RADIATION EDUCATION

放射線教育

1999

VOL. 3 NO. 1

放射線教育フォーラム

Radiation Education Forum

放射線教育

Vol. 3 No. 1

目次

巻頭言
---------- 今村 昌 1
高校現場における放射線の実験事例と実情の報告
---------- 宮沢弘二 3
天然放射能を用いた学生実験
---------- 中村麻利子、鎌田正裕、江坂亨男 12
ラジオグラフィーを用いた放射線教育用教材の開発-------
----鎌田正裕、片桐佐知子、藤根成薫、米田憲司 20
物理IBでの「原子と放射線のカリキュラム」
----------久保田信夫 28
明治時代の科学の教科書に見る放射線教育
---------- 渡部智博 35
原子力時代に期待される教育・PA
---------- 笹川澄子 43
わが国における放射線利用の経済規模について
---------- 田中隆一、柳澤和章 51
放射線・原子力教育では今何をすべきか
---------- 広瀬正美 58
放射線発見の科学史的意義
---------- 大野新一 67

投稿規程 ---------- 75
編集後記
---------- 中村佳代子 76

【巻頭言】

“良い放射線” vs. “悪い放射線”

今村　昌
理化学研究所名誉研究員，理論放射線研究所主任研究員
（〒353-0004 志木市本町 3-11-15）

「放射線」や「放射能」、さらには「原子力」という言葉は、一般の人々にあまりいい印象を与えていないのが現状である。しかも、関連した事故のたびごとに印象は悪くなって行く。一般の人々だけでなく、この頃は大学でも「原子力」や「核」などがつく学科の名称を変更するという情けない有り様である。「放射線教育フォーラム」は、この嫌われっ子の認識を改めさせようとすることを志しているのだが、考えてみれば大変なことである。しかし、実は世間の放射線、放射能、原子力などという概念には、いろいろのことがらが入り混じっている。だから、この辺で思考を整理してかからないと、なにを「啓蒙」し、なにを「説得」してよいのかわからなくなるおそれがある。

「放射線教育フォーラム・ニュースレター」の No.4 (1996) の巻頭言に、斎藤信房先生が" 良い放射能" と" 悪い放射能" という言葉を半ば冗談っぽく引用されている。これを真似ると、一般の人々が恐れるのは、" 悪い放射線" である。しかし、放射能でも同じ

ようなことが言えるが、放射線もどんなところから出てくるものも同じである。" 悪い放射線" が出るのは、その放射線を出す「線源」の状態や取扱いが悪いからである。これは放射線科学の問題ではなく、工学のハードや放射線取扱者の教育の問題である。「放射線教育フォーラム」の主目的は、放射線についての基礎知識を正しく、的確に知らせることである。とくに人々が関心を抱くのは生き物に対する放射線の作用である。ところが、この引き金になる放射線の化学作用を正確に理解している科学者は意外なほど少ない。これは、放射線化学者の責任でもあるが、ここで放射線の物質との基本的な相互作用をお復習いして、「フォーラム」の活動をより実りあるものにする一助にしたい。

放射線はかなり大きなエネルギーをもっている。したがって、放射線が照射されると、当たったものは粉みじんに破壊されて、累々たる分子の瓦礫が生ずるだけなので、放射線による反応は理論的に取り扱えないと考えている人がいる。しかし、放射線は＋または－の電荷をもつ荷電粒子である。〔ガンマ線やX線は電磁波であるが、物質との相互作用で電子を放出する。中性子は核反応によって放射性同位体をつくるので、やはり荷電粒子を発生する。〕このような荷電粒子が物質中に入ると、物質を構成する分子や原子の外殻電子との相互作用で荷電粒子の道筋に沿ってイオン化が、与えられるエネルギーが小さいときには電子励起が、多数起こることになる。決して一発で分子がばらばらになることはない。こうして、放射線のトラックに沿って一群の電子、正負イオン、および励起分子が生成する。

電子やイオン、励起分子などのできかたは、物質の状態（固体、液体、溶液、気体）、酸素の有る無し（酸素によっていわゆる活性酸素ができる）などによって変わってくる。放射線は莫大なエネルギーをもってはいるが、決して無茶苦茶な反応を起こすことはない。条件をうまく選べば、イオンや電子、フリーラジカルの生成や反応を制御することができるという、熱や光反応にはない、放射線に特有な性質を有効に利用しよう。

(2000年3月記)

高校現場における放射線教育の実験事例と実情の報告

宮澤　弘二
東京家政大学附属女子附属女子中学高等学校
173-8602東京都板橋区加賀1-18-1

要趣

現行の高校教育課程の中で、今後、国民的なレベルで必要とされる放射線教育が現場の理科教育で実践する状況にはほとんどない。高校生の物理の履修率が20%にも届かない現状にあって、物理離れとともに理科離れが進んでいる。本校では1996年より選択履修で文系に大学進学する生徒にとっても、より理解しやすく、また、実験中心に進める講座として自然科学実験講座という名称で物理、化学、生物、地学を含めた総合講座の形式で開講した。1998年には高校２年と高校３年にそれぞれ２講座ずつ設けられている。この講座のカリキュラムの中に放射線教育を取り入れて実践した内容を紹介する。

１．はじめに

私たち身の回りには沢山の放射線がある。放射線というと生徒に危険な物というイメージが強い。わが国は原子爆弾の世界最初の被爆国である。生徒にとって放射線教育はいろいろな問題を含んでいる。しかし、昔から自然の放射線は存在していたのである。自然に存在する放射線のことをバックグラウンド放射線と呼び、次の２つに大別している。１つは、宇宙線と言われ空から降り注いでくる。その発生源は太陽であったり、宇宙に存在する他の天体からのものであろうと推定されてる。もう１つは、地球に存在しているもので、地面の中にあるウランやトリウム、ラドンなどをごくわずかに含む鉱物から出る放射線、植物や建物にある放射性物質から出る自然の放射線などがある。

このような自然の放射線に対して人工的な放射線がある。それは１９世紀の終り頃、ドイツの科学者レントンゲンによって発見されたＸ線や、原子炉などで作られる各種の放射線同位元素（ラジオアイソトープ）、原子爆弾や水素爆弾による各種の放射性物質など、人間が作り出したものである。こうした人工的に作り出された放射線は、身体にとって危険性が多いので取扱いには十分な注意が必要である。しかし、これらの人口放射線も科学的に安全に取り扱えば私たちの日常生活の中で有効に活用されるものもある。例えば医療用に使用したり、新しい製品開発のためにβ線などが使用されている。もちろん、発電にも原子力発電が使用されており、様々な課題を含みながらも原子力発電に依存しなければならない現状である。

こうした身近な放射線について、科学的に正しく理解することが重要であり、下記に示すような実践事例を紹介する。

2．授業活動のねらい

自然放射線の科学的な理解を深め、放射線そのものが身の回りに存在することを認識させる。高校理科教育の自然科学実験の授業のねらいとして下記のような放射線教育の目標を立てた。

①私たちの身の回りにある自然放射線を簡易放射線探知機や、簡易型霧箱を用いて、α線、β線、γ線などを観察し、その違いについて観察する。自然放射線にはいろいろな種類があることを理解する。

②放射線探知機と電子線計測器とを組み合わせて、自然の放射線の定量測定をすることにより、日常的に放射線が飛来していることを認識する。

③放射能、放射線、放射線量などの用語を正確に理解する。

④放射性元素がα崩壊、β崩壊を繰り返して一定の周期で質量が半減されていく現象を模擬実験で検証する。

⑤人工放射線の実験例として、ソフテックス（軟Ｘ線装置）用いて生徒の持ち物などをＸ線撮影する。Ｘ線の透過力の強いことの危険性について認識し、放射線の実験で被爆した研究者の写真や、広島、長崎などに原子爆弾が投下された写真などを観察し、人口放射線のに対する認識を科学的に正確に理解させる。

以上の実験や観察を実施することにより、放射線の科学的な理解と認識を深めるとともに原子力利用の実情などを紹介する。放射線は危険なものであり、しかし、扱い方によっては安全であり、人類にとって今後、研究し、開発していかなければならない大きな課題であることを認識する。

3．実験方法と事例

(1).私たちの身の回りにある自然放射能探知機と実験用簡易放射線源セットを用いて、放射線を観測する。市販されている実験用簡易放射線源セットは、次のようなものがある。

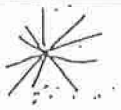
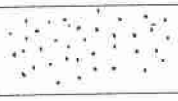
ポロニウム（Ｐｏ－210）α線、0.1 μＣｉ、半減期138 日、ストロンチュウム（Ｓｒ－90）β線、0.1 μＣｉ、半減期28.6年、コバルト（Ｃｏ－60）γ線、0.1 μＣｉ、半減期5.27年などがありプラスチックケース入りで取扱い免許の必要はないとされている。

①．簡易放射線探知機を使用して自然放射線を測定し、下記の表に記入する。ただし、飛行機などの測定は、その様な機会があった時に測定する。

＜バックグラウンド放射線の測定結果＞

測定場所	μSv／10min（放射線カウント数）					
	1回	2回	3回	4回	5回	平均
屋　内						
コンクリート建物						
木造建築						
トンネル内						
池、湖、海						
飛行機						

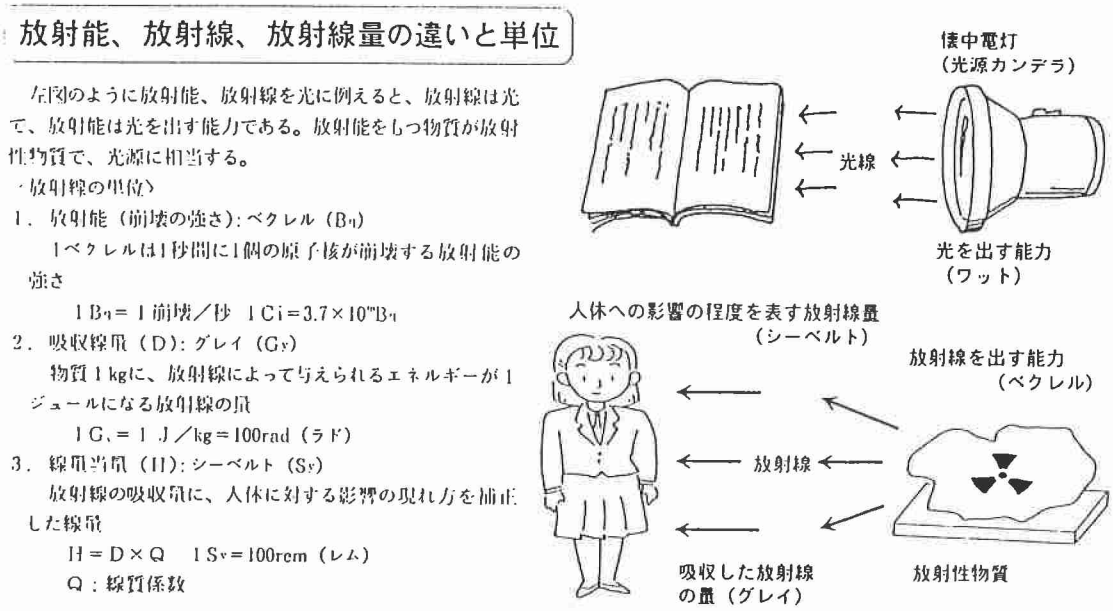
また、簡易型霧箱を用いて、α線、β線、γ線などを観察し、その違いについて観察する。自然放射線にはいろいろな種類があることを理解する。その違いは、下記の図のように霧箱の中で観察することができる。

放射線の種類	霧箱の飛跡の様子	飛跡の図	イオン化能力	透過能力
α線	たこ糸のように太く短い		大	小
β線	蜘蛛の糸のようで細く曲がっている		中	中
γ線	点状に広がる		小	大

②放射線探知機と電子線計測器とを組み合わせて、自然の放射線の定量測定をすることにより、日常的に放射線が飛来していることを認識する。

地学標本の岩石の中にウランの鉱石が数種類ある。これらを用いて測定する。ほかに上記に示した市販されている実験用簡易放射線源セットなどを用いて、放射線源を定量的にカウントする。単位時間当たりどれだけのカウントされたかをそれぞれについて表にまとめて考察をする。また、自然放射線の飛来してくるものをカウントしてその比較をする。

③放射能、放射線、放射線量などの用語を正確に理解する。下図のような絵をえがき、黒板用磁石で固定し、上記の用語を正確に理解する。



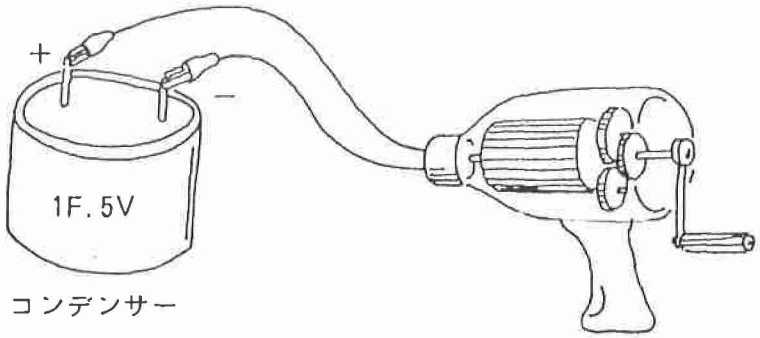
④放射性元素がα崩壊、β崩壊を繰り返して一定の周期で質量が半減されていく現象を模擬実験で検証する。

（ア）コンデンサー（容量、耐電圧それぞれ１Ｆ、５Ｖ）に、手巻き発電機を用いて、電圧、５Ｖまで充電する。

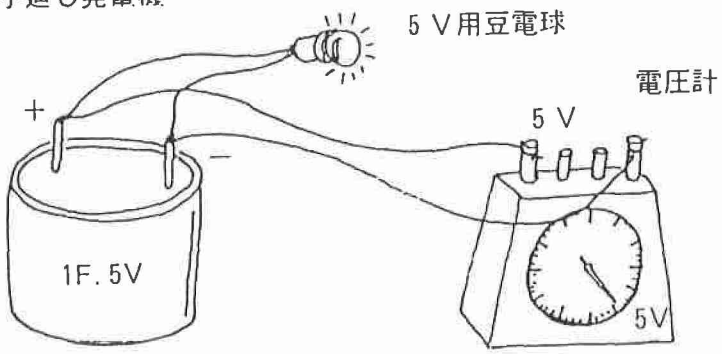
（イ）充電したコンデンサーに５Ｖ用豆電球を接続し、放電時間を１０秒間ずつとりこの時の降下電圧を測定してグラフにする。

（ウ）下図のようなグラフが描くことができる。これは放射性物質の質量の半減期の様子に似ていることから半減期の公式を検証することができる。

手廻し発電機による充電



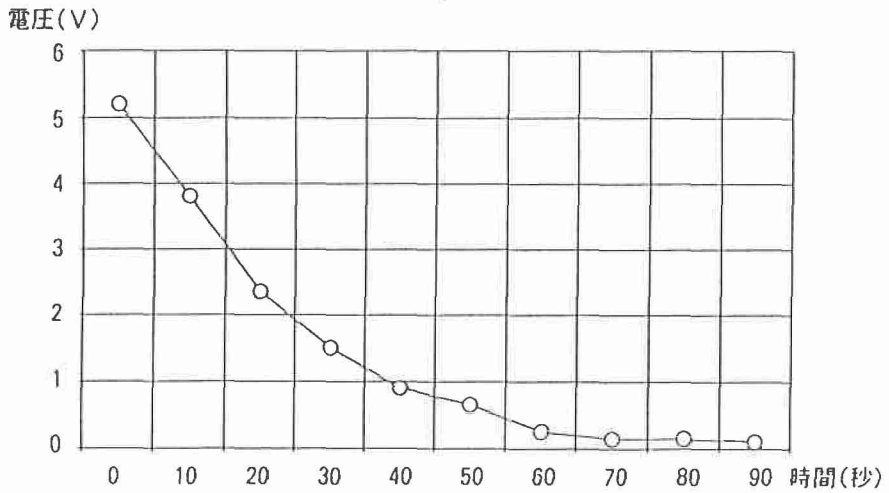
コンデンサー　　手廻し発電機



コンデンサー

コンデンサーに豆電球を接続した放電現象

放射性物質の半減期減少をコンデンサーの放電によって表わすグラフ



⑤人工放射線の実験例として、ソフテックス（軟Ｘ線装置）用いて生徒の持ち物などをＸ線撮影する。

（ア）ソフテックスＸ線照射口の下５cmのところに、大きさ３cm×４cmの歯科用のデンタルフィルムを不透明なビニール袋に封入されたまま、白い面を上に向けて置く。

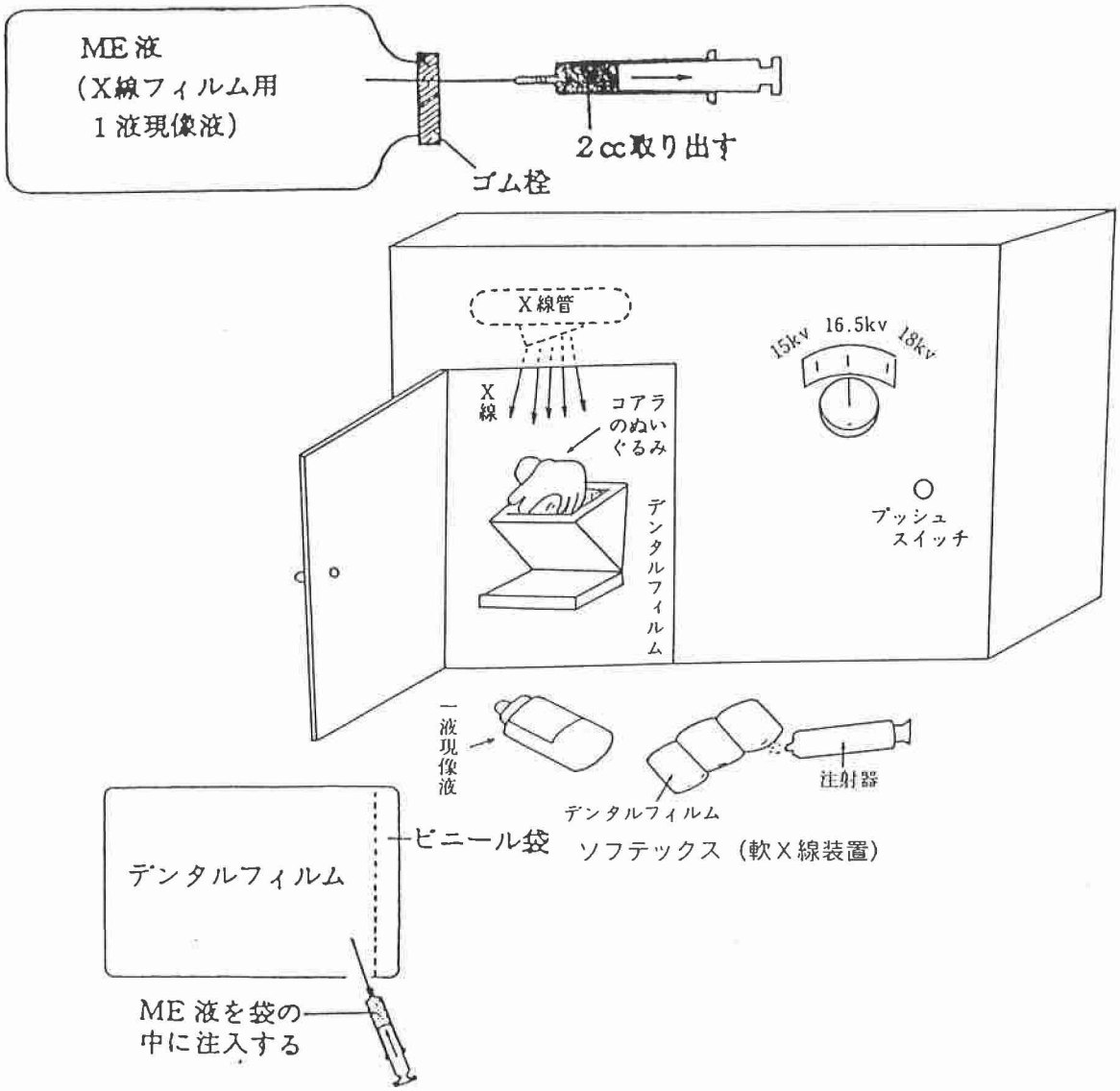
（イ）そのフィルムの上に、例えば生徒の持ち物のコアラの人形など載せ、取りだし口を閉める。これでＸ線を照射しても漏れることはない。

（ウ）プッシュスイッチを押してＸ線を５秒間照射し、照射後フィルムの入ったままのビニール袋を外に出す。

（エ）Ｘ線フィルム用１液を（ＭＥ液）の入ったポリ容器のゴム栓の中に注射器の針を差し込みＭＥ液を２ccほど取り出す。

（オ）Ｘ線を照射したデンタルフィルムのビニール袋の中に注射器の針を差し込み、２ccのＭＥ液を注入する。現像時間、１分後、はさみでビニールの端を切り取って、開封し、中のフィルムを取り出して水洗いする。

（カ）数分間水洗い後、風通しのよい所でフィルムを乾燥する。完成である。



４．実情報告

①．本校の場合、自然科学実験法という講座が、高校２・３年で選択履修できるカリキュラムが１９９５年より設置された。以来、各学年で２講座ずつ毎年、開設されている。この講座はすべて実験・実習をとおして進められている。ここで放射線教育の項目を１単元取り入れて６～８時間の時間を当てている。講座の生徒人数は最大１５名を越えないことを原則としている。ここ２・３年は、各講座とも履修者は２０名をこしているのが実情である。生徒の間でも評判の良い講座となってきている。

②．放射線教育の必要性は、前述した通りであるが、履修者の中に高等看護学校、医療関係の大学、薬学、理工学部などに進学希望している生徒がおり、上級学校に進学してから必要性を感じていることがアンケートの結果から明らかになった。

③．実際に実験を実施してみると、後述の資料の生徒の感想にも書かれているように自然放射線と、人口放射線の違いが理解でき、自然放射線の安全性の問題などを十分に理解できる生徒が増えた。

④．将来、進学して放射線に関する分野の研究や実践の場で活動してみたいという生徒がいた。これは放射線は危険だというイメージを拭うことができたと考えられる。

⑤．資料として、生徒用ワークシートと、生徒の提出したレポートの一部を掲載したが、天然の放射線は、日常的に浴びていることが分かり、実験、実習をすることが放射線教育では重要であることが認識できた。

参考文献

１）後藤道夫、宮澤弘二、「楽しい実験室」　日本教育新聞社（１９９１）

２）宮澤弘二、ほか「エネルギーＫＩＮ，ＫＯＮ，ＫＡＮ」エネルギー教育情報センター（１９９１）

３）「原子力教育・研究」特別専門委員会第２グループ、「原子力をひらく世紀」社団法人日本原子力学会（１９９８）

４）宮澤弘二、「エネルギー・環境教育教師用ガイドブック」（改訂版１９９８・エネルギー環境教育情報センター発刊）

５）　永振一郎、ほか「物理実験事典」講談社（改訂版１９９０）

６）徳田肇道、「高校生の所有する原子力関連の日常的知識について」筑波大学大学院教育研究科修士論文（１９９２）

７）村石幸正、「放射線の学習」の実践報告、物理教育４３－２（１９９５）

８）鶴岡森昭、「放射線に関するアンケート調査」日本理化学協会総会（研究発表論文）１９９６

９）宮澤弘二、ほか「２１世紀に向けた新たな科学・技術教育のあり方に関する調査報告書」財団法人社会経済生産性本部（１９９７）

自然放射線の測定

（生徒用ワークシート）

資料　1

1．活動のねらい

私たち身の回りには沢山の放射線がある。放射線と言うと危険な物と言うイメージが強い。しかし、昔から天然自然の放射線は存在していたのである。天然自然に存在する放射線のことをバックグラウンド放射線と呼び大きく、２つに大別している。１つは、宇宙線と言われ空から降り注いでいる。その発生源は太陽であったり、宇宙に存在する他の恒星からものであろうと推定される。もう１つは、地球に存在してるもので、地面の中にあるウランやトリウム、ラドンがごく僅か含む鉱物から出る放射線と、植物や建物に含まれる放射性物質から出る天然の放射線がある。このような天然自然の放射線に対して人工的な放射線がある。それは１９世紀の終り頃、ドイツの科学者レントンゲンによって発見されたＸ線や、原子炉で作られる各種の放射性同位元素（ラジオアイソトープ）、原子爆弾や水素爆弾による各種の放射性物質など、人間が作りだしたものである。こうした人工的に作り出された放射線は、身体にとって危険なものが多いので、取扱いには、十分な注意が必要である。しかし、これらの人工放射線も科学的に安全に取り扱えば私達の日常生活の中で有効に活用されているものもある。例えば医療用に使用したり、新しい製品開発のためにβ線が使用されている。電気エネルギーの発電にも原子力が使用され問題を含みながらも原子力エネルギーに依存しなければならない現状である。環境保全、自然破壊を引き起こす化石燃料や、水力による発電は、今後控えなければならないような問題がある。新エネルギーの開発という観点からも放射線について、正確に科学的に理解することが重要である。下記に示した項目を活動のねらいとして学習する。

①．私たちの身の回りにある天然の自然放射線を簡易放射能検知器（ウチダ、バスコ社製、定価133.000,Rad-alter 理科振興法適応品）を用いて、α線、β線、γ線などを観察する。鉱物の中に多量に含まれている実験用簡易放射線源セット（ウチダ、定価37.00-）をそれぞれの線種のサンプルとして使用する。これらの放射線は長時間（数時間程度）取り扱わなければ、被爆の恐れのないことを十分に理解する。

②．簡易型霧箱を製作し、放射線を肉眼で観察する。これらの放射線の種類には４種（α線、β線、γ線、中性子線）があり、それぞれの性質についても学習する。

③．放射能、放射線、放射線量の違いと単位について、懐中電灯と簡易型霧箱をモデルにして学習する。

④．放射性元素はα崩壊、β崩壊、を繰り返して質量が半減される現象をコンデンサーの放電現象の実験からグラフ化することによって学習する。

2．自然放射線を測定する実験

Ⅰ．簡易放射能検知器を使用して

射線を測定する。

①．上記の検知器で下記の場所で放射線の１０分間当たりのカウント数を表にまとめる。

（ア）屋内（教室または実験室）と屋外を違いを測定する。

（イ）鉄筋コンクリートの建物と木造建築の違いを測定する。

（ウ）トンネル内で測定する。

（エ）池、湖、海などで測定する。

バックグラウンド放射線の測定結果

測定場所	μSv/10min（放射線カウント数）					
	1回	2回	3回	4回	5回	平均
屋内						
ｺﾝｸﾘｰﾄ建物						
木造建築						
ﾄﾝﾈﾙ内						
池、湖、海						
飛行機						

場所の違いによる考察

（オ）飛行機に乗る機会があれば測定しておくとよい。

②．実験用簡易放射線源セットを使用してα線、β線、γ線のカウント数の違いを測定する。

（ア）ポロニュウム（Po-210）α線0.10μCi、半減期138 日を用いて測定する。

（イ）ストロンチュウム(Sr-90) β線0.10μCi、半減期28.6年を用いて測定する。

（ウ）コバルト（Co-60)β、γ線を1.0μCi、半減期5.27年を用いて測定する。

α線、β線、γ線のカウント数の測定

	1回	2回	3回	4回	5回	平均
α線						
β線						
γ線						

Ⅱ．簡易型霧箱キットの製作と放射線の観察方法

①．簡易型霧箱キットの製作手順

左図のような方法で簡易型霧箱キットを製作する。

（原子力エンジニアリングＫＫ発売、定価5800-）

ここに、別紙の１～５の項目が入る

②．放射線を霧箱を使用して観察する。

完成した霧箱を使用し、実験用簡易セットのα線、β線、γ線を観察する。放射線の違いは左表による。

α線…高速のヘリウムの原子核

β線…高速の電子の流れ

γ線…Ｘ線より波長の短い電磁波

放射線の種類	霧箱の飛跡の様子	イオン化能力	透過能力
α線	たこ糸のように太く短い	大	小
β線	蜘蛛の糸のよう細く曲がっている	中	中
γ線	点状に広がる	小	大

３．放射能、放射線、放射線量の違いと放射線の単位について

左図のように放射能、放射線を光に例えると、放射線は光で、放射能は光を出す能力である。放射能をもつ物質が放射性物質で、光源に相当する。

別紙の図による

放射線の単位

①．放射能（崩壊の強さ）；ベクレル（Ｂｑ）

１ベクレルは１秒間に１個の原子核が崩壊する

放射能の強さ

１Ｂｑ＝１崩壊／秒　１Ｃｉ＝3.7 ×10^{10}Ｂｑ

②．吸収線量（Ｄ）；グレイ（Ｇｙ）

物質１Ｋｇに、放射線によって与えられるエネ

3年H組12番 小澤友美

〈放射線について〉

放射線とは
- → レントゲン（X線）
- → 天然放射性元素（放射性物質）
  - → 宇宙線 0/min

→ 放射線の性質
① エネルギーが大きい
② 電離作用がある
③ 透過性が強い
④ 電磁波のうち波長が短く振動数が大きい

1. α線 … Heの原子核 → α彩子
2. β線 … 電子線（一電荷）
3. γ線 … 電磁波
(4. 中性子線)

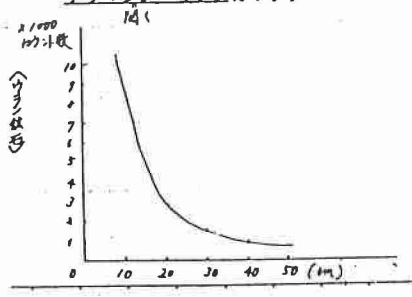
・不変数の人にとって、電磁波はよくない。
・ペースメーカー

$^{4}_{2}He$

$^{2}_{1}H + ^{2}_{1}H \rightarrow He^{+}$ Qcal（核融合）

・自然の放射線は危くない

・シンチレーションカウンター



資料 2

① バックグランド（天然）の放射線

回数	1	2	3	平均
	0.382	0.377	0.417	0.392

②

回数	1	2	3	平均
安山岩	0.317	0.319	0.347	0.328
玄武岩	0.337	0.366	0.293	0.332
花崗岩	0.341	0.336	0.336	0.338
ホタル石	0.319	0.301	0.308	0.309
方鉛鉱	0.369	0.329	0.318	0.339

③ ウラン鉱石

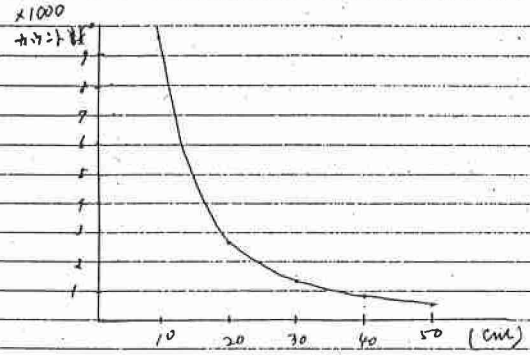
・閃ウラン石

回数 cm	10	20	30	40	50
1	9.630	2.668	1.310	0.825	0.526
2	9.999	2.593	1.326	0.823	0.496
3	9.205	2.614	1.324	0.844	0.526
平均	9.611	2.625	1.320	0.831	0.516

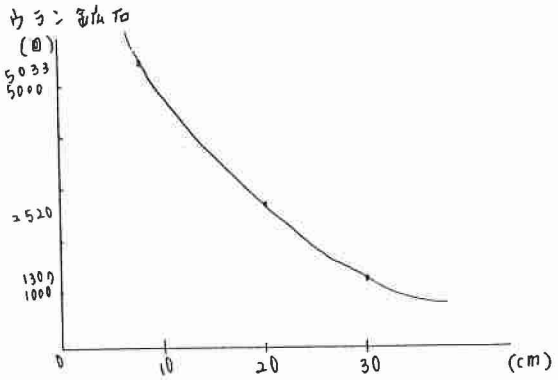
感想）私は、放射線というのは危険な物だと思っていましたが、自然の放射線は危くないことをこの授業で知りました。危いのは人工的な放射線だと知りました。この実験をしなければ、ずっと放射線はすべて危険なものだと思っていたと思います。

3H ◁ 真梨子

ユークセン石	0.232	0.125	0.086
	0.234	0.124	0.092
	0.219	0.123	0.091
	0.228	0.127	0.090



〈感想〉
私達がいつも微量の放射線をあびているということは知らなかったので、驚きました。また、玄武岩や安山岩などの鉱石からも、放射線がでていることが分かりました。



