

# 放射化学および核化学についての和製用語の特徴： 科学技術分野における東西文化交流の一側面

## Terminology on Radiochemistry and Nuclear Chemistry in Japanese: a Historical Aspect of Cultural Exchange between East and West

薬袋佳孝\*

Yoshitaka Minai

This is a note on how Japanese terminology on radiochemistry and nuclear chemistry was established after discovery of radioactivity in European academia. Nuclear science and technology started at discovery of radiation and radioactivity in 1890's at the middle of Meiji era, when lots of terms on new concepts in science and technology established in the West flew into Japanese academia, just established. Those terms were translated into Japanese, using both Chinese 'kanji' characters and phonetic 'kana' alphabets. Some terms noted by 'kanji' characters were exported to China whereas most of Japanese words and terms with 'kanji' were born in China and imported into Japan for two thousand years of cultural exchange in the east Asian history.

---

\* 武蔵大学・名誉教授

## はじめに

19世紀末のベクレルとキュリー夫妻による放射能の発見は放射性物質の化学としての放射化学の原点である。当初、特有元素の性質として認識された放射能は、ラザフォードの散乱実験などに基づく原子核概念の確立とともに核現象として理解されることとなった。核現象の化学としての核化学の始まりである。放射化学と核化学は不可分の領域として発展し、原子力発電などの核エネルギー利用や医学領域などでの放射線利用などの応用分野を支える基盤科学の一分野として位置付けられて来た。こうした学術的發展に伴い、新規の専門用語や表現が次々と登場した。初期にあっては欧米、特にヨーロッパを中心に、放射化学に関する重要な発見が続いた。これらの新しい用語は、日本の学術界にも速やかに導入され、応用研究を含む広義の物理学および化学分野で放射化学および核化学に関する目覚ましい研究活動が20世紀初頭から展開されて来た。これを可能とした要因として、他の科学技術領域にもみられることであるが、海外の学術動向を迅速に取り込んで学界と教育界に普及させたことが挙げられる。これには欧米の学術用語や概念の日本語化が大きな役割を荷って来た。

ヨーロッパのアカデミアにおける放射能発見後、放射化学および核化学についての専門用語や概念が、どのように翻訳されて日本の学術用語体系の中に組み込まれて行ったのか、その際にどのような要因が関与したのかについて分析を進めて来た [1]。本稿では、放射性元素の元素名の日本語表記、英語-中国語-日本語によるアイソトープ関係の用語の比較（特に日本語と中国語への翻訳についての比較）、英語で記された国際的な教科書での用語の記載例について得られた予備的な成果をノートとして報告する。

## 方法

放射化学および核化学に関する日本語による科学技術用語は、現在入手可能な複数の代表的な教科書 [2-5]、参考書、参考資料（辞典などのレファレンス）か

ら抽出を試みている。この中で最も古い教科書は1950年代に米国で原著が出版され [6]、ほどなく日本語に翻訳されている [3]。これらの用語を対応する英語表記と比較した。アイソトープとその利用に関する技術に限定されるが、英語-中国語-日本語の用語間、特に中国語への翻訳と日本語への翻訳にみられる特徴の違いについても検討を加えた。

## 結果と考察

放射化学および核化学におけるヨーロッパ諸言語で記された科学用語の翻訳プロセスに影響を与える要因について、以下の二点を想定した。いずれも日本の化学の歴史の変遷に関わる要因と考えられる。

### 想定1 日本の急速な工業化達成のための科学技術振興における翻訳の重要性

放射能が発見された当時、日本は、政府主導の下、産業（特に第二次産業）の急速な発展を推進した。既に欧米諸国は第二次産業革命の段階に入っており、重化学工業の発展期を迎えていた。物理学や化学などの自然科学は製造業を支える基盤学術であり、将来の産業を担う若い世代に最新の学術動向を反映した内容を広く分かり易く伝えることが急務であった。しかし、当時の日本では外国語の普及は途上であり、ヨーロッパ系言語による自然科学の直接学習は一部の階層に限定されてしまう。製造業に関わる多くの若い世代を急速に育成する為には、日本語による学校教育に自然科学の最新の内容を織り込むことが求められることとなった。このためには、科学技術用語の翻訳が不可欠となった。

