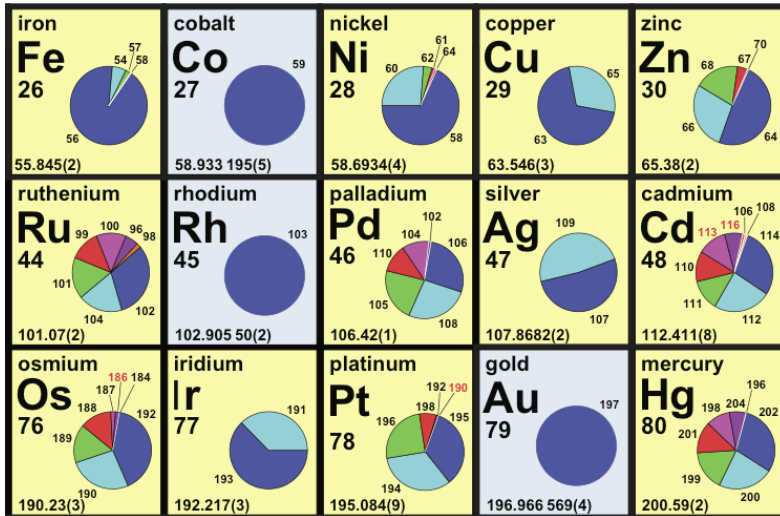


# Discovery and applications of isotopes

## アイソトープの発見とその応用

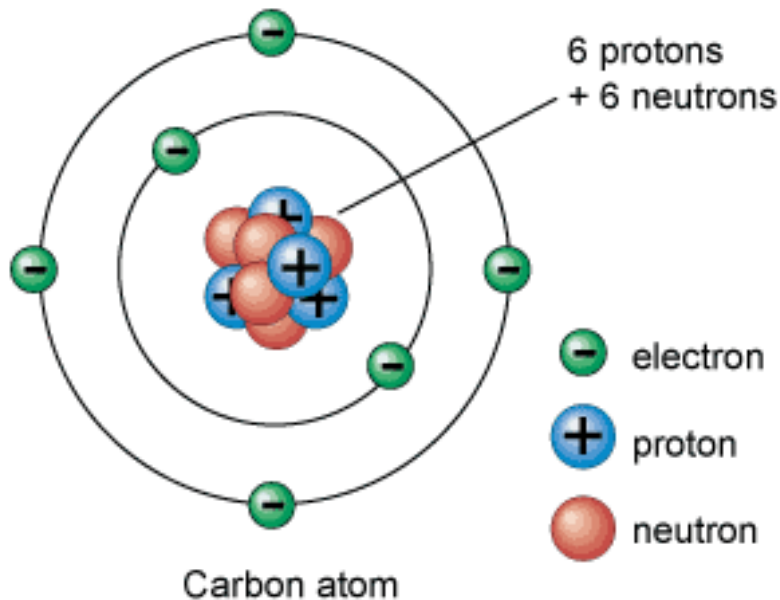
Michael Thoennessen  
Michigan State University

マイケル テーネソン  
ミシガン州立大学



# Quick review

## ざっとおさらい



- An atom consists of electrons surrounding a core of protons and neutrons  
原子は陽子と中性子からなる核およびそれらを取りまく電子から成り立っている。
- The core is called the nucleus  
その核のことを原子核と呼ぶ。
- The number of protons determines the element  
陽子の数が元素を決定づける。
- For example carbon has 6 protons  
例えば炭素は6個の陽子から形作られている。

# Periodic table of the elements

## 元素の周期表

|    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1  |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 2   |
| 3  | 4  |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
| 11 | 12 |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  |
| 19 | 20 | 21 | 22  | 23  | 24  | 25  | 26  | 27  | 28  | 29  | 30  | 31  | 32  | 33  | 34  | 35  | 36  |
| 37 | 38 | 39 | 40  | 41  | 42  | 43  | 44  | 45  | 46  | 47  | 48  | 49  | 50  | 51  | 52  | 53  | 54  |
| 55 | 56 |    | 72  | 73  | 74  | 75  | 76  | 77  | 78  | 79  | 80  | 81  | 82  | 83  | 84  | 85  | 86  |
| 87 | 88 |    | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | 112 | 113 | 114 | 115 | 116 | 117 | 118 |



- The heaviest element has 118 protons and was discovered in 2006.  
最も重たい元素は118個の陽子から形作られていて、2006年に発見された。
- The most recent discovery was element 117 in 2010.  
最近では117番目の元素が2010年に発見された。
- Elements 113, 115, 117 and 118 have not been named yet.  
113, 115, 117および118番目の元素にはまだ名前が付けられてない。
- In 2012, elements 114 and 116 were named Flerovium and Livermorium  
2012年、114および116番目の元素がフレロビウムおよびリバモリウムと名付けられた。

# Element 113

## 113番元素



3個目の113番元素の合成を新たな崩壊経路で確認  
 新元素発見を確定する成果で、日本発の元素命名権獲得へ

**Search for element 113 concluded at last**  
 After many years of painstaking work Japanese researchers prove third time's a charm

元素周期表 Periodic Table of Elements (Reported)

|   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |    |     |     |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| 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 | Rf |    | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Ds | Rg | Cn | 113 | 114 | 115 | Lv | 117 | 118 |

→ 超アクチノイド元素

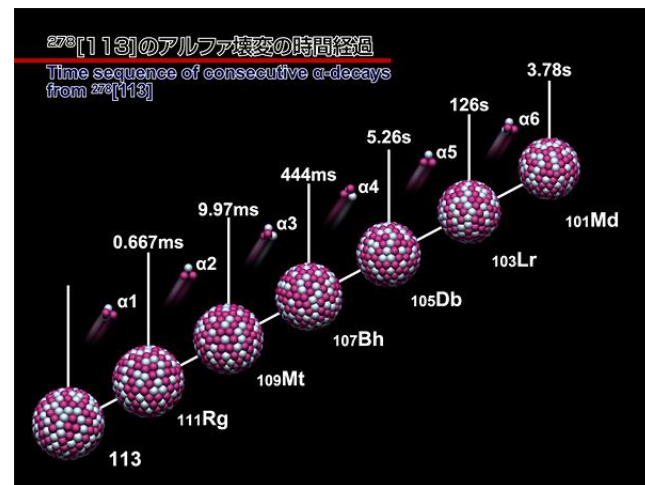
\*ランタノイド: La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy

