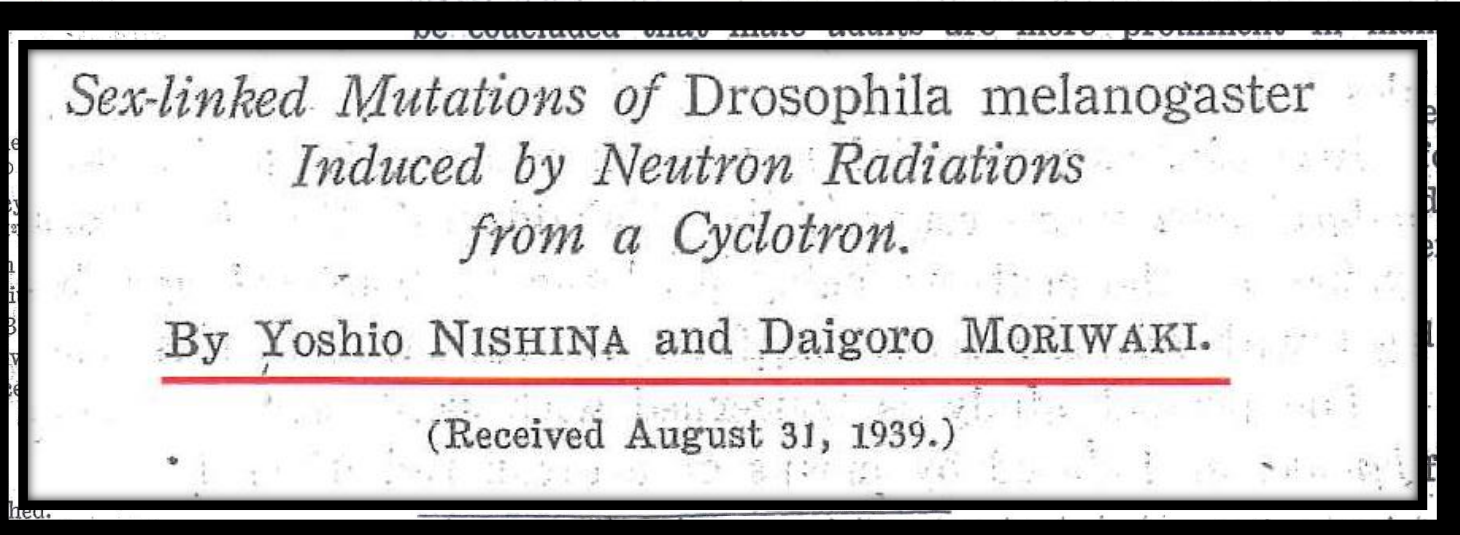
Only a few experiments with neutrons in the  
have been reported. The first was that of Whiting  
dominant lethals in *Habrobracon* with the aid of the  
University of California. Next, Nagai and Locher  
producing mutations in *Drosophila melanogaster* with  
from beryllium (485 g) irradiated by  $\gamma$ -rays of  
obtained a mutation rate of 1 in 98, or 44 lethals in  
On the other hand, Timoféeff-Ressovsky and his  
been studying the same problem with neutrons pro-  
ing a lithium target with fast deuterons, and has  
following conclusions:

1. Through neutron irradiation, increase in the  
quency is obtained, which is statistically well estab-  
lished.
2. The induced mutation frequency increases pro-  
portionally to the doses.
3. Action of neutron radiations per unit doses (per pair of ions  
inside tissues) for producing mutations is weaker than that of X- or  
 $\gamma$ -rays.

Snell<sup>(4)</sup> studied the appearance of sterility and of heredity changes

(1) P. W. WHITING: *Science*, 84 (1936), 68.  
 (2) M. A. NAGAI and G. L. LOCHER: *Nature*, 140 (1937), 111; *Genetics*,  
23 (1938), 197.  
 (3) N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY: *Forschung u. Fortschr.*, 14 (1938), 165;  
N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY und K. G. ZIMMER: *Naturwiss.*, 26 (1938), 326;  
N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, K. G. ZIMMER, und F. A. HEYN: *Naturwiss.*, 26  
(1938), 108; K. G. ZIMMER und N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY: *Strahlenther.*, 63  
(1938), 528.  
 (4) G. D. SNELL: *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 25 (1939), 11.

We shall next deal with the dependence of the mutation fre-  
quencies on the stages of growth of the treated males. Generally  
speaking, the mutation rates in cases NI and NIV, both of which  
are in the same conditions regarding the stage of growth (adults),  
exceed that either of NII (pupae) or of NIII (larvae), although the  
dose is not the same for each case. From these results, it may