### 想定2 日本語における表意文字（漢字）と表音文字（仮名）の併用

伝統的に日本では学術用語を含むような公式性の高い文書では漢字表記が普通であった。日本が約二千年にわたり中国の漢字文化の影響の下に法制や宗教などを取り入れ、国の礎を築いて来たためである。特筆すべきは、日本語表記では漢字からそれぞれに派生したひらがなとカタカナという二種類の表音文字が存在す

るという点である。文字を含む言語体系が全く異なるヨーロッパ系言語で記された当時の自然科学に関わる文書を翻訳する上で、表音文字である仮名の利用（ないしは併用）は迅速な翻訳を可能とする重要な要素となった。幕末から明治維新に掛けて、日本への外来文化の流入経路が、それまでの中国-朝鮮から欧米諸国からに変わったことで、漢字で記された用語をそのまま受け入れる時代は終焉し、言語体系や文字が全く異なる地域で使われている単語、用語、表現を日本語に取り込む時代となったのである。音に注目することで表音文字である仮名を当てる。文学や詩を含む日常で使用頻度が高かったひらがなではなく、カタカナを外国語の音を表現するために使用するという現代に続く外来語表記の方向性が定まった。

例えば、元素の日本語名は漢字またはカタカナで表記されている。漢字とカタカナのどちらを使うかは、それぞれの元素が発見された時期によって異なる。これは中国語の場合とは全く異なっている。中国語では、元素が発見されるたびに新しい漢字を組み立てる、或いは、中国で既知の物質が知られているならばその

元素周期表

氢 1 H																	氦 2 He	
锂 3 Li	铍 4 Be											硼 5 B	碳 6 C	氮 7 N	氧 8 O	氟 9 F	氖 10 Ne	
钠 11 Na	镁 12 Mg											铝 13 Al	硅 14 Si	磷 15 P	硫 16 S	氯 17 Cl	氩 18 Ar	
钾 19 K	钙 20 Ca	钪 21 Sc	钛 22 Ti	钒 23 V	铬 24 Cr	锰 25 Mn	铁 26 Fe	钴 27 Co	镍 28 Ni	铜 29 Cu	锌 30 Zn	镓 31 Ga	锗 32 Ge	砷 33 As	硒 34 Se	溴 35 Br	氪 36 Kr	
铷 37 Rb	锶 38 Sr	钇 39 Y	锆 40 Zr	铌 41 Nb	钼 42 Mo	锝 43 Tc	钌 44 Ru	铑 45 Rh	钯 46 Pd	银 47 Ag	镉 48 Cd	铟 49 In	锡 50 Sn	锑 51 Sb	碲 52 Te	碘 53 I	氙 54 Xe	
铯 55 Cs	钡 56 Ba	镧系		铈 72 Hf	铀 73 Ta	钨 74 W	铼 75 Re	锇 76 Os	铱 77 Ir	铂 78 Pt	金 79 Au	汞 80 Hg	铊 81 Tl	铅 82 Pb	铋 83 Bi	钋 84 Po	砹 85 At	氡 86 Rn
钫 87 Fr	镭 88 Ra	锕系		钷 104 Rf														
		镧系	镧 57 La	铈 58 Ce	铈 59 Pr	钕 60 Nd	钷 61 Pm	钷 62 Sm	铽 63 Eu	钆 64 Gd	铽 65 Tb	镱 66 Dy	铽 67 Ho	铽 68 Er	铽 69 Tm	铽 70 Yb	铽 71 Lu	
		锕系	锕 89 Ac	钍 90 Th	钍 91 Pa	铀 92 U	镎 93 Np	镎 94 Pu	镎 95 Am	镎 96 Cm	镎 97 Bk	镎 98 Cf	镎 99 Es	镎 100 Fm	镎 101 Md	镎 102 No	镎 103 Lr	

図 1. 漢字による周期表 [7]

漢字表現を用いることで、17世紀以降の化学の発展に対応して来た。表意文字であるために、まず元素の性質を示す部首を選んだ上で、発音も考慮して、一つ一つの新元素に対応した漢字がいわば合成されて来たのである。図1に中国で使われている漢字による周期表を示す。核反応により人工的に合成された元素についても、それに対応した漢字が登場していることが分かる。日本語では漢字を新たに用意することは出来ないが、表音文字である仮名を用いて外来語の発音に合わせるだけで新元素の名称を表記する方法を選んだ。