\*アクチノイド: Ac, Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf

□ 自然界で発見された元素  
 ■ 人工合成により発見された元素

113, 115, 117, 118番は命名に至っていない。

Synthesized by RIKEN  
 理研が合成した元素

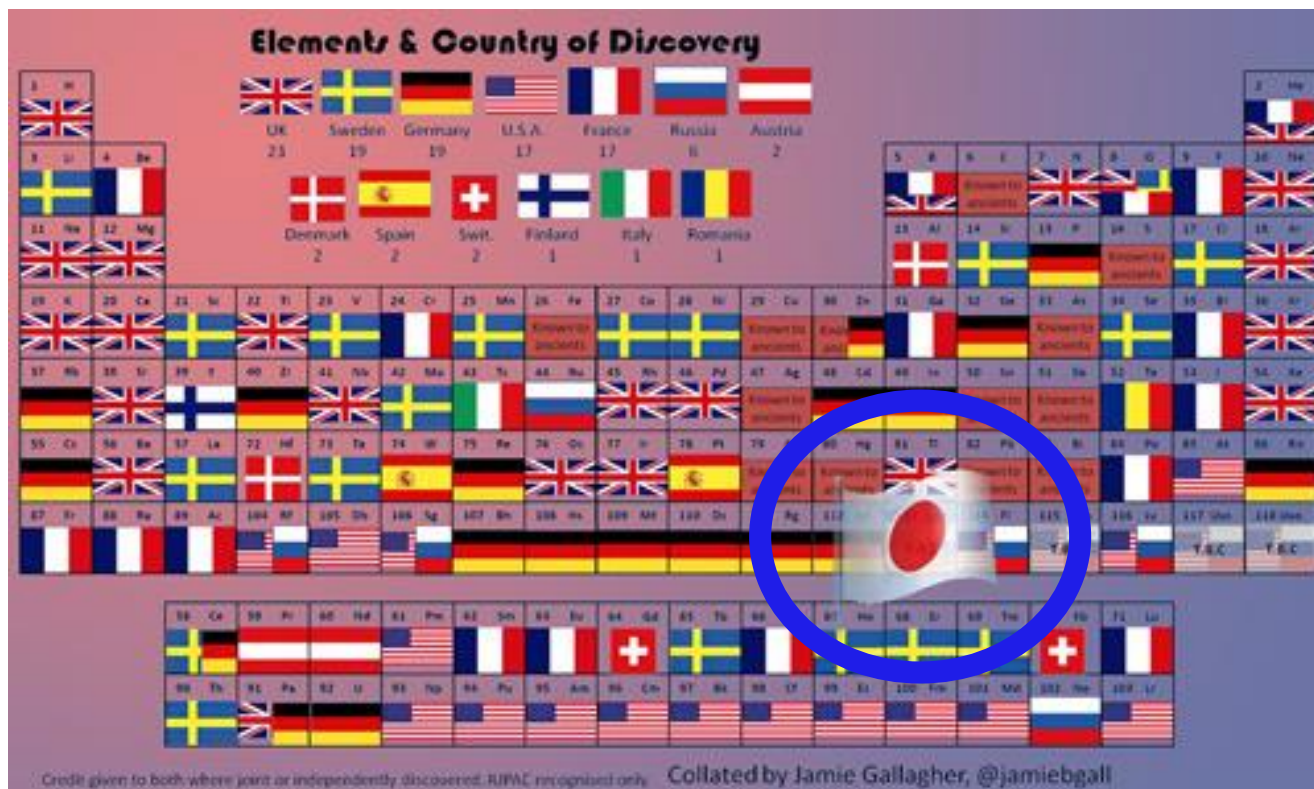


Time sequence of consecutive  $\alpha$ -decays from  $^{278}_{113}$



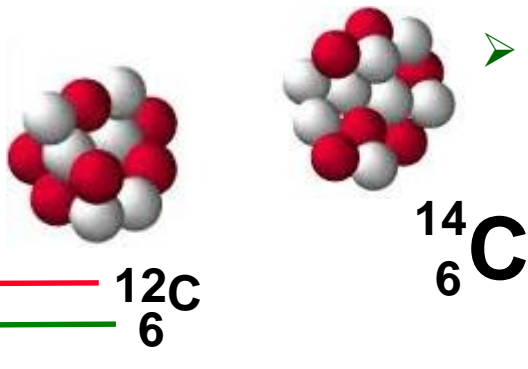
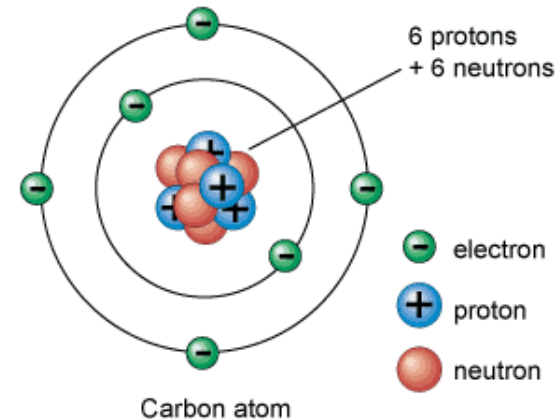
# First element discovered in Asia

## アジアで発見された最初の元素



# Neutrons 中性子

- Adding one proton changes the element.  
陽子を1つ加えると元素が変わる。
- What about adding neutrons?  
では中性子を加えると？



# of protons: atomic number  
陽子数：原子番号

- Add two neutrons to carbon.  
炭素に2つ中性子を加える ( $^{12}\text{C}$ ).

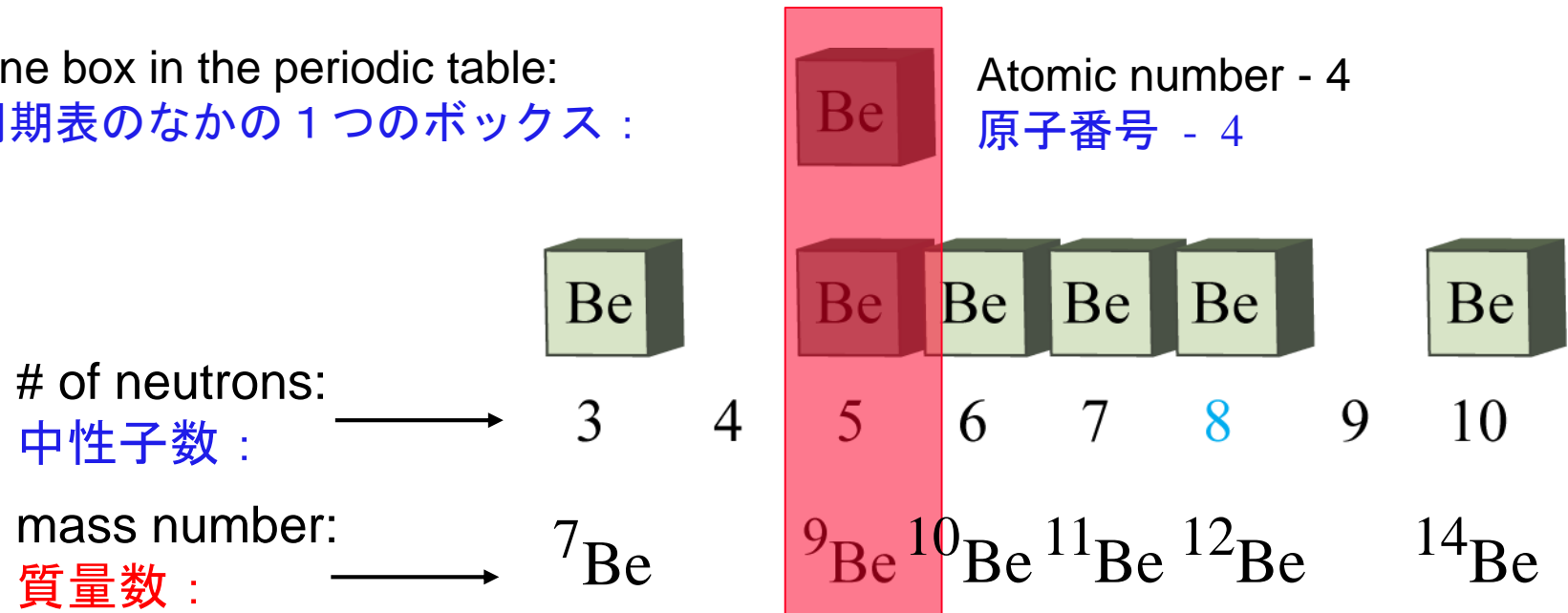
- The element stays the same, but it gets heavier.  
元素は同じままだが、重たくなる。
- Chemistry does not change, but physical properties change.  
化学的な性質はそのままに、物理的な性質だけが変化する。

# of protons and neutrons: mass number  
陽子および中性子数：質量数

# Isotopes 同位体

- Nuclei with the same number of protons but different numbers of neutrons are called **isotopes**.  
互いに同数の陽子を持つが異なった数の中性子を持つ原子核を**同位体**と呼ぶ。
- For example beryllium – 例えばベリリウム：

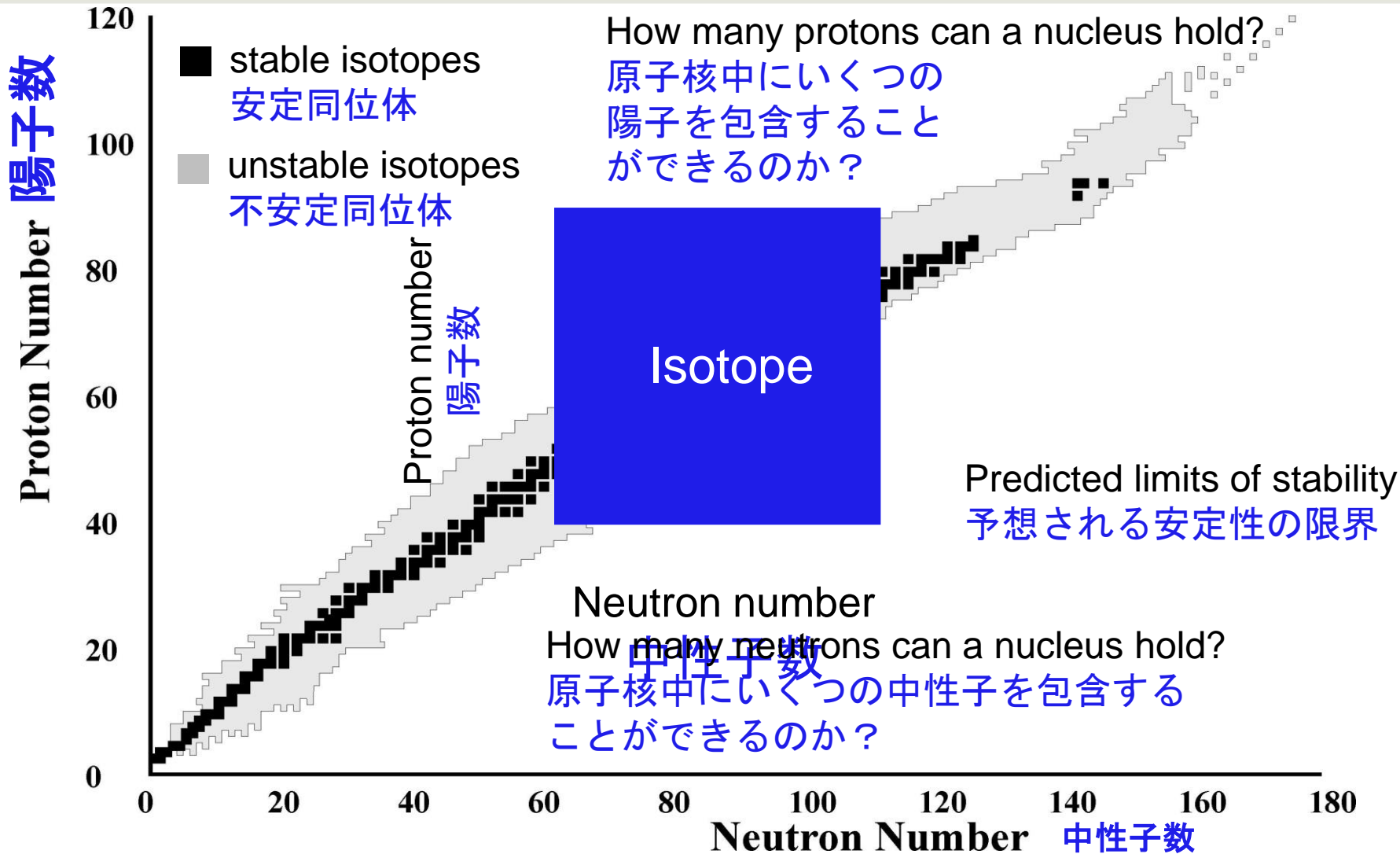
One box in the periodic table:  
周期表のなかの1つのボックス：