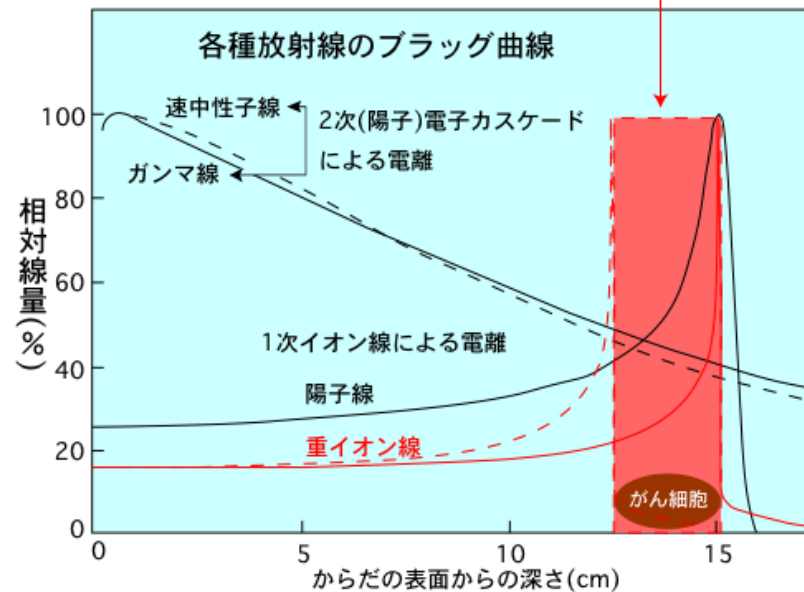
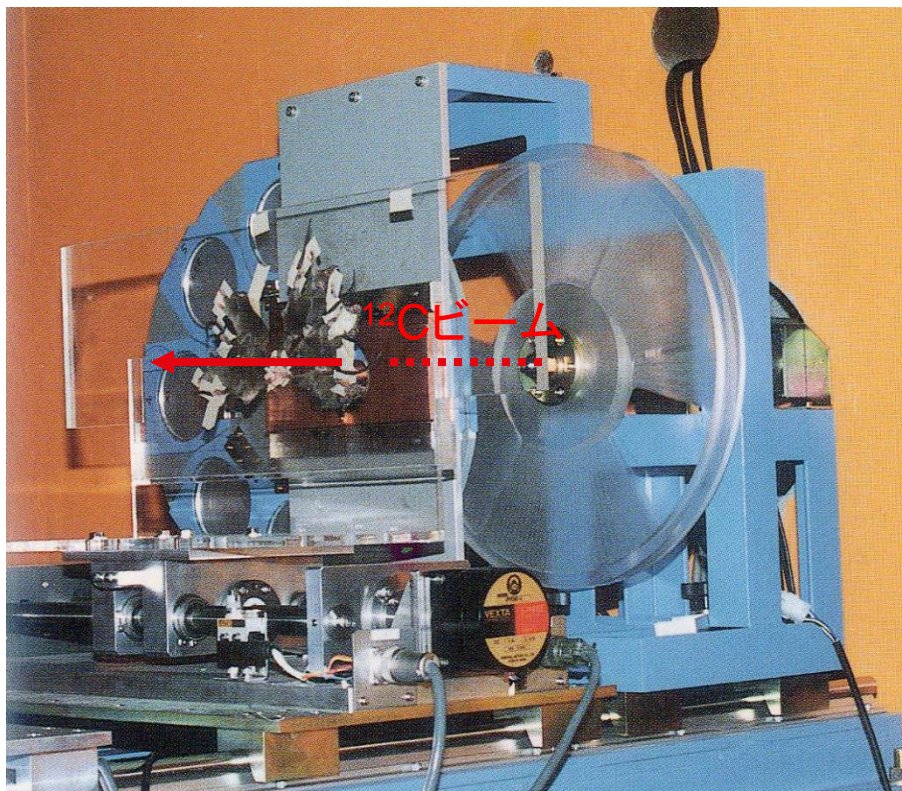


(6) H. J. MULLER: *Ann. Entomol. Soc. Amer.*, 39 (1946), 426.  
 (7) W. G. MOOR: *Genetics*, 19 (1934), 209.

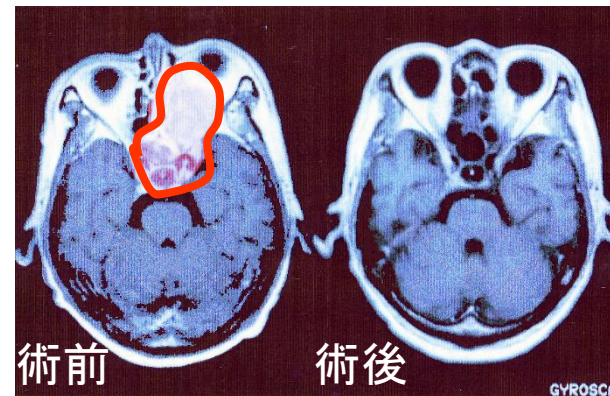
H. J. Muller 1946年ノーベル賞：  
X線照射による突然変異体発生の発見

# 放医研のねずみのがん照射実験（がん細胞をころす）

- 1) 飛程一定  $\text{バラツキ} \propto (\text{質量})^{-0.5}$  (切れが良い)
- 2) 直進性  $\text{バラツキ} \propto (\text{質量})^{-0.4}$  (切れが良い)
- 3) 鋭いブラッグピーク (拡大ピーク、多重照射)
- 4) 低酸素効果比  $\gamma:3$  重イオン:1
- 5) 生物学的効果比  $\gamma:1$  重イオン:3~6



HIMACでの治療例(PET写真)



理研  
 パテント情報  
 1997年4月

重イオンビームを用いた  
 突然変異体植物の作出方法

対談出席者

- 吉田茂男 植物機能研究室  
 主任研究員
- 矢野安重 サイクロトロン研究室  
 主任研究員
- 阿部知子 植物機能研究室  
 研究員

重イオンビームを子房中の受精卵に照射することによって、形態レベルでの異常発現率が、従来の薬剤処理や放射線照射といった方法より、一桁以上も高いという画期的な植物の突然変異体の作成法が開発されている。

