

RADIATION EDUCATION

放射線教育

2000

VOL. 4 NO. 1

放射線教育フォーラム
Radiation Education Forum

放射線教育

Vol.4 No.1

目次

巻頭言	.....後藤道夫	1
霧箱の歴史	.....坂内忠明	4
放射線教育における表集計ソフト (Microsoft Excel) の活用例	.....鎌田正裕、渡部千春	18
放射線教育は何処から来たのか 放射線教育は何物なのか 放射線教育は何処へ行くのか	.....笹川澄子	26
暮らしとリスク	.....村主 進	32
^{42}K による溶液中のKの放射分析	.....谷本清四郎	45
高校生が考える放射線	.....谷野裕子、村石幸正	53
中性子と私達=日本人 一歴史と展望一	.....荒谷美智	68
原子と原子核に関する学習指導の工夫	.....大野新一、保坂明夫	79
原爆と放射線影響研究・放射線教育	.....松浦辰男	86
投稿規程	.....	96
編集後記	.....坂内忠明	97

科学教育における親と教師の役割

後藤道夫

サイエンス・プロデューサー

(〒193-0802 八王子市犬目町 1249-1)



現在、家庭教育及び学校教育は至って大切なものであり、親も教師も心から、子どもの行動を見つめるときである。

大脳生理学の上からも、見たり、聞いたり、判断したり、行動したりする大脳の細胞は、みな異なった部位にあり、そうした脳細胞の発達はこうした子ども時代に形成されるので、脳の持つ多くの機能を一部にかたよることなく、一様に満遍なく使うことが大切である。受験勉強の大きな弊害は脳の機能の暗記部分にかたよった使い方をしていることにあり、知識はあっても、知恵の足りない人格が形成されないことに問題がある。

科学教育においては、特に実験を見たり、映像を見たりするだけでなく、自分の頭で考え、判断し、作る作業が大切で、子どものときのそうした原体験が大人になってからの行動の基礎になっていることは、多くの科学者や芸術家の語るところであり、そうした良い環境を整えて、子ども一人一人に、考え、行動する素材を与えることこそ、親や教師の役割であろう。

○私が各地で「親子科学教室」を行う理由

・親子の対話の大切さ

私が各地で「親子科学教室」を行う理由もそこにある。子ども自身に科学の原理を示す実験器具を自作させるとき、自分で考えながら試行錯誤を繰り返して実験するのを親は見ながら、曲げにくい針金を加工するのを親が手伝ってあげ、お互いに話し合っって作品を完成させ、実験をするのは、対話を通しての親子の楽しいコミュニケーションともなる。

☆アインシュタインやファインマンの子ども時代

・少年アインシュタインに方位コンパスを与えた父親

相対性理論で有名なアインシュタインも、エジソン同様、科学への強い興味は少年時代に育まれた。5才で病床に伏していた少年アインシュタインに父親は方位コンパスを与えた。彼はコンパスの針がいつも北を指すことに驚いた。目も見えず、手でも触れない力がコンパスに作用していることを悟ったときの経験がいかに印象深いものであったか後年彼自身

が語っている。

・少年ファインマンと一緒に科学実験を楽しんだ父親

ファインマンが自伝「困りますファインマンさん」で子ども時代に父親と共に色々な科学実験を楽しみ、「私が科学のあらゆる分野に強い興味を持つに至ったのは、全く父親のお蔭である」と言わしめているのも、子どもの自由な発想を伸ばすために、いかに楽しく科学を学ばせたか、指導をしたかを物語っている。例えば1例として、ビー玉を台車の上に載せて遊んでいたとき、ビー玉は台車が動き出すときと、止まるときに反対側に転がりだす。その理由を親に聞いたとき、親は台車の外側に一本の指標を立ててみるように示唆する。それによりビー玉の運動の相対性や正負の加速度の存在を理解するに至る。そうした楽しい対話と思索を通じて科学の不思議さ楽しさを遊びながら体得してゆく。こうした子どもの指導法は親にも教師にも大変参考になるものを含んでいる。