Beryllium has one row in the “Chart of isotopes.”  
ベリリウム同位体は”核図表”の中で横に並びます。

# Chart of the isotopes

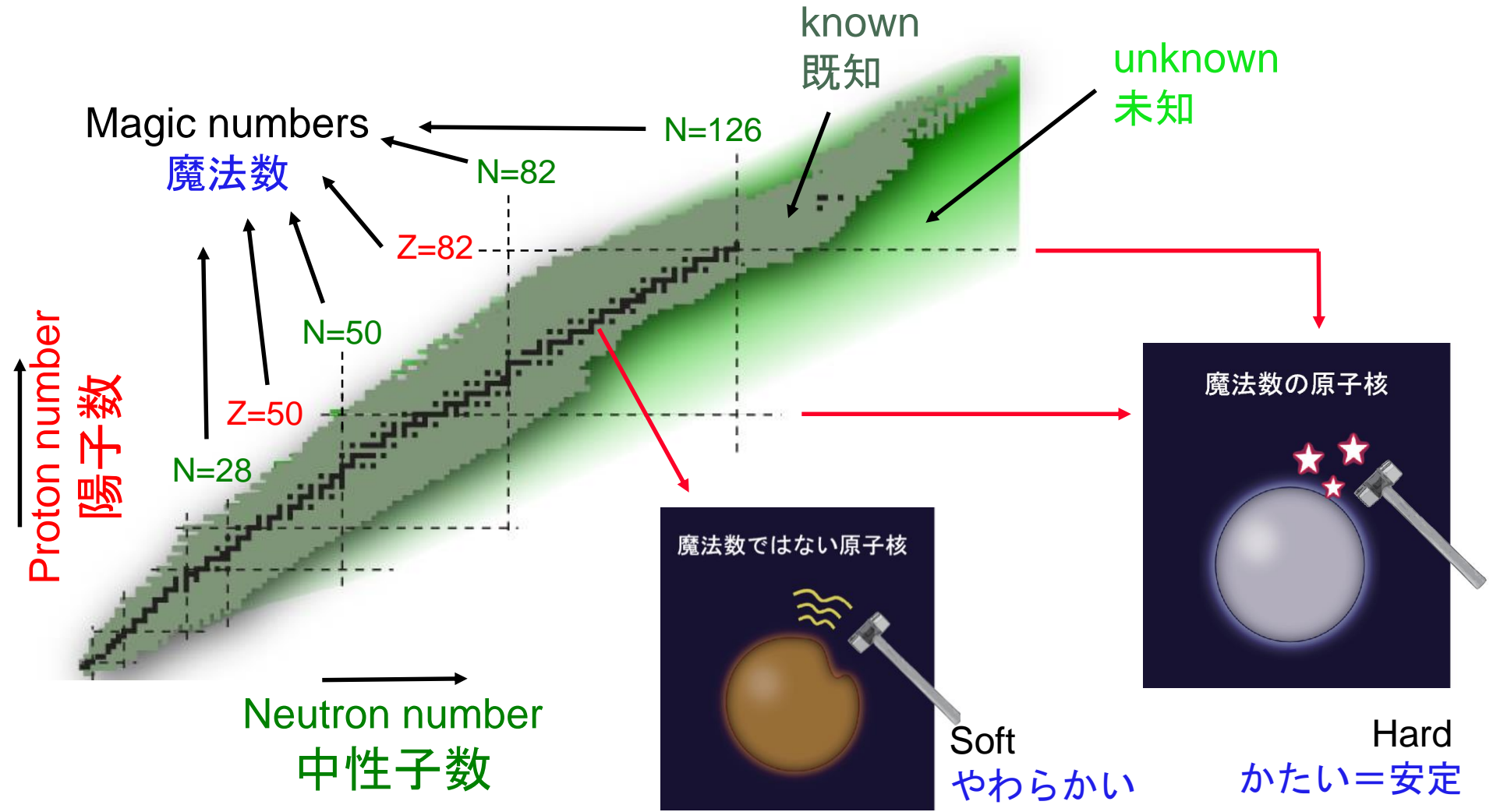
## 核図表



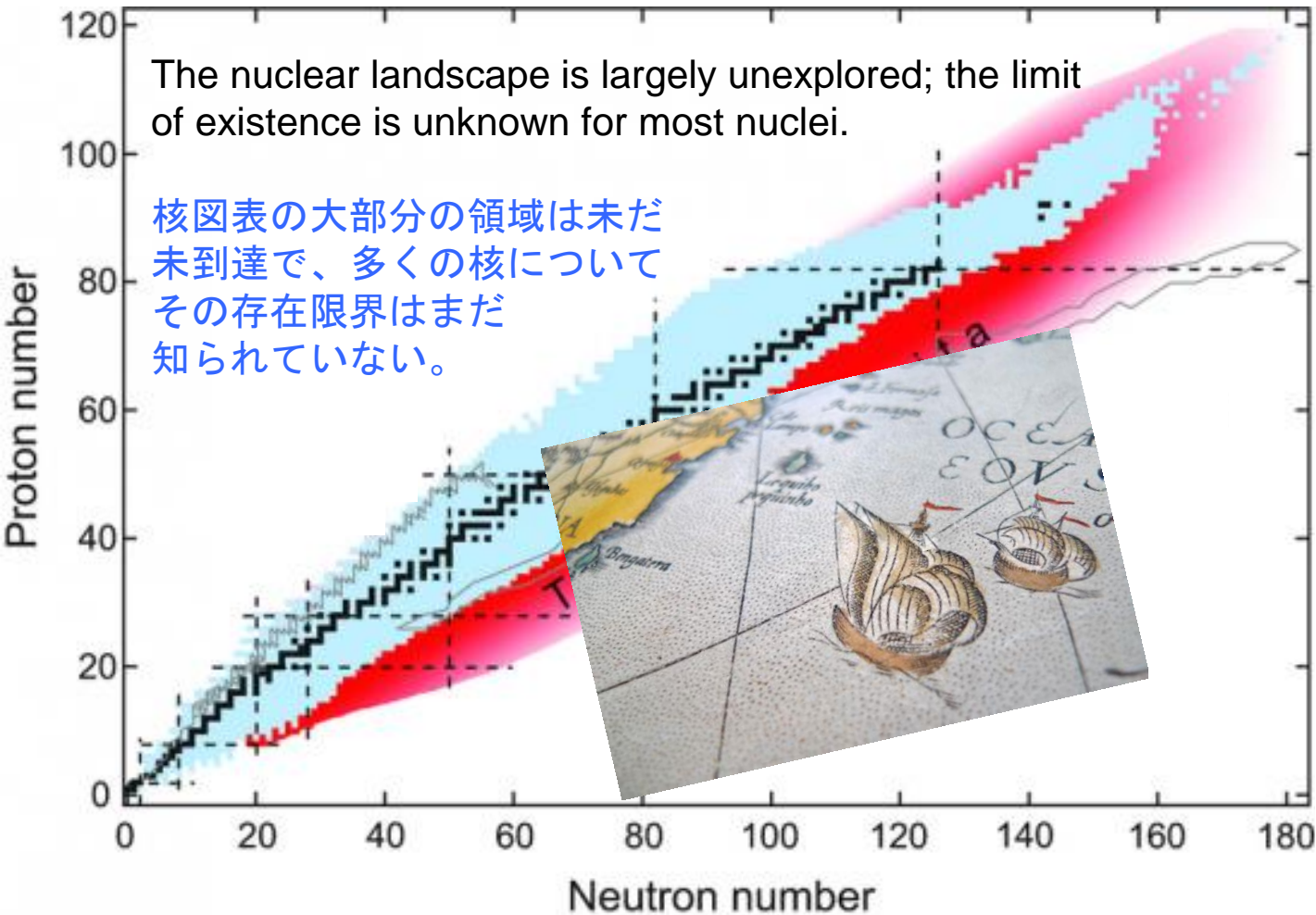


# Not all isotopes are equal

## 全ての同位体が等しいというわけではない



# Discover unknown lands 新大陸の発見



- About 260 isotopes are found in nature  
約 260 個の同位体が天然に存在。
- So far ~3000 isotopes have been identified  
これまで発見された同位体の数は 3000 個。
- Over 4000 isotopes have never been observed  
4000 個以上の同位体が未発見のまま。

# Researchers are explorers of the unknown

## 研究者は未知の世界の探検家

- Similar to the exploration of space, discovering new isotopes is exploring the nuclear universe.

宇宙を探検するのと同じように、新しい同位体を見いだすことは核の宇宙を探検するようなものです。



Chiaki Mukai  
向井千秋



Naoko Yamazaki  
山崎直子

- The quest for the unknown is a driving force for discovery.

未知のものを捜し求めることは、発見のための強い原動力となります。

- Go where no one has gone before.

誰もこれまで到達したことのない場所へ。



- Search for the edge of the nuclear universe.  
核の宇宙の最果てを求めて。

# Who “discovered” isotopes? 誰が同位体を”発見”した？

Frederick Soddy  
(フレデリック・ソディ)  
in 1913

University of Glasgow The Hunterian

Enter your keywords here Search

Home > The Hunterian > Visit > Events

The Hunterian

- About Us
- Learning
- Collections

Isotope Day - 4 December 2013

Isotopes were introduced to the world in a letter to the journal 'Nature', published on 4 December 1913 by the University of Glasgow chemist Frederick Soddy.

DECEMBER 4, 1913] *NATURE* 399

LETTERS TO THE EDITOR.

[The Editor does not hold himself responsible for opinions expressed by his correspondents. Neither can he undertake to return, or to correspond with

growing ova by nurse cells, the latter being phagocytes which capture other cells and stuff them into the ova. I have also a number of stages of spermatogenesis. The sponge (*G. compressa*) is hermaphrodite,

ment could occur as atoms  
ifferent nuclear properties,  
reconciled the periodic table  
na of radioactivity, and atomic  
Nobel Prize in Chemistry for

uggested to him by Margaret  
at 11 University Gardens.  
University of Glasgow.



...what I call “isotopes” or “isotopic elements”,  
because they occupy the same place in the  
periodic table.