■あらゆる突然変異体が出現する

吉田 この方法の原理は、サイクロトロンで生成された窒素イオンやネオンイオンなどの重イオンのビームを、受粉後の植物子房に照射し、突然変異を起こさせるというものである。

従来のアルキル化剤（メタンスルホン酸エチル:EMS）を使う薬剤処理や、ガンマ線やエクソ線を照射する方法よりも、致死的な変異が起こりにくく、数多く生き残る。しか



吉田主任研究員

も、生き残ったものの種をとって発芽させると、形態異常の発現率は既存の方法よりぐんと高い。

重イオンビームの照射はほんの一瞬で、ガンマ線のように一カ月も試料植物をフィールドにさらしておく、あるいは薬剤のようにその浸透時間やその後の薬剤除去の手間を必要ありません。実験プロセスの効率化が、時間的にも仕事量の面でもはかれます。

実験のポイントは、重イオンの核種、線量、受粉後いつ照射するかというタイミングの三つを、試料に応じていかに制御するかにあります。今までの実験でこのポイントについてもだいたいの目安がみついています。

阿部 主にBY-4とXanthi(キサンチ)という2種のタバコを実験材料としていますが、形態レベルでの様々な異常がでてきました。葉の色もアルビノ、薄緑、斑入りといったクロフィル欠損や、濃緑色ものが現れました。一方、EMS処理時

には、薄緑のものは出ても、アルビノは全く発現しませんでした。

葉の形にしても、細葉や巻葉、切れ込みのあるもの、側芽が過剰発達したものなどバラエティに富みます。花も色は薄桃色から濃桃色まで、その大きさや花弁の枚数も様々です。個体全体としても、小型化、矮性、雄性不稔個体などが多数ありました。

特にXanthiの感受性は高く、照射後発芽した個体の10~20%に形態異常が発現しています。

吉田 機能面でも面白いものが見つかっています。その一つに、クロロフィル合成を阻害する除草剤に対して抵抗性をもつものがあります。葉の表面にこの除草剤をつけると、そこが普通は白くなりますが、この変異体の場合は全く変化がない。

また、塩濃度2%でも生育する変異体も見つかっています。海水が3.3~3.8%程度なのでかなり高濃度です。

とにかく、何か指標を決めてスクリーニングすると必ず出てくるといった感じですね。スクリーニングの時期も、半生存率の当たりで行なうのが最も効率がいい、ということ



阿部研究員



正常株と形態変異株

が明らかになりました。

重イオンビーム照射の場合、ビームが直接受精卵の遺伝子に作用するのではなく、たとえていうなら、大きな建物の中に髪の毛1数本分くらいのビームが入ってきて、その衝撃波によって、大きく遺伝子が欠損する、あるいは大きく組み換わるのではないかと今のところ考えています。このような大変異であるからこそ形態異常にまで繋がると…。

■それは満開の桜の下で始まった

吉田 重イオンビームとの出会いは理研の花見にあります。

そもそも私たちの研究室では、植物の遺伝子がそれぞれどんな機能をもっているかを追究するために、突然変異体をつくって異常と遺伝子との関係を探っていました。アルキル化剤を使って実験を行ない、特に薬剤処理のタイミングについて詳しく調べていました。変異が起こりやすく、しかもそれが個体全体に遺伝形質として固定されるにはいつがよいか、ということです。その結果、受粉後まもない卵割の進んでいない時がよいことが実験的に明らかになりました。

しかし、薬剤は浸透時間や薬剤除去の手間を要し、特定の組織を狙うことも難しいと、コントロールの面で難点が多い。他にいい方法はない

ものかと考えている時に、理研の花見で、サイクロトロン研究室の矢野さんと蓑をかたむけながら談笑する機会に巡りあったのです。



矢野主任研究員

矢野 吉田さんとは飲み友達で、互いに仕事の話はしなかったのですが、3年前のあの時は桜の花を眺めながら、これに重イオンビームを当てたらどうなるか、といった話になった。

仁科芳雄博士以来、理研にはサイクロトロンを原子核研究だけでなく、あらゆる分野に役立てるという伝統があり、どの位の線量だと突然変異体が生じやすいかなどの実験がマウスなどを使って行なわれ、データの蓄積がありました。そしてあの夜、植物とサイクロトロンが結びついたというわけです。



サイクロトロン生物照射室での実験の様子 写真の奥側から重粒子線の花の子房部分へ浴びせられる

吉田 理研のサイクロトロンの重イオンビームはエネルギーが高いので、大気中に打ち出せることを知りました。これなら生きたままの植物体を使え、私たちが調べてきた受粉後のちょうどいいタイミングに合わせて目標箇所に正確に当てることができると…。

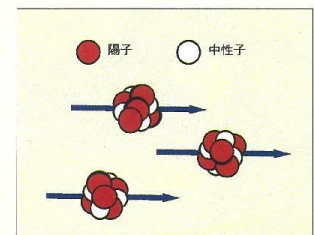
その年の9月から実験を始めましたが、結果はすばらしいものでした。

■10ミクロン径を狙い撃つ

阿部 今後は、形態や機能の異常がどのような遺伝子の欠損や組み換えで起こるのか、を追究していきたいですね。そこで、突然変異体のゲノム解析を始めているのですが、これは非常に手間ひまのかかる仕事です。