以上の二点を想定して、放射化学および核化学に関わる外来用語がどのように日本語で表記されているかを以下の3ケースについて記す。

### ケース1 放射性元素の元素名 [2, 8, 9を参考とした]

本稿では安定同位体を持たない元素の意味で「放射性元素」という用語を用いる。ただし、一般には天然放射能を有する元素の意味で用いる場合もある。

元素の発見史には元素の分離、検出、同定、物性、反応性に関わる技術や利用の歴史が反映されている。放射性元素の概念の背景には、分離、検出、同定に関わる技術の発展とその背景としての物性や反応性に関する物理学/化学の深化の歴史が見え隠れしている。本稿では、放射性元素に着目するものの、その発見の歴史的意義を考察する一助として、元素全体の日本語表記の歴史についても論考する。

キュリー夫妻による放射性元素ラジウム Ra およびポロニウム Po の発見以降、天然に存在する放射性元素の新発見が続き、現代では原子番号 83 (ビスマス Bi) 以上の元素は全て放射性元素であることが明らかになっている。この他、原子番号 43 のテクネチウム Tc、原子番号 61 のプロメチウム Pm も放射性元素である。

ただし、ビスマスが放射性元素として認識されたのは、この元素の唯一の安定同位体とされて来た  $^{209}\text{Bi}$  が半減期  $1.9 \times 10^{19}$  年の極めて長半減期の放射性同位体であることが示されたためである。宇宙の始まりより著しく長い半減期であることから、本稿では事実上の安定同位体が存在する安定元素として取り扱うこととする。

表 1 に原子番号 92 (ウラン U) までの放射性元素の発見年を示す。ウラン U およびトリウム Th の発見年は放射能の発見以前であるが、その当時は同時代に発見された他の元素と同様に一般の元素として取り扱われた。放射性元素に分類されたのは放射能の発見以降のことである。元素名に注目すると、カタカナでいづれも表記されている。このスタイルは原子番号 93 (ネプツニウム Np)、原子番号 94 (プルトニウム Pu) 以上の超ウラン元素についても同様である。

表 1. 放射性元素 (超ウラン元素を除く) の発見年 [2, 8, 9]

発見年	元素名 (英文)	元素名 (和文)	原子番号 元素記号	発見者
1789	Uranium	ウラン	92 U	クラブロート (ドイツ)
1828	Thorium	トリウム	90 Th	ベルセリウス (スウェーデン)
1898	Radium	ラジウム	88 Rh	キュリー夫妻 (フランス)
1898	Polonium	ポロニウム	84 Po	キュリー夫妻 (フランス)
1898	Radon	ラドン	86 Rn	ドルン (ドイツ)
1899	Actinium	アクチニウム	89 Ac	ドビエルヌ (フランス)
1917	Protactinium	プロトアクチニウム	91 Pa	マイトナー (オーストリア) ハーン (ドイツ)
1937	Technetium	テクネチウム	43 Tc	ベリエ (イタリア) セグレ (イタリア)
1939	Francium	フランシウム	87 Fr	ベレー (フランス)
1940	Astatine	アスタチン	85 At	セグレ (アメリカ) 他
1945	Promethium	プロメチウム	61 Pm	マリンスキー (アメリカ) 他

表 2 に放射能発見以降に発見された安定元素の発見年、元素名を記す。これらの元素名も同様にカタカナでの表記がなされている。これに対して、漢字表記で元素名が記されているのは元素の発見年が 1886 年のフッ素 F が最後である。カタカナ混じりとなっているが、当初用いられた「弗素」の表記が常用漢字の範囲を超えるためである。

表 2. 放射能の発見以降に発見された安定元素の発見年 [2, 8, 9]

発見年	元素名 (英文)	元素名 (和文)	原子番号 元素記号	発見者
1898	Neon	ネオン	10 Ne	ラムゼー (イギリス)
1898	Krypton	クリプトン	36 Kr	ラムゼー (イギリス)
1898	Xenon	キセノン	54 Xe	ラムゼー (イギリス)
1901	Europium	ユウロビウム	63 Eu	ドマルセー (フランス)
1907	Lutetium	ルテチウム	71 Lu	ユルバン (フランス)
1923	Hafnium	ハフニウム	72 Hf	コスター (オランダ) ヘベシー (ハンガリー)
1925	Rhenium	レニウム	75 Re	ノダック (ドイツ) 他