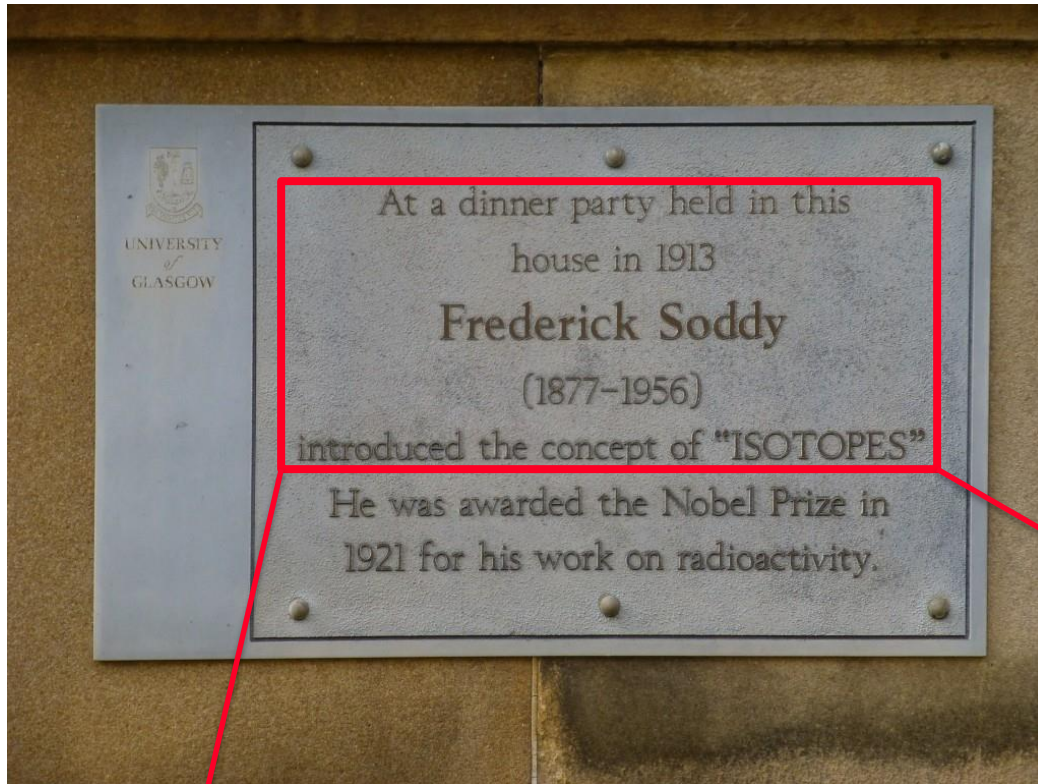
...これらは私が”同位体”もしくは”同位体元素”  
と呼ぶのもである、なぜならそれらは周期表の  
同じ場所に位置しているからだ。

only showed that the products of fermentation arrested the action of the enzyme which caused it, but also that if these products reached a certain concentration, the enzyme instead of producing further hydrolysis

its atomic weight, as concluded by A. van der Broek (*NATURE*, November 27, p. 372), is strongly supported by the recent generalisation as to the radio-elements and the periodic law. The successive expulsion of one

Greek – ギリシャ語：  
isos = ἴσος = 同じ  
topos = τόπος = 場所

# Plaque memorizing the event 記念碑



1913年この家で催されたディナーパーティーにおいて、フレデリック・ソディは”同位体の”概念を披露した。

# Discovery of radioactivity 放射能の発見

PHYSIQUE. — *Sur les radiations émises par phosphorescence.*  
Note de M. **HENRI BECQUEREL.**

**February 24, 1896**

COMPTES RENDUS  
DES SÉANCES  
DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 24 FÉVRIER 1896.

From these experiments we must therefore conclude that the phosphorescent substance in question emits radiation which passes through the paper.

これらの実験に基づくと、問題のリン光を発しているこの物質は、紙を通過する放射線を発していると結論づけなければならない。



National Science Foundation  
Michigan State University

Henri Becquerel, Nobel prize in Physics 1903  
アンリ・ベクレル, 1903年ノーベル物理学賞

# Radioactive substances

## 放射性物質

|                |       |                                  |                   |
|----------------|-------|----------------------------------|-------------------|
| Feb. 24, 1896  | ウラン   | H. Becquerel                     | $^{238}\text{U}$  |
| March 24, 1898 | トリウム  | G.C. Schmidt                     | $^{232}\text{Th}$ |
| July 18, 1898  | ポロニウム | P. Curie and M. Curie            | $^{212}\text{Po}$ |
| Dec. 26, 1898  | ラジウム  | P. Curie, M. Curie and G. Bemont | $^{226}\text{Ra}$ |
| Nov. 6, 1899   | ラドン   | P. Curie and M. Curie            | $^{222}\text{Rn}$ |

...the induced radioactivity is decreasing, first very rapidly, then slower and tends to disappear asymptotically.

...誘発された放射能は次第に減少していく、最初は急激に、だんだんゆっくりと、そして最後には徐々に消滅してしまうのである。

PHYSIQUE. — *Sur la radioactivité provoquée par les rayons de Becquerel* (').  
Note de M. **P. CURIE** et de M<sup>me</sup> **M.-P. CURIE**, présentée par M. Becquerel.

Compt. Rend. Acad. Sci. 129 (1899) 714



National Science Foundation  
Michigan State University

Marie and Pierre Curie, Nobel Prize in Physics 1903  
マリー、ピエール・キュリー、1903年ノーベル物理学賞

# Discovery of two neon isotopes

## 2つのネオン同位体の発見

Neon is not a simple gas but a mixture of two gases, one of which was an atomic weight about 20 and the other about 22.

ネオンは実は単純な気体ではなく、2つの気体の、ひとつは原子質量およそ20のそしてもうひとつはおよそ22を持った、混合物なのです

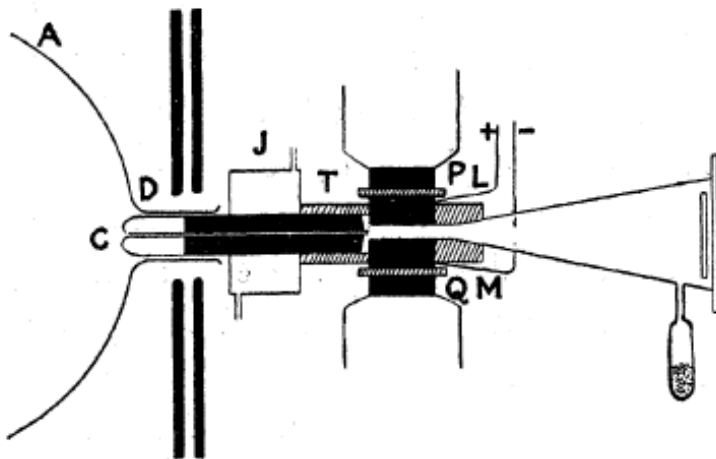
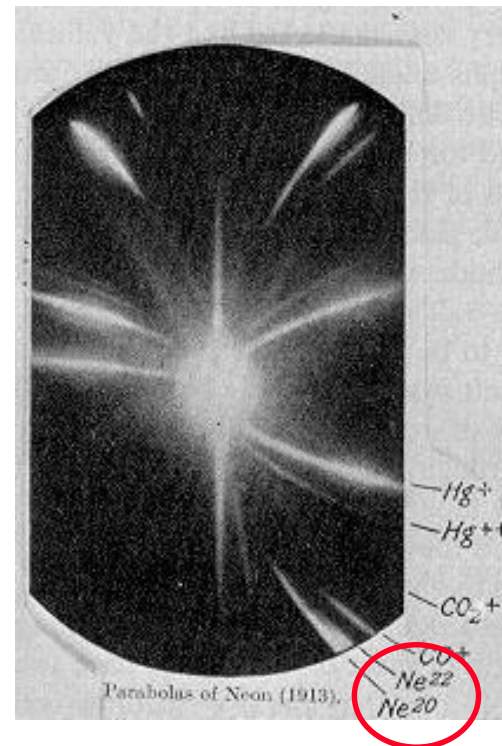


FIG. 4.



J.J. Thomson, Proc. Roy. Soc. 89 (1913) 1



National Science Foundation  
Michigan State University

Joseph John Thomson, Nobel prize in Physics 1906

ジョゼフ・ジョン・トムソン, 1906年ノーベル物理学賞



# 1932: Discovery of the neutron

## 1932: 中性子の発見

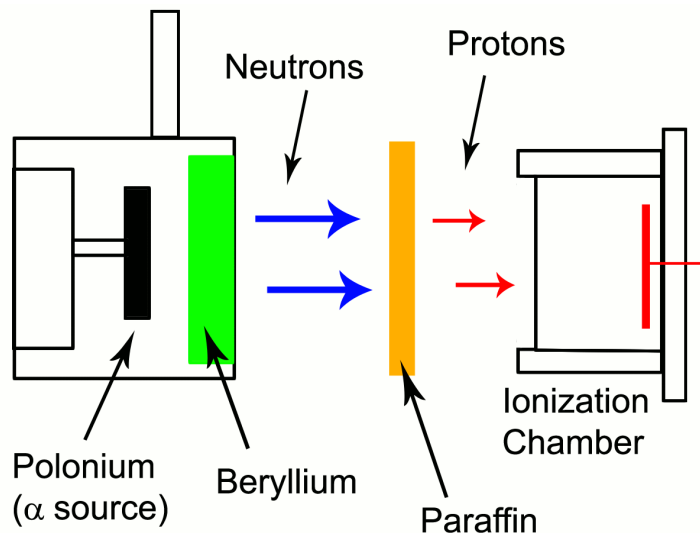
These results and others I have obtained in the

The difficulties disappear, however, if it be assumed that the radiation consist of particles of mass 1 and charge 0, or neutrons.

しかしながらその放射能が質量数 1、電荷 0 から成る粒子、または中性子と呼ばれるものから成っていると仮定すると、問題は解決するのである。

J. Chadwick,  
Nature 129 (1932) 312

neutron.