吉田 これについては、検出器や計算機の専門家などと共同研究を組み、検出や読み取りを迅速、簡便に行なうシステムの開発に乗りだしたところです。

重イオンビーム照射そのものに

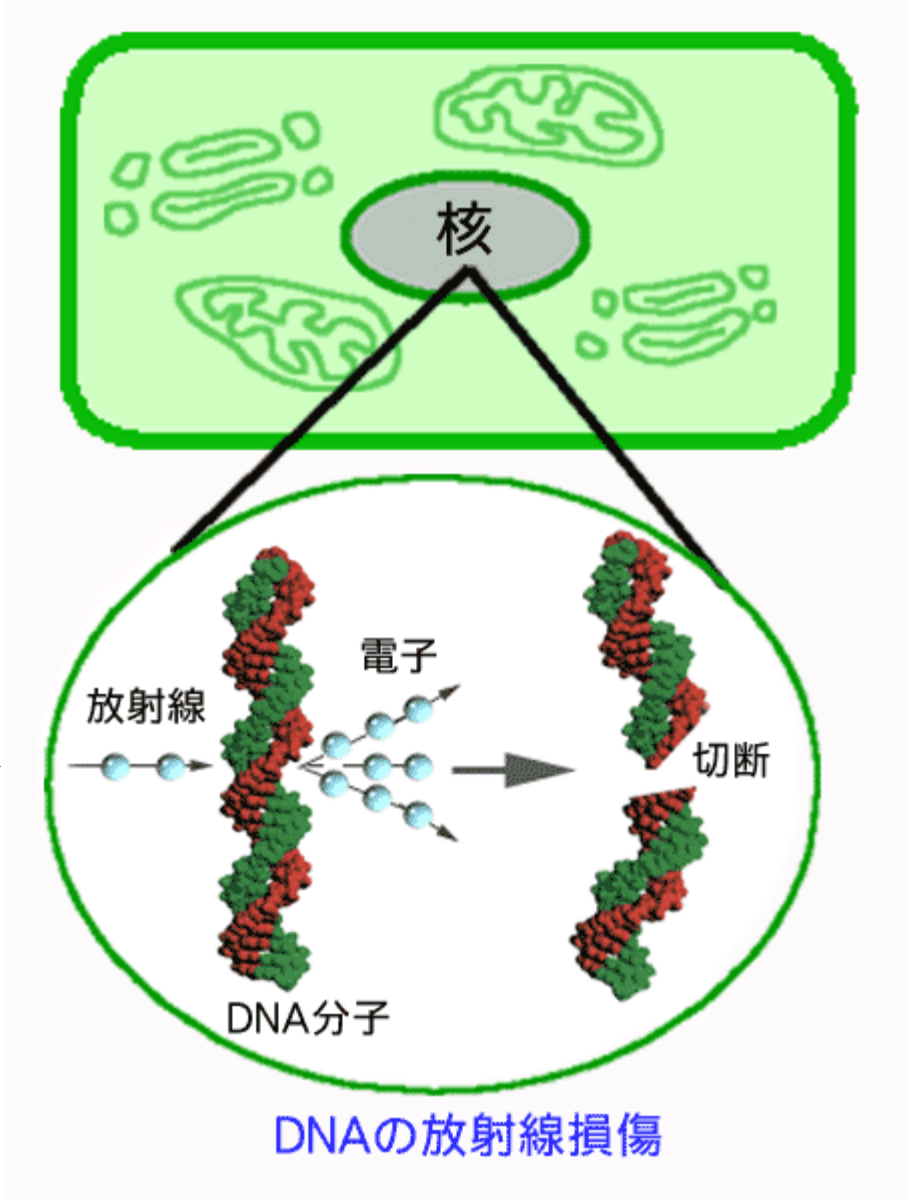


重イオンビームとは？

原子からいくつかの電子をはぎ、電荷を帯びさせた粒子をイオンと呼ぶ。特にヘリウムより重い元素のイオンを「重イオン」といい、物質中を通過する際に与えるエネルギーが他の放射線に比べて非常に大きい。リングサイクロトロンは重イオンを高エネルギービームとして発生する。

重イオン照射によって誘導されたアルビノ変異株と正常株

重イオンビーム  
炭素原子核



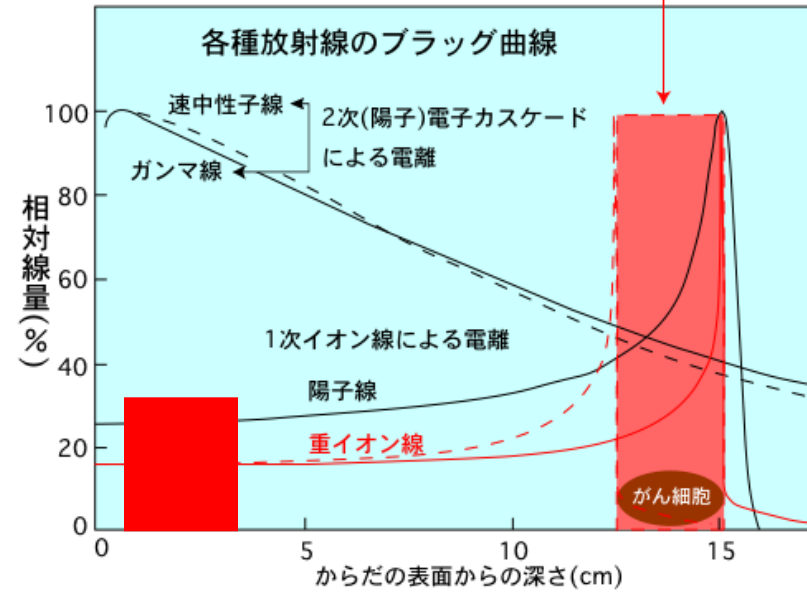


# 重イオンがん治療の基礎研究が植物の新しい品種改良法の発明につながった

## ねずみのがん照射（細胞をころす）

- 1) 飛程一定  $\text{バラツキ} \propto (\text{質量})^{-0.5}$  (切れが良い)
- 2) 直進性  $\text{バラツキ} \propto (\text{質量})^{-0.4}$  (切れが良い)
- 3) 鋭いブラッグピーク (拡大ピーク、多重照射)
- 4) 低酸素効果比  $\gamma:3$  重イオン:1
- 5) 生物学的効果比  $\gamma:1$  重イオン:3~6