19世紀に発見された元素ではホウ素 B、ヨウ素 I、ケイ素 Si、臭素 Br が漢字表記である。カタカナとの混用となっているのは、フッ素と同様の理由に依る。18世紀に遡っても当時の新元素の多くは現在はカタカナ表記である。コバルト Co (1737年発見)、ニッケル (1751年発見) などが挙げられる。漢字表記の元素は白金 Pt、水素 H、窒素 N、酸素 O、塩素 Cl である。白金はオランダ語の witgout 「白い金」に由来するとされ、蘭学の流れを汲む名称とされる。他の元素は「素」を共通に用いており、反応性などの化学的性質に関わる要素としての位置付けが明らかである。同様に蘭学の影響が色濃い名称とみられる。しかし、残る当時の新元素の多くはカタカナ表記である。

なお、それ以前に元素として認識されたリン P「燐」、アンチモン Sb「安質母」、マンガン Mn「満俺」については漢字表記であったが、「常用漢字の範囲を超える」、「音を借りる仮借である」などの理由で、現代ではカタカナ表記である。漢字の仮借利用は中国を経由しての物質情報の流入を示唆する。

古代から知られている炭素 C、金 Au、銀 Ag、銅 Cu、硫黄 S、スズ Sn「錫」、鉛、水銀、鉄については、スズのカタカナ表記が「常用漢字の範囲を超える」ため本来は漢字表記とすると、全て漢字表記として扱うことが出来る。その後、9世紀から17世紀にかけて、亜鉛 Zn、ヒ素 As「砒素」、アンチモン Sb「安質母」、リン P「燐」が発見されるが、いずれも、少なくとも当初は、漢字表記が採用さ

れている。

以上から、日本語による元素の表記の特徴は次のようにまとめることが出来る。

- ① 放射性元素の元素名は全てカタカナ表記である。工業的利用も見られたウランおよびトリウムは放射能の発見以前に一般の元素として発見されている。
- ② カタカナ表記の元素名は 18 世紀中頃に発見されたコバルトおよびニッケルに遡ることが出来る。これらの元素の直前に発見されたのはリンで 1669 年に発見された。
- ③ 古代から知られている炭素、金、銀、銅、硫黄などの元素は全て漢字表記である。
- ④ 漢字表記の元素は 18 世紀以降大幅に減少する。放射能の発見の少し前に発見されたフッ素以降は全てカタカナ表記となる。

以上の結果をみると、17 世紀と 19 世紀末に元素名の表記の在り方に影響を及ぼすような何らかの変化が起こったと解釈される。学术交流の観点からは 1639 年の鎖国完成、1886 年の帝国大学令の制定が重要とみられる。化学史の観点からは Boyle (1627-1691) の近代的元素観、1896 年のベクレルによる放射能の発見などが挙げられる。これらのターニングポイントとなる事象は、元素名にも次のような影響を与えた可能性を指摘しておく。

- ① 1639 年。鎖国完成。ヨーロッパ諸国からの様々な情報や物資の流入が大幅に制限された。物質や素材についての情報は、従来と同様に、ほとんど中国・朝鮮からに制限された。
- ② 1660 年ごろ。近代的元素観。錬金術から化学への転換につながる物質観の変化をもたらした。多くの元素がヨーロッパで 18 世紀以降に見出される。この時期、日本は鎖国、中国（清）も鎖国の時期があり、日本への情報流入は中国経由のものも含めて限定的となる。オランダを通じての情報流入も含めて、何らかの商品としての価値が認められるような物資に関する情報が優先されたとみられる。ヨーロッパで発見された元素の多くに価値が見出されるのは、日本の産業革命の始まりとなる明治時代以降のこととなる。
- ③ 1886 年、帝国大学令。高等教育機関の設置により、学術研究を含む学校教育

制度が一応の完成をみた。第二次産業の基盤となる自然科学領域や医学領域を中心に欧米からの学術情報の取り込みがさらに加速された。200 年にわたる鎖国とほぼ同じ時期にヨーロッパで起こった錬金術から近代化学への変貌による物質に関する新規で豊富な情報が、19 世紀末に近いこの時期に日本に一気に流入したのである。若い世代への教育も念頭に置いての、外来の学術情報の日本語化を短期間の間に集中的に展開することとなった。伝統的な漢字表記は中国を経由しての情報の輸入には向いている。しかし、当時は清の末期で社会的混乱が続き、日清戦争の勃発も近い状況であった。日本は独自でヨーロッパのアカデミアから学術情報を取り込み、その情報を日本語化して行くこととなった。漢字表記は表意文字としての漢字の特性もあり、文字としての表現と表現される内容が一致する必要がある。中国では新しい概念や事物を表現するために新たな文字を創造することもあるが、日本ではこれは一般的ではない。迅速な学術情報の日本語化が求められる中、元素名については表音文字カタカナによる表記が選ばれることとなった。