天然放射能を用いた学生実験

中村麻利子，*鎌田正裕，江坂享男
鳥取大学工学部，*東京学芸大学教育学部
（〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101，*〒184-8501 東京都小金井市貫井北町4-1-1）

［要約］近年，鳥取大学で行っている天然の放射能を用いた学生実験について紹介する．サンプルとしては，園芸用の化学肥料（過リン酸石灰）あるいは人形峠の土を使用し，それらから放射化学的手法を用いて^{214}Bi（+^{214}Pb）を分離し，その放射線（β線）を測定している．扱っている放射能の量は，日本での規制値にはほど遠いほどわずかではあるが，減衰の様子を観察するには，十分な量である．

1.はじめに

私たちは，日常生活の中で"放射線"や"放射能"という言葉をよく耳にするが，日本では，それらについて学校教育で学ぶ機会は少なく，わずかに高校の物理の時間に基礎を取り上げている程度である．しかし，最近では，理系の大学の学生でも高校で物理を選択していない学生も多く，さらに放射線や放射能を用いた生徒・学生実験となると，ほとんど実施されていないのが現状である．これらの原因としては，放射線や放射能の扱いに対する規制が厳しいことや測定用の装置が高価であることがあげられる．しかし，工業的には数多くの人工放射能がすでに使用されており，私達の生活から放射線や放射能を切り離すことが出来ない以上，たとえば放射線の種類や測定法，放射線の単位，半減期のような基礎的な知識は，工学部化学系の学生であれば当然身につけておかなければならないものである．そこで，私たちは，身の回りにある天然の放射能とGM式の測定器[1,2,3]を用いて簡単な放射化学分析の実験を行えば．放射能に関する基礎知識の習得に役立つと考え，安全で安価な学生実験を開発した．

なお，本実験は，鳥取大学において5年前から実施されている．

2.鳥取大学で行っている放射化学分析

2.1　実験の概要

鳥取大学工学部物質工学科の学生は，3年生までに図1に示したようにいくつかの分野

化学実験I（1年前期）
- I,II,III族の金属イオンの定性分析
- 中和滴定
- 酸化還元滴定
- キレート滴定
- 吸着平衡
- ｐＨ計によるｐＨ滴定曲線
- 反応速度の測定

物質工学実験II（3年前期）
- 電極電位と電極反応・Grignard反応
- 放射化学・求電子芳香族置換反応
- 過酸化水素の分解反応における触媒作用II
- Fischerのエステル化反応・還元反応

化学実験II（2年前期）
- 基礎化学実験
  ガラス細工，単蒸留 等
- 無機化学実験
  化学発光，遷移金属化合物の反応 等

物質工学実験I（2年後期）
- 再結晶操作と融点測定・X線回折
- 減圧蒸留・酵素反応・電子材料の性質
- 薄層クロマトグラフィー
- カラムクロマトグラフィー
- 紫外・可視分光光度法による鉄の定量
- 過酸化水素分解反応における触媒作用
- ゼオライトを用いたガソリンの合成
- 導電率及び電離定数
- フェライトの合成

図1　学生実験一覧

にわたって学生実験を行う．本実験は，3年生が前期に受ける物質工学実験IIの中に組み込まれている．学生は，講義や実験を通して無機化学，物理化学，分析化学等については学んでいるが，放射化学に関しては物質工学実験IIに5年前から本実験を取り入れるまでは，学ぶ機会はほとんどなかった．実際の実験では，本学科の3年生（80～90名）を6グループに分け，1グループ14～15名で各実験を順番に行う．日程は1週間に2日（午後半日）行うので，6グループがすべて放射化学分析の実験を終了するためには3週間ほど必要である．

一方，学生実験で使用できる放射能にはいろいろなものがあるが，鳥取県にはラジウム温泉として知られている三朝温泉があるので，その温泉水を用いた実験を検討したところ温泉水の中に含まれている^{222}Rnから生まれた^{214}Bi(+^{214}Pb)を共沈法で温泉水から分離し，その放射線（β線）を測定する実験が可能なことが分かった．しかし，本実験は前述のように3週間ほど行われるのに対し，温泉水に含まれている^{222}Rnは半減期が4日弱と短いため一度採水した温泉水で全グループが実験を行うことはできず，数回の採水が必要であり，担当者にとっては負担となる．そこで，三朝温泉の温泉水の代わりとして，園芸用の化学肥料（過リン酸石灰）と鳥取県と岡山県の県境にある人形峠の土を用いることにした．それらは，いずれもウラン系列の放射性の核種を含んでいる（図2）．化学肥料は原料に用いられているリン鉱石の中にわずかではあるがウランを含んでいるため^{238}Uの娘核種の一つである^{226}Raが存在し，^{226}Raと^{214}Poの間で放射平衡が成立している．また，人形峠は日本で初めてウランが掘られたところ

	核種	半減期	崩壊形式
崩壊系列	^{238}U	4.47×10^{9}y	α
	↓ ^{234}Th	24.1d	β
	↓ ^{234}Pa	1.17m	β
	↓ ^{234}U	2.45×10^{5}y	α
	↓ ^{230}Th	7.54×10^{4}y	α
	↓ ^{226}Ra	1.6×10^{3}y	α
	↓ ^{222}Rn	3.82d	α
	↓ ^{218}Po	3.11m	α
	↓ ^{214}Pb	27m	β
	↓ ^{214}Bi	19.9m	β
	↓ ^{214}Po	164μs	α

図2　過リン酸石灰あるいは人形峠の土に含まれている放射性核種

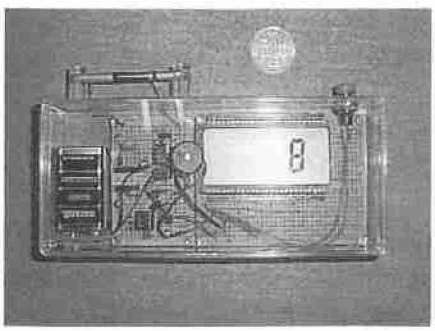


写真１

写真２

であり，ほんのわずかであるが土の中にウランが含まれている．このようにこれらの中には，半減期の長い^{238}Uや^{226}Raが含まれているため何度実験を繰り返して行っても補給や交換を行う必要はなく，毎年行う学生実験にとっては最適な材料といえる．

測定器としては，秋月電子から1万円弱で発売されているガイガー（ＧＭ管）式測定器の組立キット（浜松Ｄ3372）を使用してみたところ機能的に十分であった（写真1）．また，昨年からは，科学技術庁が無料で学校等へ貸し出しているハンディタイプのβ線測定器はかるくんII（写真2）の使用も行っている．

2.2．実験の方法

過リン酸石灰あるいは人形峠の土から放射化学的手法を用いて^{214}Bi（+^{214}Pb）を分離し，ＧＭ管あるいははかるくんIIを用いて^{214}Bi(+^{214}Pb)の減衰の様子を測定する．しかし，過リン酸石灰や人形峠の土は，不純物として種々の化合物を含んでいるため，わずかしか含まれていない^{214}Biのような放射性の核種を化学的に分離するのはかなり困難である．そこで，図2に示したウラン系列の中で^{222}Rnだけが気体であり，活性炭に簡単に吸着されるという性質に着目した．

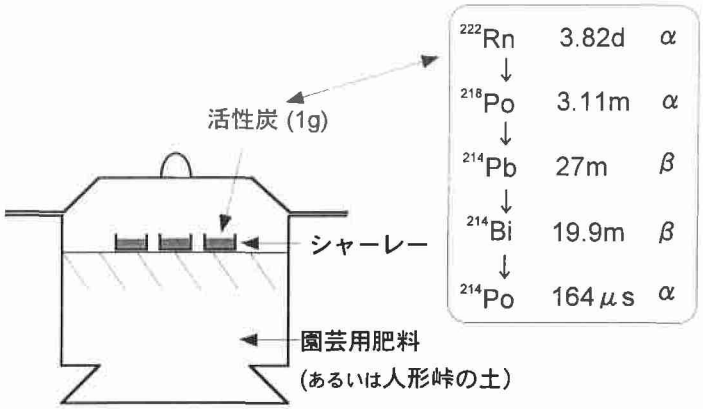


図3　^{222}Rnとその娘核種の分離

図3のようにデシケータの中に過リン酸石灰あるいは人形峠の土を1～2kg入れる．その中に活性炭を1ｇ入れたシャーレを6ヶ入れ1週間放置し，^{222}Rnやその娘核種（たとえば^{214}Bi, ^{214}Pb）を活性炭上に蓄積させる．そしてこの活性炭を硝酸水溶液で洗い，これらの放射性の核種を液相へ移した後，アルカリを加え，^{214}Biや^{214}Pbを含んだ水酸化ビスマスの沈殿物を生成させる．そして沈殿物から出ているβ線を測定する．

実験手順を図4に示す．

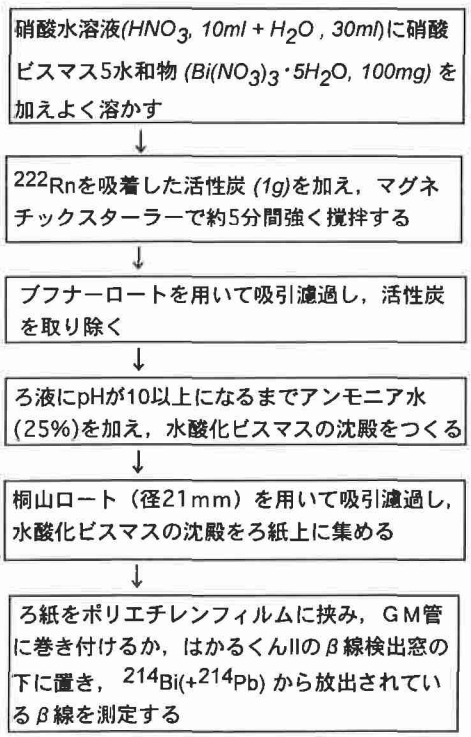


図4　実験操作の手順

2.3　実験の流れ

実験の時間配分を図5に示す．始めに実験についての簡単な説明と霧箱[4]を用いたα線の飛跡の可視化実験を演示した後，学生（14～15名）を2～3人の小グループに分ける．本実験では扱っている^{214}Pb(27分)や^{214}Bi(19.9分)の半減期が短いため迅速さを必要とする．そのた

め練習と自然放射線の測定を兼ねて，まず，放射性の核種を吸着していない活性炭を使って本番と同じ実験操作を一通り行い，そのあとで本実験を行う．

^{214}Pbと^{214}Biを含んだ沈殿物をろ紙上に集め，そのろ紙をGM管に巻き付け，あるいははかるくんIIのβ線検出窓に近づけてカウントを開始する．GM管の場合は，測定器をOHC(Over Head Camera)の下に置き表示部に表示されるカウント数をビデオに録画する．この測定を行っている80～90分の間に学生には使用した器具の後片づけをさせ，その後放射能や放射線についての簡単な講義および結果の整理と考察の内容（図6）についての助言を行う．学生は高校でそれらの基礎について習っていないか，習っていても，ほとんど覚えていないというのが現状である．講義終了後、ＧＭ管を使用した場合は，ビデオテープを巻き戻し，10分毎に表示しているカウント数をノートに書き留める．はかるくんIIの場合は，測定器が記憶しているデータを読み出す．そして学生はそれらのデータを整理し，図6に示した課題をまとめ，1週間以内にレポートを提出する．

実験の様子を写真3に示す．

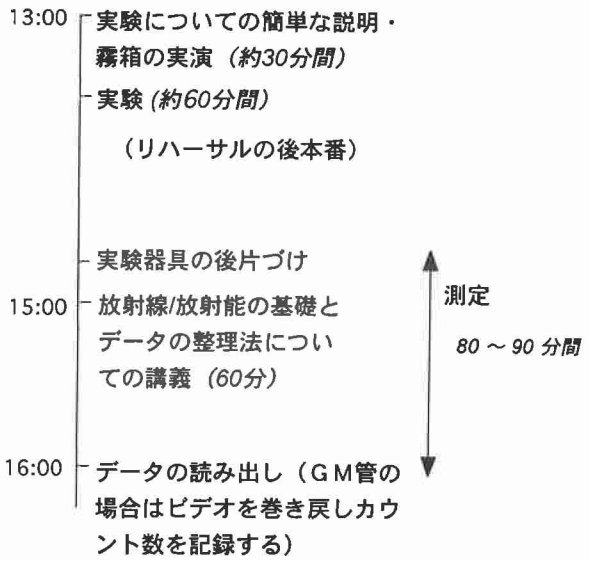


図5　実験の時間配分

結果の整理と考察

1). 計数率（試料の計数率からバックグランドの計数率を差し引いたもの）の対数を縦軸に，沈殿生成後の経過時間を横軸にとって，測定データをプロットしてみよ．

2). 沈殿物中の^{214}Biの放射能が指数関数的（半減期19.9分）に減少するとすれば，どのような計数率の経時変化が得られると考えられるか．1）のグラフ中に書き込んでよ．

3).実験値と2)で考えた経時変化が一致しない理由を考えよ．

HINT　GM管の場合

^{214}Pbが沈殿中に含まれている．しかし，ここで用いたGM管では^{214}Pbから放出されている放射線は検出されていない

はかるくんIIの場合

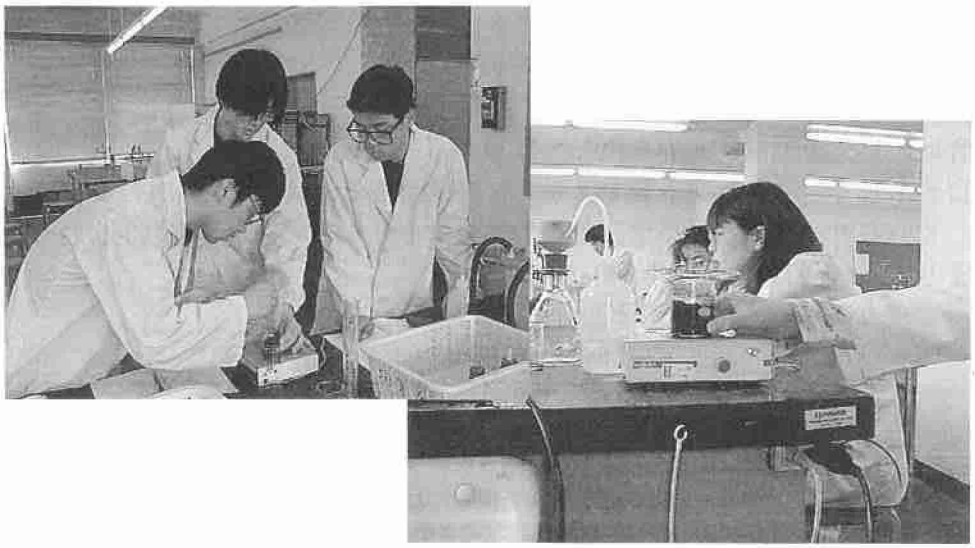
^{214}Pbが沈殿中に含まれている．はかるくんIIでは^{214}Pbから放出されている放射線も検出されている

4). ^{214}Pbを含まない沈殿を作るためにはどのようにしたらよいと考えられるか？

5). いま，測定器の測定効率をGM管の場合は約3%，はかるくんIIの場合は約10%と考え，硝酸水溶液中の^{214}Biの化学収率を100%と仮定すれば，沈殿生成直前に硝酸水溶液中に存在していた^{214}Biの放射能（ベクレル数）はいくらか？また，その時の^{214}Biのモル数も計算してみよ．

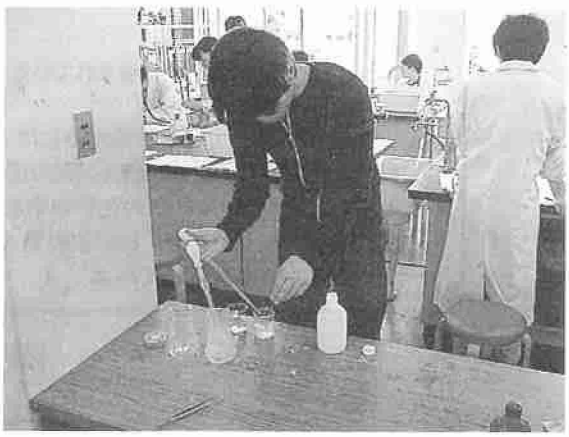
図6　課題内容

霧箱を用いた演示実験
（線源：キャンプ用マントル）

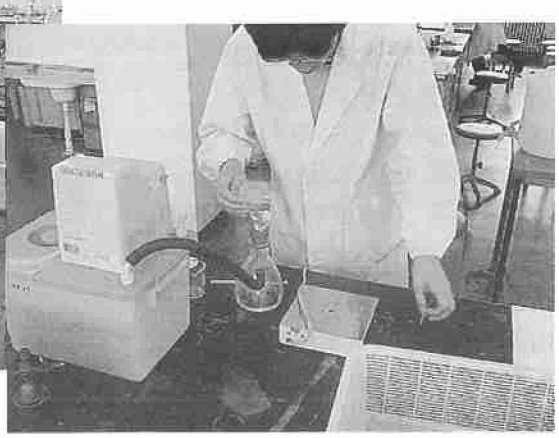


硝酸水溶液中に活性炭を入れ，
約5分間強く撹拌する

活性炭を取り除く

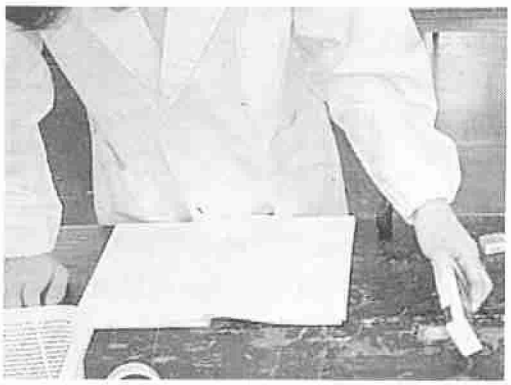


アンモニア水（25%）を加える



水酸化ビスマスの沈殿物を桐山ろ紙（径21mm）上に集める

桐山ろ紙をＧＭ管に巻き付ける



はかるくんIIを使って測定する

ビデオに録画しておいた測定中のＧＭ管の映像からカウント数を読みとる

写真3　実験風景

3．実験結果

GM管とはかるくんIIを用いて得られた結果の一例をそれぞれ図7，図8に示す．いずれも縦軸は1分間当たりの計数率，横軸は沈殿が生成してからの経過時間を表す．

GM管で検知されているのは^{214}Biから放出される高いエネルギーのβ線だけであるが，減衰のカーブの傾きは^{214}Pbの半減期（27分）に近い．これは水酸化ビスマスの沈殿物の中に^{214}Biと一緒に^{214}Pbが含まれていることを意味している．そこで図7の減衰曲線は次のように求められる．

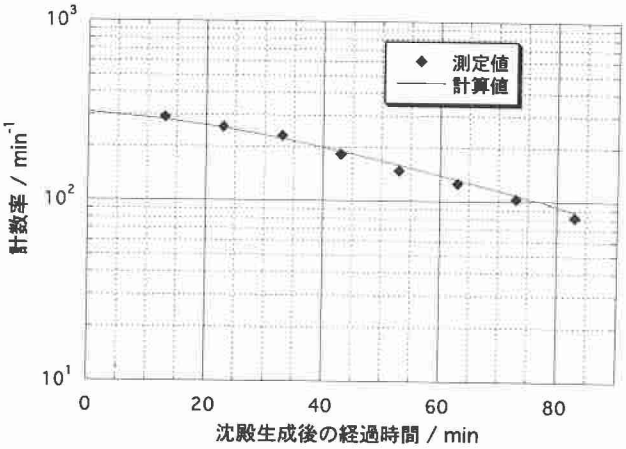


図7　ＧＭ管を用いた場合の代表的な測定結果

デシケーターの中では^{222}Rnと^{214}Pbと^{214}Biの間で放射平衡が成立していたものと見なすことができる．しかし，^{222}Rnと放射平衡にあった^{214}Pbと^{214}Biを^{222}Rnから分離すると，それぞれの原子の数は以下の式にしたがって減少する．

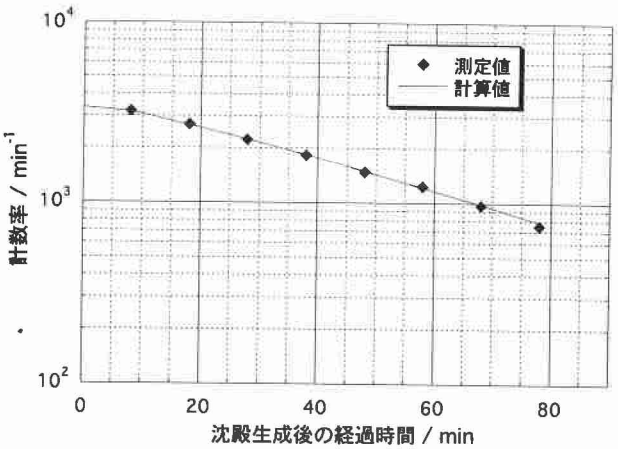


図8　はかるくんIIを用いた場合の代表的な測定結果

$$dN_1/dt = -\lambda_1 N_1 \quad (1)$$
$$dN_2/dt = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (2)$$

ただし，N_1，N_2は，^{214}Pbと^{214}Biの原子数，λ_1，λ_2はそれぞれの崩壊定数(s^{-1}, ln2を半減期で除したもの，これと原子数の積が単位時間当たりの崩壊数を表す)である．分離直後(t=0)のN_1，N_2をそれぞれN_{10}，N_{20}と書けば，式(1)，(2)から時刻tにおける^{214}Pbと^{214}Biの原子数は次のように求められる．

$$N_1 = N_{10}\exp(-\lambda_1 t) \quad (3)$$
$$N_2 = \{\lambda_1/(\lambda_2-\lambda_1)\}N_{10}\{\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t)\} + N_{20}\exp(-\lambda_2 t) \quad (4)$$

ただし，先に述べたように分離直前まで放射平衡におかれていたことから

$$\lambda_1 N_{10} = \lambda_2 N_{20} \quad (5)$$
$$N_{20} = (\lambda_1/\lambda_2) N_{10} \quad (6)$$

が成り立つ．
式(6)を(4)に代入し，次のような式を得ることができる．

$$N_2 = \{\lambda_1/(\lambda_2-\lambda_1)\}N_{10}\{\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t)\} + (\lambda_1/\lambda_2)N_{10}\exp(-\lambda_2 t) \quad (7)$$

GM式測定器の場合，^{214}Biから放出されるβ線のみが測定対象となるので，図7の計算値は式(7)のN_2にλ_2をかけて算出できる．一方，はかるくんIIは，^{214}Pbから放出されている0.5MeVより低いエネルギーのβ線も一緒に検知することが出来るため，図8の減衰曲線は図7で用いた計算値（$N_2\lambda_2$)に 式(3)で求めたN_1にλ_1をかけた$N_1\lambda_1$を足し合わせたものである．ただし、いずれの場合も式中のN_{10}の値は計算値と実測値の差が最も小さくなるように定めた．

はかるくんIIの感度は，GM管より高く，一桁高いカウント数を得ることができた．また，10時間の間，１分毎のデータを記憶できる機能があり，データの処理も簡単である。

４．まとめ

ほとんどの学生がこの実験のための放射線・放射能についての十分な知識はもっていないため，その教育的効果は限られているかもしれない．しかし，学生が実際に実験を行い放射線・放射能を学ぶという貴重な機会を得ることにより，それまで放射線・放射能に対してあまりに否定的であった態度が少しは変わるかもしれないという期待は持つことができる．

また，この実験のために特別な装置や特別な技術も必要ないため高校でのクラブ活動のテーマとしてもふさわしいと思われる．三朝温泉の温泉水を用いた実験は，工学部の体験入学で行ったが，高校生でも十分行えるものであった．

謝辞

本研究の一部は，文部省科学研究費補助金（基盤研究(B)10558077，平成 10 年～12 年度）の援助を受けて行われた．

参考文献

1) 鎌田正裕，中村麻利子，江坂享男，”天然放射性同位元素を用いた放射化学実験(I) -温泉水に含まれる^{214}Biの放射能測定-”，化学と教育，42巻，4号，p.286-291（1994）．
2) 鎌田正裕，江坂享男，”天然放射性同位元素を用いた放射化学実験法(IV)-園芸用過リン酸石灰から放出される^{222}Rnおよびその娘核種の放射能測定 (I)”，化学と教育，43巻，9号，p.588-591（1995）．
3) M.Kamata, M.Nakamura and T.Esaka, "Educational Experiment for Students Using Natural Radioactivity.I(Radiochemical Analysis of ^{214}Bi in ENA and IKEDA Mineral Spring Water)", Proceedings of International Symposium on Radiation Education (ISRE 98), December 11-14, 1998, Hayama, Kanagawa, Japan, p.238-244 (1998).
4) 森　雄兒「平成6年度東レ理科教育賞受賞作品集」第26回，p.18，財団法人東レ科学振興会．

ラジオグラフィを用いた放射線教育用教材の開発

鎌田正裕、片桐左知子、*藤根成勲、*米田憲司
東京学芸大学教育学部（〒184-8501　東京都小金井市貫井北町 4-1-1）
*京都大学原子炉実験所　（〒590-0494　大阪府泉南郡熊取町野田）

［要約］ラジオグラフィ技術を利用することで、放射線の物質に対する相互作用の大きさを視覚的に示せる写真教材ができると考え、実物の試料片を張り付けた周期表の透過画像を、異なるエネルギーのX線・γ線や中性子線を使用して撮影した。得られた画像から、放射線の物質に対する相互作用が、線種やエネルギーにどのように依存するかについて読みとることができた。

１．緒言

Fig. 1 にX線と中性子線に関する減弱係数と原子番号の関係を示す [1]。同図から、重い元素ほどX線を遮蔽する能力があることや、X線と中性子線では物質に対する相互作用が大きく異なっていることを読みとることができる。しかしこの種のデータから、たとえばX線との相互作用の大きさがアルミニウムと鉛でどの程度異なるのかを感覚的に理解することは一般に困難である。この背景には、放射線そのものが感覚的に捉える（見る・感じる）ことができないものであることに加え、日常生活の中で放射線の量を意識する機会が皆無に等しいことがあげられる。これに対し、医療現場で頻繁に利用されるレントゲン写真（ラジオグラフィ像）は放射線の可視化法の１つであり、一般の人々にとっても、なじみ深いものである。また、通常の写真についてある程度の知識を持っている人にとっては、ラジオグラフィ像の濃淡から放射線の強弱を想像することはそれほど困難ではない。

そこで我々は、ラジオグラフィ技術を利用することで放射線の物質に対する相互作用の大きさを視覚的に表した写真教材ができると考え、実物の試料片を張り付けた周期律表を製作し、異なるエネルギーのX線やγ線と中性子線を用いてその透過像を撮影した。また、中性子を照射した試料の放射化の様子についても周期表の転写像を用いて可視化した。

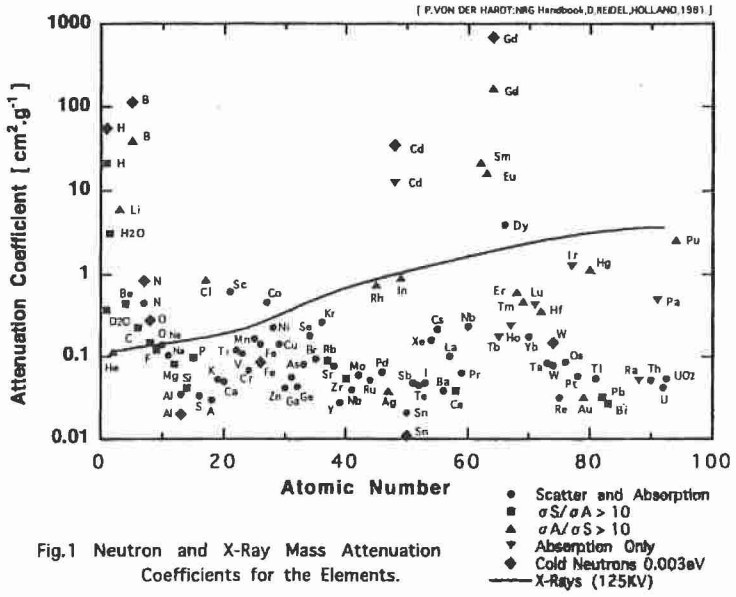


Fig.1 Neutron and X-Ray Mass Attenuation Coefficients for the Elements.

2．実験方法

2.1　実物周期表

本実験で使用した実物試料は Fig. 2 に示した約 30 種類で、いずれも単体の入手が容易でしかも大気中で安定な元素である。各試料は、縦が 10mm、横が 8mm 以下になるように加工し、また放射線の透過方向にあたる厚みについては 0.014mol/cm^2(鉄の場合で 1mm 厚に相当) になるように調整した。X線ラジオグラフィの撮影時にはこれらを厚さ 0.7mm のプラスチック板上に周期表の配列通りに並べて固定し、γ線および中性子ラジオグラフィの場合には厚さが 1mm のアルミニウム板上に同様に固定した。

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

Fig.2 Periodic Table (Prepared elements are hatched)

2.2　X線・γ線ラジオグラフィ

実物試料を張り付けた周期表は、イメージングプレート（X線用 IP）をセットしたフィルムカセット上に固定し、周期表に垂直な方向からX線を照射した（Fig. 3）。撮影には 50, 100, 150kV の 3 種類のX線を使用し、イメージングプレート(IP)に記録された透過後のX線強度は IP リーダー（FUJI BAS5000）を用いて数値化した。

γ線ラジオグラフィの撮影は、京都大学原子炉実験所にある中性子ラジオグラフィ施設で行った。Fig. 4 に示すように、この施設にはγ線を遮蔽するための鉛製のビームシャッターと中性子を遮蔽するための炭化ホウ素を含むビームシャッターが備え付けられているので、後者を閉じた状態で前者のみを開けて、γ線を照射した。なお、撮影にはX線用 IP を使用し、照射時間は 5 分とし、また解析には BAS2500 を使用した。

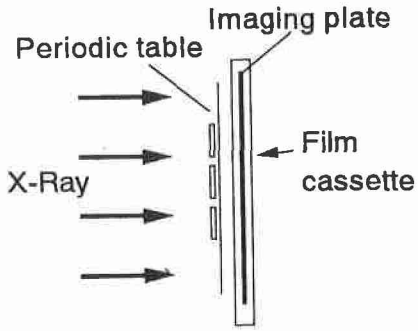


Fig.3 Arrangement for X-ray radiography

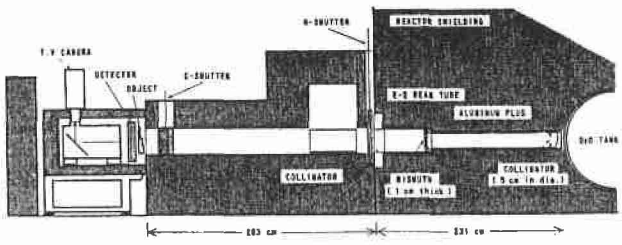


Fig.4 NR facility (KURRI)

2.3　中性子ラジオグラフィ

熱中性子ラジオグラフィ(TNR)は、京都大学原子炉実験所の中性子ラジオグラフィ施設（Fig.４）で撮影され、冷中性子ラジオグラフィ（CNR）は同実験所の冷中性子ラジオグラフィ施設（Fig.５）で撮影された。また、高速中性子ラジオグラフィ（FNR）のためには、東京大学の弥生炉（Fig.６）を使用した。中性子ラジオグラフィの原理や方法は、X線などを用いたラジオグラフィの場合とほぼ同様であるが、TNR と CNR については記録のために中性子用の IP(FUJI)を使用し、FNR については工業用X線フィルム(Kodak SR)とコンバーター(F20)を使用した。TNR と FNR の照射時間は、それぞれ 3min と 20min とし、冷中性子の場合は、試料とフィルムカセットをセットしたステージを 300mm/8min の速度で動かしながら、10mm 幅の中性子のビームで周期表全体を照射した。

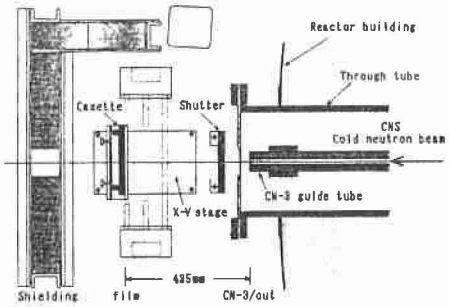


Fig.5 CNS facility (KURRI)

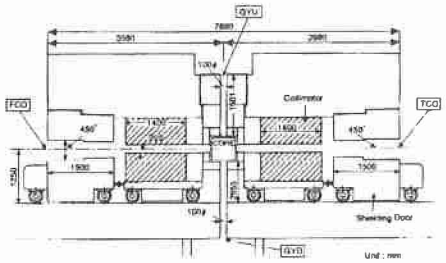


Fig.6 Yayoi facility (Tokyo Univ.)