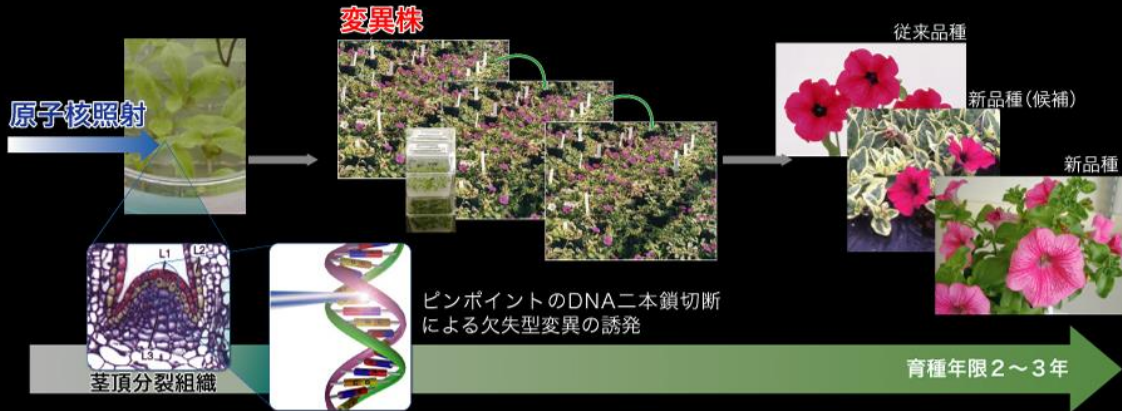
## タバコの受精胚照射



細胞をころさないほどに  
DNA 2重鎖を切断して  
効率よく突然変異をおこさせる



# 世界初の原子核照射による 品種改良法の発明と実施例



## ピンク色のペチュニア



平成18年6月8日  
第14回知的財産戦略本部会合

サントリーフラワーズとの協力で、本来は赤い花であるペチュニアを明るいピンク色に品種改良。平成15年1月に発売し、1年目に国内だけで40万株、北米、ヨーロッパで800万株という大ヒット。

## さくら花色変異株



## 耐塩性イネ



Na <sup>+</sup> 濃度(mM)	0	75	0	75	0	75
系統	正常株			耐塩性株		
				(6-99系統) (19-55系統)		