- ④ 1896 年。放射能の発見。放射化学の成立に直結する。原子核概念の確立による核物理学および核化学の急速な発展にもつながる。以降、発見された元素名の日本語表記は全てカタカナとなる。

## ケース2 アイソトープとその利用についての日本語-中国語-英語間の比較[2, 10]

日本語・中国語・英語についての放射線技術関連用語の対比集が著者を含めた専門領域の研究者に配布されたことがある。配布後四半世紀を経過したが、公式な刊行物は入手出来なかったため、本稿では私信として扱うこととする [10]。

アイソトープの放射線源としての利用に関連した用語が対比されているが、対象の用語数は 850 余に及ぶ。日本語では漢字、カタカナ、漢字とカタカナの混在という 3 タイプの表記がみられるのに対して、中国語では表意文字の漢字、英語では表音文字のアルファベットによる表記とそれぞれの言語で使用されている文字の特徴が明瞭である。利用分野別に用語を集めた表も提示されており、日本語表記の 3 タイプが放射線技術（アイソトープの放射線源としての利用に関する技

術)に関わる分野により相違がみられるかについて検討する資料として好適である。

放射線技術は物理学、化学、生物学にまたがる学際領域に展開する技術であり、工学的な色彩も強い。応用領域としては医学領域も含んでおり、理学・工学・医学・農学・薬学などの様々な理系領域が関与している。各領域で放射線や放射能の利用はその時代の先端的な学術の展開に直結していることから、それぞれの分野で欧米の最新の状況を取り込むこととなった。

分野間での学術用語の相違は同じ理学系の基礎分野である物理学と化学の間でも微妙な相違が現在も存在している。例えば、decay の日本語表記は物理学では「崩壊」で化学では「壊変」である。radioactive decay では物理学では「放射性崩壊」だが化学では「放射壊変」である。化学者の間でも radiochemistry は「放射化学」で radiation chemistry は「放射線化学」で違う分野であることを意識しているのはむしろ少数派のようである。以上のように、学問分野の相違が用語の表記にも何らかの影響を与えている可能性は否定し難いものがある。

表3に分野別による日本語表記の各タイプの出現状況をまとめた。表3中の「管理」は放射線管理、「計測」は放射線計測、「防護」は放射線防護、「利用」は放射線利用を意味しており、技術的な側面が強く、広い意味では物理学を基盤とする工学系の領域である。ただし、「管理」および「利用」では放射化学と放射線生物学(医学を含む)の寄与も物理学と同じように重要となる。

全体の傾向としては、「単位」のように国際性を特に配慮する場合を除くと、「一般」、「その他」を含めてほとんどの分野で漢字表記が多数を占める。例外は「元素」であるが、これについては「ケース1」で述べた通り、カタカナ表記が多数を占める。物理学(核物理)およびその関連分野である「計測」、「防護」では漢字表記の占める割合が特に大きい。これに対して、「化学」(元素は別項目で作表)では漢字表記が上回るものの、カタカナ表記の割合が「核物理」に比べて著しく大きくなっている。生物学(医学を含む)や化学の知識も重要となる「管理」、「利用」ではカタカナ表記の割合が上がり、同じ工学系ではあるが物理学ベースの「計測」や「防護」よりも「化学」に近い傾向を示す。

化学および生物学は物理学と比較すると、より帰納的な学術体系をとっている。新しい実験事実や観察事実が登場して新しい概念が構成されて行く中、まず表音文字で外国語の音を写した新用語を設けた上で、その内容の理解を深めて行くという分野特有の帰納的な研究の進め方が反映されているのかも知れない。

表 3. 放射線技術（アイソトープの放射線源の利用）用語の分野別表記

	一般	化学	核物理	管理	元素*	計測	単位	防護	利用	その他
カタカナ	11	35	4	25	87	15	33	4	18	23
漢字	21	43	99	79	24	49	0	110	35	87
混用	1	23	22	14	0	21	1	10	22	4