2.4　熱中性子放射化オートラジオグラフィ

実物周期表には、中性子を当てると比較的短時間で放射化する元素が含まれているので、これを利用して元素の放射化と放射化した試料が減衰して行く様子を視覚化することができる。

はじめに、京都大学原子炉実験所の熱中性子ラジオグラフィ施設で 9.5 時間、実物周期表に中性子を照射し、その後周期表をフィルムカセットの中でトリチウム用 IP と 1.5 時間密着させた。さらに、照射終了 7.5 時間後に再び先ほどの実物周期表をフィルムカセットの中でトリチウム用 IP と 1.5 時間密着させて、放射能が 7.5 時間でどのくらい減衰したのかが読みとれる画像の撮影もあわせて行った。

３．結果と考察

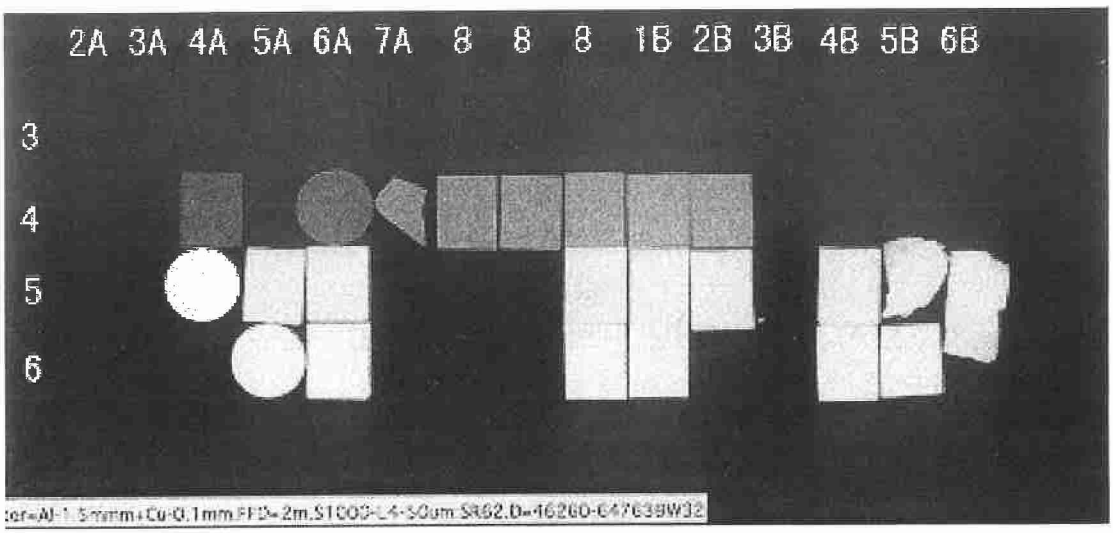
3.1　X線ラジオグラフィとγ線ラジオグラフィの結果

X線によるラジオグラフィ像を Fig.７に示す。原子番号が増えるにつれて各試料の像が白くなっていく様子から、原子番号が大きいほどX線の遮蔽能力が大きいことがわかる(このことは、X線の遮蔽には原子中の電子が重要な役割を果たしていることを示している)。

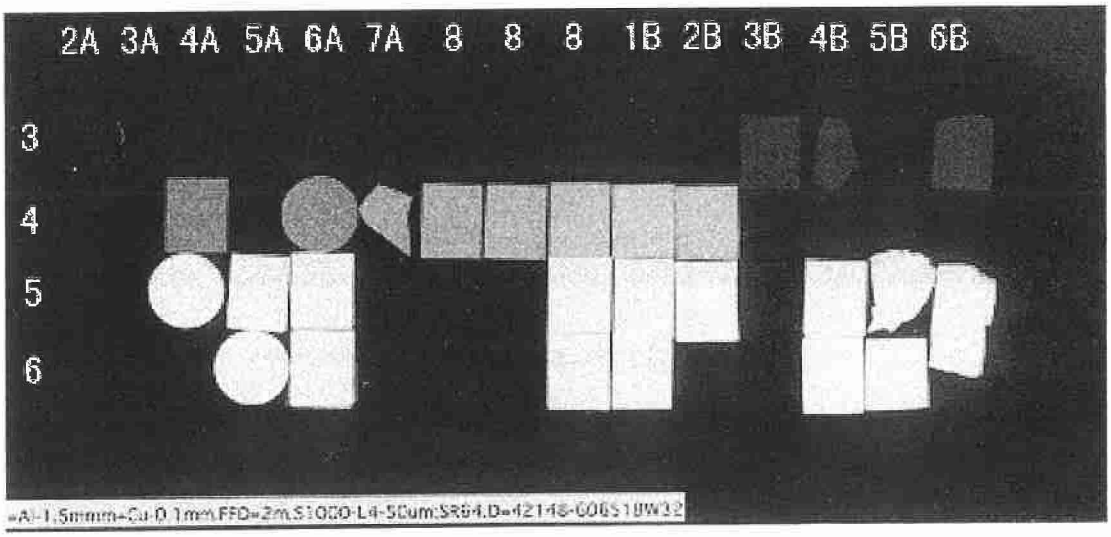
Fig.7(a)を見ると、第３周期に属する試料は何も写っていない。このことは、これらの元素が 150kV のX線に対してはほぼ透明（相互作用が十分に小）であることを意味する。Fig.7(c)では、第３周期に属する試料が確認できるのに対し、第５、６周期の試料がすべて

白く写っていることから、50kV のX線が第５、６周期の元素を透過することができなかったことがわかる。このように、X線の物質に対する相互作用の大きさが、X線のエネルギーや物質の原子番号にどのように依存するのかを、これら３枚の写真から読みとることができる。

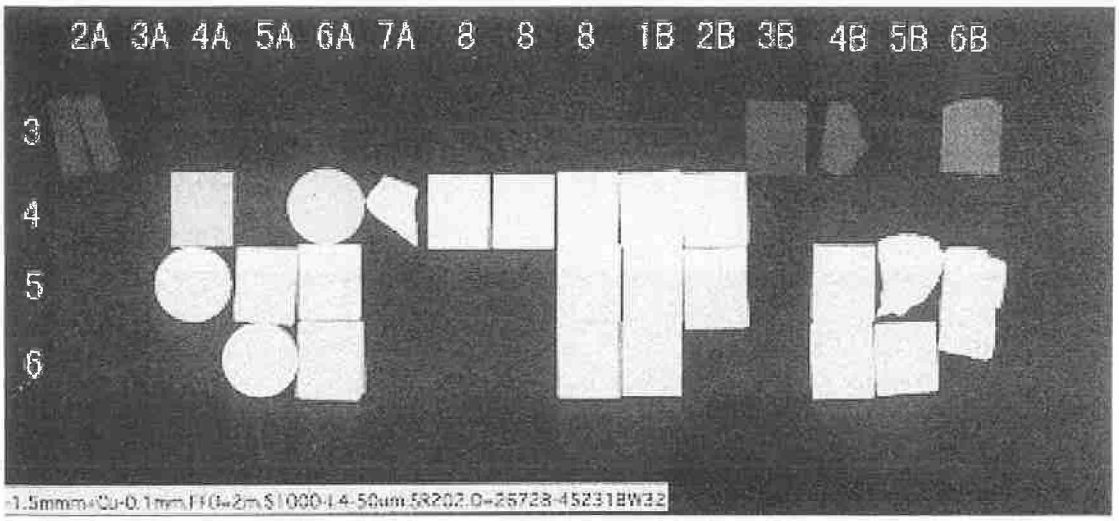
Fig.8 にγ線ラジオグラフィの結果を示す。同図から、γ線は 150kV のX線でも透過することのできなかった鉛やビスマスを容易に透過していることがわかる。



(a)



(b)



(c)

Fig.7 X-ray radiographic images (a)150kV (b)100kV (c)50kv

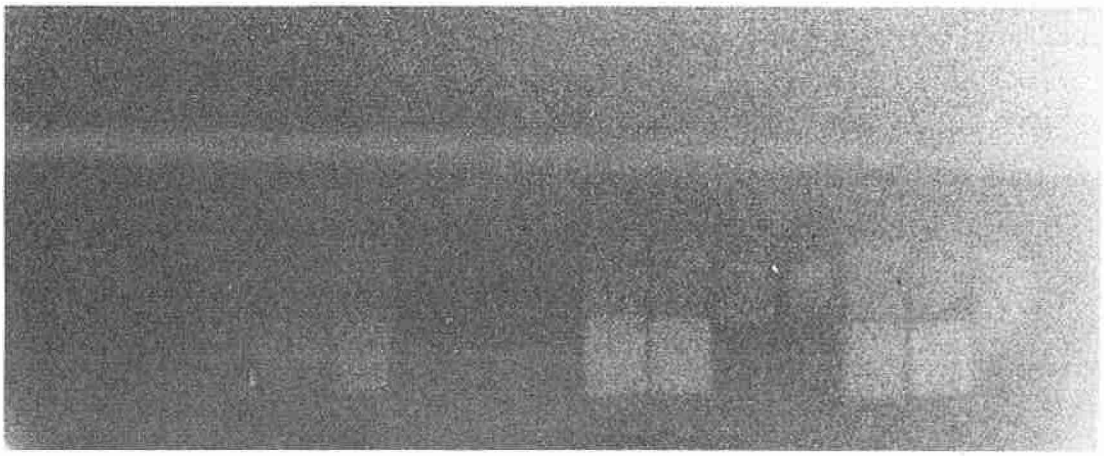


Fig.8 Gamma radiographic image

3.2 TNR、CNR、FNR の結果

実験の結果得られた TNR、CNR、FNR 像を Fig. 9 に示す。X線は試料中の電子と相互作用するのに対し、中性子は原子核そのものと相互作用するために、得られたラジオグラフィ像はX線で撮影されたものとは大きく異なっている。たとえば、Fig. 9 (A)では、ホウ素が白く鉛が黒く写っているが、これは Fig. 7 で見られた結果と反対の関係である。

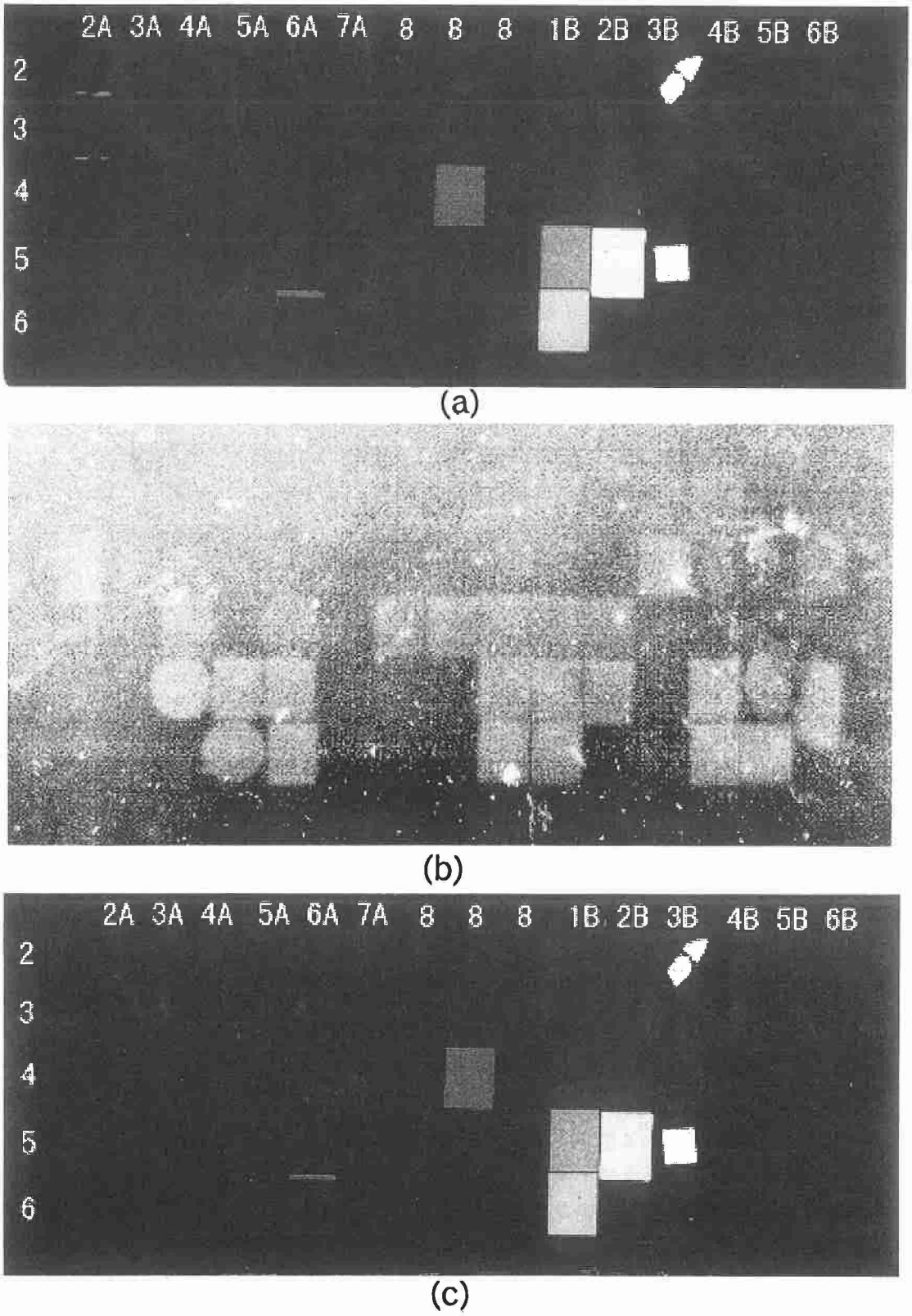


Fig.9 Neutron radiographic images
(a)TNR (b) FNR (c)CNR

熱中性子の場合、各試料に対する透過率 Io/I は次式で算出することができる。

$$Io/I=\exp(-N\sigma x) \qquad (1)$$

ただし、N、σ、xは試料中の原子密度[cm^{-1}]、熱中性子に対する全断面積[barn]、試料の厚さ[cm]を表す。Fig.10 に、式(1)で計算された透過率と、得られた熱中性子ラジオグラフィ像から求めた透過率の関係を示す（注：本実験で使用したラジオグラフィ像のみ立教大学の原子炉で撮影)。両者は近い値をとり、ラジオグラフィ像が十分とは言えないまでも、定量的な情報を有していることがわかる。しかし、計算値と実測値の差は無視できず、この原因としては散乱中性子線の影響や中性子用 IP に対するγ線の影響などが考えられる。

なお、中性子の場合、エネルギーが高くなるにつれて弾性散乱の占める割合が大きくなるので、透過率に元素間の差が見られなくなる傾向がある。この様子については Fig. 9 の３枚の写真から読みとることができる。

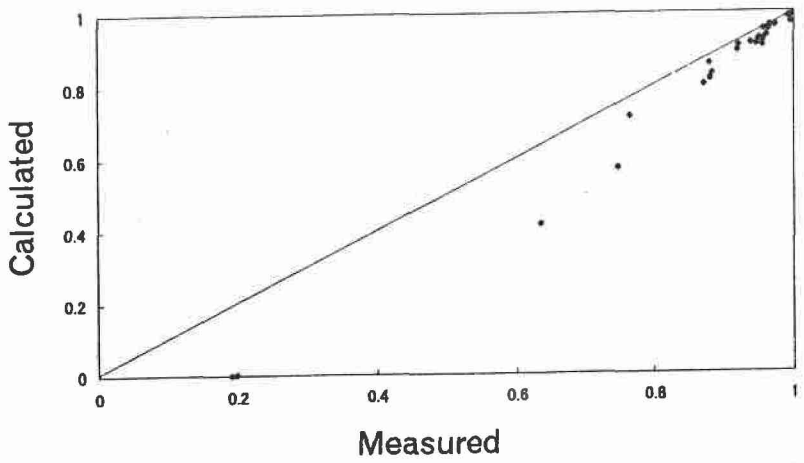


Fig.10 Neutron transmittance of various elements

3.3 熱中性子放射化オートラジオグラフィの結果

Fig.11 を見ると、Fe,Co,Cu,Zn,Pd,Ag,S,Te,W,Pt,Au が熱中性子によって容易に放射化し、Cu,Pd,At,W,Au ついては 7.5 時間後にもかなりの強度の放射能が残っていることがわかる。これらのラジオグラフィ像は、ある元素が放射化されてできる放射能の大きさが、その元素の放射化断面積とできた放射能の半減期にどのように依存しているのかを説明する際に有効である。たとえば、Cu と Ag を例に取ると、放射化断面積については Ag の方が Cu よりも 10 倍近く大きい。しかし、得られたオートラジオグラフィ像の濃度では、Cu の方が Ag よりもはるかに濃い。これは、放射化された Cu の半減期が 12.8h であるのに対し Ag の半減期が 2.41min であるためで、Ag の放射能は照射中に飽和値に達してしまったことを意味する。

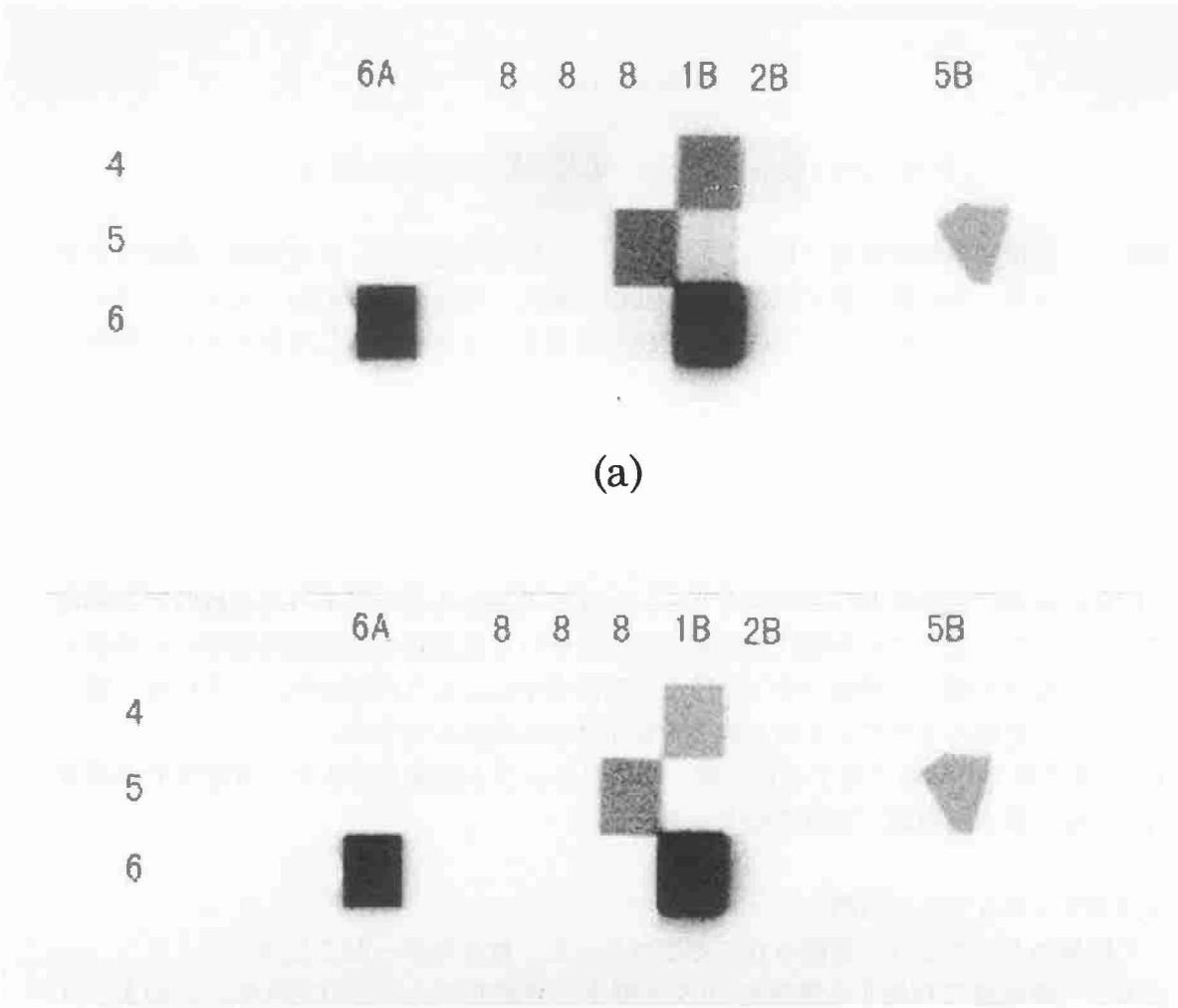


Fig11 Neutron activated radiographic images.
(a) Immediately after irradiation (b) 7.5hours after irradiation

４．結論

放射線教育に有効な写真教材を得ることができた。これらの写真は以下の内容について学習する際に役立つものと考えられる。

１．X線の物質に対する相互作用の大きさが、X線のエネルギーや物質を構成する元素の原子番号にどのように依存するか

２．X線の物質に対する相互作用と中性子の物質に対する相互作用の違い

３．どのような元素が放射化されやすく、できた放射能がどのくらいの時間で減衰するか

４．放射化によって生成される放射能の大きさが、その元素の放射化断面積とできた放射能の半減期にどのように依存しているのか

参考文献

1.P.von der Hardt, H.Rottger, editors:"Neutron Radiography Handbook", D.Reidel Pub. Co. (1981)

物理１Ｂでの「原子と放射線のカリキュラム」

久保田　信夫
立花学園高校
（〒258-0003 神奈川県足柄上郡松田町松田惣領 307-2）

「要約」９８年度の物理授業「原子と放射線」での単元を通して、生徒実験・観察などを取り入れながら、放射線と原子力の正しい知識を教え、現在の日本におけるエネルギーとしての原子力について個人としての考えを持ったせることを目的として取り組んだ授業と実験の紹介です

「はじめに」

高校のカリキュラムに物理１Ｂが取り入れられるようになってから「原子や放射線関連」の単元が非常に簡単に扱われると共に時間確保も十分でない状況となっていた。しかし、現在の日本の社会において利用されている原子力エネルギーにまったく触れずに物理授業を終了してしまうことや現代の物理の始まりといえる原子や放射線を簡単にしか教えないことに疑問を感じ、授業の中で原子と放射線を中心とした授業を行い、その中で原子力エネルギーを取り上げていく取り組みを数年前から実施してきた。

98 年度は約７時間の「原子と放射線」のカリキュラム実施してきた。今回はその授業の内容と取り扱った実験・実習を紹介します。

「今回のカリキュラムの目的」

＜授業のカリキュラムを組み立てるに当たって、教えたかったこと＞

日本の一般家庭で利用する電気約 30%が原子力発電所によるものである。このような現実の中で生徒たちに原子力と放射線に関わる正しい知識を持ってもらうことを今回の授業の目的とした。取り組むに当たって、カリキュラムとしては下記の点を柱に据えて内容を組み立てることとした。

授業での基本的な柱

ａ、放射線発見から戦争を背景とした核爆弾の開発、そして原子力平和利用への歴史を
　教え科学者が何を望んでいたかを明らかにさせる

ｂ、放射線について知識を放射線計測協会の実験キットを利用した放射線実験から、放
　射線源からの距離と線量の関係・遮蔽効果についての実験による学習をおこなう。

ｃ、原子力施設の見学ビデオなどを取り入れた授業を展開する。

ｄ、原子力発電に対する生徒の意識調査を授業の始めに実施し、最後に生徒たちとの意
　見交流をしながら生徒たちの意識の変化を確認する。

「授業を始めるに当てって生徒の意識調査の結果」

意識調査の結果（対象は 約１２０人の3年生の生徒です)。そのアンケートの質問事項と解答を下記にまとめてみました。

＊授業は3学期の実施ですが、アンケートは2学期に行っています。なお質問事項は実際の内容を簡単にまとめて記載しています。

問１、原子力についての印象を答えてください（記述式）

@危険なもの・危ない物であるとの回答を書いたものが３３人

@発電所やエネルギーの元と回答を書いたものが１８人

@原子爆弾や兵器や戦争をイメージしたものが１７人

@原子力が何か分からないなどと書いたものが２０人

その他原子力とは何か理解できていないことからの無記入が多くありました

問２、放射線・放射能についての印象を答えてください（記述式）

@戦争・原爆・被爆・戦争をイメージしたものが３４人

@危険・恐いなどの恐怖感を抱くものが５５人

@レントゲン。治療など医療関連を連想したものが１８人

問３、原子力のエネルギーは必要だと考えるか（三択）

@必要と答えたものは３４人

@不要と答えたものは１０人

@わからないので答えられないとの回答が７４人

問４、エネルギーの需要は増加していますがどのようにしたら良いと思いますか

@省エネルギーをするべきであるが５１人でした。なかには法的な規制の必要があるとの具体的な回答も見られた

@代替エネルギーの開発が必要である２０人

@発電所を増やして対応していくべきである６人

「アンケートのまとめとカリキュラムの組み立て」

原子力についてまったく教えない段階では、原子力と原爆が結びついていることがわかりました。また、放射線や原子力に対して危険であるとのイメージが中心となっていることもはっきりとしました。これを元にして９８年度の「原子と放射線」カリキュラム内容を組み立てることにしました。

アンケートを元に組み立てたカリキュラムの内容(7時間分を予定)

１）１時間目のテーマ「核エネルギー発見と開発の歴史」

授業内容は核の時代 Ｎｏ１（正味４０分）（ＮＨＫ作成）の鑑賞をします。内容は

①放射線発見から核分裂発見と戦争との経緯を当時の映像を使って見せています。

②世界初の原子炉から核爆弾開発を当時の映像と参加した人たちの証言で構成しています

③原爆投下と戦後の核の兵器問題を映像と証言で構成しています。

このビデオを通しては、核が戦争に利用されたことがマイナスイメージとなっていることから、核エネルギー開発をしてきた科学者たちの求めた利用方法と異なる目的で核爆弾開発が進められたことを理解させる。そして核のエネルギー利用と原爆とは違ったものであることを分からせることで授業の導入とした。

２）２時間目のテーマ「放射線と放射線発生のメカニズム」

①電子の発見を十字入りクルックス管を使って説明し、電子の性質を偏向板入りクルックス管で説明をする。

②原子核の構造と放射線の関係を理解させ、アルファー線・ベーター線・ガンマー線を教えていく

③アルファー線が金箔を通った時の様子をコンピューターシミュレーションにより表し、核の存在を理解させて、原子の構造を教えていく。

3）3時間目　放射線計測1　「自然放射線の計測」

①放射線計測の方法を説明する。計測方法は放射線計測協会のはかるくんを置いて1分後に1分ごとの線量を5回計測した。そして、この値の平均を求めることを指示した。測定は6から7人を一班として実施させた。

②自然放射線の計測として教室内での計測を行い、その後野外での計測を行った。

③時間に余裕があった班には岩石標本の花崗岩での計測も行った

放射線は自然界にあることを理解させ、生活の中でいろいろな物質が放射線を発していることを教えていく。放射線とは特別なものではないことを教えることとした。

このときの授業では教室内の授業だけではなく学校の前の川原での計測を行いました。野外での計測の実施日は大変寒い日でしたが生徒は3年間の「高校で始めて野外授業をやれると喜んで学園前の川原（酒匂川の支流）に飛び出していく者」や「グランドに向かって楽しそうに出て行く者」などいつもの実験とは一味違った新鮮さがありました。

そしてさまざまな場所での観察結果が集めらました。生徒たちは室内でも室外でも放射線があること、室外の方が線量は少なくなっていることに気がついてくれました。

岩石標本を使った計測では花崗岩を測定した際の線量がもっとも多くなるという結果がでました。

室内・野外・岩石標本の計測結果から自然放射線の原因として岩石中のウランやラドンガス、そして宇宙線、カリウムなどからの放射線であることを簡単に説明して授業を終了しました。

4）4時間目　放射線計測2「放射線からの距離と線量との関係を調べる実験」

放射線計測協会の実験用キットを使って線源と放射線量の基本的性質を理解させることを目的として授業を行いました。実験の概要は実験キット内にあるセシウム137が入っていますので、この線源を実験用の台座にのせ、線源からはかるくんを10cm，20cm，30cm，40cmの位置において各点での5回ごとの線量測定をして平均を求めます。

この結果をグラフにすることで、線量が距離の二乗に反比例することを確かめます。 放射線を発するものから十分に距離を置くことで安全が確保できることを確認していきます。この実験で始めて放射線源を取り扱ったこともあって生徒は多少緊張ぎみでした。他の物理実験と比べてかなり慎重な態度で実験に取り組んでくれました。一通りの実験を終了し線源を容器に収め、結果をグラフに取ってから線源から一定の距離を保てば安全であることが分かったようで安心感が出てきたようでした。

後に聞いた意見の中に、始め恐ろしい感じがしたが理屈がわかると怖くなくなったとの意見を多数聞くことができました。

5）5時間目　放射線計測3　「放射線の遮蔽効果を確かめる実験」

実験用キットを使った遮蔽実験です。 遮蔽物による線量の違いを確かめるための実験

で
必要な物はすべてキットに含まれているので大変簡単に実験ができました。

実験キットには同じ厚さのアクリル板、アルミ板、鉄板、鉛板が付属されています。これらの金属を実験キットの台にセットします。そして、はかるくんを線源から同じ距離に置いて線量の違いを確認していきます。鉛板以外はほとんど遮蔽が出来ないことが分かります。材料を選ぶことで放射線が遮蔽できることを学んでいきます。

線源を使った 2 回目の実験ということで生徒の操作もスムーズになってきました。また、はかるくんの測定にも慣れて手際良く測定をしてくれました。この実験で鉛以外遮蔽効果がないことに驚きを感じたようです。生徒の予想では金属なら何でも放射線を防げそうと思っていたようです。

逆に放射線は絶対に防げないとの考えを持っていた者もいて、鉛を使って防げることに関心している者もいました。

6）6時間目　放射線実験４　「放射線を目でみる」

ドライアイスと透明タッパを使った自作のキリ箱によるアルファー線の飛跡を観察します。放射線を目で確認することで実感として放射線を体験させます。授業の前に簡単にキリ箱の原理を説明します。その後、ドライアイスを各テーブルにセットしエタノールを入れたキリ箱を乗せていきます。5 分程度冷やしたところでウラン鉱石の破片を入れてみます。

部屋の明かりを消してライトをあてて観察をします。アルファー線・ベーター線が観察できます。その後マントルから出るラドンや室内のチリ内のラドンを観察します。

（ベーター線の観察には高圧を加えたタイプのキリ箱を使用します）

生徒はあきずに放射線の軌跡を観察してくれました。授業後もなかなか教室に戻ろうとしませんでした。今回の原子と放射線で取り扱った実験としてはキリ箱が一番人気があったようです。特に女子には幻想的な世界に見えたようでした。また、普段は見えないがこんな感じで自分の周りで放射線が飛び交っているということも理解してくれたようです。

今回利用したキリ箱の材料と作成方法を書いておきます。

＜材料＞

1、容器（底が透明で文字の少ないものなら良い）半径 10ｃｍ程度
　＊今回はマリスのシール容器（丸型）を利用します。底が透明のプラスチック容器であれば利用できます。マリス製品の値段 1 個約 200 円 6 個セットで販売しています。（製品名シール容器　丸型ＳＶ－９）

2、カラーアルミ板（厚さ 0.3mm で裏が黒のものを利用）20cm×20cm
　＊アルミ板（0.3mm）の物に黒い紙や布を張ったりしたものでも良い 1 枚 130 円

3、すき間テープ（幅約 1cm、長さ 30cm）
　1 巻き、長さ 5m、幅 1 cm　約 200 円

4、針金（30cm）
　直径 1mm 程度で固めの針金

5、アルミテープ（幅 2cm、長さ 40cm）
　一巻き＝長さ 4m、幅 2cm 約 450 円

6、スポイト

7、エタノール（少量）エチルアルコール

８、ドライアイス　10cm×10cm×5cm　　1Kg＝約500円
９、ゴム栓　＃０　(12×10.5×12mm)　　約150円

＜作成方法＞

(準備として容器の開け口から高さ2cm程度の所に直径1cmの穴を開けておく。
＊ケースが壊れ安いので半田コテで穴を開け、リーマーで広げる方法が良い)