世界初の黄色いさくら「仁科蔵王」

## 矮性ソバ

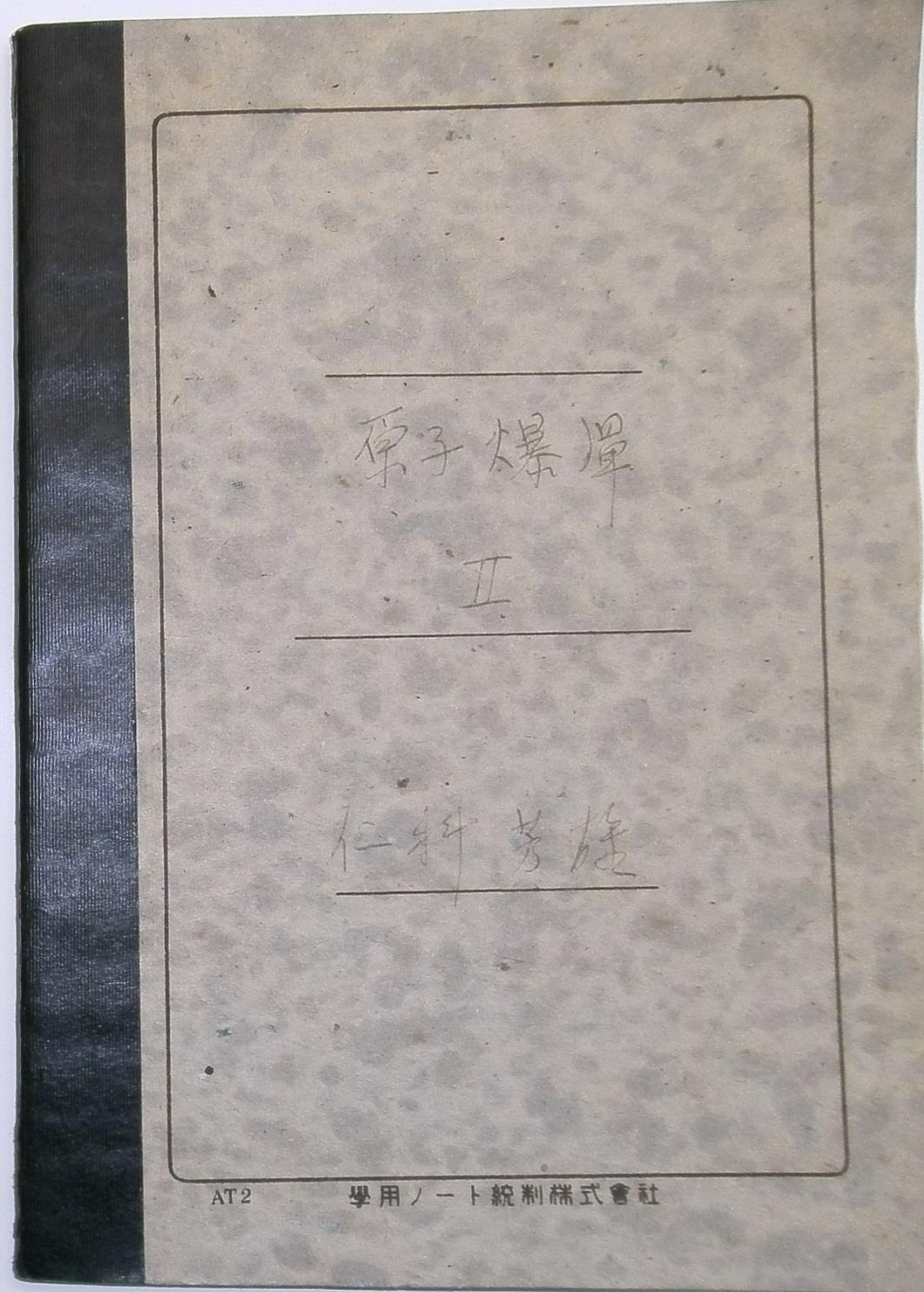
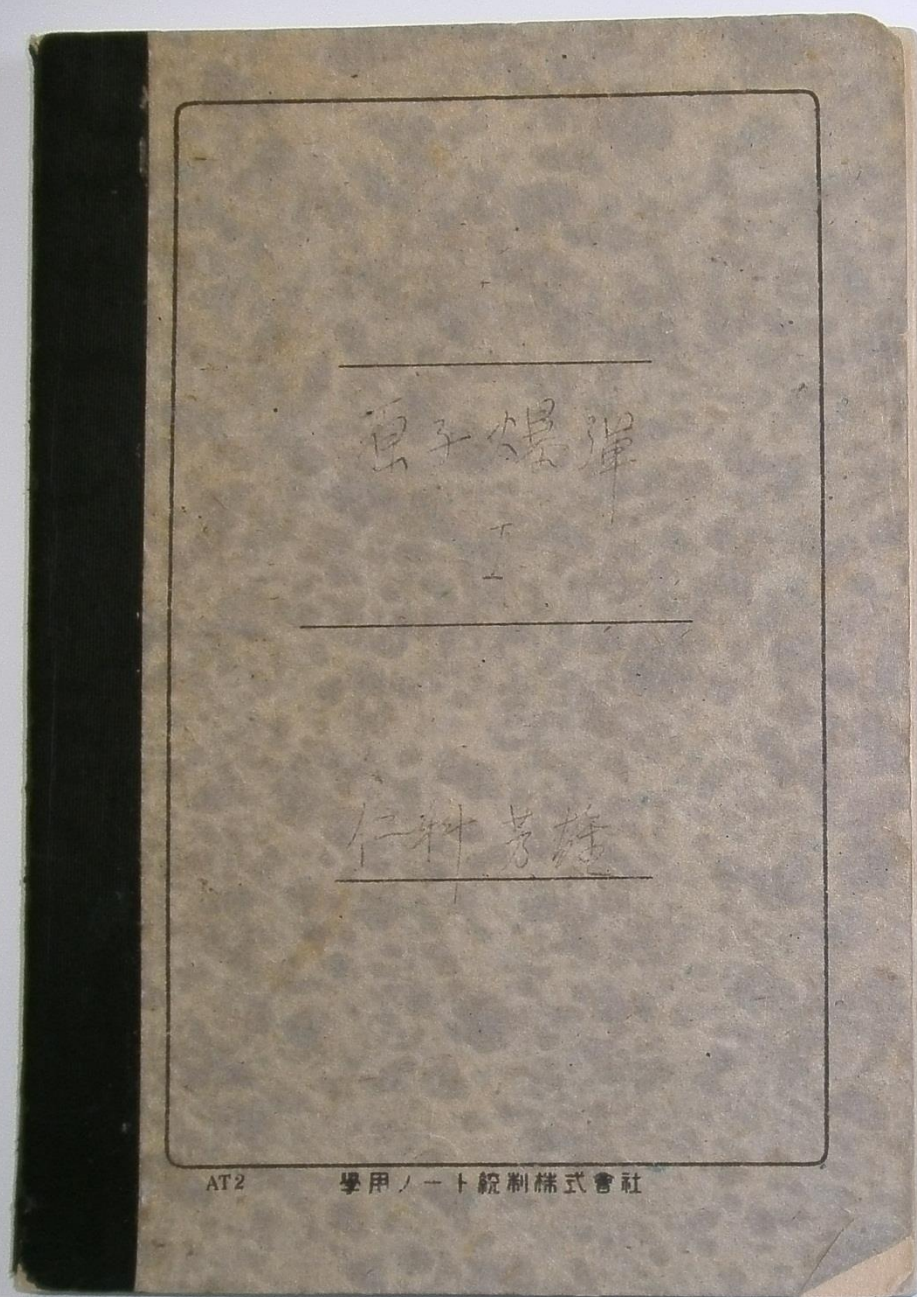