# Discovery of fission 核分裂の発見

Nachweis der Entstehung aktiver Bariumisotope aus Uran und Thorium durch Neutronenbestrahlung; Nachweis weiterer aktiver Bruchstücke bei der Uranspaltung<sup>1</sup>.

Von OTTO HAHN und FRITZ STRASSMANN, Berlin-Dahlem.

Conclusive proof for the production of barium from uranium.

ウランウムからのバリウム生成についての決定的な証拠

angegeben, daß die bei  
mittels Neutronen ent-  
diumisotope gehaltenen

\* Aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie in  
Berlin-Dahlem. Eingegangen am 28. Januar 1939.

O. HAHN u. F. STRASSMANN, Naturwiss. 27, 11  
(1939).

FEB. 11, 1939

NATURE

Disintegration of Uranium by Neutrons: a New  
Type of Nuclear Reaction

On the basis, however, of present ideas about the  
behaviour of heavy nuclei\*, an entirely different and  
essentially classical picture of these new disintegration

Such a drop may divide itself into two  
smaller drops.

そのような滴は2つの小さな滴に分割  
するかもしれない。

Jan. 16.

LISE MEITNER.  
O. R. FRISCH.

Meitner and Frisch were the first to  
explain fission

核分裂はマイトナーとフリッシュ  
によって最初に説明された。



Lise Meitner

リーゼ・マイトナー



Otto Hahn

オットー・ハーン



National Science Foundation  
Michigan State University

Nobel prize in Chemistry 1944

1944年ノーベル化学賞

# First isotope discovery in Japan 日本におけるはじめての同位体発見



## Preliminary Report on the Radioactivity Produced in Y, Zr, and Mo

A study of the radioactivity produced in Y, Zr, Cb and Mo by making chiefly neutron bombardments on these elements from the cyclotron in the Institute of Physical and Chemical Research, Tokyo.

理化学研究所のサイクロトロンによって



Ryokichi Sagane  
嵯峨根遼吉

R. Sagane, S. Kojima, G. Miyamoto,  
and M. Ikawa  
Phys. Rev. 54 (1938) 542

Discovery of  $^{89}\text{Zr}$ ,  $^{91}\text{Mo}$  and  $^{99}\text{Mo}$   
 $^{89}\text{Zr}$ 、 $^{91}\text{Mo}$ 、および $^{99}\text{Mo}$ が発見された

| BOMBARDMENTS                      | OBSERVED PERIODS        |                         |                         |
|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                                   |                         |                         |                         |
| Slow neutrons                     | —                       | 24 min.                 | 64 hr.                  |
| Fast neutrons                     | 17 min.                 | —                       | 64 hr.                  |
| Sign                              | $e^+$                   | $e^-$                   | $e^-$                   |
| Chemical test                     | Mo                      | Mo                      | Mo                      |
| Assignment                        | $\text{Mo}^{91}$        | $\text{Mo}^{101}$       | $\text{Mo}^{99}$        |
| Upper limit derived from K-U plot | 1.8<br>$\pm 0.4$<br>Mev | 1.3<br>$\pm 0.1$<br>Mev | 1.0<br>$\pm 0.1$<br>Mev |

$^{99}\text{Mo}$  has an important practical application  
モリブデン99は、重要な用途がある。



# Importance of $^{99}\text{Mo}$

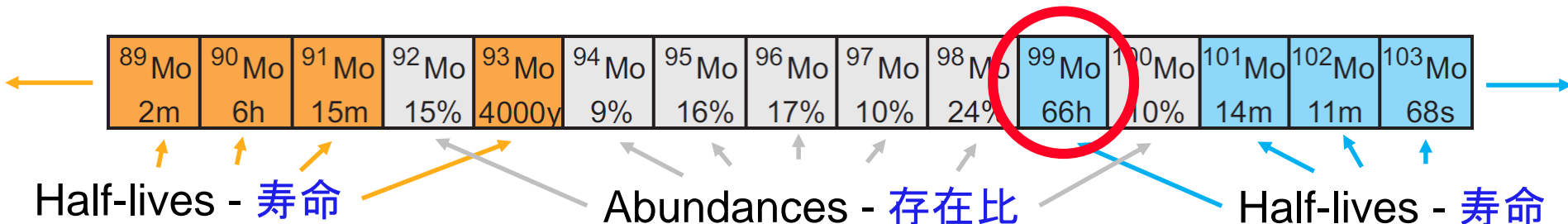
## $^{99}\text{Mo}$ の重要性

Although the chemistry of all isotopes for a given element is the same, the isotopes have different physical properties, for examples, masses, half-lives, and decay properties

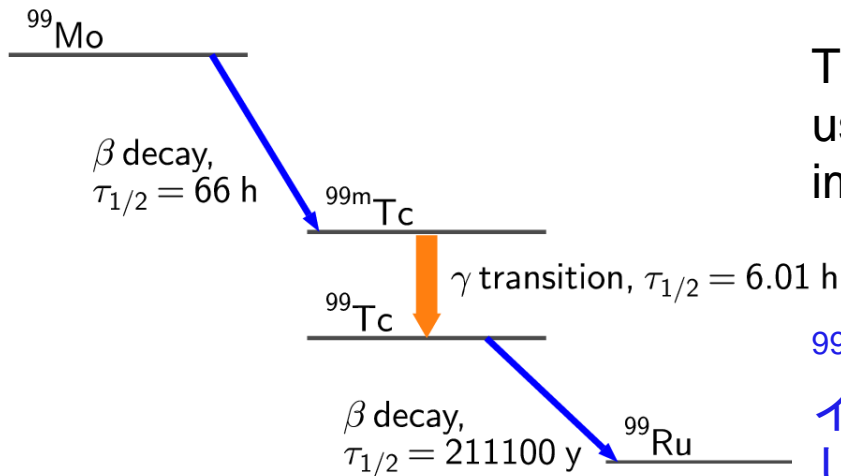
元素記号が同じであれば、同位体はすべて同じ化学的性質を示すが、質量、寿命、崩壊様式といった物理的性質は異なる。

For example molybdenum - モリブデンの例:

- 7 stable isotopes - 7個の安定同位体
- 10 positron emitters - 10個の同位体は陽電子を放出して崩壊 ( $\beta^+$ )
- 18 electron emitters - 18個の同位体は電子を放出して崩壊 ( $\beta^-$ )

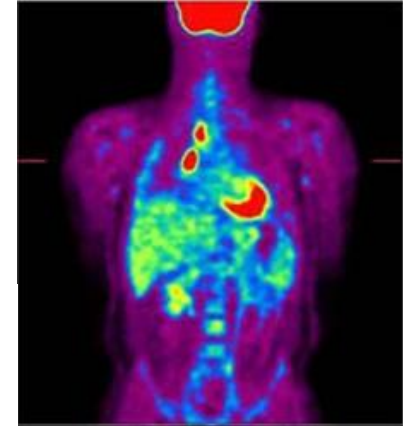


# Medical imaging 医用画像



The  $\gamma$ -ray transition in  $^{99}\text{Tc}$  is used as a tracer in medical imaging.

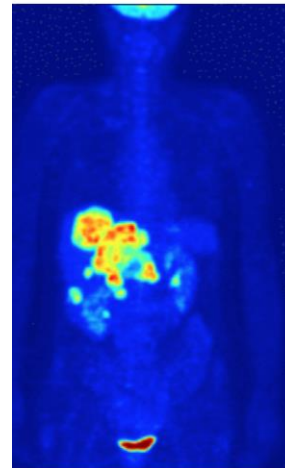
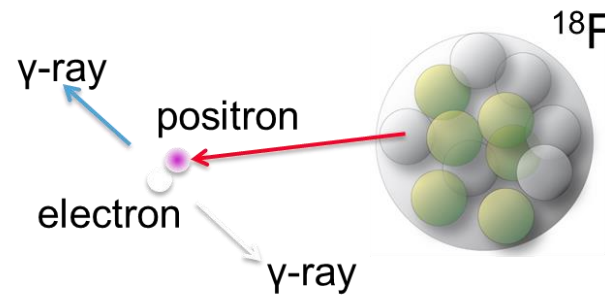
$^{99}\text{Tc}$ のガンマ線遷移は、医学用イメージングのトレーサーとして利用される。



## Positron emission tomography - 陽電子放射断層撮像法:

3D images by detecting  $\gamma$ -ray pairs from the decay of positrons emitted from  $^{18}\text{F}$ .

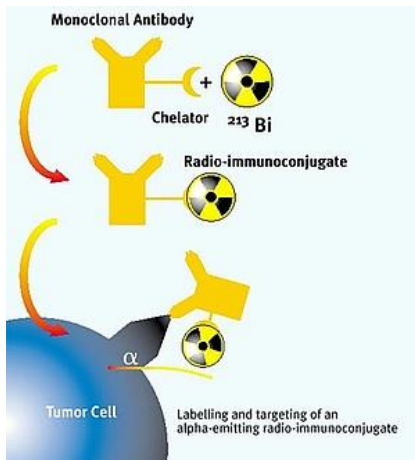
$^{18}\text{F}$ から放出される陽電子が崩壊する際に生じるガンマ線対を測定することで、3次元画像が得られる



# Example of internal radiation therapy

## 内部放射線治療の例

Alpha-immunotherapy - アルファ線免疫療法:



An  $\alpha$ -emitter ( $^{213}\text{Bi}$  or  $^{225}\text{Ac}$ ) couples to a tumor selective molecule.