①容器の開け口を下にしてアルミ板の上に載せ、鉛筆やマジックなどで容器の外側の大きさに沿った線を書く

②はさみでアルミ板を①の線に沿ってきり円盤状にする。

③すき間パットを容器の内側に合う長さで切り、容器の底の側面に沿って張る
この際に容器との隙間をなくすことがポイントです。隙間が開いていると観察中にアルコールの飽和状態が乱れる原因となります。

④針金で③を押さえるように取り付ける

⑤アルミの板を開け口に取り付ける。(容器側が黒い面になるようにする)
アルミのテープで密封状態を保てるようにする。

⑥完成品のすき間パットにエチルアルコールを染み込ませ、表面が平らなドライアイスの上に置き、キリ箱を平行になるようにします。5分程度待って線源を入れライトを当てて観察します。

⑦はっきりと見るためには②のアルミ板と④の針金から導線を取りだし、直流２００ｖから５００ｖ程度の電圧をかけるといいと思います。
(カメラ用のフラッシュ乾電池が利用可能です)

また、空気中のチリ内のラドンを収集方法としては、黒板消しクリーナーの蓋を開けて吸い込み口に金網を敷きます。この金網の上にろ紙を置いて密封した室内で３０分ほど吸引します。このろ紙を細く切ってキリ箱内に入れて観察します。

その他の方法としては風船を膨らめて布などで擦り帯電させます。風船は＋に帯電しますのでラドンガス（崩壊後は負に帯電）が表面に付着します。1時間ほど集めてから風船を割って、この一部をキリ箱に観察す方法もあります。またＧＭ管の自動計測を行うと半減期を求めることもできます。

今回の実験報告とは若干離れますが、生徒実験で利用したキリ箱を１月２３日・２４日に行われた９９年青少年のための科学の祭典神奈川大会に出展したとのこと、小学生たちも授業の時の生徒同様の反応を示してくれました。また、高齢の中学校教師の方が、話しに聞いたことがあったがキリ箱を見たのは始めてで感動したとの声をかけて頂きました。

ドライアイスが手に入りやすくなった現在ではキリ箱実験はやりやすくなっています。大変簡単に作ることもできるので、これを機会に多くの方がこの感動を味わっていただけると、良いと思っています。

７）７時間目　テーマ「核分裂と原子力」

核分裂についての知識を教え、連鎖反応を説明して、原爆と原子力の違いを明確にさせていく。

ａ,核分裂についての学習の流れ

①ウランの核分裂はどのようにして起こるのかを図を使いながら説明していく

②核分裂後発生する中性子により反応がねずみ算式に増えることを説明し、連鎖反応を理解させる。

③無制御の連鎖反応が核爆弾で連鎖反応中の中性子の制御をすることにより原子炉となることを教える

b、原子炉についての学習の流れ

①連鎖反応の調節を原子炉でどのようにやっているのかを教える。

②発電するためには反応のエネルギーで水を水蒸気に変え発電機を通して電気に変えていることを教える。

③原子炉には加圧水型と沸騰水型があることを教え、原子力発電所のある場所を地図により確認していく

④私が原子炉を見学した際のビデオを見せる

以上の授業を終え、生徒がどのような感想を持ったのかを調べて見ました

「授業が終わってから生徒の感想を書かせたものをまとめた内容」

原子炉について知識に関して

1) 放射線についての正しい知識があれば、恐れる必要がない

2) 原爆と原子炉とはまったく違ったものであることが分かった

3) 放射線について良く分かった

4) 原子力発電所の原理が分かった

5) 原子炉の話は難しいが、原子力が自分とかけ離れたものではないことが分かった

授業を通して一定の知識を伝えることはできたと考えます。しかしエネルギーの問題や原子力発電所を作ることについてはいろいろな意見が出てきました。その一部を記載してみます。

@日本ではエネルギーを無駄に使っている。規制が必要ではないか

@省エネルギーを真剣に考える必要がある

@自分としては豊かな生活を失いたくないが原発には問題を感じる

(動燃問題がイメージの中にあるようです)

@自分の町に原発を作るといわれたら反対すると思う。

(完全に安全といえないのではないか)

@エネルギーを無駄にしないようにしていくことが一番のポイントではないか。

今回の授業で行った放射線実験についての感想

@やったことのない実験をやって楽しかった

@放射線と聞いて始め怖かったが、やってみると安全だとわかった

@キリ箱実験は印象的だった

@楽しい授業でした

などさまざまな意見がでました

「授業の成果」

今回の授業を通して成果を箇条書きにしてみます

①この授業を通して、放射線や原子炉について正しい知識を教えることができたと思います。

②放射線実験を通して放射線の基本的な性質を理解させることができた。

放射線の実験は難しくないので生徒にとってもやり易い内容となっていたと思い

ます。

③生徒達に原子力発電の原理を理解させながらエネルギーの問題を考えるきっかけとなった。

④今までの授業に加え、パワーポインターを授業に取り入れたことで、原子・原子力

関連の資料をスクリーン上に表すことで生徒の視覚に訴えかける授業となった

⑤放射線を授業に取り入れるためには、キリ箱観察を絶対に取り入れるべきである

キリ箱は感覚的に放射線を理解する最高の道具であることを改めて実感しました。

「最後に」

今回の授業を始めていくきっかけは電力の約３０％を原子力に依存しながら、ほとんどの高校生が「原子力」を学ばずに卒業していくことに疑問を抱いて3年前から始めたカリキュラムの取り組みでした。今回の授業終了後の生徒の感想を読みながら、原子力を学び原子力に対する意見を書いた内容や放射線実験を真剣にやっている生徒の姿をみて、ますます「原子力」を学ばせる大切さを感じています。

日本の社会に大きな影響を与えている原子力の知識を持つ社会人を一人でも多く育てることが物理教師としての私の仕事ではないかと思った2週間でした。原子力や放射線の知識を正しく学び、正しく判断をし、自分なりの考えを持てる生徒を育てることは理科の教師に課せられた大きな課題であると感じました。

私のレポートをきっかけに「原子力を学ばせる」授業をされる方が一人でも多くなってくれることを希望し、締めくくりとさせていただきたいと思います。

明治時代の化学の教科書に見る放射線教育

渡部智博
立教高等学校
（〒352-8523 埼玉県新座市北野 1-2-25）

〔要約〕 約１００年前の旧制中学校の化学の教科書における放射性元素の記述について調べた．その結果，ウラン発見（１８９６年）の２年後には元素記号や原子量，１０年後には放射性元素の性質などに関する記述が見られた．当時最新の事実については，それが未確定であれば未確定であると明記するところなどは，現在の高等学校の化学の教科書の記述の仕方とは大きく異なっていることがわかった．

１．はじめに

放射線教育に関する報告は多数知られている．

エネルギーや環境教育の視点から，松浦辰男[1]や工藤和彦[2]は高等学校の教科書の問題点を指摘している．宮田光男[3]らは，アメリカやイギリス[4]，日本の小学校[5]，中学校[6]，高等学校[7]の教科書の記述を詳しく調べている．また，戦後の高等学校の理科の学習指導要領や，化学の教科書における扱い方の変遷に関する報告[8]がある．広井禎[9]は，放射線を学んだ後にニュートン力学などを学習させる高等学校の物理のカリキュラムを開発し，それを実践した．川野和也と安岡久志[10]は，高等学校の環境科学の授業で放射線等を扱い，知識経営能力を育成するためのプログラムとして新しい授業を開発し，それを実践した．放射線教育の方向性として，金城啓一[11]は「放射線と原子力の教育をすべての生徒に必須とすること」を主張している．一方，下條隆嗣[12]は「専門家養成のための教育は，伝統的な諸科学の基礎を重視し，系統性のきわめて強いものでよいであろうが，市民のための理科教育は，それとは別のアプローチがあるはずで，むしろ定性的だが本質的な理解が重要である」と指摘している．また，伊藤泰男[13]は原子力と化学との密接な関係や最近の放射線教育の動向についても述べてる．文部省統計[14]によると，昭和４９年度から高等学校進学率は 90[%]を越え，平成９年度には 96.8[%]まで上昇している．このような社会状況において，高等学校までを視野に入れ，専門家，あるいは市民のための放射線教育の在り方を検討することの重要性は言うまでもないことであろう．

現在は，放射線の発見から約１００年にあたり，その歴史的変遷には種々の報告[15]がある．放射線にかかわる主な事柄を年表にまとめると，表１となる．

約１００年前の明治３５年（１９０２年）[16]は，学齢児童数が 6,502,665 名，就学児童数が 5,955,293 名，旧制中学校生徒数 95,027 名であった．旧制中学校は，現在の中学１年

生から高校２年生までの学年に相当する．初等義務教育段階（小学校尋常科）は全国民にひらかれているが，旧制中学校は，複線型の学校体系の一つに相当しており，限られた割合の生徒の学校であったことがわかる．

西暦	元号	事項
1896	M29	ベクレルがウランの放射性を発見
1898	M31	ラジウムとポロニウムの発見（キュリー夫妻）
1902	M35	ラジウムの分離（キュリー夫妻）
1903	M36	ノーベル物理学賞（キュリー夫妻）
1911	M44	ノーベル化学賞（キュリー夫人）

表１　放射線発見の主な歴史的事実

放射線発見当時の日本の中等教育段階の化学における放射線教育に関する報告はほとんどない．筆者は高校で化学を担当していることもあり，現在の中学や高校の年齢層に相当する旧制中学校の化学における放射線教育に関心を抱いた．本報では，明治時代の旧制中学校の化学の教科書に焦点をしぼり，調査を行ったので，報告したい．

２．教科書の記述

２．１　元素記号

放射性元素の記述の有無については，その元素記号の記載があるかどうかから始めることができる．

明治３１（１８９８）年の池田菊苗[17]（写真１），同年の大幸勇吉[18]（写真２），明治３４（１９０１）年の小川正孝[19]（写真３）のそれぞれの教科書には，ウランなどの放射性元素の元素記号や原子量の記述が見られる．ウランの発見からわずか２～５年後であることを考えると，当時の最先端の話題を取り入れたと言って良いだろう．尚，明治３８（１９０５）年の大幸勇吉[20]の周期表（写真４）にはラジウムなどが新たに加えられている．その後は，ほとんどの教科書に放射性元素の元素記号が掲載されている．

各教科書の緒言の一部を抜粋する．

池田菊苗の教科書では，「万有に関する智識の革固なる基礎を与ふるが為めに，又実業教育専門教育の必要なる準備を為すが為めに，中学に於て化学を授くとせば，此等の新学説を等閑に付すべからざると論を待たず．・・・教育上に於ける実際の効果が一般に甚だ劣れるは其の教授法が記述に偏して尋理に踈なるに坐せずんばあらず，是れ実に教授法の罪にして斬学の罪にあらず．此の弊を匡正せんと欲せば大に新学説を教授上に応用するは若くはなし．・・・教科書は主として教師が詳密なる教案を具へて口授するのを労と生徒が之を筆記するの労とを省き，・・・教科書は之を利用すべく，決して之に盲従すべきにあらず，随て本書を使用するに当て教師が適宜に省略補填せらるべきは，固より著者の期待する所なり．」とある．大幸勇吉は「懇切なる説明を加へず只簡単にして正確ならむことも期せり．・・・中等教育に於て化学の授業は斬学の智識を与ふると共に智力の錬磨に供すべきものなり．・・・我が東京化学会は昨年末数名の委員を指名して譯語及び命名法

の撰定に従事せり．其の事業は未だ端緒にして又た其の確定議を経たるもの未だ一もなけれども既に仮定を経たるものは多く之れに従へり．」と記述している．また，小川正孝は「本書ヲ使用スルニ当リテ教師ガ適当ニ省畧或ハ填補スルハ編者ノ期スル所ナリ」と述べている．

これらをまとめると，当時の旧制中学校の教科書は次のような背景に基づいて執筆されていたと考えられる．

（1）実学への応用と専門教育への準備のために，新しい学説などはおろそかにできない．（2）新しい学説などを記述すれば，教師がその教授法を工夫するため，単なる知識の伝達にならない．（3）教科書には最低限の記述があるだけであり，教師は必要に応じてそれらを省略したり補足したりするものである．

確かに，本文中に不完全な周期表が掲載されれば空欄部分に対する疑問もわいて来ただろうし，記載されている元素に話題がおよぶこともあっただろう．このため，生徒の創造力を育成するためにも，最先端の事実の記載がなされていたものと考えられる．また，教師に並々ならぬ力量が求められていたこともわかる．

2．2　放射性元素の記述

明治３９（１９０６）年の池田菊苗，帰山信順の共著の教科書[21]（写真５）には，ラジウムに関する記述が見られる．本文には「元素より他の元素に変ずといふは，吾人が始めて出逢ひし事実なればなり．」とあり，新しい研究成果であることを感じさせる．さらに緒言では，「従来化学専門の士の手に成れる教科書は斬学の初歩を授くる上には誠に好良なるものに乏しからずと雖，普通教育の目的より論ずる時は教材選択の範囲狭に失するもの少とせず．亡友帰山信順氏は中学の教育に従事すること十余年，最も教授の経験に富み，其の講説する所は常に生徒の能力に適合せんことを務め，例を卑近に取りて多方の考察を為すべき所以を授けたれば，化学が乾燥の一学科として往々少年に悦ばれざるに反し，氏の生徒は皆其の教を受くるを楽み，化学を以て最も興味ある科目と為せり．」とある．これにより，本書執筆以前から，放射性元素に関する話題は，旧制中学校の授業でも取り上げられていたと考えて良いであろう．

その後，明治４１（１９０８）年の小川正孝の教科書[22]（写真６）では，「放射性元素」の項目を立ててウランなどの説明がなされている．本文中では「・・・なりと考へらるれど，是は尚未定なり．」とあり，未確定の事柄もそのまま記述されている．現在の教科書では，このような記述はほとんど見られない．結論では，「普通学としての化学」の項目で「化学は実に此の如く日常の事項と深き関係あるものなれば，他の学科と共に普通学として必ず修めざるべからざるものなりとす．」と述べている．一方，「専門学としての化学」では「今一歩を進めて専門学としての化学の価値を説くべし．本来理科の学は其応用によりて人生の幸福を増進することを目的とすれど，其理論を研究するも亦其一の目的なり．・・・近時の発見に係わるラヂウムの如きは，今は其性質上，単に好奇心を若くに過ぎざれど，猶其研究の結果は遂に大発見となるべきこと疑なし．又かの元素週期表を

見よ．今猶多く空位を存すれど，初めメンデレイフが此表を作りしときには，其空位は之に止らざりしことを思へば，他日新元素の発見せらるる機あること期すべきなり．凡そ此等に関する研究に心を潜め，其功を積みて，遂に自然界の秘密の鍵を獲ること，亦人生の一大快事にあらずとせんや．」とある．当時は，未確定だからこそ，若者にとっては魅力を感じたことと考えられる．

明治時代には，池田菊苗と帰山信順や，小川正孝以外にも，大石保吉，大幸勇吉，羽田清八，関本幸太郎と小倉鈕次，平田敏雄，近藤清次郎らの執筆した教科書が出版されているが，それらには放射線に関する記述が見られない．池田菊苗の執筆した別の教科書には記述がみられないものもあるため，放射性元素に関する記述は，必ず記述した方が望ましいと捉えられていたわけではないと言える．しかし，大正時代（１９１２～１９２６年）になると，真島利行と岡田徹平[23]，亀高徳平[24]，柴田雄次と樫田茂一合[25]，高田徳佐[26]，柴田雄次と樫田茂一合と高山義太郎[27]，武原熊吉[28]，大幸勇吉[29]の教科書などにも，放射線に関する記述が次々と見られるようになってきた．キュリー夫人がノーベル化学賞を受賞した後は，重要な化学事項と認識されて来たことがうかがえる．

３．まとめ

約１００年前の旧制中学校の化学の教科書では，放射性元素の説明は，未確定な点は未確定と明記して記述し，その性質などを詳述するものもあることがわかった．また，戦前と戦後の教育制度の違いも大きな要因と考えられるが，戦後の高等学校の化学の教科書[8]とは，放射性元素に関する取りあげ方が大きく違っていることがわかった．尚，大正元（１９１２）年以降は，ほとんどの教科書に放射性元素の説明が見られるようになった．

本来，学校の教育活動の様子を知るためには，その授業を聞くのが最善のはずであるが，１００年前のことであるからそれは当然無理なことである．教科書は，明治５（１８７２）年の学制以来，学校教育における主な教材として制度化されて来ているが，その使い方が大切である．教科書に放射性元素の記述があるからと言って全ての旧制中学校の授業で取り入れられていたとは限らないだろうが，記述されていたという重みは充分推察できる．

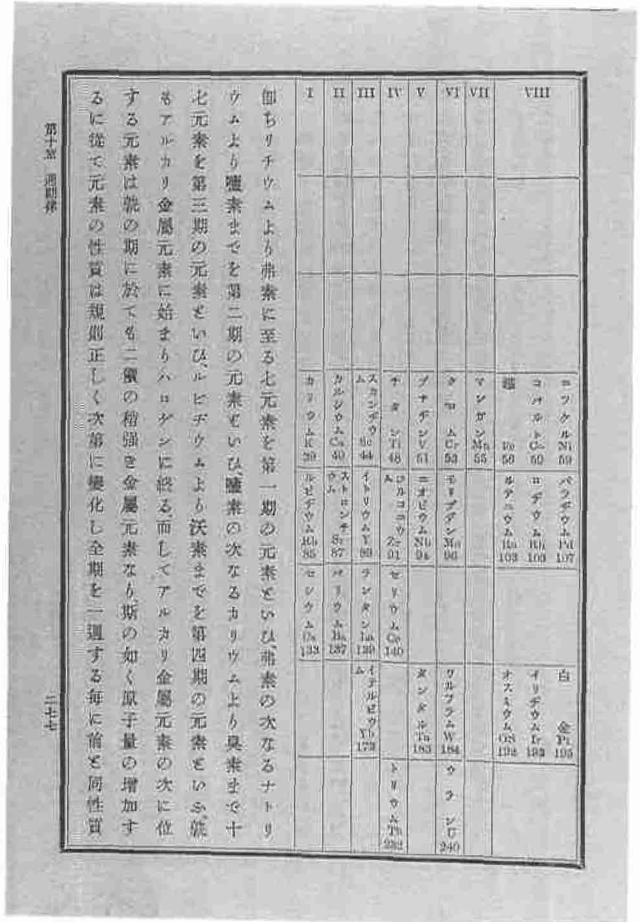
４．謝辞

本調査に当たり，東京書籍附設教科書図書館「東書文庫」に大変お世話になりました．心から感謝致します．

５．文献

1) 松浦辰男, IAERU-9311a (1994): IAERU-9402c (1995): IAERU-9501b (1995): 駒澤短期大学放射線科論集, 23, 21 (1998).
2) 工藤和彦, JAERI-Conf 99-011 放射線教育国際シンポジウム報文集, 144 (1999).
3) 宮田光男，エネルギーレビュー, 18(8), 58 (1998).
4) 宮田光男，エネルギーレビュー，17(5)，52 (1997):山内辰治，渡部智博，同誌，18(5),

50 (1998):山内辰治，渡部智博，同誌，18(6)，50 (1998).
5) 澤野誠，エネルギーレビュー，17(6)，52 (1997)
6) 今井泉，エネルギーレビュー，17(7)，48 (1997)：今井泉，同誌，17(8)，48 (1997)：井上賢，同誌，17(9)，48 (1997)
7) 渡部智博，古田豊，エネルギーレビュー，17(10)，52 (1997)：古田豊，渡部智博，同誌，17(11)，50 (1997)：岩藤英司，同誌，17(12)，56 (1997)：岩藤英司，同誌，18(1)，54 (1998)：肆矢浩一，同誌，18(2)，50 (1998)：中込真，同誌，18(3)，58 (1998)：中込真，同誌，18(4)，50 (1998)：宮田光男，同誌，18(7)，50 (1998).
8) 広井禎，村石幸正，三門正吾，渡部智博，JAERI-Conf 99-011 放射線教育国際シンポジウム報文集，347 (1999).
9) 広井禎，理科の教育，47(12)，826 (1998).
10) 川野和也，安岡久志，理科の教育，48(8)，539 (1999).
11) 金城啓一，物理教育，47(1)，13 (1999).
12) 下條隆嗣，放射線教育，2(1)，3 (1998).
13) 伊藤泰男，化学と教育，47(7)，472 (1999).
14) 「解説教育六法 1999」（三省堂），919 (1999).
15) Ivan G. Draganic, Zorica D. Dragantic, and Jean-Pierre Adloff（松浦辰雄，今村昌，長谷川圀彦，橋本哲夫，朝野武美，小高正敬 共訳），「放射線と放射能」（学会出版センター），3 (1996)：菊池文誠，物理教育，42(2)，220 (1994).
16) 文部省，「学制百年史　資料編」，昭和４７年.
17) 池田菊苗，「新編　中学化学書　全」金港堂書籍，明治３１年.
18) 大幸勇吉，「近世化学教科書　全　訂正再版」冨山房，明治３１年.
19) 小川正孝，「化学中教科書　訂正再版」敬業社，明治３４年.
20) 大幸勇吉，「改版近世化学教科書　理科教科用書　改訂再版」冨山房，明治３８年.
21) 池田菊苗，帰山信順，「化学教科書　全」三省堂，明治３９年.
22) 小川正孝，「新体化学教科書　訂正再版」開成館，明治４１年.
23) 真島利行，岡田徹平，「新編中等化学教科書　全」三省堂，大正元年.
24) 亀高徳平，「普通教育化学教科書　修正１１版」開成館，大正４年.
25) 柴田雄次，樫田茂一合，「中等化学教科書」冨山房，大正５年.
26) 高田徳佐，「中等教科化学　全」大日本図書，大正７年.
27) 柴田雄次，樫田茂一合，高山義太郎，「改訂中等新化学教科書　上・下巻　改訂版」冨山房，大正１１年.
28) 武原熊吉，「中等化学教科書」三省堂，大正１１年.
29) 大幸勇吉，「中学教科化学教科書　下巻　訂正再版」冨山房，大正１４年.



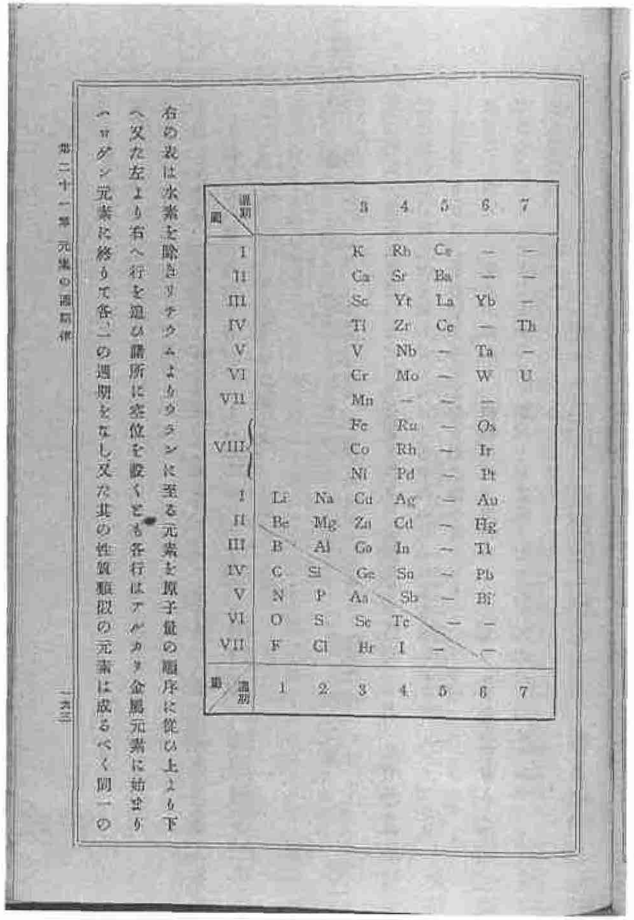
第十章　周期律

即ちリチウムより弗素に至る七元素を第一期の元素といひ弗素の次なるナトリウムより鹽素までを第二期の元素といひ鹽素の次なるカリウムより臭素までの十七元素を第三期の元素といひルビヂウムより沃素までを第四期の元素といふ孰れもアルカリ金屬元素に始まりハロゲンに終る而してアルカリ金屬元素の次に位する元素は孰の期に於ても二價の稍強き金屬元素なり斯の如く原子量の増加するに從て元素の性質は規則正しく次第に變化し全期を一週する毎に前と同性質

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
カリウム K 39	カルシウム Ca 40	スカンヂウム Sc 44	チタン Ti 48	ヷナヂン V 51	クロム Cr 52	マンガン Mn 55	鐵 Fe 56　コバルト Co 59　ニッケル Ni 59
ルビヂウム Rb 85	ストロンチウム Sr 87	イトリウム Y 89	ヂルコニウム Zr 91	ニオビウム Nb 94	モリブデン Mo 96		ルテニウム Ru 103　ロヂウム Rh 103　パラヂウム Pd 107
セシウム Cs 133	バリウム Ba 137	ランタン La 139	セリウム Ce 140				
		イッテルビウム Yb 173		タンタル Ta 183	ウルフラム W 184		オスミウム Os 192　イリヂウム Ir 193　白金 Pt 195
			トリウム Th 232		ウラン U 240		

二十七

写真１　池田菊苗，「新編　中学化学書　全」金港堂書籍，明治３１（１８９８）年.



第二十一章　元素の週期律

右の表は水素を除きリチウムよりウランに至る元素を原子量の順序に從ひ上より下へ又た左より右へ行を追ひ諸所に空位を設くとも各行はアルカリ金屬元素に始まりハロゲン元素に終りて各一の週期をなし又た其の性質類似の元素は成るべく同一の

族＼週期	1	2	3	4	5	6	7
I			K	Rb	Cs	—	—
II			Ca	Sr	Ba	—	—
III			Sc	Yt	La	Yb	—
IV			Ti	Zr	Ce	—	Th
V			V	Nb	—	Ta	—
VI			Cr	Mo	—	W	U
VII			Mn	—	—	—	
VIII			Fe	Ru	—	Os	
VIII			Co	Rh	—	Ir	
VIII			Ni	Pd	—	Pt	
I	Li	Na	Cu	Ag	—	Au	
II	Be	Mg	Zn	Cd	—	Hg	
III	B	Al	Ga	In	—	Tl	
IV	C	Si	Ge	Sn	—	Pb	
V	N	P	As	Sb	—	Bi	
VI	O	S	Se	Te	—	—	
VII	F	Cl	Br	I	—	—	

一六三

写真２　大幸勇吉，「近世化学教科書　全　訂正再版」冨山房，明治３１（１８９８）年．ヲーカー(英)の周期表.

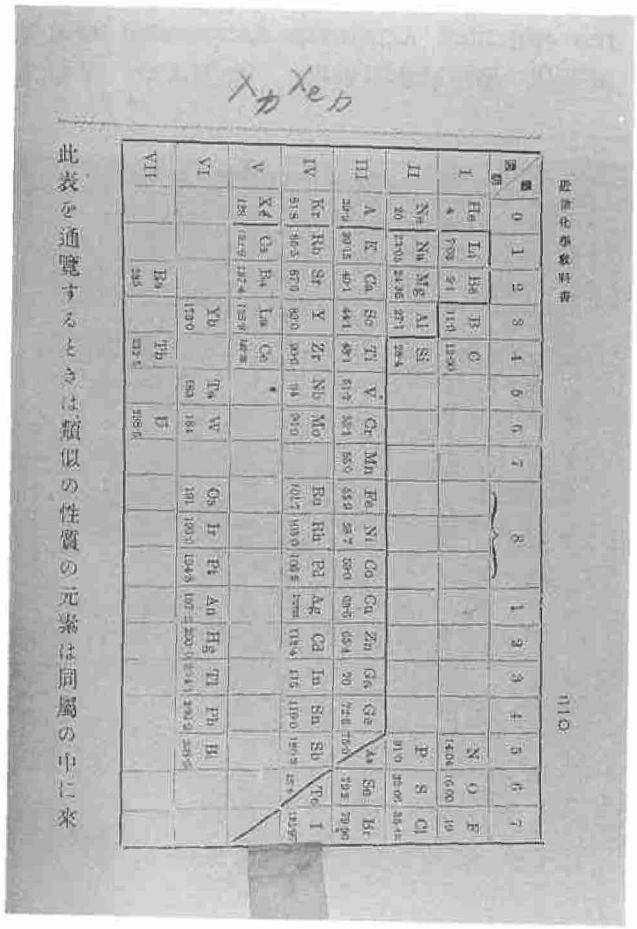


写真４　大幸勇吉，「改版近世化学教科書　理科教科用書　改訂再版」冨山房，明治３８（１９０５）年.

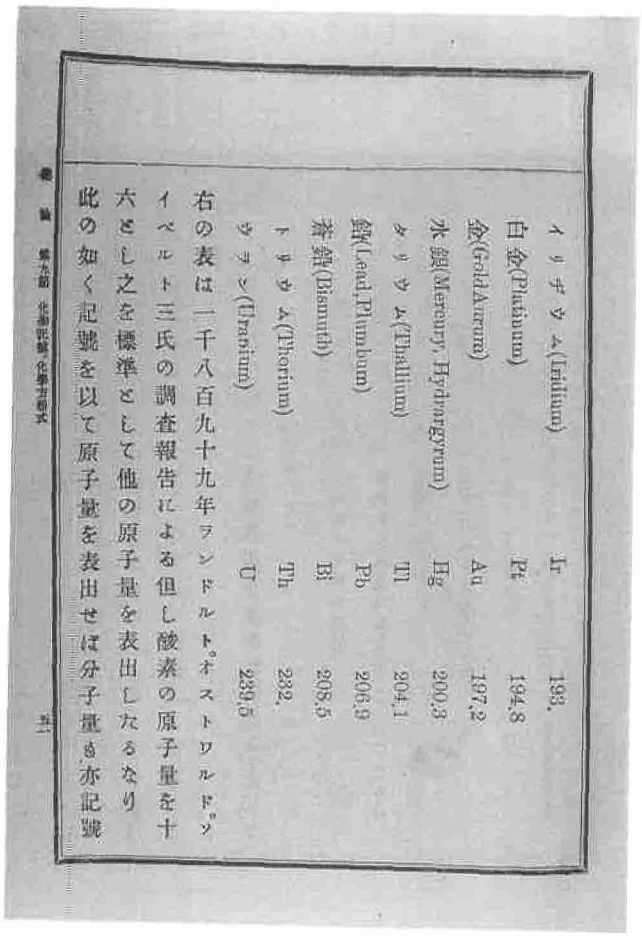
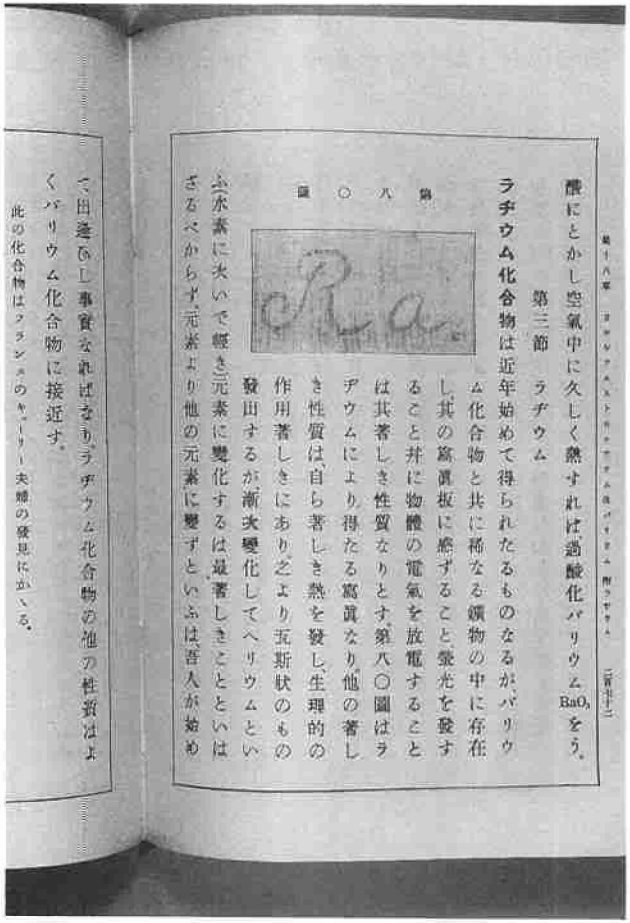

イリヂウム(Iridium)　Ir　193.
白金(Platinum)　Pt　194.8
金(GoldAurum)　Au　197.2
水銀(Mercury, Hydrargyrum)　Hg　200.3
タリウム(Thallium)　Tl　204.1
鉛(Lead,Plumbum)　Pb　206.9
蒼鉛(Bismuth)　Bi　208.5
トリウム(Thorium)　Th　232.
ウラン(Uranium)　U　239.5
右の表は一千八百九十九年ランドルト。オストワルド。ソイベルト三氏の調査報告による但し酸素の原子量を十六とし之を標準として他の原子量を表出したるなり
此の如く記號を以て原子量を表出せば分子量も亦記號

写真３　小川正孝，「化学中教科書　訂正再版」敬業社，明治３４（１９０１）年.