\*元素については安定元素も含む。

### ケース 3 放射化学/核化学の教科書での用語の取り扱い [2, 11 を参考とした]

大学専門教育（学部後半および大学院）での国際的な教科書 [11] に掲載の原子核科学の歴史的展開に関する Table 1-1 [11] を分析対象とした。この教科書については翻訳も出版されており [2]、詳細な比較も可能である。この他、1950 年台に初版が出版された古典的な教科書 [6] も翻訳されており [3]、こちらとの比較も将来の課題として興味深い。分析対象とした表は冒頭の章に掲載されており、核物理学・放射化学・核化学の特に重要な概念が年譜の形でまとめられている。本稿では 1952 年の箇所までの分析結果を報告する（表 4）。当初は教科書自体のテキスト部分に現れる用語を対象とすることとしていたが、章ごとにトピックが異なるため、出現する専門用語のジャンルにどうしても偏りが生じる。そこで、様々な領域の用語が集中的に現れると予想される「原子核科学の歴史的展開」に関する章、'Chapter 1 Origin of Nuclear Science'、その中でも表として全体が凝縮されている'Table 1-1. Historical survey of nuclear science' を最初の概括的な分析の対象として選んだ。煩雑を避けるために原著の表を簡略化したが、専門用語に関わる箇所については省略を避けた。

表 4 に示す通り、専門用語の多くは漢字表記であった。カタカナ表記は元素名

の他はイオン、エネルギー、シンチレーションなどの用語に留まった。これらのカタカナ表記の用語は放射化学や核化学分野に特有ではなく、一般の物理学や化学の用語である。むしろ。放射化学や核化学に特有な用語でカタカナ表記が現れるのは、漢字表記の部分と合体して用語として成立するケースのように見受けられる。例えば、 $\beta$ -rays に対するベータ線、Rutherford scattering に対するラザフォード散乱、radioactive tracer に対する放射性トレーサーなどである。

教科書や参考書では既知の学術的知見を体系付けて提示する必要がある。大学院レベルの教科書であっても、この点は初等中等教育の教科書に求められるものと変わらない。ケース2ではカタカナ表記の用語が元素以外にも相当の割合を占めるという結果を得たが、これは基礎研究や技術開発の現場での利用を想定した用語集が対象であったためかもしれない。教科書となると体系付けた表現や構成が求められるため、表意文字である漢字表記がむしろ好適と捉えることが出来そうである。

表意文字の漢字と表音文字の仮名を有する日本語の表記方法は、伝えたい内容と対象によって漢字表記とカタカナ表示を使い分けることも可能としている。表4では mesons に対する中間子またはメゾン、gas diffusion に対する気体拡散またはガス拡散などである。

#### 表 4. 原子核科学の歴史的展開 [11]

用語の日本語表記が、漢字表記の場合は網掛け、カタカナ表記の場合は下線、両者が混在する場合は四角枠を付した。

---

年	項目
490-430 BC	<b>Empedocles</b> : four elements: air, earth, water, and fire.
460-370 BC	<b>Democritus</b> : atom theory.
1661	<b>Boyle</b> : the elements, a limited number of substances.
1808	<b>Dalton</b> : molecules, combinations of atoms.
1896	<b>Becquerel</b> : discovery of radioactivity; the intensity of the radiation is measured either through its ionization of air or through the scintillations from the fluorescent screen.
1896-1905	<b>Crookes, Becquerel, Rutherford, Soddy, Dera, Boltwood et al.</b> : discovery of radioactive decay and radioactive decay series.
1898	<b>P. and M. Curie</b> : discovery of polonium and radium; the radiochemical methods.
1898-1902	<b>P. Curie, Debierne, Becquerel, Danilos et al.</b> : radiation affects chemical substances and causes biological damage.
1900	<b>Villard and Becquerel</b> : proposing electromagnetic nature; finally proved in 1914 by <b>Rutherford and Andrade</b> .
1900	<b>Becquerel</b> : $\beta$ -rays are identified as electrons.
1902	<b>M. and P. Curie and Debiern</b> : isolation of macroscopic amounts of radium.
1903	<b>Rutherford</b> : $\alpha$ -radiation is shown to be ionized He atoms.
1905	<b>Einstein</b> : the law of equivalence between mass and energy.
1907	<b>Stenbeck</b> makes the first therapeutic treatment with radium and heals skin cancer.
1911	<b>Rutherford, Geiger, and Marsden</b> : Rutherford scattering. atoms contain a very small positive nucleus.
1912	<b>Hevesy and Paneth</b> , application of radioactive tracer.
1912	<b>Wilson</b> develops the cloud chamber.
1913	<b>Hess</b> discovers cosmic radiation.
1913	<b>Fajans and Soddy</b> explain the radioactive decay series by assuming the existence of isotopes. This is proven by <b>J. J. Thomson</b> through deflection of neon ions in electromagnetic fields. <b>Aston</b> separates the isotopes of neon by gas diffusion.
1913	<b>N. Bohr</b> shows that the atomic nucleus is surrounded by electrons in fixed orbitals.