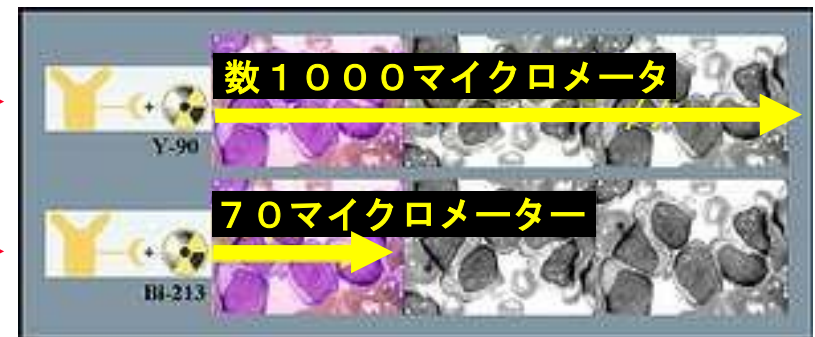
アルファ線を放出する同位体 ( $^{213}\text{Bi}$ や $^{225}\text{Ac}$ ) を腫瘍選択性が高い分子にとりこませ、患者体内に入れる

Alpha-particles have high energies but short range, so the damage is limited to the tumor.

アルファ線は高いエネルギーを持つが、短い距離を経て止まるので、放射線による損傷は腫瘍に限定される

$\beta$ -emitter  $^{90}\text{Y}$   
ベータ線を放出する  $^{90}\text{Y}$

$\alpha$ -emitter  $^{213}\text{Bi}$   
アルファ線を放出する  $^{213}\text{Bi}$



←→

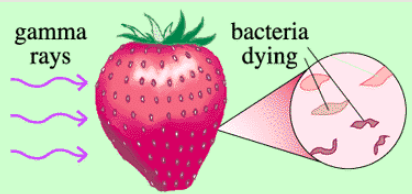
tumor 腫瘍

healthy tissue 健康な組織

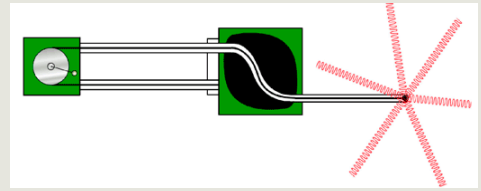
# Need for different isotopes

## 様々な同位体の必要性

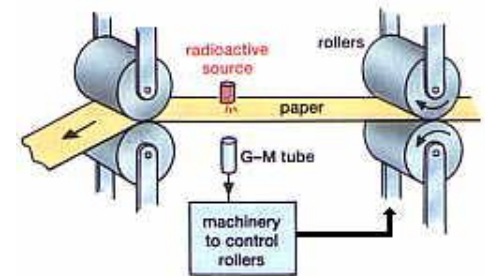
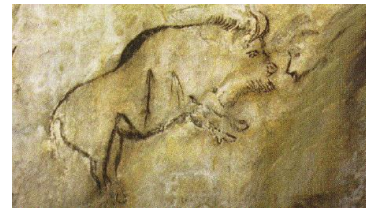
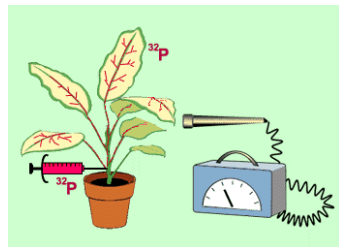
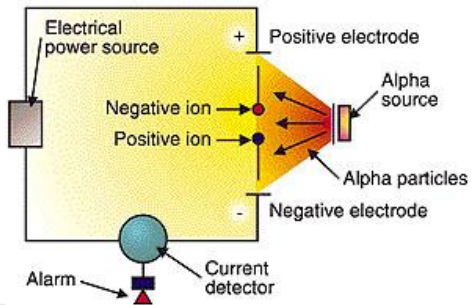
| Properties - 性質         | Requirements - 条件  |
|-------------------------|--|
| Production<br>生成法       | Cheap:<br>安価 : cyclotrons, reactors<br>サイクロトロン、原子炉   |
| Half-life<br>半減期        | Not too short:<br>極端に短くない : deliver to hospital<br>病院への輸送<br>Not too long:<br>極端に長くない : minimize exposure to patient<br>患者への曝露を最小限             |
| Decay energy<br>崩壊エネルギー | Not too small:<br>極端に小さくない : no effect, not transparent<br>ある程度の効果が必要<br>Not too large:<br>極端に大きくない : damage to healthy tissue<br>健康な組織の損傷を避ける |
| Decay type<br>崩壊様式      | $\alpha$ -emitter:<br>アルファ線放出核 : localized damage to tumors<br>損傷を腫瘍に局在化<br>$\gamma, \beta^+$ -emitter:<br>ガンマ線、陽電子線放出核 : imaging<br>画像撮影に利用   |
| Chemistry<br>化学的性質      | Concentrate in tissue, bone, etc,..<br>腫瘍や骨等に選択的に集中  |



# Other applications その他の応用例



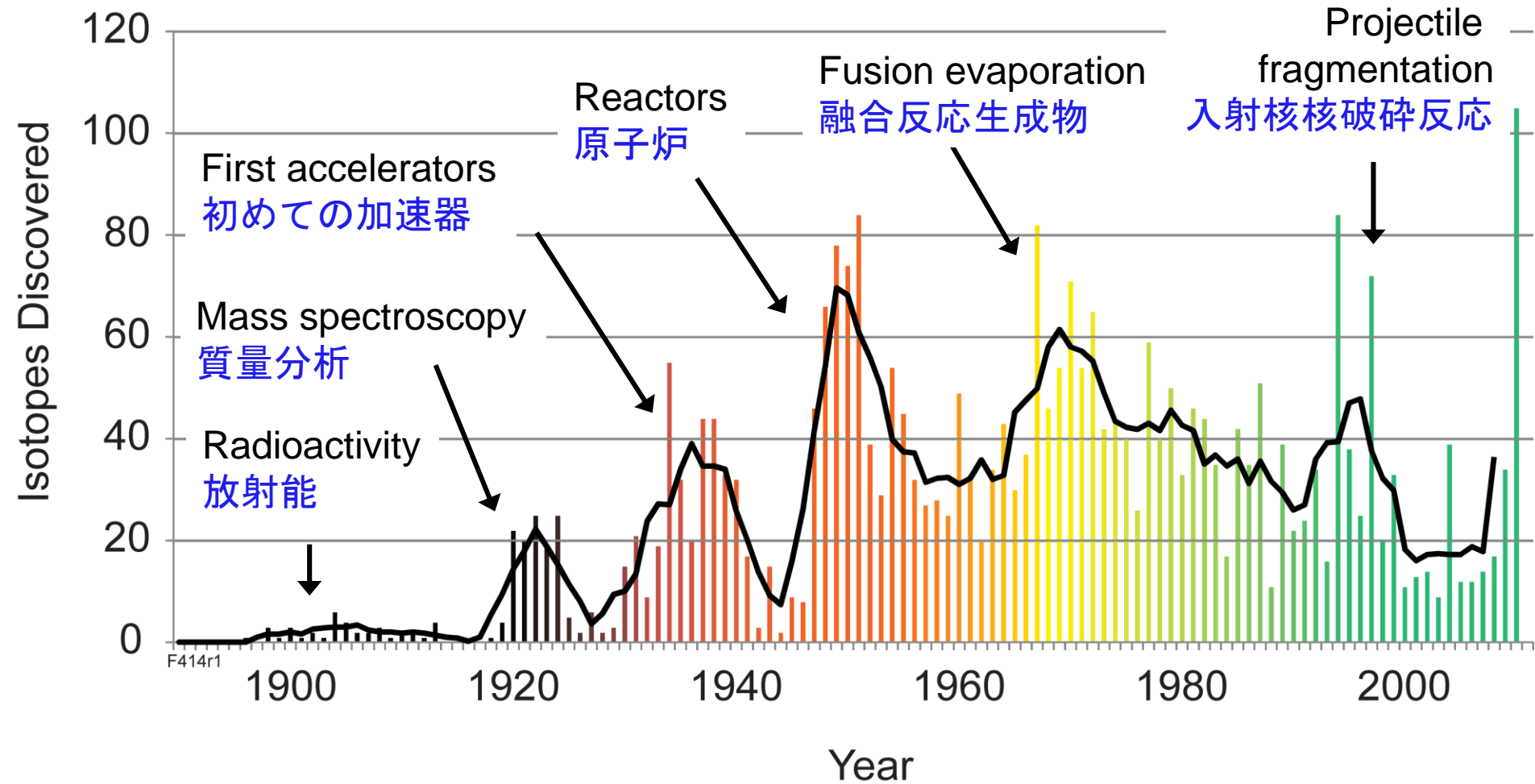
| Application<br>応用                           | Isotope<br>同位体    | Decay type<br>崩壊様式 | Half-life<br>半減期 | Decay energy<br>崩壊エネルギー |
|---|-------------------|--------------------|------------------|-------------------------|
| Smoke detectors – 煙探知機                      | $^{241}\text{Am}$ | $\alpha$           | 432y             | 5500keV                 |
| Biological tracer –<br>生物学的トレーサー            | $^{32}\text{P}$   | $\beta$            | 14d              | 1700keV                 |
| Archeological dating –<br>考古学試料の年代測定        | $^{14}\text{C}$   | $\beta$            | 5730y            | 156keV                  |
| Thickness control – 厚み制御                    | $^{85}\text{Kr}$  | $\beta$            | 10y              | 687keV                  |
| Food irradiation – 食品照射                     | $^{60}\text{Co}$  | $\gamma$           | 5.3y             | 1200keV                 |
| Industrial gamma radiography –<br>工業用ガンマ線撮影 | $^{192}\text{Ir}$ | $\gamma$           | 74d              | 380keV                  |





# Current status and future possibilities

## 現状と展望



# Discovery timeline of the isotopes

## アイソトープ発見のタイムライン

1890

Video can be found at:

<http://www.nscl.msu.edu/~thoennes/isotopes>

- 放射性崩壊系列
- 質量分析
- 軽粒子
- 核分裂
- 核融合/核移行
- 核破砕
- 入射核破砕反応

M. Thoennessen  
MSU/NSCL - 2013

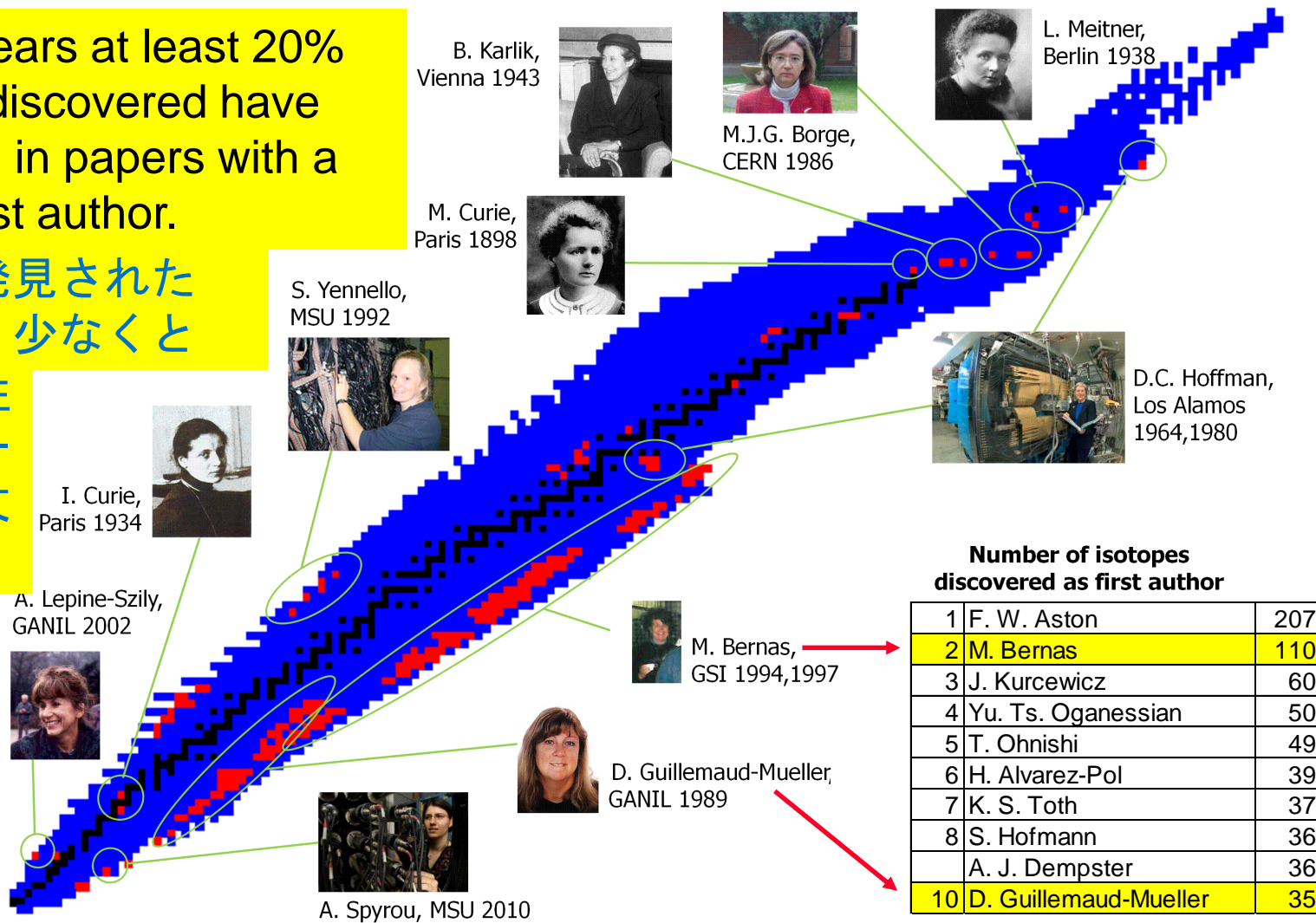


# Role of women in the discovery of isotopes

## 同位体発見における女性の活躍

In the last 25 years at least 20% of all isotopes discovered have been published in papers with a woman as a first author.

過去25年で発見された同位体のうち、少なくとも20%は女性の研究者が第一著者として論文発表

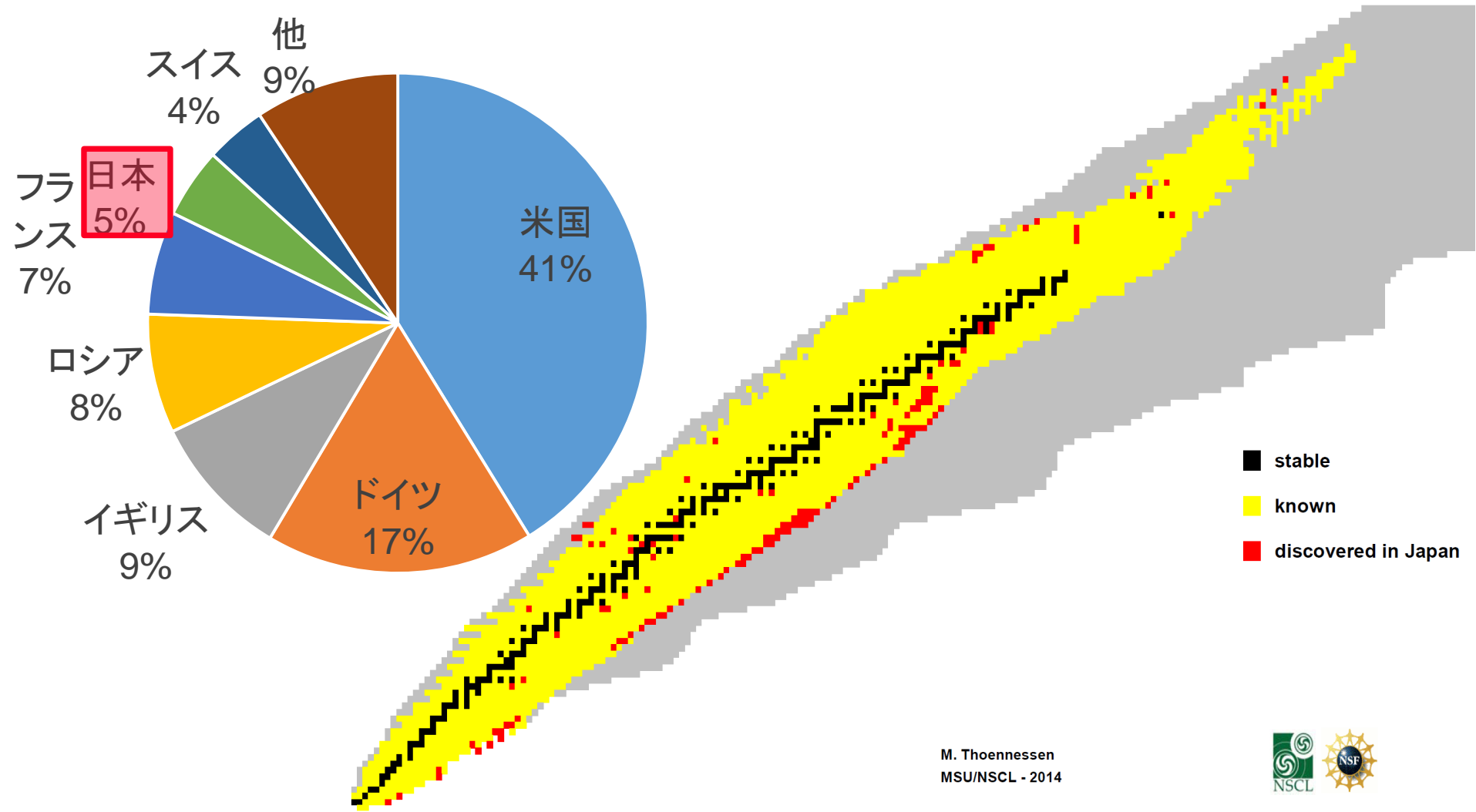


Number of isotopes discovered as first author

|    |                       |     |
|----|-----------------------|-----|
| 1  | F. W. Aston           | 207 |
| 2  | M. Bernas             | 110 |
| 3  | J. Kurcewicz          | 60  |
| 4  | Yu. Ts. Oganessian    | 50  |
| 5  | T. Ohnishi            | 49  |
| 6  | H. Alvarez-Pol        | 39  |
| 7  | K. S. Toth            | 37  |
| 8  | S. Hofmann            | 36  |
|    | A. J. Dempster        | 36  |
| 10 | D. Guillemaud-Mueller | 35  |