醗にとかし空氣中に久しく熱すれば過酸化バリウム BaO_2 をう。

第三節　ラヂウム

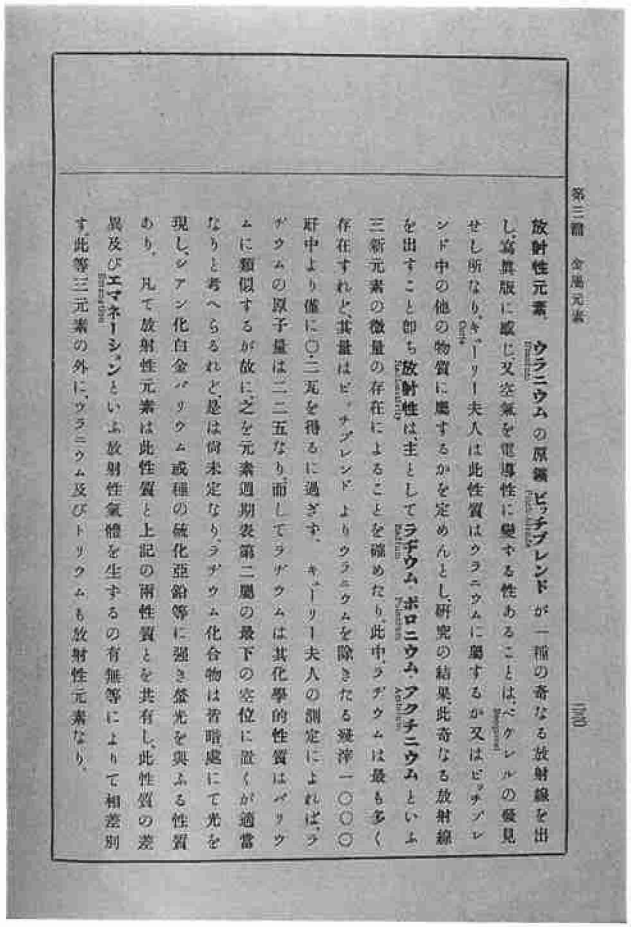
ラヂウム化合物は近年始めて得られたるものなるが、バリウム化合物と共に稀なる鑛物の中に存在し、其の寫眞板に感ずること、螢光を發することと幷に物體の電氣を放電することとは其著しき性質なりとす。第八〇圖はラヂウムにより得たる寫眞なり。他の著しき性質は、自ら著しき熱を發し、生理的の作用著しきにあり。之より瓦斯狀のもの發出するが漸次變化してヘリウムといふ水素に次いで輕き元素に變化するは最著しきこととといはざるべからず。元素より他の元素に變ずといふは、吾人が始め

第八〇圖

に出逢ひし事實なれば、ラヂウム化合物の他の性質はよくバリウム化合物に接近す。

此の化合物はクラン夫のキューリー夫婦の發見にかゝる。

写真５　池田菊苗，帰山信順，「化学教科書全」三省堂，明治３９（１９０６）年.



第三編　金屬元素　一三〇

放射性元素　**ウラニウム**の原鑛**ピッチブレンド**が一種の奇なる放射線を出し、寫眞版に感じ又空氣を電導性に變ずる性あることは、ベクレルの發見せし所なり。キューリー夫人は此性質はウラニウムに屬するが又はピッチブレンド中の他の物質に屬するかを定めんとし、研究の結果、此奇なる放射線を出すこと即ち**放射性**は主として**ラヂウム**、**ポロニウム**、**アクチニウム**といふ三新元素の微量の存在によることを確めたり。此中ラヂウムは最も多く存在すれど、其量はピッチブレンドよりウラニウムを除きたる殘渣一〇〇〇瓩中より僅に〇・二瓦を得るに過ぎず。キューリー夫人の測定によれば、ラヂウムの原子量は二二五なり。而してラヂウムは其化學的性質はバリウムに類似するが故に之を元素週期表第二屬の最下の空位に置くが適當なりと考へらるれど、是は尚未定なり。ラヂウム化合物は暗處にて光を現し、シアン化白金バリウム或種の硫化亞鉛等に強き螢光を與ふる性質あり。凡て放射性元素は此性質と上記の兩性質とを共有し、此性質の差異及び**エマネーション**といふ放射性氣體を生ずるの有無等によりて相差別す。此等三元素の外に、ウラニウム及びトリウムも放射性元素なり。

写真６　小川正孝，「新体化学教科書　訂正再版 New elementary chemistry, practical and theoretical」開成館，明治４１（１９０８）年.

原子力時代に期待される教育・PA

Education and Public Acceptance in the Atomic Energy Era

笹川澄子（e-mail: ssgw@ies.or.jp）
（財）環境科学技術研究所（〒039-3212 青森県上北郡六ヶ所村）

要約

「原子力教育・PA」の役割の一つは、自ら考え始めた公衆の多様な興味や疑問に学際的科学の視点から助言し、彼らの思考を助けることである。そこでは、自身なぜ PA 活動かを厳しく問い、社会に内在する多様性を理解し、異論異質を歓迎しつつ個人の主張と存在理由を認め、そして資質として学際的知識と経験が要求される。健全な原子力時代を期待するために、教育する側の人間育成をも視野に入れた教育科学・学問として方法論などは、研究しなければならない緊急の課題である。

はじめに

著者は 1999 年日本原子力学会秋の大会（1999 年 9 月 10～12 日、柏崎市）の原子力教育研究専門部会で「原子力教育・PA における一考察」と題して講演する機会を得た（1)。その約 3 週間後の 9 月 30 日、茨城県東海村の核燃料加工会社 JCO でウランの臨界事故というわが国では例のない事故が発生した。これに先立つ 8 月 17 日付けの新聞はわが国初の核燃料総合基地をめぐる青森の社会問題を報じた（図 1)。原子力学会でこの記事を紹介したときはまだ安易に考えていたが、報じられたような社会問題が東海村で現実になったとき、我の目と耳を疑った。さらに期待の大きかった純国産大型ロケット H2 の打ち上げが失敗した。これら一連の出来事を巡って、世界に誇った日本の科学技術が根底から大きく揺らぎ、同時に国民には強い不信感と怒りが生じている。第二次世界大戦後半世紀、効率、合理性、そして物質的豊かさをひたすら求めてきたほころびが出始め、そのことへの批判が目に付く。しかし、今後どう改革すべきかという反省を含めた具体的な提案も動きも見えない。これを機にあらためて先の講演を振り返り、国民とともに歩むべき原子力の将来に向けて原子力教育・PA は何をなすべきか、原子力関連の分野にいる一人としてささやかな提言をすべく投稿した。

原子力教育・PA との出会い－著者の経験－

著者は（財）放射線影響研究所（広島）から、平成 2 年(1990 年)12 月に六ヶ所村に設立された（財）環境科学技術研究所に、平成 3 年(1991 年)に職場を移した。設立まもない時期、賃貸のプレハブ部屋で、低線量放射線影響に関しマウスを用いて検証する新しい仕事の立ち上げに生物系研究者として関与した（2)。同時に、PA（Public acceptance）に相当する説明活動をいくつか行った。実は「PA」という言葉はこのとき初めて聞いた。著者がかり出された理由は、広島の放射線影響研究所から青森県六ヶ所村の新しい研究所へ研究者が来たということと、それが女性だということの二重の物珍しさだと推察される。そして、現地に常に居るということは、そこの住民との間に日常生活を通じて意志の疎通を図り、

信頼関係を築き、ボランティア活動に関与する（3）ということにつながる大きな要因になった。

活動は青森県六ヶ所村を場としている。村の歴史、特に原子力関連を表1にあげた（4）。この歴史に見るように、寒村ながらあるいは寒村ゆえに六ヶ所村はわが国産業経済発展のさまざまな影響を受けてきた。その基盤になっているむつ小川原開発会社の存続問題で今日さらに強く影響され揺れ動いている（図2)。

平成7年(1995年)7月、六ヶ所村に文化協会が設立された。そして読書愛好会をはじめ、村民が主体となった二十数個の文化サークルが発足した。1〜2ヶ月後、その読書愛好会（六ヶ所村文化協会読書愛好会）への入会を誘われ、村の女性たちとの膝を交えた相互交流が始まった。

会員は大正9年生まれを始めとする中高年女性である。最近男性が2人入会し、現在会員数26名である。元々村に生まれ育った人、後から来た人、開拓農民として入植した人、パートタイマー的に村の仕事をやっている人、農家、酪農家、保健婦、看護婦、漁協職員、自営業、教室を開いている人、美容師、役場職員、隠居の身など生まれ育ちや生業は多種多様である。六ヶ所村を特徴づける原子力に対する考えや知識の程度も様々である。つまり多様性に富んでいる。このような背景は彼女たちのいわゆる「作品」に色濃く反映している。

読書愛好会は発足以来、様々な活動を行ってきた。主な活動は、読書感想や日常生活での思いを「文に化」することである。「文に化」されたものは会誌として発行されている。最近この会誌は会員以外の投稿も多く、作品・意見発表の場という様相をますます呈してきた。日本人はとかく「アイデンティティ」に欠けるといわれる。特に一般市民、その中でも年配者や女性、つまり仕事などを通じて自分を主張する機会を持たない人々は、「アイデンティティ」を示す場もない。同人誌などに発表するなどなかなかできない。かといって新聞などに投稿するのも荷が重いと思われる。その点このような会誌や後述する「六ヶ所村女性たちの発信」などは仲間内に適度に配布されるので恰好の場のようだ。それが、会員はもちろん、男女を問わず会員以外の作品発表あるいは意見発表の場という様相を呈してきた理由と考えられる。

会誌は1年毎に「六ヶ所村女性たちの発信」（5, 6, 7, 8）として編集刊行されている。この経緯を簡単に記述する。会員の作品の中に「自分史」に相当するものがあった。特に高齢の会員のそれは戦後生まれの著者にとっては驚きの内容だった。個人の歴史を超えたものを含み、戦前戦後の国策に翻弄されたわが国庶民の歩みを示したものだった。散逸しない形で記録すべきであり、それは過去という土台にのった現在の繁栄を享受している者の使命だと考えた。会員の同意を得て「六ヶ所村女性たちの発信」という形に編集した。しかし、会員の一部はそれほど積極的ではなかった。そこで、「試み」といってお願し編集刊行にこぎつけた。最初の「発信」に第一巻と記されていないのはそのためである。

「六ヶ所村女性たちの発信」は期せずしてさまざまな反響があった。そしてそのことは、「文に化」し「発信」するという行為が何かということの理解につながり始めた。「アイデンティティ」を実現する方法の一つになりうると理解されてきたのである。注目すべきことは、この機会が、人文科学、社会科学、自然科学、芸術など様々な事柄に改めて興味を抱き再認識するきっかけになったことである。会員の言葉を引用すると、「テレビ新聞などマスメディアの報道にも興味をもって、また自分たちとの関わりに注意しながら目を通す

ようになった」とういうことである。そして、第三巻の編集刊行は会員の中から積極的に提案された。現在第四巻が刊行されている。

このような経過を辿りながら、会員たちは、原子力はもちろんさらには環境問題全般に対する関心を自ら求め始めてきた。平成9年（1997年）10月には、日本女性科学者の会など他の女性団体と共催で科学的催し物を六ヶ所村で行った（9)。平成9年11月には青森県主催の「パートナーセッション'97イン青森」に、平成10年8月、国立婦人教育会館主催「平成10年度女性学・ジェンダー研究フォーラム」に出典参加した（10)。平成11年（1999年)7月幕張メッセで開催された「第11回国際女性技術者・科学者会議」の公開シンポジウム「地球環境に果たす女性の役割」に参加し、国際会議の雰囲気を一緒に味わった。これら一連の活動は、引っ込み思案だった六ヶ所村の女性たちを励まし、努力に裏打ちされた自信を持たせることになった。本を刊行したり文化的な催しや学術的な催しに進んで出展参加したりすることは、彼女たちの意志に基づくまさに「ボトムアップ」的発信、「アイデンティティ」の発露といえるだろう。

原子力教育・PAの役割の一つは、自ら考え始めた公衆の多様な興味や疑問に学際的科学の視点から助言し、彼らの思考を助けることだろう。著者が偶然に関与した六ヶ所村文化協会読書愛好会は様々な背景を有する人々が「文に化す」を基軸に「発信」という形で「アイデンティティ」を実現し、文学、社会、芸術などへの興味を拡大してきた。そしてそれを弾みとして原子力や環境問題を自分自身の問題として考える習慣を身につけてきたといえる。著者の経験は、原子力教育・PAの方法論を考える上で、一つの示唆となり得るのではないかと考えられる。

原子力時代へ向けた教育・PAへの提言

「教育」という言葉から連想される場は、学校であろう。しかし、生涯学習、職場教育などいわゆる社会人に対する教育、つまり社会教育もある。学校教育であれ社会教育であれ、教育には「される人」と「する人」が存在する。教育が知識の授受に終始する場合には「される側」が知識を会得さえすれば当初の目的は達せられることになり、いかに効率よく知識を伝授するか、「する側」の論理で教育を考えればよいかも知れない。しかし、それは教育の一つの面でしかないこと、むしろ知識を得ることの喜びを体得させること、そして自発的に知識を求める態度を「される側」に醸成することが、教育のもっと大きな目的であることは学校教育で証明されてきている。そのためには「する人」と「される人」との間で全人格的な交流が、また双方向の情報伝達が図られなくてはならないことも学校教育で証明されている。社会教育、とくに原子力教育における「される人」は、居住地は都会か田舎か、成人か児童生徒か、成人の場合職業人か家庭人か高齢者か若年者か、男性か女性か、など一様でない。様々な考え、様々な生活背景があるのが当然である。そして、「される人」が原子力教育においても主体であることはいうまでもない。この「される側」の多様性を認識し、尊重することが何よりも原子力教育において重要である。「される側」に考えることを激励し、その考えを自発的に発表することを鼓舞あるいは支援すること、それらが原子力教育・PAのあるべき態度だと思う。多様な意見、たとえ少数であろうと異論を排除することは正しい態度とは言えまい。むしろ、多様性が存在することによって人々の間に緊張感が生まれ、切磋琢磨が生まれ、より健全な社会が形成できるのである。異論異質を嫌うあまり一つの方向に走りすぎる危険性は歴史の示すところでもある。

科学は、一般的な実験室があればどこでも誰でもできる共通性や再現性、論理の一貫性が優先される場合がある一方で、多様性やファジーの中に答えが見つけられる場合も多々ある。教育科学としての原子力教育･PA では、「される人」と「される人」が住む土地独特の気候風土や生活文化などを十分に認識し、その状況に応じて最適な方法や方向性を見いだすべきだろう。画一的な方法を適用することは、無意味とは言えないまでも効果的と言うことはできまい。

原子力教育・PA では「される人」の多様性を理解し、日常生活を通じて科学や芸術をはじめ様々な面で意見の交流を図り、考えを共有し、その中で自らの考えにもとづく原子力に対する理解を少しずつ得ていくことが大切だと思われる。「する側」の原子力の解説や経済効果あるいは安全性の説明で終始してしまうならそれは誤りかもしれない。異論異質を認め、社会に内在する多様性を認め、共生を目指す意識が重要であり、原子力教育・PA の専門家にとっては努力と忍耐を必要とする作業であることにちがいない。

教育に必要な要件、それは「する人」と「される人」双方の双方に対する「愛」である。ここで、「原子力教育・PA」に必要な要件を四つ挙げ、四つ葉のクローバーに擬して修辞学的に表現したい（図 3)。

最初の I。「Incentive of PA campaign なぜ PA 活動か？」不祥事・事故続きの原子力分野にあって「原子力教育・PA」に携わる者は、専門家であろうがボランティアであろうが、その根拠をしっかりと把握し理解する必要がある。そのために学ばなければならない事柄は多く、また「する人」に求められる資質も多い。科学技術の辿ってきた歴史を振り返ると、そこには科学技術を進めてきた人々の科学的好奇心や知的好奇心を見出さずにはいられない。この科学技術のもつ知識に対する願望や喜び、すなわち incentive を原子力教育の対象となる人々と共有することが、とりもなおさず「原子力教育・PA」に他ならない。

第 2 の I。「Immanent diversity 内在する多様性」。放射線教育・PA の対象「される人」は一律でなく多様である。つまり多様性が内在している。この多様性を認め、異論異質を排除せず、議論を通じて思考を高めていくことが原子力教育・PA には必要である。

第 3 の I。「Identity of an individual アイデンティティ＝自己の存在の証明」。本来、人は差別化を求めるものである。あたかも個性を強調するかのごとく奇抜なファッションを取り入れている若者も、求めているものは「自己主張」、そして「自己の存在の証明」である。家電製品に代表されるように今日物質的には十分満たされてきた。経済的な豊かさによって、過去にはそうであったかも知れないが、物質的な面での差別化が意味をなさないようになってしまっている。反面、精神的な面の人間育成はなおざりにされてきた。したがって、精神的な面で差別化を求めることが不慣れなために、充足感は決して十分得られない。なぜ人々は identity を求めるのか？どのように実現するか？それは、特に日本人には苦手なことかもしれない。

最後の I。「Interdisciplinary knowledge and experience 学際的知識と経験」。科学においては個々の分野の先端的知識がもてはやされ、技術的なあるいは学際的知識は疎まれ軽んじられている傾向はないだろうか。しかし、社会において本当に必要なのは多分野の知識を統合し、総合的な視野で思考する能力である。多様な人々を対象とする原子力教育・PA こそは学際的知識と経験が必要とされるのである。

環境問題とも関連して、21 世紀は我々に残されたエネルギー源を効率よく活用することが求められるだろう。それをできるだけ円滑に行う鍵は情報公開に裏付けられた広報活動

（Public information）と原子力教育･PA にあると考えられる。そのためには、四つ葉のクローバーに擬して提案した要件、そして安全文化（Safety culture）とは何かという問題をも含めて、研究しなければならない課題が山積している。そしてそれこそは今取り組まなければいけない緊急の課題である。ともすると軽く見られがちだが、原子力教育･PA は高度な教育科学・学問なのである。

謝辞

原子力教育・PA と出会うきっかけの一つとなった「六ヶ所村文化協会読書愛好会」の発足と発展に尽力された会員諸姉および関係の方々に感謝いたします。1999 年日本原子力学会秋の大会（1999 年 9 月 10～12 日、柏崎市）の原子力教育研究専門部会で講演する機会をお与えいただいた九州大学教授工藤和彦先生に感謝いたします。

参考資料

1) 笹川澄子、原子力教育・PA における一考察、日本原子力学会 1999 年秋の大会予稿集 第 1 分冊、総 2、1999 年
2) Sasagawa S, Development of statistical analysis system for a new research program to study biological effects of low doses of ionizing radiation, J Radiat Res, 36, 312, 1995.
3) 石井敏雄、「議会と事業所との係わり」、「環境研ニュース」第 4 号、環境科学技術研究所、平成 5 年（1993 年）
4) 六ヶ所村史編纂委員会、「六ヶ所村史　年表」、六ヶ所村史刊行委員会、平成 9 年
5) 六ヶ所村読書愛好会、「六ヶ所村女性たちの発信」、六ヶ所村文化協会、平成 8 年
6) 六ヶ所村読書愛好会、「六ヶ所村女性たちの発信」第二巻、六ヶ所村文化協会、平成 9 年
7) 六ヶ所村読書愛好会、「六ヶ所村女性たちの発信」第三巻、六ヶ所村文化協会、平成 10 年
8) 六ヶ所村読書愛好会、「六ヶ所村女性たちの発信」第四巻、六ヶ所村文化協会、平成 11 年
9) 平成 10 年度助成額・ジェンダー研究フォーラム報告書「女性のエンパワーメントと女性学・ジェンダー研究－新しい価値の創造－」、国立婦人教育会館、224、平成 11 年
10) 平成 9 年度文部省「女性の社会参加支援特別推進事業」事業報告書「サイエンスボランティア－女性たちの出前理科実験」、日本女性科学者の会、27、1998 年

表1　六ヶ所村の歴史

「六ヶ所村史　年表」(4)より抜粋

西　暦		出　来　事
1889	明治22年4月1日	町村制施行により倉内・平沼・鷹架・尾駮・出戸・泊を統一
↓		
1970	11月4日	県がむつ小川原地区開発計画を発表
1978	1月23日	資源エネルギー庁が国家石油備蓄基地建設の調査対象
1979	10月1日	国家石油備蓄基地に正式決定
1980	3月1日	日本原燃サービスKK設立
1984	7月27日	電事連が村と県にサイクル3施設立地協力要請
1985	2月28日	日本原燃産業KK設立
1985	4月	県がサイクル施設受け入れ決定
1986	4月26日	チェルノブイリ原子力発電所爆発事故
1990	6月6日	六ヶ所村で国と県との初めての直接対話「フォーラムイン青森」
1991	9月27日	ウラン濃縮工場に原料ウラン初搬入
1992	4月	ウラン濃縮本格操業
1992	12月	低レベル埋設センター操業開始
1992	12月24日	国が再処理工場を認可
1993	11月18日	濃縮ウラン初出荷
1994	12月	高レベル廃棄物受け入れ決定
1995	2月23日	仏シェルブールからパシフィック・ピンテール号出港
1995	4月26日	むつ小川原港へ陸揚げ、貯蔵施設へ搬入

1999年(平成11年)8月17日　火曜日　朝日新聞

拡声器でデマ「核燃が爆発」

青森、車で走り去る

青森市松原地区を中心に、十四日午後十一時過ぎ、拡声機を使って「六ケ所の核燃が爆発した」などと告げてまわる車が走り、心配した市民から一一〇番通報などが相次いだ。青森署は偽計威力妨害の疑いがあるとみて調べている。

調べによると、同日午後十一時ごろから約三十分間にかけて、同市松原地区や勝田地区などで、男の声で「六ケ所の核燃が爆発しました。ただちに避難してください」などと言い、走り去った車があったという。車は赤系統だったらしい。市民から同署、及び一一〇番にかかってきた問い合わせの電話は約六十件にもなったという。

日本原燃によると、そのような事実は全くなく「私どもの取り組みに対して水を差すような行為で非常に残念」と話している。

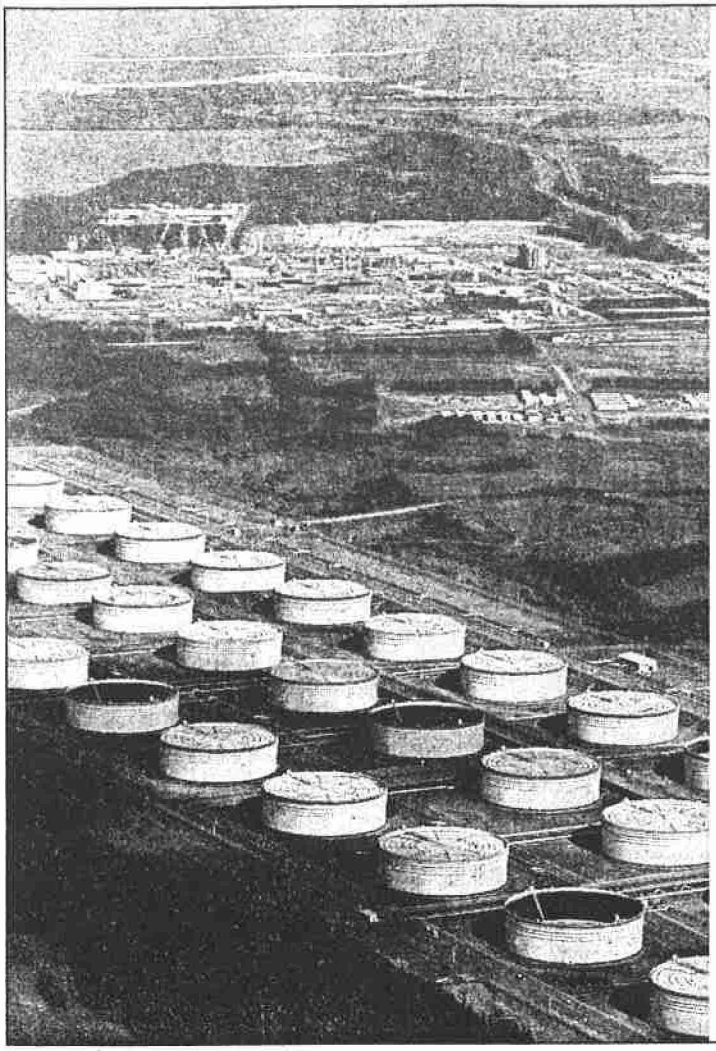
図1

1999年(平成11年)8月19日　木曜日　朝日新聞

かすむ大規模工業基地の夢

空から見た東北

むつ小川原工業基地



青森県六ケ所村。大規模工業基地の建設計画が動き出して四半世紀余りが過ぎた。一九八五年には日本初の国家石油備蓄基地が完成。高さ二四㍍、直径八一・五㍍の巨大なタンク五十一基が並んだ。もう一方の中核企業、日本原燃の核燃サイクル事業は好調とは言えない。タンク東側で工事が進む再処理工場＝写真奥＝は、使用済み核燃料の受け入れ施設がほぼ完成したが、再処理施設の進ちょく状況は二〇%未満。「核のゴミ捨て場」化に不安を抱く県民は今も多い。

工業用地も売れない。分譲事業を進める第三セクターは多額の債務を抱え、近く精算される見通しだ。

図 2

原子力教育・ＰＡにおける
４つのＩ・あい・アイ・愛

A Four-leaf Clover

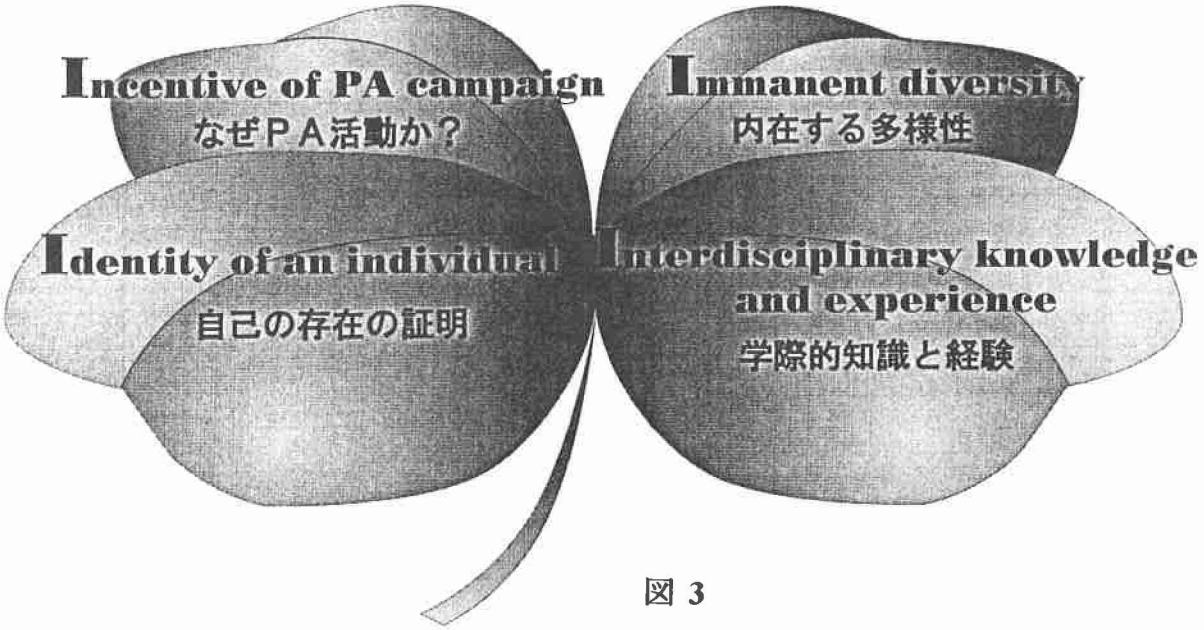


図 3

わが国における放射線利用の経済規模について

田中隆一、栁澤和章
日本原子力研究所高崎研究所
（〒370-1292 群馬県高崎市綿貫町 1233）

1．　はじめに

我が国における放射線の利用は医療や工業分野を中心として数十年の歴史をもち、原子力に対する逆風下及び近年の経済不況下にあっても着実な成長を続けている。しかし、その利用が普及し身の回りの生活に深く浸透している実態については、一部の医療分野を除いて人々に知られることが極めて少ない。例えば乗用車について、タイヤ、電線、断熱材、緩衝材など数多くが放射線で加工された部品であり、エンジンの性能改良にＲＩが使用されていることを知っている国民がどれだけいるであろうか。放射線利用についてのこの事情は、好むと好まざるとに関わらず大きな存在感を持つ原子力エネルギー利用の場合とは対照的である。原子力利用における放射線利用は、エネルギー利用という大きな光源の周辺に薄く照り映えるハローのような存在のように思われている。

このように放射線利用の実態が国民の目に見えにくい最も大きな理由は、放射線は怖いという消費者のイメージがあるためであり、このため生産者は放射線を使っていることを表に出さないという事情がある。また、放射線利用は工業、農業、医学など広い分野及び様々な品目にわたっており、その全体像が専門家にもわかりにくく、国民生活に与えている利益についての定量性のある実像を示してこなかったことが挙げられる。一方、米国では原子力産業利用による経済規模に関する1995 年度を対象とした調査報告が出されており、放射線利用の経済規模や雇用創出力が、大方の予想を超えて非常に大きいことがすでに示されている。

こうした背景のもとで、科学技術庁からの委託により、原研が中心となって放射線利用の国民生活へ与える影響を、工業、農業及び医学・医療の三つの分野における工場出荷額や診療費で表わされる経済的規模に重点を置いて多面的かつ定量的に評価する調査を実施した。その結果、狭い意味での放射線利用の経済規模は約２兆円で、原子力発電による電気売上の１／３であることがわかった。また、半導体加工を含めた広い意味での放射線利用については、原子力エネルギー利用よりも大きくなることがわかった。調査は現在も継続中であるが、ここでは、わが国における放射線利用の現状を含めて、これまでの調査結果の概要を述べる。

2．　評価の考え方及び調査の方法

放射線利用の経済効果は、放射線を使わない従来法と比較したときの経済的利益を意味する。この場合、放射線を利用して生み出された製品と従来法による製品を比較したときの単純な価格差だけでは評価できない。もし、製品価格では表わされない従来法がもたらす経済的な不利益があるならば、それを評価して放射線法のプラスの経済効果として含める必要がある。しかし、その評価は個々の利用項目についてだけでも大変な作業であり、まして多種類の利用項目についてすべて実施することは不可能に近い。このため、経済規模が評価対象となったが、多種類の利用項目全部を統一的に価値づける評価方法を見出すことは難しい。ここでは、放射線発生・計測装置や放射線加工製品の出荷額(売上高)、放射線を利用して出荷可能となった農産物の出荷額、あるいは病院の診療報酬を経済規模算定の根拠とした。調査対象年度は1997年度(平成9年度)の1年間とした。

評価のために設けた専門部会は工業、農業及び医学・医療の3分野の作業部会で構成されており、調査は公開資料、アンケート、及び個々の聞き取りをもとに行うとともに、必要に応じて民間の調査機関を活用した。高度な判断を要する評価作業が実施できた大きな要因は豊富な知識と経験をもつ十数人の専門家のご努力によるところが大きい。

3. 調査結果

3. 1 工業利用

半導体加工を含めた場合の工業利用分野の経済規模を円グラフで**図1**に示す。

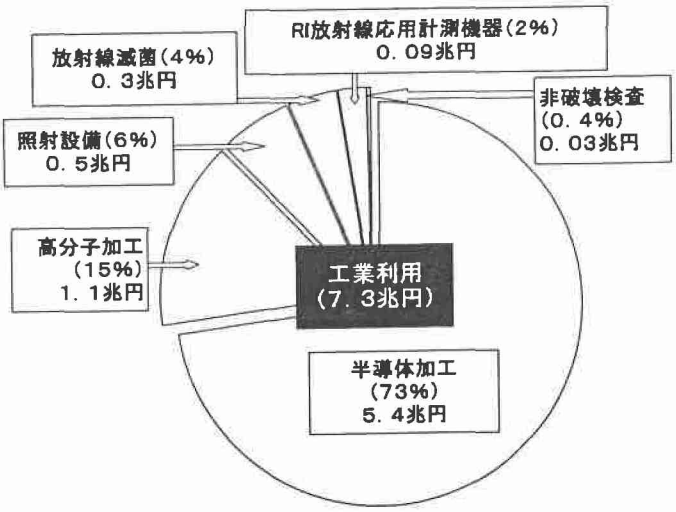


図1 放射線工業利用の経済規模(半導体を含む)