- 1919 **Rutherford**: first nuclear transformation in the laboratory.  
 ${}^4\text{He} + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^{17}\text{O} + {}^1\text{H}$ .
- 1919 **Aston** constructs the first practical mass spectrometer and discovers that isotopic weights are not exactly integers.
- 1921 **Hahn** discovers nuclear isomers:  
 ${}^{234m}\text{Pa}(\text{Ux}_2) \rightarrow {}^{234}\text{Pa}(\text{Uz}), \text{half-life} = 1.2 \text{ min}$
- 1924 **de Broglie** advances the hypothesis that all moving particles have wave properties.
- 1924 **Lacassagne and Lattes** use radioactive trace elements (Po) in biological research.
- 1925-1927 Important improvements of the Bohr's atomic model, Pauli's exclusion principle, Schrodinger's wave mechanics, Heisenberg's uncertainty relationship.
- 1928 **Geiger and Muller**: GM tube for single particle measurements.
- 1931 **van de Graaff** develops a linear accelerator of atomic ions.
- 1931 **Pauli** postulates formation of the neutrino in  $\beta$ -decay.
- 1932 **Cockcroft and Walton** develop the high voltage multiplier and use it for the first nuclear transformation in the laboratory with accelerated particles ( $0.4\text{-MeV } {}^1\text{H} + {}^7\text{Li} \rightarrow 2{}^4\text{He}$ ).
- 1932 **Lawrence and Livingston** build the first cyclotron.
- 1932 **Urey** discovers deuterium and obtains isotopic enrichment through evaporation of liquid hydrogen.
- 1932 **Chadwick** discovers the neutron.
- 1932 **Anderson** discovers the positron,  $e^+$  or  $\beta^+$ , through investigation of cosmic rays in a cloud chamber.
- 1933 **Urey and Rittenberg** show isotopic effects in chemical reactions.
- 1934 **Joliot and I. Curie**: discovery of artificial radioactivity.  
 ${}^4\text{He} + {}^{27}\text{Al} \rightarrow {}^{30}\text{P} + \text{n}; {}^{30}\text{P} \rightarrow {}^{30}\text{Si} (\beta^+, 2.5 \text{ min})$ .
- 1935 **De Hevesy**: neutron activation analysis.
- 1935 **Yukawa** predicts the existence of mesons.
- 1935 **Weizsacker** derives the semiempirical mass formulae.
- 1937 **Neddermeyer and Andersson** discover  $\mu$ -mesons in cosmic radiation using photographic plates.
- 1938 **Bethe and Weizsacker** propose the first theory for energy production in stars through nuclear fusion:  $3{}^4\text{He} \rightarrow {}^{12}\text{C}$ .
- 1938 **Hahn and Strassman** discover fission products after irradiation of uranium with neutrons.

- 1938-1939 **Meitner and Frisch** interpret the discovery by **Hahn and Strassman** as **fission** of the **U-atom** by **neutrons**.
- 1938-1939 **F. Joliot, von Halban, Kowarski and F. Perrin** in France apply for patents for **nuclear chain-reacting energy** producing **devices** and starts building a **nuclear reactor**; the work is interrupted by the war.
- 1940 **McMillan, Abelson, Seaborg, Kennedy, and Wahl** produce and identify the first **transuranium elements**, **neptunium** (Np), and **plutonium** (Pu), and with Segre discover that  $^{239}\text{Pu}$  is **fissionable**.
- 1940 Scientists in many countries show that is **fissioned** by **slow neutrons**, but  $^{232}\text{Th}$  and only by **fast neutrons**, and that each **fission** produces two or three new **neutrons** while large amounts of energy are released.
- 1942 **Fermi** and co-workers build the first **nuclear reactor** (critical on December 2).
- 1944 First gram amounts of a **synthetic element** (Pu) produced at Oak Ridge, USA. **Kilogram** quantities produced in Hanford, USA, in 1945.
- 1944 **McMillan and Veksler**: discovery of the **synchrotron principle** which makes it possible to build accelerators for **energies**  $> 1000$  MeV.
- 1940-1945 **Oppenheimer** and co-workers develop a **device** to produce fast uncontrolled **chain reactions** releasing very large amounts of energy corresponding to 20,000 tons of TNT: first test at Alamogordo, New Mexico, USA, on July 16, 1945, followed by the use of **atomic bombs** on **Hiroshima** (Aug. 6, 1945) and on **Nagasaki** (Aug. 9, 1945).
- 1944-1947 **Photo-multiplier** **scintillation detectors** are developed.
- 1946 **Libby** develops the  $^{14}\text{C}$ -method for **age determination**.
- 1946 First Soviet **nuclear reactor** starts.
- 1949 Soviet tests a nuclear bomb.
- 1950 A **nuclear shell model** is suggested by **Mayer, Haxel, Jensen** and **Suess**.
- 1951 The first **breeder reactor**, which also produces the first **electric power**, is developed by Argonne National Laboratory, USA, and built in Idaho.
- 1952 The United States test the first device for uncontrolled large scale **fusion** power (the **hydrogen bomb**).
-