# 145 isotopes have been discovered in Japan

## 145個の同位体が日本で発見！！！！

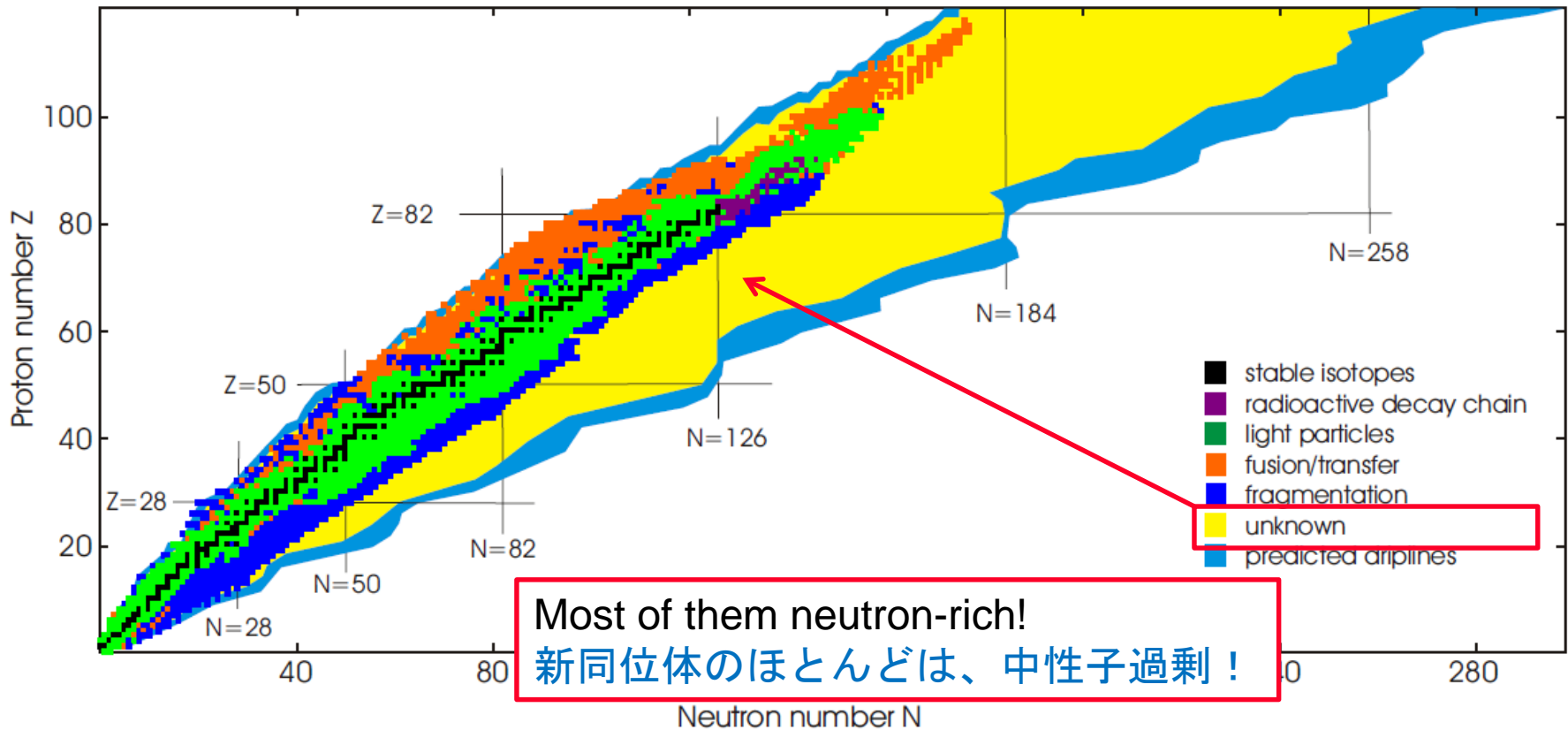


M. Thoennessen  
MSU/NSCL - 2014



National Science Foundation  
Michigan State University

# How many more nuclides are there? いくつの原子核が存在するのか？



About 3000 isotopes are known and at least half of the ~4000 unknown isotopes should be able to be discovered in the future.

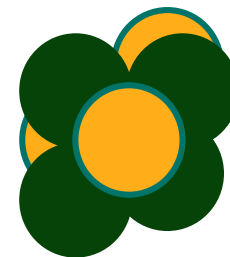
約3000個の同位体はすでに存在が知られ、4000個の未発見の同位体のうち、すくなくともその半分は将来発見することが可能。

# How do we make these neutron-rich isotopes? どのように中性子が多い同位体を生成するのか？

Answer: Projectile fragmentation or projectile fission  
答え： 入射核核破砕反応か分裂反応

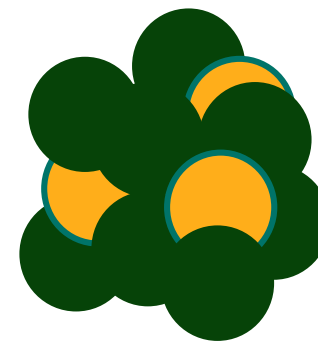
For example, stable lithium consists of  ${}^7\text{Li}$   
with 3 protons and 4 neutrons:

例：安定なリチウム7同位体は、3つの  
陽子と4つの中性子からなる。



Suppose we want to study  ${}^{11}\text{Li}$   
which has 3 protons, 8 neutrons:

もし、3つの陽子と8つの中性子からなる  
リチウム11を生成したいときは：



# Projectile fragmentation 入射ビームの破砕反応

$^{18}\text{O}$



衝突

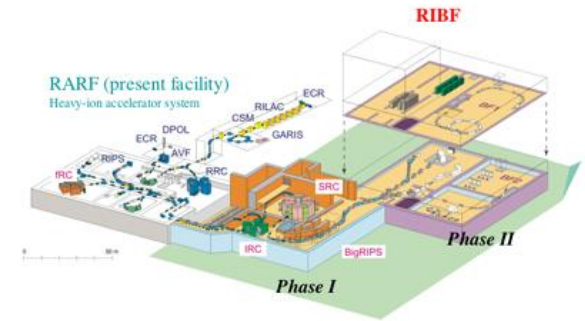


$^{11}\text{Li}$

A  $^{18}\text{O}$  nucleus is accelerated to a velocity of about 170,000 km/s  
酸素 18 同位体が、毎秒 17 万 km の速さまで加速される。

# New fragmentation facilities 破砕反応を利用する新しい加速器施設

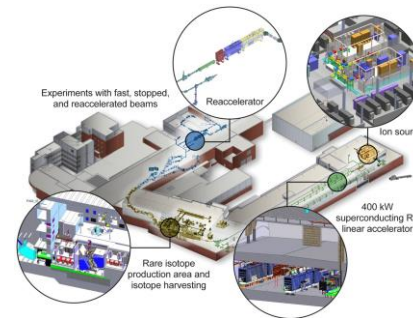
## Japan - 日本



## Germany - ドイツ



## USA - 米国





# New isotopes at RIKEN 理研における新しい同位体



Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 317 (2013) 756–768

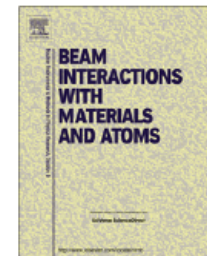


ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

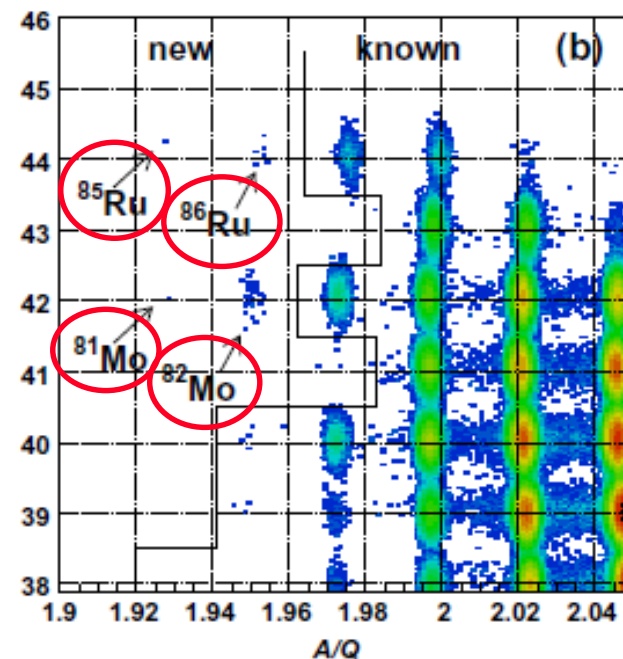
## Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/nimb](http://www.elsevier.com/locate/nimb)



### 理研RIビームファクトリーのBigRIPSにおける 放射性同位体の生成断面積測定

H. Suzuki <sup>a,\*</sup>, T. Kubo <sup>a</sup>, N. Fukuda <sup>a</sup>, N. Inabe <sup>a</sup>, D. Kameda <sup>a</sup>, H. Takeda <sup>a</sup>, Y. Yanagisawa <sup>a</sup>, M. Ohtake <sup>a</sup>, H. Sato <sup>a</sup>, Y. Shimizu <sup>a</sup>, H. Baba <sup>a</sup>, M. Kunikida <sup>a</sup>, O.B. Tarasov <sup>b</sup>, D. Bazin <sup>b</sup>, D.J. Morrissey <sup>b</sup>, B.M. Sherrill <sup>b</sup>, K. Ieki <sup>c</sup>, D. Y. Ohkoda <sup>d</sup>, E. Ideguchi <sup>e</sup>, S. Go <sup>e</sup>, R. Yokoyama <sup>e</sup>, T. Fujii <sup>e</sup>, D. Nishimura <sup>e</sup>, M. Lewitowicz <sup>i</sup>, G. DeFrance <sup>i</sup>, I. Celikovic <sup>i</sup>, K. Steiger <sup>j</sup>



National Science Foundation  
Michigan State University

EMIS 2012 Proceedings, NIMB, December 13, 2013

# Rare Isotope Rap レア アイソトープ ラップ



- Similar to the RI-beam factory at RIKEN, the Facility for Rare Isotope Beams is being built at Michigan State University



理研のRIビームファクトリーと同様、ミシガン州立大学では、RIビームファシリティ（FRIB）が建設中。

- The following video explains the science and application of rare isotopes.

このビデオは、新しい同位体によって拓かれる科学と応用について説明します。



Katie McAlpine – Alpine Kat

# Summary

## まとめ

- The search for new isotopes is an exciting subfield of nuclear physics  
新しい同位体の探査は原子核物理学の胸躍る興味深いテーマ。
- Properties of new isotopes are critical for the understanding of the origin of the elements  
新しい同位体の性質を知ることは、元素の起源を探るのに不可欠。
- New isotopes potentially have important practical applications  
新しい同位体に基づく応用、実用化の可能性。

I would like to thank Otsuka-san, Takeuchi-san, Iwasaki-san, Noji-san, Minamisono-san, and Brad Sherrill for help with the preparation of the talk.



# Rare Isotope Rap

## レア アイソトープ ラップ



National Science Foundation  
Michigan State University

<http://www.youtube.com/watch?v=677ZmPEFIXE>