全体では7.3兆円であるが、半導体加工を含めない狭い意味での放射線利用に限定すると、約2兆円の規模である。後者の主役は電子線を用いた高分子加工であり、自動車タイヤ、耐熱電線、熱収縮チューブ、発泡プラスチック、表面硬化等を合わせて、年間出荷額は1.1兆円の規模に達する。ただしその大部分は自動車タイヤの加工である。これらはコストと品質によって市場に受け入れられてきたが、最近では、材料加工においても、省エネルギー・省資源あるいは有害化学物質の環境への放出・残存回避のための基材や添加物の選択の観点から、放射線法がより一層受け入れやすい状況が生まれつつある。もともと放射線プロセスの利点とされていた高品質性に加えて、電子照射設備等の低コスト化へ向けた技術開発や設計努力が進んできたことも、放

射線加工の市場性を一層高める結果となっている。国内の照射用電子加速器は、前述の高分子加工への利用を中心に、これまで3百数十台が設置され、年々着実に増えつつある。

医療用具滅菌については、品質保証に関するISO基準の国内導入にともなって、化学物質を用いる従来のガス滅菌法がコスト的に不利になりつつあり、現在では放射線滅菌の普及率がγ線と電子線合わせて国内では全体の60％を占めており、約2800億円の経済規模を有している。近年の動向は、これまでのγ線利用に対して、5－10MeVの高エネルギー電子線の利用が増えつつあることであり、今後は低コストで小型の自己遮蔽型電子線照射設備が普及すると予測される。

他の主要な利用分野はX線やRIからのγ線を利用した非破壊検査であり、国内では、2,000台近くのX線装置が約1,000台のγ線検査装置とともに利用されている。この業界全体の約25％が放射線を利用したものであり、その経済規模は約300億円である。RIはこのほか、厚さ計、レベル計等を中心に各種の工業分野であまねく普及しており、その経済規模は900億円である。ただし、この場合の経済規模は放射線防護、RIの装備･計測等の応用計測機器の出荷額である。工業用RIやX線装置を使って得られる技術情報の経済的価値は評価されていない。例えば、舗装道路の盛り土の締め固め度の検査には、現在RI放射線による吸収や散乱を利用した測定法が定着している。それを従来の測定法と比較したとき、放射線法の経済効果は測定器の売上高をはるかに上回ると考えられる。しかし、その定量的な評価については今回見送らざるを得なかった。

半導体加工の経済規模は5兆3千億円で、他分野を圧倒している。従来の考え方からすると、放射線利用の範疇に含めるべきではないという意見もある。しかし、半導体の微細加工は露光、エッチング、不純物導入、成膜等の要素技術で構成されており、それぞれに数多くの電磁波や粒子ビームが利用されており、それらのなかには電子線、X線、イオンビーム等の電離能力をもった電磁波や粒子が含まれている。確かに露光マスクの作製に用いられている電子線の場合は電離能力が積極的に活かされているが、イオン等による不純物導入やエッチングでは、放射線特有の電離能力が必ずしも活かされているとは言えない。露光の主要工程である一括露光に関しては、現在短波長のレーザービームが主役であるが、素子の微細化の進展によって近い将来短波長化がさらに進んでX線が主役になると見込まれている。いずれにしてもいくつかの製造工程で放射線が利用されており、ここではいわゆるビーム利用と放射線利用の境界領域が形成されていると考えるべきである。

放射線利用技術の近年における開発動向の意味深い特徴は、放射線化学反応のもつクリーンで省資源という長所を環境保全等の目的に活かすことであり、このことは電子線による排煙処理

などに限らず材料加工の分野にも現れている。具体例として、工場廃水中の有害重金属除去等を目的とした吸着剤、環境に優しい天然ゴムラテックス、環境汚染に対応した生分解性プラスチック及び医療・福祉に役立つ材料の加工等への放射線利用が注目されている。資源有効利用の観点からは、海水中に溶存しているウランなどの有用重金属を効率よく吸着する捕集材や捕集技術の開発が原研で進められている。

3．2　農業利用

農業利用分野(RI利用を含む)の経済規模のシェアを**図2**に示す。全体では1170億円であり、日常生活への密着度が強く話題性に富むが、その経済規模はまだ大きくない。

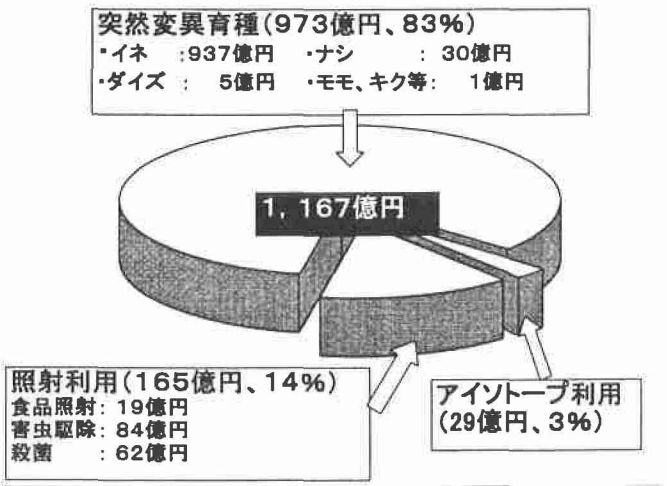


図2　農業利用及びアイソトープ利用の経済規模

内訳は突然変異育種によるものが80%以上を占めており、その大部分はイネの品種改良によるものであり、変異体を使った改良品種がかなり市場に出回って経済効果を挙げていることがわかる。これまでは、主としてγ線やX線が利用され、風で倒れにくい稲、黒斑病にかかりにくい梨などが作り出されてきた。最近では、イオンビーム照射によって従来得られなかった新しい品種が得られることが原研での研究から明らかになりつつあり、今後の発展が期待される。

食品照射は１９億円に過ぎないが、これは現在北海道士幌農協で実施しているジャガイモの発芽防止による経済規模を示している。食品照射については、FAO/WHO 合同食品規格委員会（CODEX）の勧告をもとに、すでに40 ヶ国で 100 品目以上が許可されているが、日本はジャガイモの発芽防止が２７年前に許可されて以来、消費者の反対運動が根強く、現在では世界の流れから取り残されている。一方、諸外国では、当初食品照射の目的であった食料の長期保存から、病原菌や寄生虫殺滅による食品の安全性確保や検疫処理等における薬剤処理への見直しへと主要な関心が移行している。国内でも食品の衛生基準が厳しくなるにともなって食品照射への関心が高まっている。香辛料の放射線処理や生薬の殺菌については、すでに実用化への取り組みが進みつつある。

3．3　医学・医療利用

医学・医療分野に関する経済規模は医科と歯科を両部門合わせた全体で約１兆２千億円であり、これは国民医療費の４％に相当する。このうち医科部門の経済規模（約１兆１千億円）のシェアを**図3**に示す。図中の数値は患

者が病院等に支払った診療・治療代金（診療報酬代金）のうち、放射線を利用したものでまとめたものである。このうちX線撮影、ＣＴ、核医学等の診断分野が 95％を占めている。治療分野は５％に過ぎないが、近年急増しつつあり、今後の粒子線治療の普及が期待される。

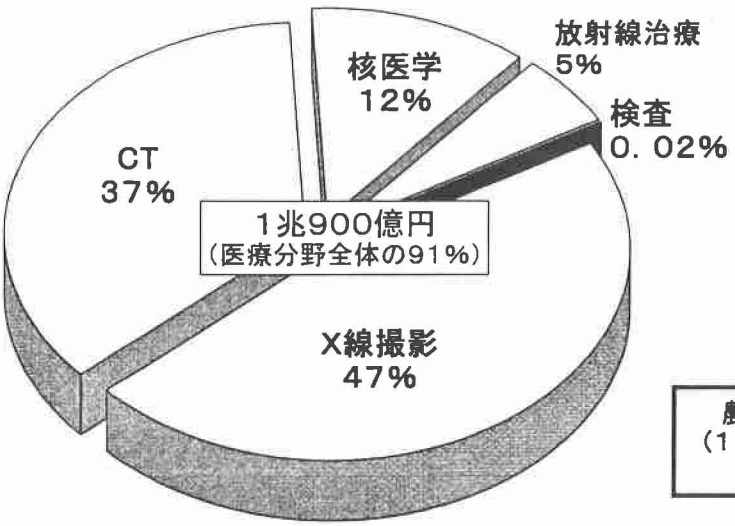


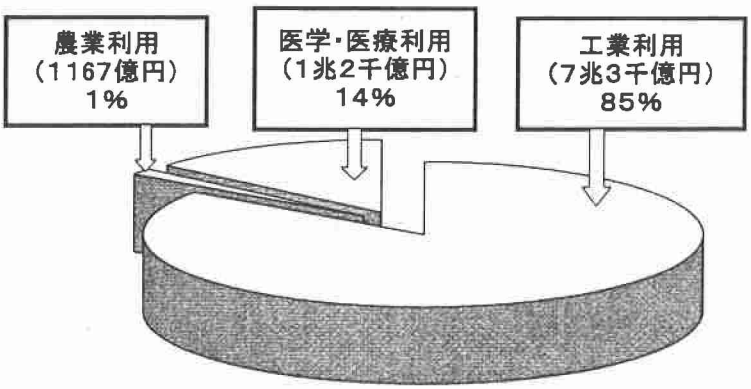
図3　医学・医療利用の経済規模

放射線利用の中でも、放射線医療は国民生活への直接的な貢献度が最も大きい分野と考えられるが、日本では、放射線医療の普及度、それに関わる規制、保険制度の中での位置づけ等に関して米国とは事情が異なり、その経済規模は米国よりもかなり小さい。

３．４　放射線利用の経済規模の全体像

これまで述べてきた工業、農業及び医学・医療の３分野の経済規模の総額(約８兆６千億円)及びそれぞれの分野の割合を図４に示す。この総額がＧＤＰに占める割合は1.7%である。わが国の放射線利用のなかでは、工業利用分野が、仮に半導体加工を含めなくとも、全体の半分以上を占める。また、農業利用分野の割合は他分野に比べて小さいが、今後最も大きな伸びを示すものと期待される。

全体を通じて今後利用が伸びると予想される方向は、高品位医療、環境保全、食品安全、微視的加工など、放射線法の本来の特長が発揮しやすい分野であると予想される。これらを総合すると、世の中で誤解されている「放射線」のマイナスイメージとは逆に、21世紀の暮らしに結びつく放射線利用の真価は「ヘルスケア」ではないかと考える。



約8兆6千億円：（工業利用の半導体加工5．3兆円を含む）

図4　わが国の放射線利用の経済規模ー各分野の割合ー

３．５　原子力エネルギー利用との比較

経済規模に関して放射線利用を原子力エネルギー利用と対比する場合、比較対象としてどんな数値が妥当であるかについて明解な答えはないが、とりあえず比較できる数値は原子力発電からの電気料の売上高である。ただし、比較条件を合わせるため、放射線利用

では照射装置の出荷高を含めたことに合わせて、原子力関係の鉱工業売上高も含めることにした。こうして得られた原子力利用の経済規模(16兆円)及び両分野の割合を**図5**に示す。

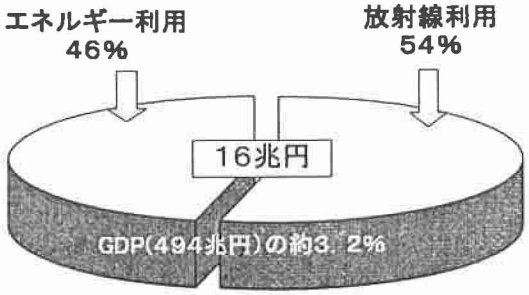


図5　原子力利用の経済規模

半導体加工を含めるかどうかによって両者の関係は逆転するが、いずれにしても放射線利用はエネルギー利用に勝るとも劣らぬ経済規模を有しており、両者は名実共に原子力利用における車の両輪の役割を果たしている。参考のために他業種と単純に比較してみた結果を**図6**に示すが、放射線利用の経済規模は、例えばエアコン等の白モノ家電の年間売上に対して3倍の大きさをもつ。

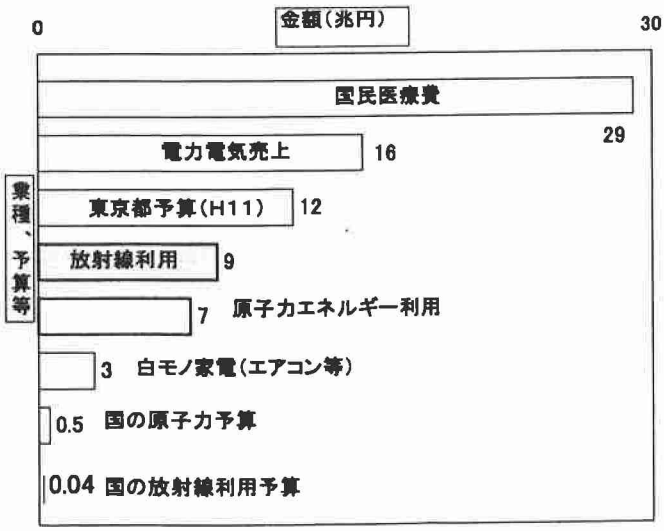


図6　他業種との単純比較

米国の調査報告によると、1995年度における放射線利用の経済規模は約40兆円であり、このうちの約8割が放射線利用、残りの2割がエネルギー利用であった。米国の数値が大きな理由としては、われわれの調査では、消費や雇用創出をほとんど伴わない直接的な経済規模が評価対象となっているが、米国の場合は産業連関表の助けを借りて得た間接的な経済効果を含めた数値として評価されているためである。

4．　おわりに

これまで述べた通り、調査結果の数値にはそれぞれ個別の前提があり、疑いを挟み得ないほど高い信頼度で評価されたものではないことを繰り返し確認したい。しかし、非常に幅広い分野における放射線利用の経済規模の全容が今回の調査によって初めて明らかとなった。このことは、放射線利用の国民生活への貢献度を再認識させる役割をもつとともに、「放射線」に対して多くの国民が抱くマイナスのイメージを軽減するのに役立つものと考える。今後は、さらにこの調査を継続するとともに、他の先進国の調査との比較やこれまでの調査結果の見直しを行う予定である。

放射線はそのことばが思い起こさせるマイナスのイメージとともに、日本では、　「放射線」ということばそのものが「こわさ」の実体にシンクロナイズしやすい伝統的特質も重視しなくてはならない。しかし、「放射線」をなにか別の言葉で置き換えること

によって解決できる問題ではないと思う。差別語に対する「言葉狩り」がかえって事態を悪化させていることを思い起こす必要がある。事実を正しく広く知ることを通して、取り憑いた幻の影響を取り払うことでしか克服の道はないと考える。

放射線・原子力教育では今何をすべきか

広瀬正美
兵庫教育大学名誉教授
(〒253-0001 茅ヶ崎市赤羽 53-1-101)

§1　はじめに

今日までに当フォーラムでは、放射線教育[1]はいかにあるべきか、主に教科書、学習指導要領の内容を把握しそれに基づいた議論から新しい見解、展望を述べている。その上、度重なる研究会と国際会議では、放射線教育に限定せず幅広く放射線利用のメリットならびにリスクと研究領域を拡大し、その啓発を主に放射線フォーラム・ニュースレターなどの報告書で積極的に行っている。この啓発努力に敬意を表します。

現実では原子力諸機関の度重なる過失、事故などにより、一般の人々の原子力に対する信頼は低下の一途をたどっていることが各種の世論調査で分かる[2]。不安と心配は増すばかりであり、原子力利用の進め方も慎重にという意見が増加している。フォーラムは放射線の理解を当初の目的にしてきただけに困難な局面に遭遇するであろう。

しかし、今後も原子力エネルギーに依存する以外に、他の方法がないならば教育の働きによってその理解を得ていくしかない。そのためには２１世紀に向かい放射線・原子力教育はどうあるべきか。今、何をすべきかを検討したい。

§2　放射線教育を受け入れる教育環境の現状

放射線・原子力に関する世論形成は、放射線・原子力の基本的知識を理解した上で、国民の正しい判断が基盤になりコンセンサスを得ることが基本的手法と言える。いかに法的規制を強めても世論は正しい方向には進まない。最終的には人間が技術をコントロールするから当然の事である。そこで教育が最も重要な役割を果たすわけである。

日本のエネルギー施策は一時的な現象に惑わされたり、終始、情緒的な議論に陥りやすい。これを可能な限り避け、堂々と２１世紀を見据えた放射線・原子力教育の方針に真剣に取り組まなければならない。もとより、この方針には長期的かつ理性的な国家のエネルギー基本政策の裏付けが無くては、このような教育方針の推進は不可能であろう。

昨今、わが国では、あらゆる方面で混乱が続いている。世界に誇った科学技術分野でもミスが続発している。人工衛星打ち上げの連続失敗、新幹線のトンネル壁落下事故、更なる重大な地下鉄脱線事故、そして今回の臨界事故は人命に関わった事故である。また、高度な医療技術を駆使し、患者の治療に当たっていたと信じていた大学病院などの医療ミスの続出など、どうも優秀だと信じていた科学技術への信頼も下落の一途をたどっている。

これらは近代社会の能率主義が影響しているのか。

わが国の科学技術教育がスムーズいっていないのはどこかに欠陥が生じ、それが起因しているのではないか。

とくに、高等教育での技術者養成が時代に合わなくなり遅れが出始めたのか。さらに、中等、初等教育でも科学技術の基礎、基本の指導が果たして充分に行われているか。２１世紀の構造改革に対応可能な科学技術知識が育成されているのか。問題点、疑問点が数多く生じるばかりである。このように現在、充分に時代に対応が出来ない状態におかれている。それでは科学技術を受け入れる側、すなわち今日の学校側の実情はどうなっているのか。それをここで再検討しよう。

最近、不登校、いじめ、学級崩壊などが頻繁に発生し、伝統ある日本の学校制度が揺らいでいる。世界に誇った同一教材による一斉学習が成り立たなくなり、教育現場での学校病理はその深刻さを増すばかりである。

その解決の具体的方策、手法はまだ整っていない。実際には、現場の校長や教師たちに善きに指導、処理をと正直なところ願っているだけではないか。戦後教育の総点検を旗印とする「教育改革国民会議」がスタートし検討を開始する位であるから、正常な状態ではない。その上、現代社会の複雑化、多様化した重要課題が次々に提案され、学校側に要望しても充分な指導は無理ではないか。

例えば、現在、放射線教育、原子力教育、さらには環境、情報、消費者教育をと次から次に学校側に要望が出される。これらの各教育が求めるリテラシーを育成出来るのか。今、エネルギーと環境とを一緒にし、教育現場でエネルギー・環境教育とよくいわれる。これ一つを取り上げても、その目標が多岐にわたり取扱は大変に難しい。どれだけの教師が指導可能か。加えて、実施困難な理由は教育現場の多忙さ、学習時間の縮小などをかかえているだけに、要望を満たすことは到底不可能である。「生きる力」を育成すること学習指導要領改定ごとに叫ばれるが、前述のような諸教育を使って学習させ、その力を養成するのが最善の指導方法であるのだが。臨機応変に対応可能な生きる力は、改めて特別な場で育成されるものではない。「生きる力」は課題を解決する場で育成するしかない。

現状では精々、個々の優れた現場教師の努力により優れた指導案、実践事例は出されるが、それは決して体系化されたエネルギー（以後、放射線・原子力教育の総称）教育をというものではないし、基本的指針を示すものでもない。それを要求するのは酷というものである。また、エネルギー関連産業からの財政的支援を受け、エネルギー教材が数多く開発されている。これとても単なる作成グループの意向を反映してはいるものの全国的規模で推進可能な体系化されたエネルギー教育用教材はなかなか見当たらない。

今日、小・中・高校時代、すなわち初等・中等教育時代にエネルギーに関する基礎、基本的原理、原則を児童・生徒たちに学習させておく必要がある。とくに、原子力など自然科学上の原理、原則の基礎を学ばせる事は是非とも必要である。そうでなければ、起こる

であろう問題に直面するとき不必要な恐怖心をあおられるし、誤った科学概念を持ったがために風評被害に踊らされることになる。

そのような教育事情のもとでは、エネルギー教育を体系化した教科目設定にとか、また、原子力関連教材を学習指導要領に増してほしいなどの要望を大所高所から判断するだけの余裕が行政関係機関にはない。以上の推察が妥当とするならば、いかに精力的に努力しその実現を期待しても無理である。しからば別途の手段を考えなくてはならない。

近代、民主主義国家では、国民の意向で国の政策の基本が決められるだけに、無知、無関心では責任ある善悪の判断が取れない。そのような事では健全な社会構成は不可能である。まずは現在、わが国の教育制度のもとで、教材、教科目として導入するためにはどのような手続きを取る必要があるのか。その手続きの詳細は別途で報告[3][4]した。

わが国の初等中等教育で取り扱われる科学技術関連の教育は理科をはじめとする教科科目でそれぞれ体系化、組織化されている。とくに、原子力エネルギーに関わる教材は理科の一分野として教授されている。エネルギー教育としての教科目は未だ独立した形式で実施されていない。そこで、これらの教科目、教材として採択されるには、中央教育審議会で取り上げてもらう事からスタートし、教科書記載に至る過程がある。前述の手続きを関係機関に再三再四働きかけてきたが、しかし現在までに、教科目の誕生、充分な教材が採択されたわけでわけではない。

このような一種の陳情のみに依って、教科目などの実現が望めないなら、別途の手段を考案しなくてはならない。陳情に依る手法が一つの案であるなら、もう一つの案は放射線・原子力教育を直視した真剣な議論の場を数多くセットし、世論を喚起する手法である。この世論に訴えその後押しを得るような手法がもう一つの案として考えられる。マスコミなどの協力を得て正面から議論する場、すなわち、シンポジウムなど数多く設定し堂々と訴えるしかない。エネルギー教育を建て前ではなく、正面から取り上げたシンポジウムはほとんどない。このような二つの試みを平行し、今後とも努力していく必要がある。わが国が豊かな資源国であるならばいざ知らず、２１世紀を迎えようとしている今も昔と同じく資源小国である事には変わりなく、その上に消費大国であるだけに、エネルギー問題は避けて通れない。

以上のような考察から日本の当面のエネルギー選択肢の一つには好むと好まざるとにかかわらず、原子力に依存するしかないと考える。それだけに学校教育の中に放射線・原子力に関わるバランスの取れたエネルギー教育は是非とも必要である。

§３　放射線・原子力教育はどのような組織、内容で行うべきか

放射線・原子力の原理は物理学の一分野であり、一般の人々には理解が難しい面がある。それだけにまずは学校教育の場で、その基礎、基本の原理だけでも学習しておくことが望

ましい。最小限、定性的な理解だけでもしておけば、社会に出て、再び、学習する機会にその理解が比較的容易となる。全く無知。無関で過ごしてきたのでは理解することは難しくなる。ところが、今日の学校教育では選択制などの関係からか、物理なりエネルギー関連教材を学習する機会に恵まれない。この事が将来、大きな問題点を派生させることとなろう。近代の学習理論によれば、最初に学習するとき、それを正しく習得しておかないと修正が困難という説がある。とくに、価値観が伴う考え方に影響されやすい原子力教材では、一度、誤った先入観に培われた科学概念はなかなか脳裏を離れない。成人してももこの間違った概念を捨て切れず、先入観に囚われ正しい世論形成の障害となる。非科学的な根拠が流され各種の意思表示時の場で、それが影響し判断されるなどよくみられる意思決定での現象である。このように世論形成に非科学的根拠が重要な要素となる。

原子力事故は起こると大変に危険であり、教師は子どもを預かっている以上、この危険性を強く認識し保護に当たらねばならない。一方、原子力のエネルギーは働きも大きくその活用の面からいっても貴重なものである。一方のみを強調する考え方は片手落ちであり、この問題は別途議論されるべきである。少なくとも情報公開、またデータ改ざんなどは絶対にあってはならないし、安全確保の原則は絶対に守られるべきであり、その前提の下での議論でなければならない。

最後に、教育内容について検討してみよう。今、少し古いが教育界を対象としたニーズ調査の結果がある。最近の調査結果とそれほどの差はない。

図１、図２に示されているものは、学校外の各種団体など、すなわち外部機関が主催する研修などにどのような判断基準で参加しそれを活用しようとするか。また、その研修に何を期待していくのかを項目を示し調査した結果である。まず重要なこととして、これら研修参加の大前提として、公平で、宣伝の場ではない、あくまで原子力に関する学問的学習の場であるということが最も根底となる判断基準である。これを踏まえた上で。まず第一に研修のカリキュラムの善し悪しで参加の判断基準とする。次に、開催時期、場所の利便性を考え選ぶとなっており、研修後、研修で得たものを授業に役立たせたい。その次が原子力関連情報、知識の入手となっている。

それでは参加を希望する教師は原子力のどの部門に関心があるのかを調査したのが、図３、図４にそれぞれ示してある。図３では授業担当の科目区分による教師達の関心度合いを、図４では実際の授業でどの分野を取り上げようとするのかを聞いた。理科担当教師は主に、原子力エネルギー利用、放射線の人体への影響、廃棄物処理などに関心が強い。また、社会科担当では安全性、環境への影響に、そして家庭科担当は廃棄物処理、人体への影響などに関心を示している。次に授業の中で取り上げる項目については、図３に示した関心の度合いが高いものとほぼ同じ傾向になることが図４に出ている。

以上の調査から分かるように、取り上げなければならない放射線・原子力教育の内容は前述の項目位ではないだろうか。その後の調査も大差はない。

§４　結論

以上、長々と論述したが、論旨を要約し箇条書きに一目で分かるようにまとめると、

１、国民的なコンセンサスを得るためには放射線・原子力教育が是非とも必要であり、その基本的役割を教育が負う。

１、エネルギー教育は正しい世論形成の根幹であるだけに、国のエネルギー政策を基盤にした教育の基本方針を明確にしなければならない。

１、世界に誇った科学技術教育も時代に対応、対処可能なよう再検討すべき時期に来ている。

１、初等・中等教育時代の最初の学習で、正しい原子力の概念形成をしなくては修正が難しくなる。

１、研修内容は受講者の意向を最大限に扱うべきである。

１、放射線・原子力教育の充実は通常の手続きに依る陳情手段だけではなく、世論喚起の場を設定し正面から堂々と訴えていく必要がある。

１、放射線・原子力教育に関わった財団、機関を整理し、新しく再構築しなければマンネリ化している。

〈参考文献〉

１）松浦辰男：学校教育におけるこれからの放射線教育のあり方　（原文振委員会　１９９９，１１、）

２）総理府：「原子力に関する世論調査」（平成２年９月）

３）広瀬正美：初等・中等教育における原子力エネルギー教育の現状と将来（日本原子力学会誌　Ｖｏｌ４０、Ｎｏ１２　Ｐ９３２～９３９）

４）Ｍ，ＨＩＲＯＳＥ　ｅｔ　ａｌ：Ｃｕｒｒｅｎｔ　Ｓｔａｔｕｓ　ａｎｄ　Ｆｕｒｕｒｅ　Ｄｉｒｅｃｕｔｉｏｎｓ　ｏｆ　Ｎｕｃｌｅａｒ　Ｅｄｕｃａｔｉｏｎ　ｉｎ　Ｅｌｅｍｅｎｔａｒｙ　ａｎｄ　Ｓｅｃｏｎｄａｒｙ　Ｅｄｕｃａｔｉｏｎ．（Ｊ．Ａｔ　Ｅｎｅｒｇｙ　Ｓｏｃ．Ｊｐｎ，３６〔３〕２１９（１９９９）

５）センチュリー・リサーチセンター：　「原子力研修に関するニーズ調査」（１９９１、３）

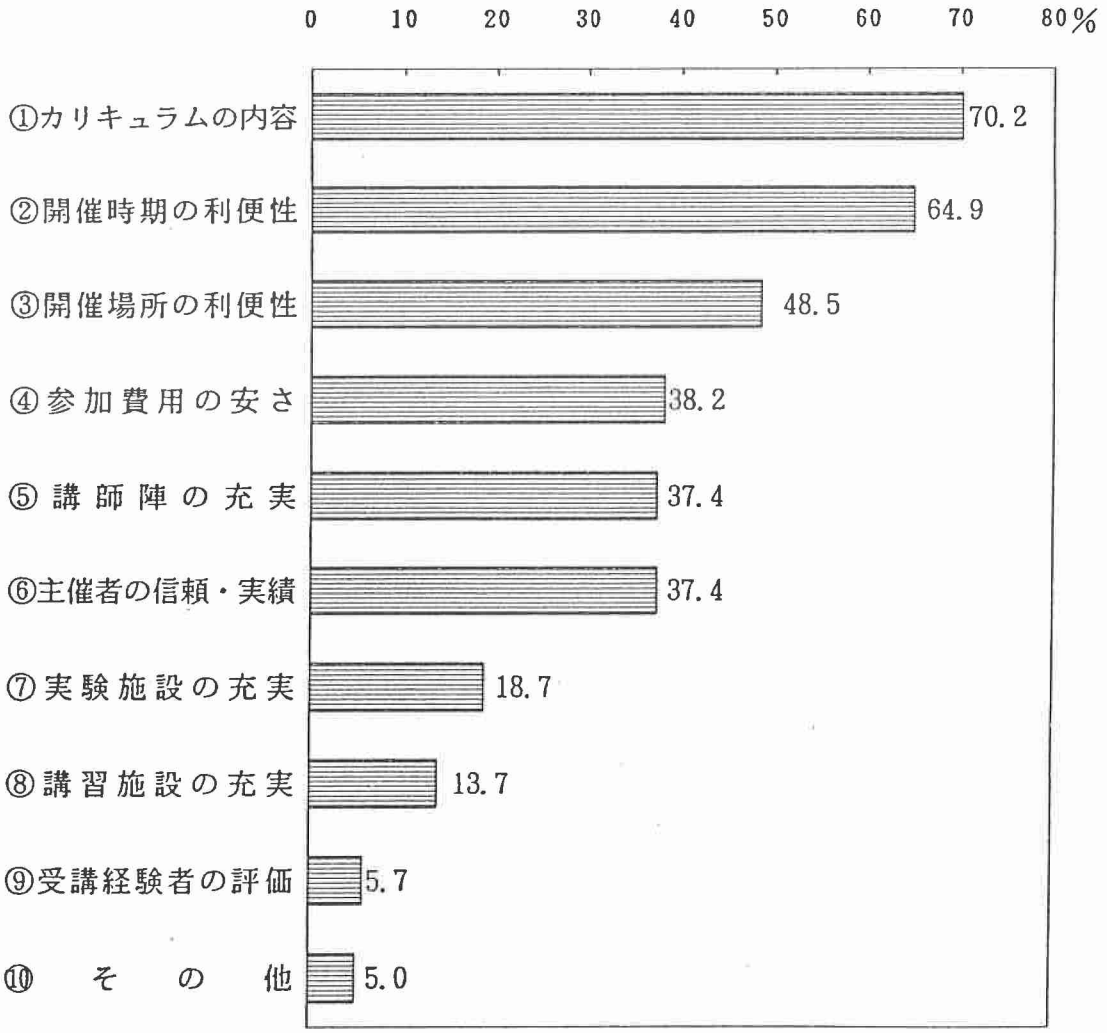


図 1　　外部機関による原子力教育・研修の活用判断基準

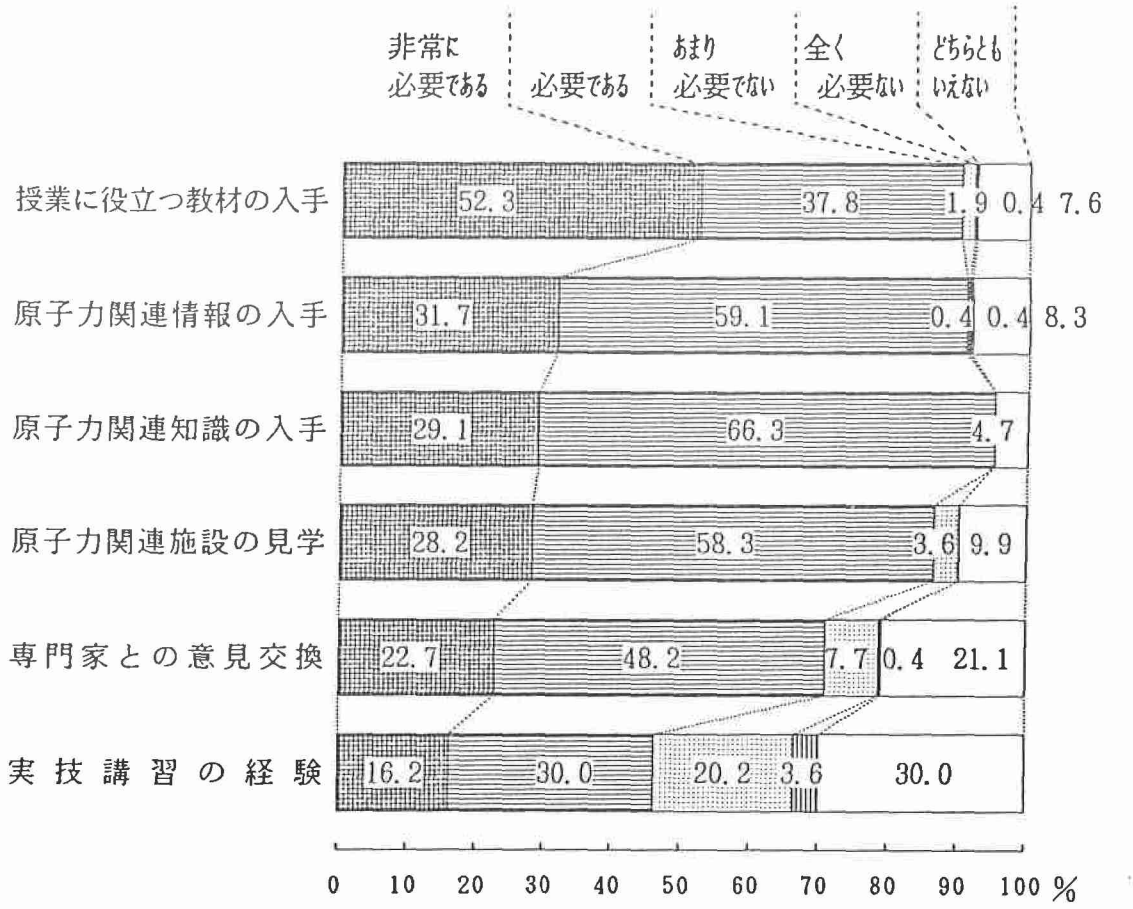


図 2　　外部機関による原子力教育・研修に対する活用優先項目

表　3　原子力について関心度の高い上位4分野

高校・理科	①原子力発電の安全性　（６４．２％） ①放射線の人体への影響　（６４．２　） ②放射性廃棄物処理　（５９．３　） ③地球環境への影響　（５８．０　） ④原子力のエネルギー利用（５５．６　）
中学・理科	①放射性廃棄物処理　（７２．６％） ②原子力のエネルギー利用（６４．５　） ③原子力発電の安全性　（５６．５　） ④地球環境への影響　（５３．２　）
社会科	①原子力発電の安全性　（８２．０％） ②地球環境への影響　（６５．４　） ③放射性廃棄物処理　（５６．４　） ④原子力関連の事故　（４４．９　）
家庭科	①放射性廃棄物処理　（７８．７％） ②放射線の人体への影響　（７４．５　） ③原子力発電の安全性　（７０．２　） ④地球環境への影響　（７０．２　）