平成17年台風14号で倒伏した正常株

1945 8 6 広島に原爆投下

仁科先生が「命懸け」で「原爆かどうか」判定するために  
携行したノート

先生は「放射線の人体へ影響」を最もよく知っていた。  
最も放射能の強いときに広島、長崎の最も強い場所を  
調査した。



その根拠の一つは？

● 「原子弾又は同程度ノモノ」

● 「判決」

飛来不足、降ノモノナリ  
伏也。耳ヲ防カ。ニシテ  
中心地ニテ防空壕ニテ防ルニシテ  
硝子ノ瓶ハ又ニシテ  
白ペンキヲマシ。白幕ヲシテ  
閃光ヲ防。熱源ニシテ。爆風ニシテ  
微粉子ニシテ不明。  
員傷者多キハ未ケイケンノ如  
臭ノ背中ノ白クナリ。

休憩  
13時再開。 ● 判決

I. 爆薬ニシテ  
1000~2000トンノ火薬ニシテ  
爆薬ニシテ熱シ。焼夷剤ニシテ  
焼夷剤ニシテマキ コロニシテ  
本場 ● 原子弾又ハ19投込ノモノ

爆着ニシテ地矣。  
獲子部社 300m南。高至550m

爆圧  
施設本部

硝子 0.2kg/cm<sup>2</sup>. (硝子)  
已装 0.6kg/cm<sup>2</sup> (家半壊)

∴ 中心 6kg/cm<sup>2</sup> 地上。

火傷ノ原因

3km 外

此ノ先ハ 100m 外

熱源 700m 外 XRAY, β-線ヲシテ、疑ハ  
テ

投込時不 (1~2 sec.)