## 放射化学分野の教育への展望-結びに代えて

本稿は、放射化学および核化学に関する専門用語の表記についての一論考である。欧米起源の専門用語がどのように日本語の中に定着して来たのかを辿ると、この分野の展開には科学技術と社会との深い繋がりが見えて来る。更なる磨き込みと様々なアプローチの適用による本研究の発展は、科学技術と社会の関係をより明確なものとし、新たな文理融合領域の開拓につながるものと期待される。

放射化学に関する教育や育成では、放射化学および核化学に興味を持つ若い科学者に向けた基礎的な教育プログラムの開発が求められている。これらの化学分野は、20世紀から現在に至るまで社会に大きな影響を与える応用分野の基盤を荷って来た。例えば、診断と治療の両面における医療応用や、核利用によるエネルギー生産などである。これらの分野は社会的な影響が特に大きいため、放射性物質を取り扱う専門家としての見識がしばしば問われる。場合によっては、専門家ではない一般向けの解説を求められることもある。放射化学および核化学について、そのルーツにも関わる歴史的展開を含めて理解することは、この分野が科学技術と社会との関係が不可分な領域にあることを改めて意識させるものがある。科学と社会とのリンケージが深まった現代にあっては、自然科学分野の持続的な発展にはそれに関わる人々自体がどのように人間と社会との関わりを捉えるかも重要となっている。

本研究を放射化学教育にどのようにフィードバックするかも次の課題の一つといえよう。

## 謝辞

本研究は「2024年度武蔵大学リベラルアーツ&サイエンス学会研究会-近代日本の和製漢語」での発表に基づくものです。研究会での報告の機会とそれに相応しいテーマをご用意いただいた武蔵大学リベラルアーツ&サイエンス学会会長踊共二先生並びに同学会の先生方に厚く感謝申し上げます。

## 文献

1. 薬袋佳孝、「放・射・能とは何か：化学用語の歴史と現在」、2024年度武蔵大学リベラルアーツ&サイエンス学会研究会-近代日本の和製漢語：人文科学と自然科学、2025年3月25日
2. ショパン、リルゼンツイン、リュードベリ著、柴田誠一他訳、「放射化学」、丸善、2005年
3. フリードランダー、ケネディ著、斎藤信房他訳、「核化学と放射化学」、丸善、1962年
4. 富永健、佐野博敏、「放射化学（第4版）」、東京大学出版会、2018年
5. 海老原充、「現代放射化学」、化学同人、2005年
6. G. Friedlander and J.W. Kennedy, 'Nuclear and Radiochemistry', Wiley, New York, 1955
7. 塩澤豊志、「中国語の元素周期表—その地球化学的アプローチ—」武蔵野大学環境研究所紀要、6号、2017年
8. ウィークス、レスター著、大沼正則訳、「元素発見の歴史（1-3）」、朝倉書店、2009年
9. 馬淵久夫編、「元素の事典」、朝倉書店、1994年
10. 私信（放射線技術関連用語日本語・中国語・英語対比集、日本アイソトープ協会、1999年）
11. G. Choppin, J.-O. Liljenzin, J. Rydberg, 'Radiochemistry and Nuclear Chemistry (3<sup>rd</sup> Edition)', Butterworth-Heinemann, 2002年