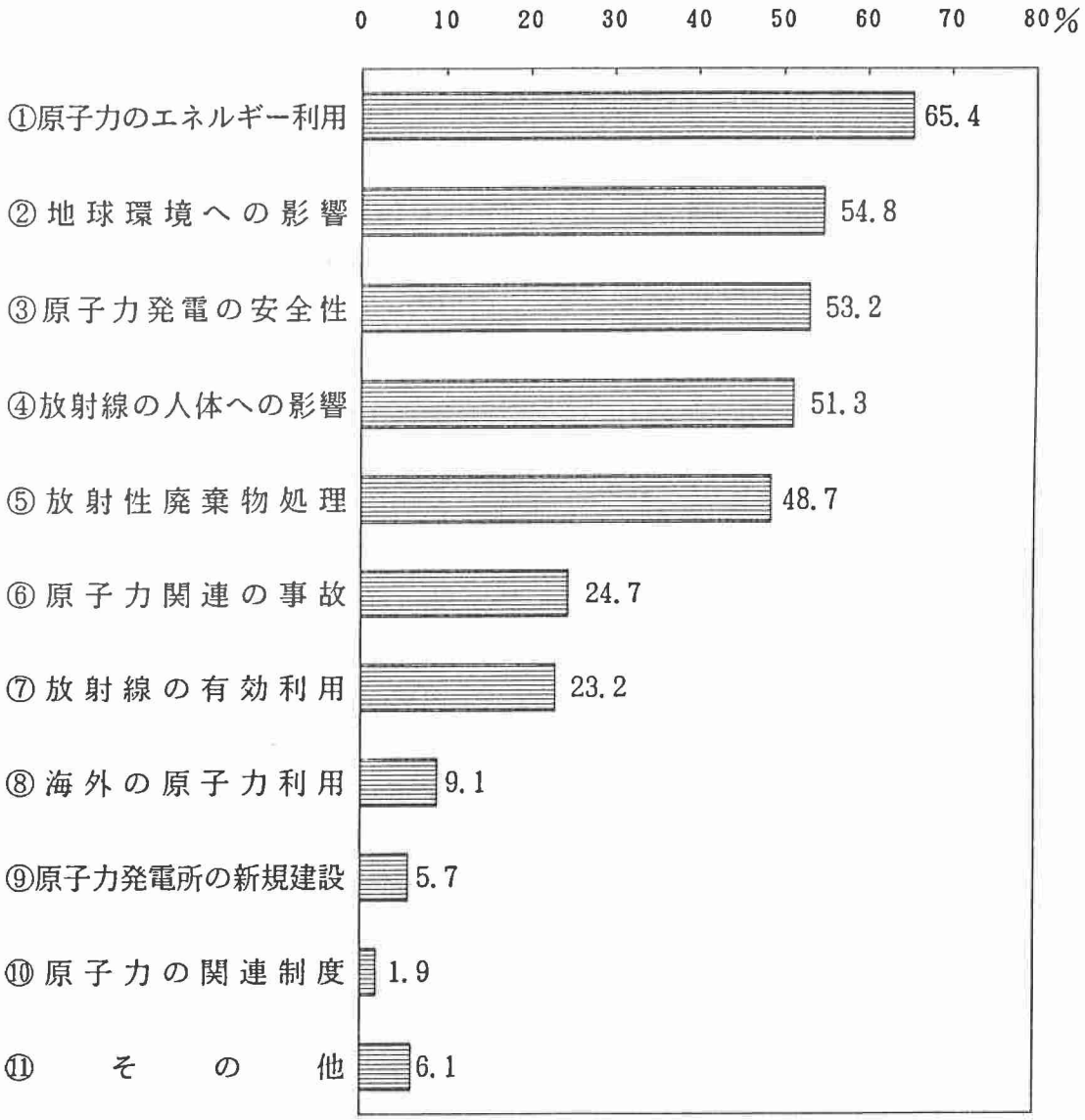


図 4　　授業で取り上げる原子力に関する分野

放射線発見の科学史的意義

大野新一
理論放射線研究所
（〒227-0054 横浜市青葉区しらとり台 12-5）

[要旨] 19 世紀における真空と電気技術の組み合わせによる真空放電の実験から，放射線が発見された。放射線は，原子･分子を構成している微細な粒子が，束縛されているのでなく，空間を自由に走っている状態であるといえよう。発見された放射線は，さらに微細な物質構造，例えば粒子の内部構造の研究や物質内における粒子の幾何学的配列の決定，エネルギー状態の研究などに貢献した。さらに放射線のエネルギーを大きくして高エネルギー密度の状態をつくり，物質の究極理論「万物はどのようにできているか」と宇宙創成論「この宇宙はどのようにしてできたか」を調べる研究に利用されつつあり，われわれの自然観を築き上げることに放射線(加速器)は重要な役割を担っている。

１．はじめに

科学上の発見は，互いに関連する他の多くの科学上の発展と密接に絡み合っている。そのため何か重要と思われる科学上の発見の一つをとりあげて，その歴史を一筋の流れとして捉えることは必ずしも容易な事ではない。しかしできるだけ本質的なことに着目し，そして大きな流れのなかで物事を捉えるように努力すると，多くの場合で技術から始まって科学へ，そして自然観の確立へと繋がることがわかる。放射線の発見もまさにそのようなものとして捉えることができる。それを説明するために，放射線がどのようなものであり，どのような技術から発見されたものであるか，どのように科学の発展を促したか，そしてこのことからわれわれの自然認識に対していかに重要な役割を果たそうとしているかを考えてみたい。

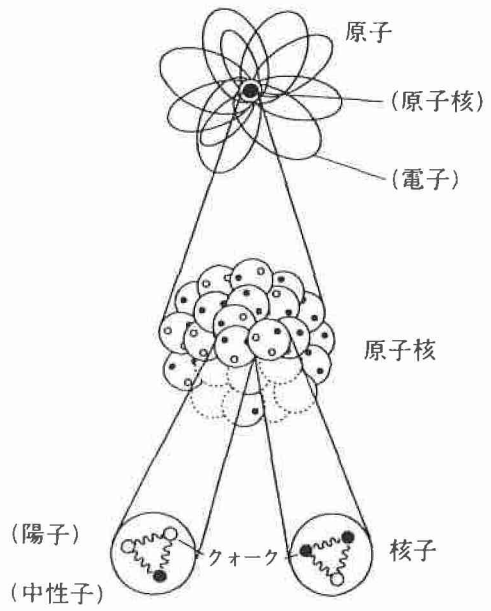
２．物質の安定性と放射線

多数の水分子が集まって物質としての水が存在できる。そして温度によって分子の運動エネルギーの平均値が決まる一方で，その分子運動と水分子相互の凝集力とのバランスによって氷，水，水蒸気と３つの状態をとる。室温付近（300 K）での水分子の平均速度は約 600 m/s であるが，この程度の速さで互いに衝突しあっても水分子自体は全く壊れることはない。そのため水分子は堅くて決して壊れることのないもの，さらには元素の一つとして長い間考えられてきたのも無理からぬ事である。水分子は２個の陽子，１個の酸素原子核，10 個の電子の集まりであり，これら 13 個の粒子が相互に働く静電力のもとで定常的な運動状態を保っている。 H と O の２つの原子核の領域にまたがって電子が存在することが化学結合の状態であると理解されている。いくつもの電子が激しく動き回って振動・回転しているにもかかわらず，電磁波を放出することもなく，真空中に置かれた水分子はいつまでも安定である。また相互に衝突しあっても，室温に比べて一桁大きい衝突エ

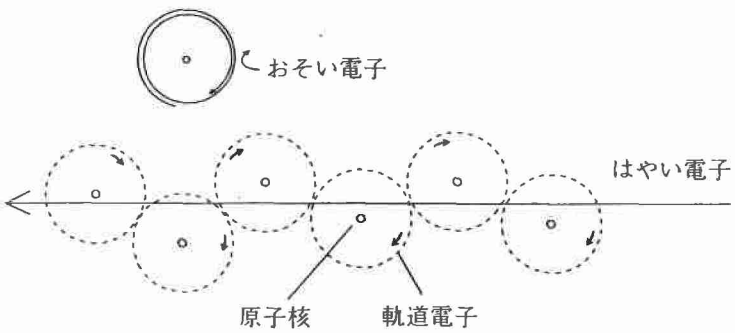
ネルギーでない限り，壊れることもなく，水分子はいつまでも安定なのである。そしてこの水分子の安定性は，後述するように，量子力学の完成(1925)を待って始めて理解されるものである。

ところで100年前に発見された放射線は，この水分子のなかを容易に通り抜けることができる。水だけではなく，放射線は一般に原子や分子を突き抜けることができるので，結局は，原子や分子からできている物体を放射線が突き抜けることになる。原子・分子の安定性とそのなかを放射線が透過するという性質は，どのように理解したら矛盾なく自然に受け入れることができるであろうか。

放射線は微細な荷電粒子が大きな運動エネルギーをもって物質中を走っている状態である。物質は，微細な粒子が互いに引力(強い力によって原子核が，またクーロン力によって原子･分子などができる)で結びついて集団を形成している状態であるが，その微細な粒子が，集団をつくらずに，物質中を単独で走る状態が考えられる(図－1，図－2)。それが放射線である。単独で走ることが可能であるためには，それ相応のスピードが必要である。例えば微細粒子の例として電子を考えるならば，その電子がゆっくりしていたらすぐに物質中の他の多くの電子や原子核からの電気的な力で跳ね飛ばされる。しかしスピードさえあれば，電子は何百何千の原子や分子を何の出来事も起こさずに突き抜け，物体の内部に侵入できる。このことは原子や分子の構造を考えると理解しやすい。原子･分子内の電子は，大体 10^8 cm/秒の速さで回っているが，原子･分子の占める空間の大部分は実は何もない空っぽの空間である。そこをすばやく(いうならば 10^8 cm/秒以上のスピードで)放射線であるところの電子が走り抜ける。



図－1　物質を構成する粒子。陽子と中性子はいずれも3個のクォークから成る。



図－2　原子の中は空っぽ。微細な原子核の近くを軌道電子が動き回っている。軌道電子の速度よりもおそい電子が原子に近づくと何回となく接触し、跳ね返される。ところが軌道電子の動きが止まってみえる程に高速の電子にとっては、原子の中は空っぽで、何百個もの原子でも突き抜けてしまう。

また電磁波の場合であっても，周波数が非常に高い($\gg 10^{17}$ Hz)とき，すなわち原子･分子内の電子が原子核の周りを振動する固有の振動数(10^{16}～10^{17} Hz)よりもはるかに高いときは，電磁波は原子･分子内電子と効率良く相互作用することができない。原子･分子内の電子にとっては，急速な電場の変化に追従できないため，10^{17} Hz 以上の電磁波を光速で通過する中性の点粒子として感知する。この光子が直接に電子に衝突(コンプトン散乱)することを除けば何の抵抗もなく原子･分子を通りぬける。

3．19 世紀における真空放電の実験

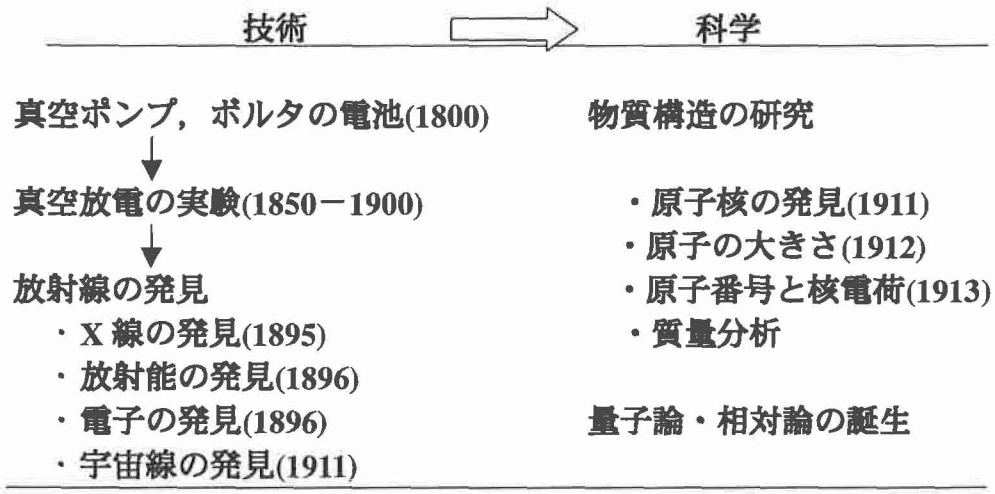
こはくと毛皮，ガラス棒と絹布，…これらを互いにこすり合わせると摩擦電気が発生する。電気をもつなにかが，一方の物質から他方へと流れるのではないかと考えられたこともあった。雷，稲妻の光が電気の作用であることを示したのは Franklin(1752)であった。1800 年には、Volta が鉛と銅を硫酸溶液にしたし，連続的に電気(=電流)を取り出すことのできる電池をつくり，そのため電気に関する研究が飛躍的に進む。たとえば Oersted の電流の磁気作用の発見(1820)，Ampère の磁石の微小回転電流説 1820)などである。また摩擦電気を用いた低圧気体の放電にともなう発光現象は既に知られていたが，真空ポンプの改良（Geisler;1858）と電池を組み合わせることにより，研究が急速に進展することとなった。例えば，Plücker は陰極から何かが出て真空中を走り陽極に向かうこと，途中でこのなにかがガラス壁と衝突して緑色光を発することなどを見出した。Goldstein はそれを陰極線と名づけた。Hittorf，Crookes，Hertz，Perrin らにより，陰極線の道筋が電場や磁場によって曲げられること，極めて薄い膜を透過すること，運動量を持っていて小さい物体を動かすことなどが分かり，その結果，陰極線が負電荷を持つ微小な粒子の高速な流れであることがわかってきた。ここで登場したのが J.J.Thomson である。彼こそは電子の発見者であると言って良く，電子があらゆる原子に含まれる普遍的な構成粒子であることを見出した。

物質中を走る電子を調べるよりは真空中を走る電子を調べる方が容易であり，理にかなっている。後で分かったことであるが，物質は電子の海であり，1 個の電子の動きを観測することはできない。また物質全体としてのある量の測定を行って，そこから特定の電子 1 個の性質を推定することも困難である。Thomson は，本質的に異なる 2 つの方法を採用している。1 つは，電子の流れ(=陰極線)に電気力や磁気力を働かせて電子の通る道筋(=軌跡)の変化を観測する。他の 1 つは，電子の流れによって真空容器の一方の端から他端に運び込まれるエネルギーと電荷のそれぞれの合計を同時に測定する。第 1 の方法は，ちょうど外野席からの野球の試合観戦で，遠くから小さいボールそのものを見ることができなくても，ボールの動きは選手あるいは観客の挙動から知り得るようなもの，これに対して第 2 の方法は，1 箇所に大量の電子を打ちこんでその全体の電荷とエネルギーの総量を同時に測定してその比を議論するというものである。測定結果は，陰極線粒子の質量/電荷の比(m/e) が普遍的な値であることを示す。二酸化炭素を入れたアルミニウム陰極でも，空気を入れた白金陰極でも，陰極線の速度がかなり違う場合でも，m/e は同じである。また Thomson は光照射した亜鉛板から放出される粒子も，熱した炭素フィラメントから放出される粒子も，いずれも真空中で同じ m/e 値をもつことを見出した(1899)。

４．放射線の発見から物質構造の研究へ

放射線の発見に至った直接のきっかけは真空放電の実験であった。真空ポンプと電気の技術を組み合わせた真空放電の実験は，19 世紀末，物質の普遍的な構成粒子としての電子の発見とさらに偶然のことからＸ線の発見をもたらした。Thomson はあらゆる種類の原子に共通に含まれている電子の存在を確信した(1897)。また高エネルギーの陰極線（＝電子）が放電管壁に衝突するところから，物体を透過する電磁波（＝Ｘ線）が発見され(Röntgen:1895)，その機構をしらべようとしていた Becquerel が偶然のことから原子核の崩壊現象に伴う自然放射線を発見(1896)，さらにその放射線を放出する物質が分離(Curie:1898)され，また自然放射線の種類と実体が解明された(Rutherford)。

さらに結晶格子によるＸ線の干渉効果も発見され，Ｘ線の波長，結晶格子の間隔，干渉の結果であるＸ線の散乱方向の３つの間の関係式が提出され(Bragg:1911)，３つのうちの２つを知れば残りの１つが求められるようになった。X 線を用いる結晶構造の研究は 1912 年に始まった。細い X 線束を結晶に当て，散乱される X 線を写真乾板で受けると大きなスポットを中心に小さなスポットが規則正しく並んだ写真が得られる（Laue;1912）が，結晶格子が回折格子の役を果たしたものであった。こうして Laue と Bragg によって X 線構造解析が始まる一方で，Moseley は電子線をいろんな物質に衝撃して発生する X 線の波長を測定し，その波長と物質中の元素の原子番号 Z との間で密接な関係があることを示した（Moseley;1913）。すなわちある元素から原子番号が 1 だけ大きい元素に移ると原子核の電荷は 1 単位だけ増大する。X 線分光学は原子構造の解明に重要な役割を果たすことになった。



図－3　放射線の発見を中心とする技術から科学への発展

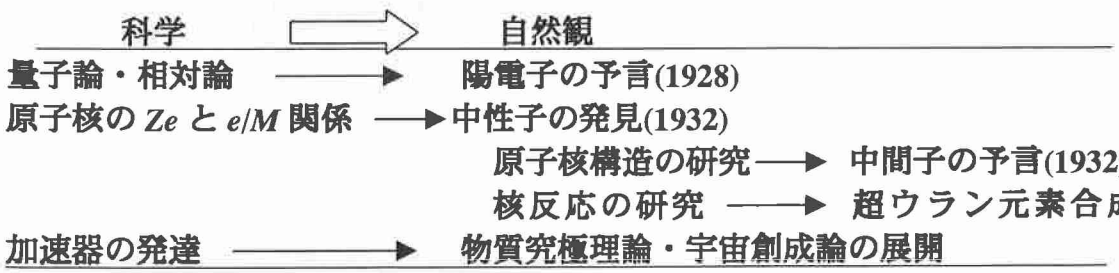
原子内を走るα線の通る道筋を解析することから，原子の構成要素としての正電荷をもつ原子核の存在(Rutherford:1911)だけでなく，原子番号 Z の原子核が Z 単位の電荷を有することも明らかになった。Rutherford の仕事の意義は，「原子のもつ正電荷と質量は小さな原子核の中に集中しており，その周りを負電荷をもつ電子が回っている」という原子構造を提案(1911)しただけでなく，それを調べる手段を発見したことである。この方法は，放射線(=加速粒子)を用いる物質構造の研究方法として今日も使われている。

こうして微細な高速の粒子（＝放射線）と物質との相互作用についての知見が得られるにつれて，原子中の電子の運動状態を理解する準備が整ってきた(Bohr:1913)。その記述にふさわしい新しい力学理論が必要となって，量子論と相対論が誕生したと考えられる。量子論では、微細な粒子が他の粒子と相互作用しないでひとりで運動する間は波と同じように振る舞うが，他の粒子と相互作用（エネルギーをやりとり）するときは粒子と同じように振る舞うこと，そして原子核に束縛された電子の場合のように狭い空間に閉じこめられた波はいくつもの定在波としてのみ存在する，さらにある定在波から別の定在波への移り変わり（遷移）は電磁波の放出・吸収を伴うこととして理解されることが解明されてきた。

また，Maxwell 理論による真空中の電磁波(光)の速度 $\mathbf{c}$ は座標の取り方に依存しない。Einstein (1905)は、これを物理法則の１つとみなし、そして力学法則を含むすべての物理法則が座標系によらない(相対性原理)ものと考え，これに基づいて時間・空間の概念を考え直した。その結果，粒子が静止していても質量 m にもとづくエネルギー(mc^2)をもつこと，質量を持たない粒子（光子：エネルギーE）も運動量 E/c をもつことを示した。

４．放射線の発見その後

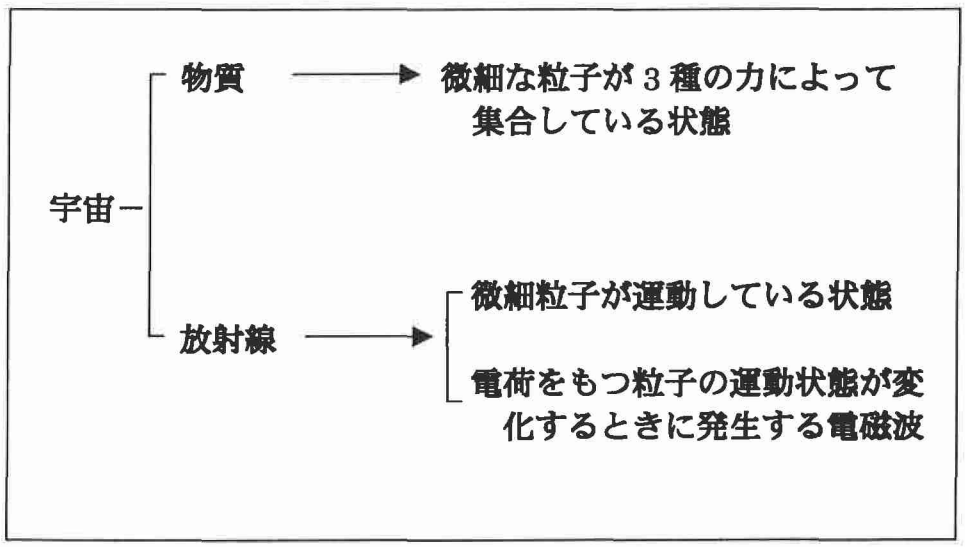
原子番号 Z の原子の核電荷（Rutherford や Moseley の方法）と質量（Thomson 及び Aston らの質量分析器の方法による）を比較すると，原子核には陽子と同じ質量で中性の粒子が存在することが予想される。これを確認したのが Chadwick の中性子の発見である(1932)。つぎの課題は原子核の構成要素（陽子と中性子）を結びつけている力で，これが相対論と量子論に基づいて展開された湯川の中間子の予言(1934)である。これはまた素粒子物理の展開を促す結果となった。他方，中性子は，電荷をもたないために容易に原子の中に進入でき、核反応の研究を盛んにし(Fermi;～1933)，核構造の研究を可能にした。 他方、中性子はそれまでのα線に代わる原子核反応の研究 (Fermi) を盛んにし、核分裂の発見 (1939) とともに超ウラン元素合成への関心を引き起こした。また相対性理論と矛盾しない量子力学の研究からは反粒子の存在が予言され (Dirac:1928)、陽電子の発見 (1932) がなされた。



図―4　放射線発見に関係する科学から自然観の確立

原子から原子核へ、そしてさらに核子へと物質構造の研究がすすむが、ここで用いられる研究手段の原理は Rutherford が行ったα線散乱の方法である(ワインバーグ, 1986)。天然のα線のエネルギーは数 MeV であるが、重い原子核の内部に、さらに核子の内部に侵入できるために必要なエネルギー(荷電粒子のスピード)ははるかに大きい。こうして 1930 年代以後はもっぱら人工的に荷電粒子を加速する方法が採用されている。加速エネルギーの大きさはますます大きく、それから得られる高エネルギー現象は物質構造の究極理論とともに宇宙創成論の問題を解明するのに不可欠の道具となっている。

すなわち現代宇宙論は，物質構造論に対して予言ができるまでに発展しており，それをさらに高エネルギー加速器によって検証することも可能なのである。ビッグバン模型では，宇宙は高温高密度の状態から生まれ，10^{-6} 秒後に陽子と中性子が生成，1-1000 秒後に冷却が進み，軽元素の合成が始まった。元素合成理論によれば，元素合成当時の中性子，陽子，輻射のそれぞれの密度が与えられれば合成軽元素の存在比が計算できる。輻射密度は，当時の宇宙の膨張率を決めるので元素合成に関係する。物質をつくる基本粒子の数によってニュートリノの種類の数も変わり，それによって宇宙の膨張率（すなわち宇宙の冷却速度），したがって元素合成が始まる際の中性子/陽子の比が変わる。現在の宇宙空間にあまねく存在している軽元素の濃度の測定から物質を構成する基本粒子の数(族の数)を決めることができる。また弱い相互作用を媒介する中性のボソンを加速器で大量に生産してその正確な寿命が測定される。その寿命を説明するためにボソンの崩壊様式が分かり，ここからもニュートリノの数，したがって基本粒子の族の数が求められる。また加速器で重い原子核を激しく衝突させて高温高圧状態をつくり，クオーク・グルーオンプラズマの生成や基本粒子の質量を生むヒッグス粒子の生成などが計画されている。



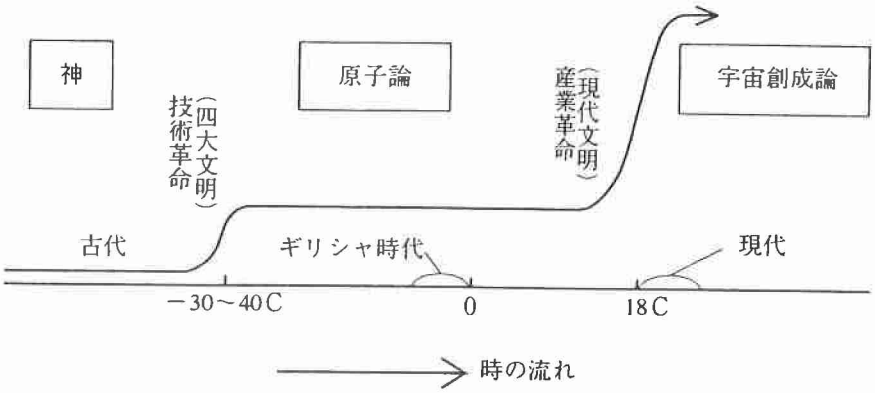
図—5　宇宙における物質，放射線，電磁波の関係

5．技術と科学と自然観の確立；科学の進歩

「万物はどのようにつくられているか？」,「この宇宙はどのようになっているか？」などの問題は，われわれにとって重大な関心事である。古代人にとっても，それは同様に重大な問題であったと思われる。好奇心からだけでなく，ときに過酷な「自然」に立ち向かって人間が生きる，あるいはより良く生きるために，それは考えなければならない問題であった。ここから科学と技術が始まる(片山，1976)。科学は，「自然」をありのままに認識することを目指す。これに対して「技術」は，「自然」に働きかけてこれを変える，あるいはなにかを製作する，すなわち人間の利益を目指すと言える。海上あるいは砂漠で方角や季節を知りたい，ピラミッドのような建造物をつくる，食糧を確保する，寒さ暑さから身を護ることなどを考えてみれば，人間が生きることと科学や技術の関係は容易に理解できよう。

人類の誕生は数百万年前とも言われるが，火を使い，言語を使う人間はおよそ 50 万年前から地球上に存在している。人間がよりよく生きるために，自然に働きかけを始めたのはわずか 5、6 千年前である。食物採集から食糧生産へ，石器の採掘･加工から金属の使用，手工業の発達――こうした技術革命が黄河文明、インダス文明、チグリスユーフラテス文明、エジプト文明などの古代文明を生んだのである (G.チャイルド，1965)。第 2 の技術革命は 18 世紀末から始まる産業革命を頂点とするものである。

第 1 の技術革命は人類の生活様式を変え，社会体制を変えるとともに，科学を生んだ。その科学は，自然を観察し，知識を蓄えるという科学の進歩である。しかし，ギリシャ人の科学は，豊富になった自然現象の観察結果に対する考え方(＝自然観)を論じたものである。いうなればギリシャ人の科学は人類の第 1 の技術革命の完成を意味するものと言える。第 2 の技術革命では，化石資源をエネルギー源に，電気を動力源に，電子や電磁波を情報伝達手段にして，高分子･セラミックスを駆使した先端技術の開発もとどまることを知らない状況であり，自然に対するわれわれの理解･経験は大いに進展してきた。現在もなお革命のさなかにある(図－5)。そして同時に，ギリシャ時代におけるような(技術革命の完成期におけるような)理論づけが既に始まっている。力の統一理論，すべてを理解する理論（Theory of Everything），生命の起源，宇宙創成論などである。それはやがて人類の新たな自然観(＝自然はこのように成り立っているという思想)の構築へと結実するのであろう。こうした流れの中で放射線がどのような役割を担ってきたのかを考えてみたいものである。すべてのものを構成する基本粒子の存在形態に 2 種が考えられる。1 は力によって相互に集合した物質であり，他はエネルギーをもって単独に運動する放射線である。



図－6 2つの技術革命と人類の進歩。縦軸は人類の進歩を示し、例えば人口増加でもよいし、あるいは自然に対する人類の知識の程度でもよい。この知識をもとに自然観ができる。自然観の例としては、古代における神、ギリシャ時代における原子論、現代における宇宙創成論（＝物質究極理論）がある。

5．まとめ

いわゆる産業革命を頂点とする人類の第 2 の技術革命(電磁気，真空技術，化学的経験)の結果として，技術の中から発見された放射線は，原子の中を通り抜けるという性質により，物質構造を研究する基本的な道具を提供し，「万物はどのようになっているか？」の科学に決定的な役割を果たしつつある。また加速器を用いる高エネルギー粒子(＝放射線)は、物質の究極構造の研究のみならず，高エネルギー密度状態を生成するということから「この宇宙はどのようになっているか？」の宇宙創成に関わる人類に共通の大問題に向かう強力な手段となっているのである。

参考文献

片山泰久：現代物理入門，講談社学術文庫, 1976.
G.チャイルド：文明の起源(上，下)，岩波新書 66,a,b. 1958.
坂本賢三：科学思想史，岩波全書 339, 1970.
坂本賢三：先端技術のゆくえ，岩波新書, 362, 1987.
E.セグレ：X 線からクオークまで: 20 世紀の物理学者たち．みすず書房, 1982.
S.ワインバーグ：電子と原子核の発見，日系サイエンス社, 1986.
D.N.シュラム、G.ステーグマン：粒子加速器が検証する宇宙論の予言，サイエンス 18, (8)9, 1988.
佐川弘幸：灼熱の小宇宙，丸善フロンテアサイエンスシリーズ, 1987.