解答ニシテ不明ニシテ

光ノ投込時不明

火災ノ原因

引火 燃焼ニシテ、  
光ニシテ 可燃性物質ノ着火ニシテ  
ニシテ、場合ニシテ。

投込方法

此種投込ハ必ズシテ落下傘ヲ伴  
ハス。高至100m

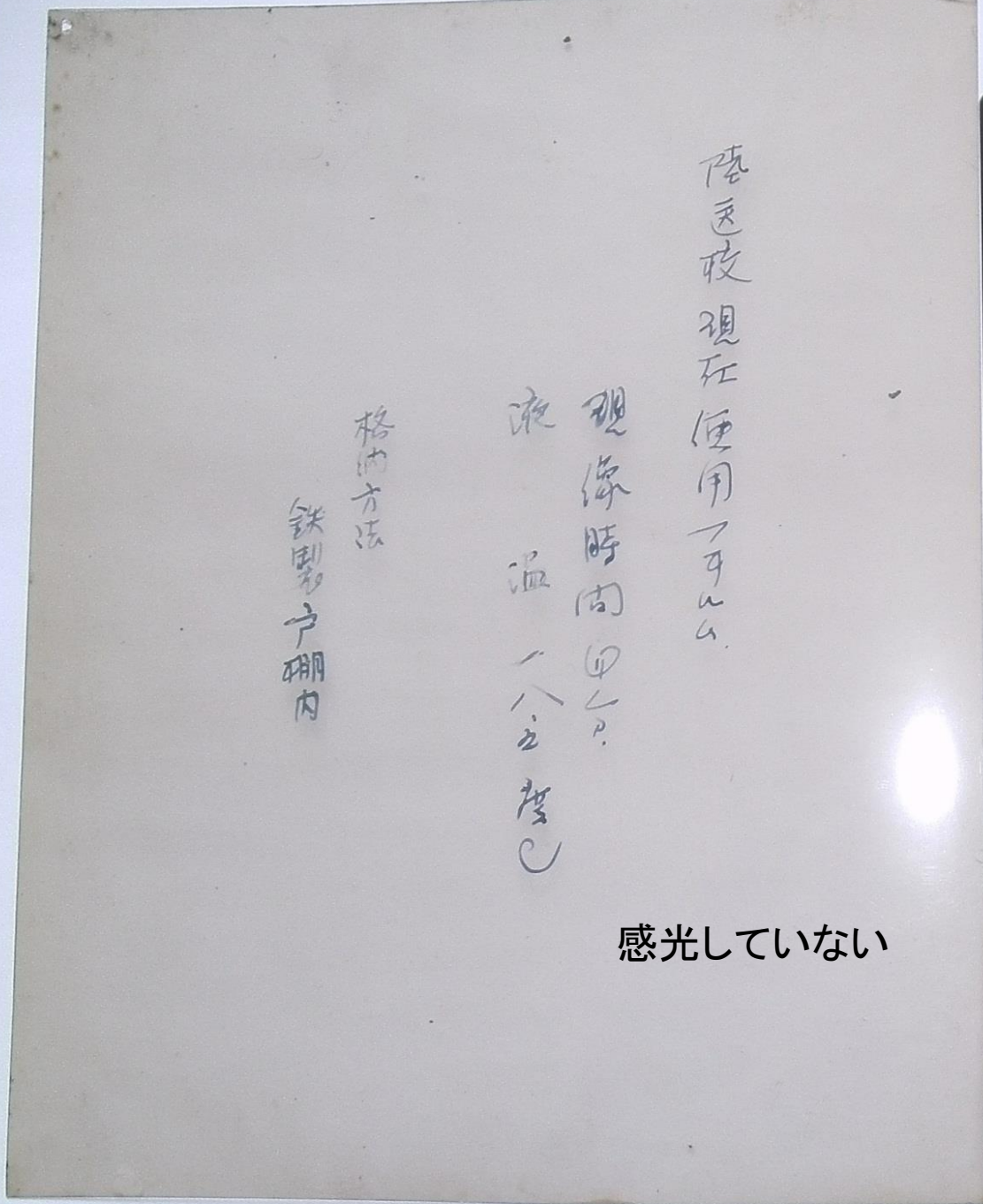
II. 国民指導

1. 警戒警報中トシテ 敵機ノ近

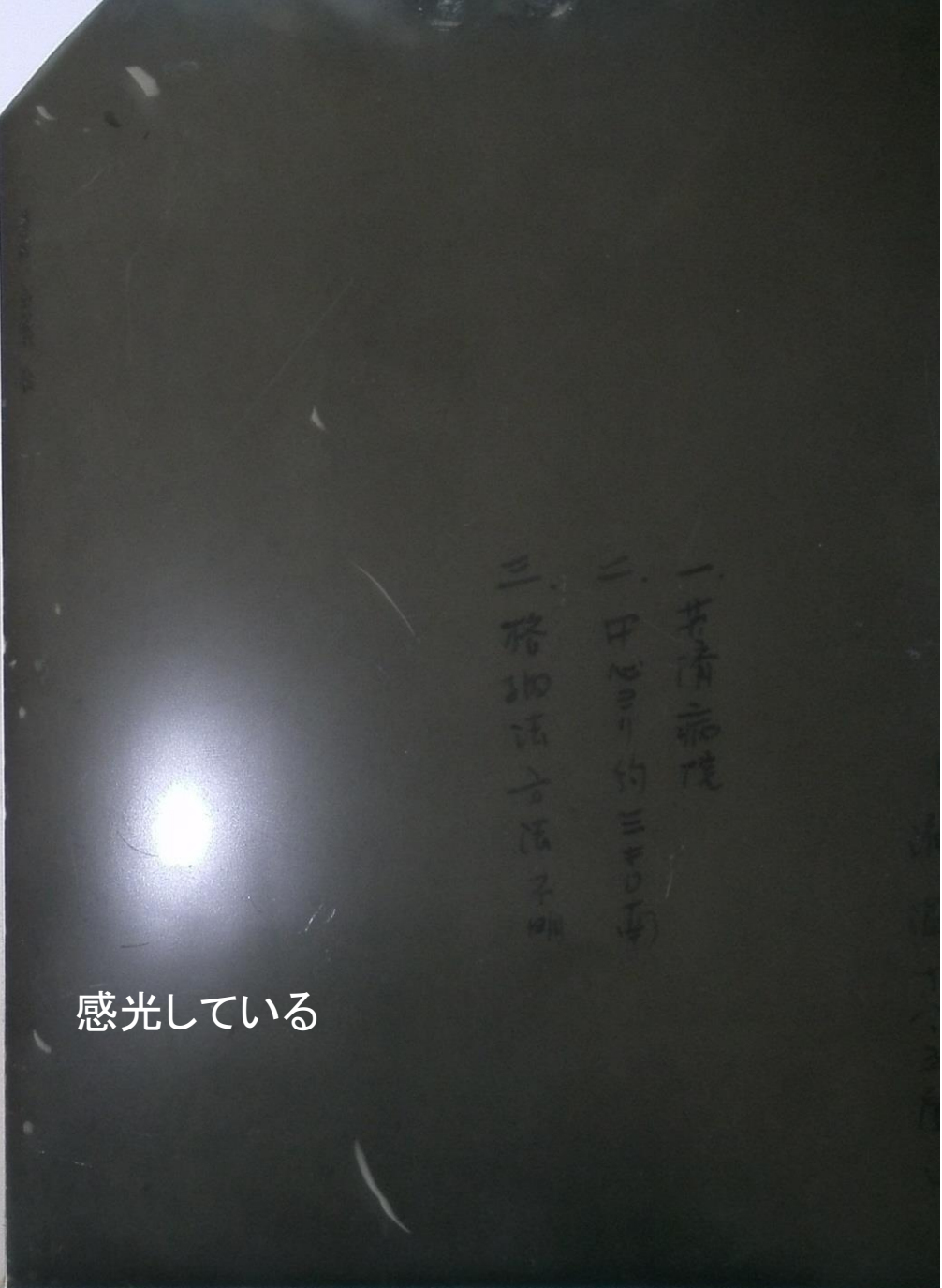
2005年に「仁科記念室」見つかった

(右) 爆心に近い日赤病院のレントゲンフィルム

(左) 爆心から遠い呉医学校のレントゲンフィルム



感光していない



感光している

武見先生からお聞きした話をもう一つ。昭和20年8月6日、広島に原爆が落とされたとき、仁科先生は陸軍の要請で直ちに軍用機に乗って広島に飛ばれた。（中根先生の回顧録より）

惨状を見、それから赤十字病院にあったX線乾板が感光しているのを見て、原爆が投下されたと察せられた先生は、人骨を東京の武見先生に送って放射能の検出を命ぜられた。

人骨から強い放射能が放出されていることを確認された武見先生は、直ちに奥さんの祖父に当たる牧野伸顕伯爵に報告された。

牧野伯はすぐさま宮中に参入し天皇陛下に奏上され、陛下は即座に日本は降伏するとの聖断を下されたそうである。8月8日であった。

亡くなる一年ほど前に、

故郷の津山中学校で講演。

請われて揮ごうした書

環境は人を創り

人は環境を創る

昭和廿四年十一月十七日

仁科芳雄

仲間と一緒に

戦争はするな  
に挑め