「放射線教育」投稿規定

1999. 6.11

（1）掲載論文の種類

①投稿論文　　会員（または非会員）の投稿論文
②依頼論文　　編集委員会が執筆を依頼した論文
③他紙からの転載論文　　編集委員会から転載許可手続きをとる

（2）掲載する論文の内容

①放射線・放射能に関する分かりやすい論説、解説、および関連の深い事項(エネルギー，環境、リスクなど)
②放射線教育に関する実践報告、提案、批判など
③放射線教育に役立つと思われる論文，書籍などの紹介

（3）原稿の書き方

①原稿はそのまま印刷できるようにワードプロセッサーで作成する。
②用紙はＡ４、１ページに 40 字ｘ40 行、上下左右各 30 mm 空けて書く。
③文字の大きさは表題 16 ポイント、その他本文など 10.5 ポイントとする。
④第１行目に表題、２行目に氏名、３行目に所属、４行目にカッコ内に住所を書く。
⑤本文の前に［要約］（150－200 字程度）をつける。
⑥原稿は原則として 10 ページ以内とする。
⑦使用言語は日本語とする。

（4）掲載までの手順

編集委員会は、レフリーに査読を依頼し、著者に修正を求めたり、掲載をお断りすることもある.

（5）論文の版権

掲載された論文の版権は、放射線教育フォーラムに属するが、論文内容は著者の責任とする。

（6）原稿の送付

本文およびフロッピーを同封してください。

（送付先）〒152-8550　東京都目黒区大岡山２－１２－１
東京工業大学原子炉工学研究所　小高正敬
封筒の表に「放射線教育原稿」と朱書する。

【編 集 後 記】

教育や教訓とは“どうしても”という切羽詰まった状態にならないと身につかないものでしょうか？生きていく上で自然に身につけていく事と異なり、知識は“どうしても”という必要性がないと身体に覚え込ませる事は難しいのでしょうか？『試験にでるから』と思って勉強した内容は『試験』が終われば、跡形もなく消え去っています。それに比べ、一度痛い思いをして覚え込んだ事は、その内容を痛さとともに記憶に残しています。ガラス細工の直後に不用意にそのガラスに触って、熱い思いをした方は少なくない筈です。ガラス細工の直後は熱いもの、少し時間が経てばそれも冷めて触る事ができる事、そうすればガラス細工も決して危険な作業でない事を、その時学んだ筈です。今回のJCOの事故は、そうした痛い、痛い出来事で、この痛さをもって放射線の本当の危険性と、放射線の正しい扱い方を教えてくれたのです。これまで以上の、何倍もの教育を残してくれた事を私達は、この痛みとともに決して忘れてはなりません。

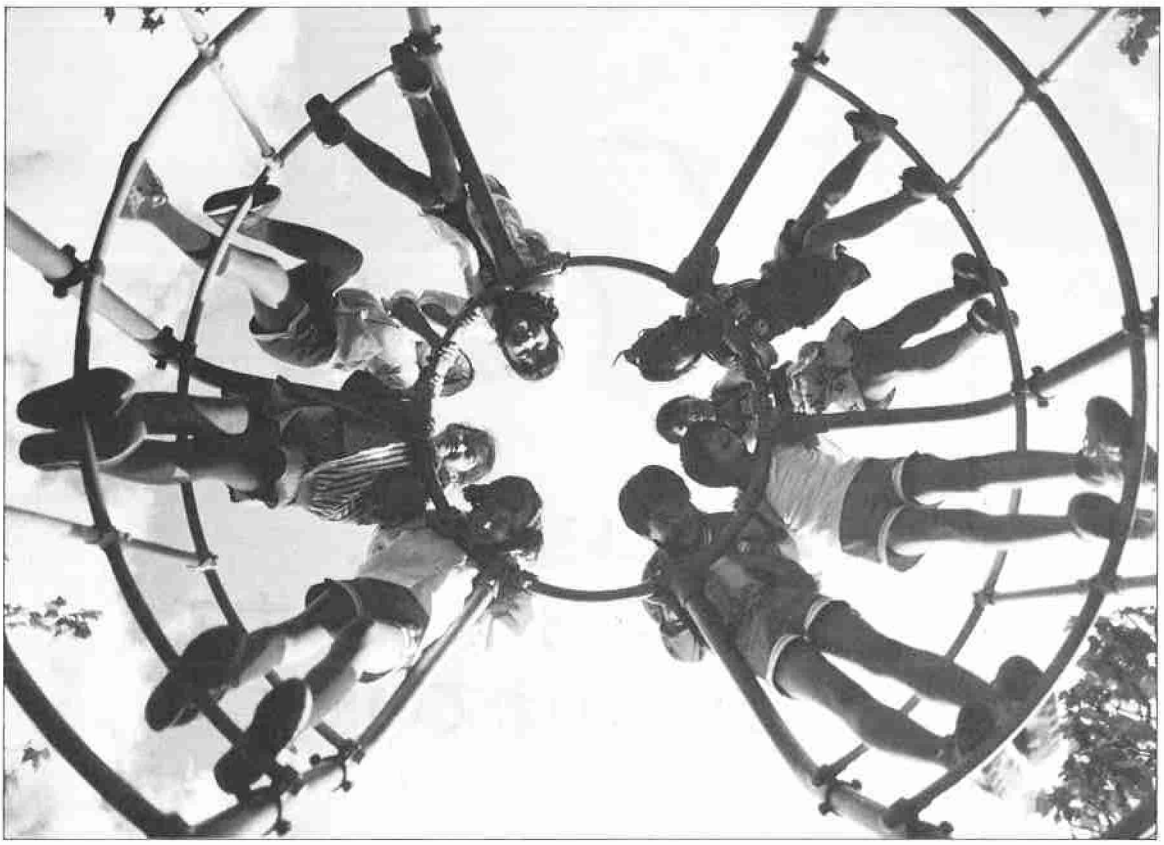
———— 中村佳代子

放射線教育　Vol. 3, No. 1(1999)
発行日　2000年3月
発行者　放射線教育フォーラム　（会長　伏見康治）
編集者　放射線教育フォーラム編集委員会
委員長　渡利一夫（放射線医学総合研究所）
委 員　大野新一（理論放射線研究所）
菊地文誠 (東海大学理学部)
小高正敬（東京工業大学原子炉工学研究所）
村主　進 (原子力システム研究懇話会)
中村佳代子 (慶応義塾大学医学部)
村石幸正（東大教育学部付属中･高校）
顧 問　今村　昌　（理化学研究所名誉研究員）

事務局　〒105-0003　東京都港区西新橋1-17-2
三和第一ビル5F
Tel/Fax: 03-3591-5366
E-mail: mt01-ref@kt.rim.or.jp

Japan Association for Promotion
of Science Education and Equipment

明日の地球を担うサイエンティストたち
みんなの好奇心を応援します。



(社)日本理科教育振興協会は，学校教育用理科機器・算数数学機器およびそれらの関連教材の健全な発達と普及を図り，わが国の学校理科教育の振興に寄与する事を目的とする，文部省主管の公益法人です。会員数は全国約2,000社，文部省委託事業をはじめ各種展示会・講習会等，教育用理科機器の普及・啓発に関する幅広い活動を行っています。

協会証紙のついた製品の品質はメーカー保証に併せ，さらに協会の保証が約束されております。理化学機器のご購入にあたっては，信頼ある理振協会会員へご用命下さい。

社団法人 日本理科教育振興協会

〒101-0052 東京都千代田区神田小川町3-26(山本ビル3F)
TEL. 03-3294-0715 FAX. 03-3294-0716
URL : http : /www.vinet.or.jp/japse

Back　Next　Home　Search　Bookmark

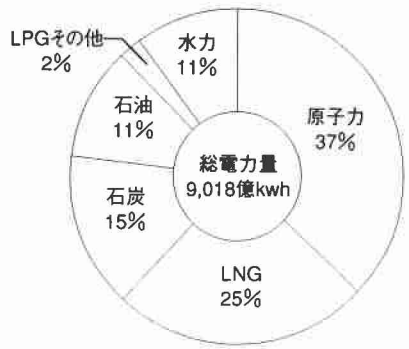
http://www.fepc.or.jp

Natural Energy　Nuclear Energy　Radiation　Environment　Mail

Yes

はい。現在、電気の37%は原子力でまかなわれています。

●電源種別別発電電力量構成比
【10電力・卸電気事業者・卸供給事業者その他】



全国9つの電力会社でつくる
電気事業連合会

電事連のホームページにぜひアクセスを
http://www.fepc.or.jp

Print

Security

Relord

Stop

info by FEPC

Electric Power

日本はエネルギー資源の約80%を輸入に頼っています。

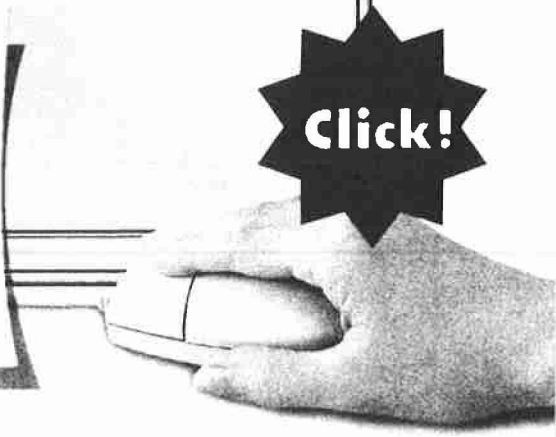
2度にわたるオイルショックを経て、エネルギー資源のほとんどを海外に頼っている日本では、石油だけに頼らない資源確保が大きな課題となりました。原子力発電の燃料であるウランは石油等に比べ、ごく少ない量で大量の発電を行うことができます。また、石油や石炭、ウランなどの資源には限りがありますが、ウラン燃料の場合はリサイクルできるので長期にわたって安定したエネルギー資源として利用することができます。

水力、火力、原子力をバランス良く組み合わせています。

電気は貯めておけないエネルギー。使われる量を予測しながら24時間作り続けなければなりません。
そのため、エネルギー資源の乏しい日本ではいろんな電源の特性を生かしてバランス良く組み合わせています。安定して発電できる原子力をベースに、電力需要が増えたときには、火力発電で対応。さらに電力需要のピークのときには、需要の変動への対応力にすぐれている揚水式水力発電というように、これらの組み合わせ(その時々に合ったベストな組み合わせ)により常に安定した電力供給を行っています。

Energyにもっともっとアクセス

北海道電力…http://www.hepco.co.jp
東北電力…http://www.tohoku-epco.co.jp
東京電力…http://www.tepco.co.jp
中部電力…http://www.chuden.co.jp
北陸電力…http://www.rikuden.co.jp
関西電力…http://www.kepco.co.jp
中国電力…http://www.energia.co.jp
四国電力…http://www.yonden.co.jp
九州電力…http://www.kyuden.co.jp



資源・エネルギー・原子力・環境について知りたいこと、疑問に思うことはありませんか?

①「**エネルギーと環境**」**教育問題懇談会**を設置し、調査研究や提言を行っています。

②「**エネルギーと環境**」**講座**では、学校の先生方に最新の情報を提供しています。

③10月26日の「原子力の日」を記念して、**中学生や高校生から作文・論文を募集**し、入選者を表彰式と施設見学会にご招待します。

④高校生を対象に**放射線実習セミナー**を開催し、放射線に関する基礎的知識を講義と実習を通じて習得できるように、お手伝いします。

⑤先生方の研究会や勉強会に**講師を派遣**したり、発電所などの**施設見学会の開催**をお手伝いします。

⑥エネルギー、原子力などに関する、**ビデオや写真を貸し出し**ています。

●講師派遣などの経費は無料です。
●お問合せは、電話、FAX、または手紙でお願いします。

財団法人日本原子力文化振興財団

〒105-0004 東京都港区新橋1-1-13 企画部 ☎03-3504-1381 ㊫03-3580-8188

インターネットで識る原子力事故情報

（財）高度情報科学技術研究機構
伊勢　武治

原子力事故が起きれば、マスコミ、評論家をはじめ、関連官庁、原子力施設立地サイトの人まで関連情報探しに躍起となる。散在する情報から読み切り型の解説にまとめてある「原子力百科事典ATOMICA」（*http://atomica.rist.or.jp/index.html*）を知っているとなにかと得をする。インターネット発信なので、このご時勢都合がよい。データに図表がついているのも親切だ。この「ATOMICA」中から原子力全般にわたる事故解説データについて紹介する。

１．海外の原子力発電所における主な事故(2-7-4-17)
　ウインズケール燃料溶融（英）、SL1出力逸走（米）、ブラウンズフェリー－１火災（米）、TMI-2冷却材喪失（米）、サンローラン燃料冷却流路閉塞（フランス）、チェルノブイル原子炉破損（旧ソ連）など原子力発電が始まって以来の主な事故１２件を解説。
２．海外の高速炉におけるナトリウム漏洩事故(3-1-3-8)
　旧ソ連のBR-5,BN-350,BR-600，英国のDFR,フランスのPhenix,SPXの事故１６件を解説。
３．海外の高速炉における事故（ナトリウム漏洩を除く）(3-1-3-10)
　米国のEBR-1,EBR-2,Fermi,FFTF,英国のDFR,PFR，旧ソ連のBR-5,BN-350,BR-600,フランスのPhenixなどで起きた事故１４件を解説。
４．海外の研究炉における主な事故(3-4-10-1)
　1942年以来550基以上の研究炉が建設され、現在でも約300基が稼働中である。事故44件について、事故発生原因を、反応度事故、冷却材流量喪失事故、冷却材喪失事故、および機器・部品の故障あるいは誤作動の４つに分類した表にし、主な事故７つについて解説。
５．核燃料物質等の輸送中の事故(12-2-3-6)
　米英については表にまとめている。陸上輸送ではトラックの衝突あるいは横転でのイロケーキ漏出事故をいくつか紹介、海上輸送ではモンルイ号が六フッ化ウラン海上輸送中衝突沈没した事故（容器は引き揚げられ、漏出は無かった）を紹介。
６．海外の核燃料施設における臨界事故(12-2-3-2)
　欧米・ロシアで起きた事故２０件における核分裂数、臨界時状況、警報の有無、事故者被ばく状況などを表にまとめ解説。
７．世界の再処理施設における火災・爆発事故(12-2-3-3)
　事故８件について解説。
８．その他放射線被ばく事故
　Cs-137が盗難・解体され被ばくした事故（死亡４人、ブラジル）、安全扉が開いていて被ばくした事故（死亡２人、中国）、放射線治療ミスで起きた被ばく事故（死亡３人、コスタリカ）、ＲＩとは知らず下宿に持ち帰って被ばくした事故（手指切断、日本）を含む、照射施設、医療施設、滅菌等で起きた放射線被ばく事故１５件を大項目９の個別データで解説。

あとがき

ウッソウと思うかもしれないが、上記したように、原子力事故が過去に多く起きている。これらを教訓とすべし、と毎度の結論となる。事故は、先進国、開発途上国にかかわらず起きている。また、職務中（あるいは職場で）ばかりでなく、盗難、拾得物からも起きている。戸締まりを含む安全管理に手抜きは禁物とまた悟る。

放射線利用の事業の振興と原子力技術交流の推進のために

◎普及事業

- 技術誌「放射線と産業」、専門書等の刊行
- シンポジウムの開催、研究委員会による調査研究活動
- 「原子力体験セミナー」の開催

◎照射事業等

- シリコンの中性子ドーピング
- 放射化分析による微量不純物の同定・定量
- 原子力・宇宙用材料、部品等の耐放射線性試験
- 高分子材料の改質と水晶・真珠などの彩色
- 線量評価

◎放射線利用技術・原子力基盤技術の移転

- 専門家の派遣、技術者の研修
- 「技術移転セミナー」の開催
- データベースの整備・提供

◎国際研修、技術者の交流等

- 「原子力安全セミナー」の開催
- アジア・太平洋原子力技術協力の推進

◎各種国際協力事業

RADA
RADIATION APPLICATION DEVELOPMENT ASSOCIATION

(財) 放射線利用振興協会

http://www.rada.or.jp

本部・東海事業所：〒319-1106 茨城県那珂郡東海村白方白根2－4 TEL 029(282)9533

高崎事業所：〒370-1207 群馬県高崎市綿貫町1233 TEL 027(346)1639

国際原子力技術協力センター：〒319-1106 茨城県那珂郡東海村白方白根2－4 TEL 029(282)6709

http://www.taishitsu.or.jp/ ー放射線と健康の知識の泉ー

ジャンプ先を選択して下さい

Millennium 2000

百万遍ネット

このサーバは（財）体質研究会とイメリタスクラブにより共同運営されています

Topics 今月のトピックス

Emeritus Club

Health Research Foundation

Index

- 生活と健康：くらしのなかの長寿学
- 要素非還元主義に基づく健康効果指標の研究
- ハイパーサーミア：癌の温熱療法
- 放射線照射利用促進委員会
- 太陽紫外線との共存をめざして
- 日本スカイクロス協会
- 出版物のご案内

English

〒606-8225 京都市左京区田中門前町103-5 パストゥールビル５Ｆ
Phone:075-702-1141 Fax:075-702-2141
E-mail: emeritus@mail.taishitsu.or.jp

021381 (since 1999.1.1)

◇生活と健康：『くらしのなかの長寿学』

- 日常生活のリスク(2000.1.13 更新)
- 世界の高自然放射線地域とその住民(1999.11.24 更新)
- 放射線は生命にどう働くか：連続講座「謎解き放射線生物学」(2000.2.1 更新)
- 食餌とがんの予防 (2000.1.11 更新)
- "放射線"もの知りメモ(1999.12.30 更新)
- 老化の科学入門(2000.2.1 更新)

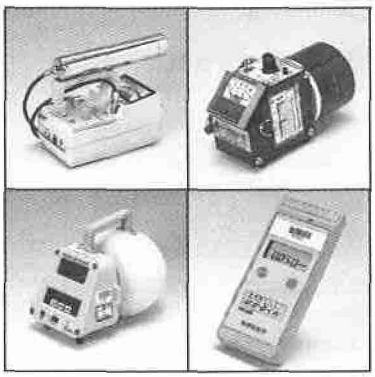
◇今月のトピックス：『2000年2月トランス・サイエンス再訪』

過去のトピックス

2000年1月	・2000年を迎えて：昨年の反省と今後への展望
1999年12月	・私の主張：放射線防護体制の確立を
号外(11/8)	・JCO臨界事故での放射線量をめぐって
1999年11月	・私の主張：未来学再訪
1999年10月	・放射線を受けるとどんなことが起こるか？東海村ウラン工場臨界事故の教訓
1999年9月	・小児白血病をめぐる永い話も漸く結末か
1999年8月	・私の主張：ものづくりの知に学ぶ
1999年7月	・私の主張：日本を若返らそう ・糖尿病の新しい薬？
1999年6月	・「紫外線と皮膚」 ・ベータカロチンとがん

放射線測定の信頼性向上に

ー作業環境の安全確保にー



JCSS 認定事業者　　作業環境測定機関

業務内容

★放射線測定器の点検校正
★放射線測定器の特性試験
★放射線測定器の基準照射
★放射線計測技術の調査及び試験研究
★作業環境測定
★放射線(能)測定
★「はかるくん」無料貸出
★原子力関係要員の研修

放計協

財団法人 放射線計測協会

〒319-1106 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4（日本原子力研究所内）

http://www.irm.or.jp/　　TEL.029-282-5546 FAX.029-283-2157

「そんなに掘り続けて大丈夫」？

エネルギー資源にはすべて限りがあります。今後は原子力など高度な技術エネルギーをさらに利用し、限りある地球資源を子孫に残してゆくことが私たちの使命だと思います。

三菱PWR原子力発電プラント

三菱重工

本社 原子力事業本部 〒100-8315 東京都千代田区丸の内2-5-1 電話(03)3212-3111
支社 関西／中部／九州／北海道／中国／東北／北陸／四国

AMP TEK | X-RAY AND GAMMA RAY DETECTOR HIGH RESOLUTION CZT CADMIUM ZINC TELLURIDE | XR-100T-CZT

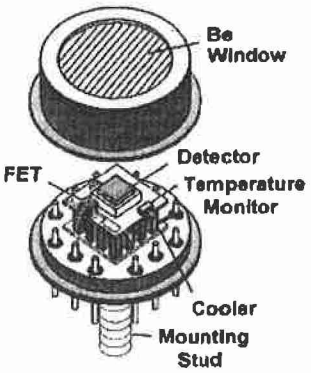
ＣＺＴ高分解能Ｘ線検出器

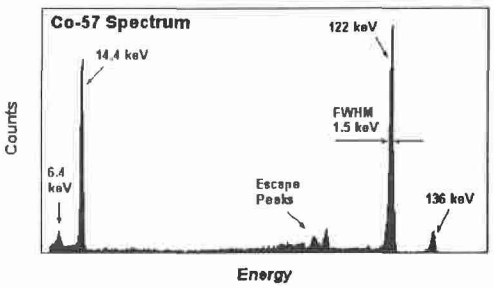
（特長）

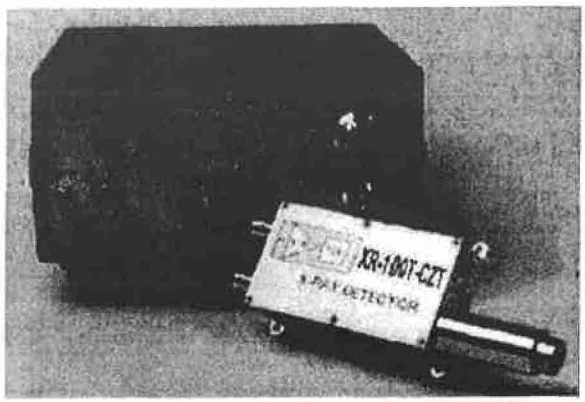
ペルチェ冷却 CZT 検出器
温度モニタ機能内蔵
Be（ベリリウム）入射窓
低ノイズ冷却型 FET

（アプリケーション）

医療用Ｘ線検出器
ポータブル型測定器
教育用実験機器
簡易型Ｘ線モニタリング







カタログ請求・製品についてのお問い合わせ等
ございましたら、下記までお申し付け下さい。

セイコー・イージーアンドジー株式会社

千葉県松戸市高塚新田５６２　〒２７０－２２２２
TEL:０４７－３９２－７８８８
FAX:０４７－３９１－０９８５
Email　：　Info.seg@sii.co.jp

Aktiv Lab

Isotrak™

放射能についての実験用デモンストレーションセット

Aktiv Labは放射能の基本特性を学習するのに必要な教材をまとめたセットです。放射線源には、短寿命の放射性核種Ba-137m（半減期約2.6分）のジュネレータを使用しており、詳しい実験の手引き書が付属しているので学校教育、訓練コース等でお使いいただくことが出来ます。

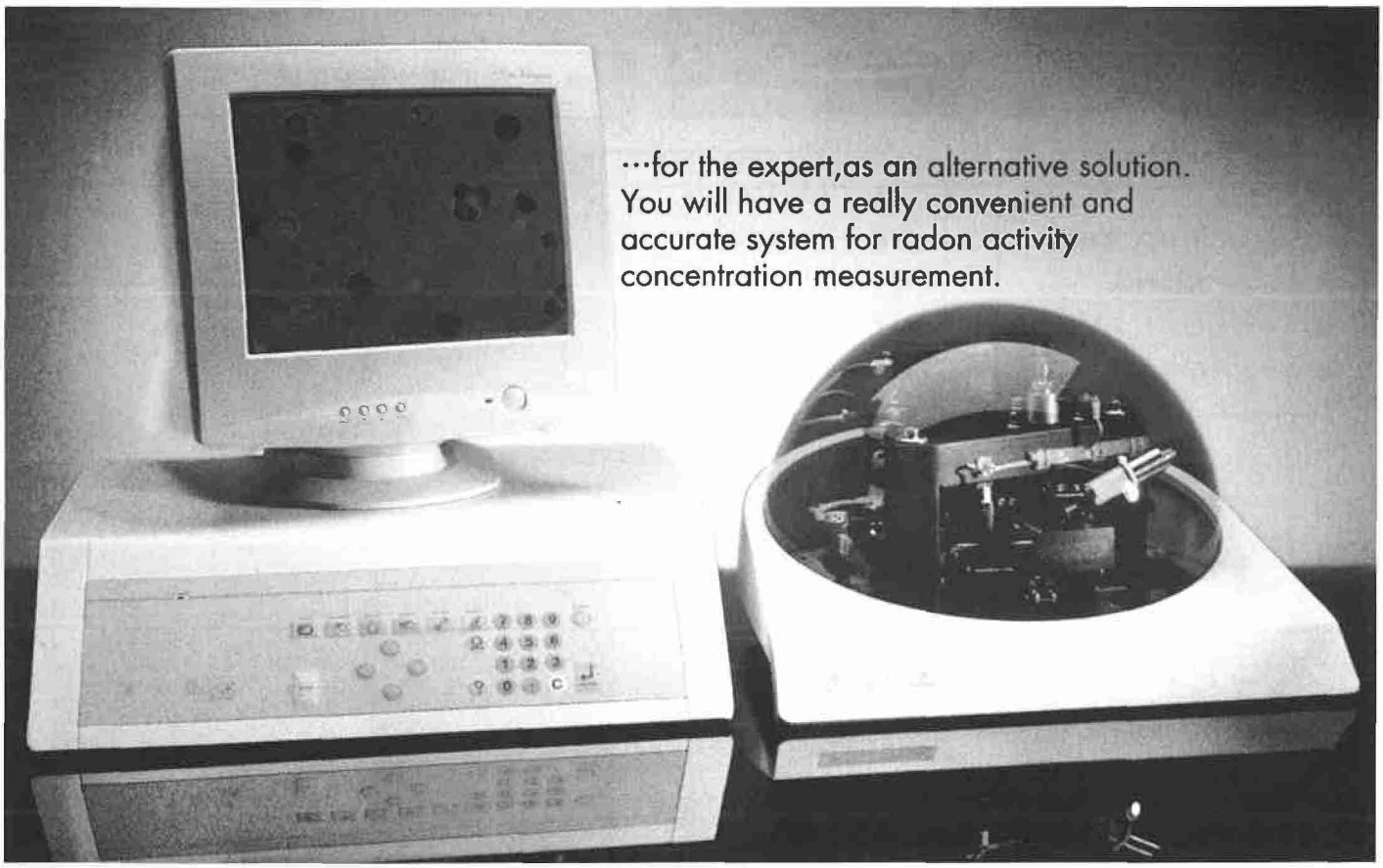
※Aktiv Labを使って次の実験を行うことが出来ます。

- ■放射性壊変の統計的性質の考察
- ■GM計数管のプラトー特性の測定
- ■Ba-137mの半減期測定
- ■γ線の鉛による吸収
- ■放射線量の逆二乗則
- ■放射線源の放射能の算出

TECHNOL

株式会社千代田テクノル

〒113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル
TEL03（3816）2531　FAX03（5803）1939



ラドン濃度測定装置

Rado sys

AZ-5500

RADOSYSはラドン測定に必要な、ディテクタ、エッチング機器、顕微鏡、自動計測システム等全てを備えたシステムです。RADOSYSは、オートフォーカス機能を備えた顕微鏡と画像処理による自動計測ソフトにより、従来人間が行っていた飛跡計測を完全自動化しました。ディテクタは10×10×1mmのCR-39を使用し、RADOSYS専用のID番号が刻印されており飛跡測定時に自動的に読み込むため個々の識別が容易です。RADOSYSは、簡単操作で初めての方でもすぐに精度よく迅速にラドン測定ができます.

特徴

- ●オートフォーカス機能を備えた顕微鏡と画像処理ソフトにより、全自動で飛跡計測ができます。
- ●計測時間が非常に短く、1つのディテクタを平均45秒で計測します。
- ●自動的にディテクタのID番号を読み取るため、個々の判別が容易です。
- ●計測中はリアルタイムで顕微鏡画像が見られるため計測状況の確認が容易です。

ANZAI

安西メディカル株式会社

●本　　社／〒141-0033 東京都品川区西品川3-6-25
TEL.03-3779-1611（代） FAX.03-3779-6606
●本社営業部／TEL.03-3779-1611（代） FAX.03-3779-6606
●大阪営業所／TEL.06-6304-4651（代） FAX.06-6304-4468
●名古屋営業所／TEL.052-586-6818（代） FAX.052-586-6877
●本社技術部／〒141-0033 東京都品川区西品川3-9-15
TEL.03-3779-2571（代） FAX.03-3779-2573
●サービスセンター／〒141-0032 東京都品川区大崎2-6-9
TEL.03-3779-2611（代） FAX.03-3779-2620
●横浜工場／〒223-0057 神奈川県横浜市港北区新羽町1753
TEL.045-546-3268（代） FAX.045-546-4586

湘南国際村での国際シンポジウム（1998年12月）では、

同時通訳をご利用頂きました。

代表　　郷農彬子

各省庁研究費公募及び配分、内容等も紹介

我が国唯一の基礎科学専門紙

研究助成団体の募集及び結果
文部省、科学技術庁等の情報
教授人事、国際会議派遣、大学ニュース、研究成果など

海外科学ニュース
海外雑誌を航空便で取り寄せ翻訳速報

その他の主な内容
人物紹介、海外出張者、国内科学ニュースダイジェスト、
学協会行事、科学雑誌・学協会誌目次総覧、外国雑誌、
新刊案内、書評、新製品紹介、研究所紹介、科学読物、
教授・助教授等公募、西澤潤一氏自伝連載中

科学新聞
週刊（金曜日発行）

1カ月　1,835円
6カ月　9,700円（前納）
1カ年 18,350円（前納）
（送料・消費税込）

科学・技術・医学用語など60万語の辞書を装備！！
米国商務省・日英科学文献機械翻訳センターで採用！ 科学技術庁 科学技術振興調整費による成果！

パソコン用ソフト **JICST日英機械翻訳システム**

Windows版 ―――― 定価（本体120,000円＋税）
Macintosh版 ―――― 定価（本体120,000円＋税）
（CD-ROM1枚、ユーザーズ・マニュアル1冊）

科学新聞社
東京都港区浜松町1-8-1（〒105-0013）
TEL 03-3434-3741　FAX 03-3434-3745
http://www.sci-news.co.jp

放射線防護教育とともに。

東京映画社は昭和50年より約30年間、放射線防護教育のための視聴覚教材を制作しています。その長い年月の中で当社は常に"人と安全"を見つめ、「真の理解を促す教材」というテーマに取り組み、放射線業務に従事する現場の方々と真剣に意見を交換し、放射線防護教育のノウハウを蓄積して参りました。
当社が制作した放射線防護教育の視聴覚教材の数は250作品にものぼります。

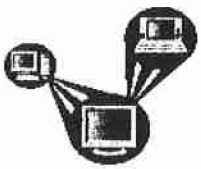
当社は今後とも、これまで培った放射線防護教育に対する真摯な姿勢を礎に、皆様の教材整備のお役に立ちたいと考えています。

Tokyo Movie Co.,Ltd.
EIGASHA 1965

ビデオ
テキスト
コンピュータソフト
CD-ROM

株式会社 東京映画社
〒107-0052東京都港区赤坂五丁目5番8号
TEL:03-3582-2726 FAX:03-3584-3625
URL http://www.eigasha.com
E-mail mail@eigasha.com

研究用のデパート



当社は研究用ガス・安定同位元素・ラボ製品・真空機器・真空部品を販売しております。

又、主仕入先との提携によるオンライン受発注システムと高効率物流システムでクイックデリバリー体制を整え、多数のアイテムをご用意して、商品をスピーディーにお客様のもとにお届けしております。
もちろんお電話・FAX・メール等の受付も行なっております。
尚、当社のホームページから商品の数々をご覧頂くことができますが、カタログ等も沢山ご用意しておりますので、御連絡頂けましたら、送付致します。
お見積だけでも大歓迎です。お問い合わせお待ちしております。

株式会社 タツオカ
〒263-0001
千葉県千葉市稲毛区長沼原町535-1
担当：関谷・澤木

TEL 043-258-3741
FAX 043-258-3760
MAIL tatuoka8@nifty.com
URL http://village.infoweb.ne.jp/~tatsuoka/