○家庭内にある物だけでも多くの面白い実験ができる

理科嫌いの風潮が始まってすでに十数年がたつ。しかし相変わらずその傾向はおさまらず、バブル崩壊後もその風潮は改まることなく、日本の将来に不安をもたらしている、不景気は社会を覆い、リストラは蔓延し、いままで会社一辺倒で過程を振り返りみなかった多くの親が否応なく家庭にもどりはじめた。徐々に家庭に親子の対話が復活する兆しが見えた。私はこうした親子の対話の糸口として、科学の易しく、面白い実験がその橋渡しにならないかどうかを考えてみた。学校の理科室にある試験管とかビーカーを使うことなく、ペットボトルや紙コップなどで、多くの実験は十分代用できる。台所が理科室に変わるのである。多くの家で使われていると思われる材料で何と 100 以上の実験が可能である。講談社の編集者と組んで、私の自宅のテーブルに多くの実験をセットし、何日か実験を繰り返し、安全で易しく面白いもの 77 種を選んで「子どもにウケる科学手品 77」という本を書いた。この本で取り上げられた実験は誰もが簡単にできるものが多く、この本がサラリーマンに良く読まれたのはそのため、早く家に帰った親が子どもと実験を楽しみ、それが親子の対話となり、コミュニケーションの場として役立っていることはこの本の初期の目的を果たしたものと見えよう。

○長野県飯田市での「巡回科学実験教室」について

私は現在子ども時代を過ごした長野県飯田市へ行き、教育委員会と共に、市内と下伊那郡の小・中学校数十校を回って、「巡回科学実験教室」を行っている。それは子どもたち一人一人に、考える素材を与えることこそ親と教師の責任であるとの信念を持つが故である。従って教材はすべて自作のものを用い、生徒一人一人が考えて実験ができるように配慮している。この実験教室では現在 60 種の実験装置をすべて段ボール箱に入れて、箱の表には実験の種類と内容と実験番号を書き、市の中央にある小学校のあき教室に保管している。教育委員会が管理し、校長会において実験メニューを検討した各学校の要望をまとめ、月間プログラムを作る。各学校では担任、理科の教師、校長、教頭が話し合っ、学級か学年かまたは全学校生徒対象か、場所は教室か理科室か、又は体育館かを決め、時間の配分により、実験メニューの中から、何種かの実験を選んで申込みをする。教育委員会がそうした申込み表を見て、実験箱のナンバーをそろえて、担当の学校に連絡し、箱を運

ばせる。私は別の迎いの車で、実験開始の約 30 分前に現地に到着し器具の入った箱を開けて実験の準備をする。そのさい、生徒や先生、教育委員会の方々もせっせと手伝ってくれる。飯田市の場合、教育委員会、校長会、理科と担任の教師の連携の密なことが、こうした巡回の科学実験教室が滑らかに、また楽しく運営されていく秘訣であろう。

例えば、LED の割り箸テスターを 1000 人分用意する。4 年生以上を対象にし、各学校の 30 人クラスに行く。各人家庭から単 III 電池 2 個を持参する。各人組み立てたこのテスターで、鉛筆の芯に電流が流れるかどうかを調べる。生徒は金属でないのに電気が通ることを知って驚く。1 円・5 円・10 円のコインも金属なので流れるのは予想しているが、或る生徒がこの 3 個のコインを重ねたら流れるだろうかと質問する。皆流れないだろうと予想する。しかし、実験すると流れる。創造性はこのように、自分で進んで実験を進めていく過程において生まれることを痛感する。一人一人が自分の頭で考えながら実験するためには、そうした実験器具も一人一人が持つことが大切である。親や教師や社会のなすべきことは、一人一人の生徒が考えるための素材を提供することであろう。私はこうした科学教室を 2 年前から行い、すでに飯田市と下伊那郡の小・中学校数十校を回り、延べ一万人の生徒達と実験を楽しんでいる。何と飯田市から 30km も離れた山間の小さな学校に行ったときは給食を共にしながら 6 時間を学年ごとに違った実験をして生徒達と過ごした。こうした科学教室をして、多くの生徒と面白い実験をしていると、つくづく子どもたちは科学が好きでたまらないということと、実に創造性が豊かなことに驚かされる。この実験メニューの中には「天然放射線を霧箱で見る」もあり、これは中学生のため用意されている。

放射線教育フォーラムには私よりはるかに教育や研究に経験の深い方が多い。そうした科学の知識やその不思議さ、楽しさをぜひ近くの小・中学校などの生徒達に伝えて頂ければと願う次第である。

霧箱の歴史

坂内 忠明

放射線医学総合研究所

(〒263-8555 千葉県千葉市稲毛区穴川 4-9-1)

(要旨) 霧箱は 19 世紀末、気象の実験の装置としてウィルソンにより開発された。1910 年頃に改良が行われ、放射線の飛跡を見る装置として用いられるようになった。更に清水、ブラケットの改良を経て原子核破壊や宇宙線の研究にも用いられた。家庭などで作ることができる拡散型の霧箱は、1930 年代に開発されたものをニールセンが 1950 年代に改良したものを基本としている。

0. 霧箱の原理

0.1 霧ができる条件

霧箱は密閉された箱の中で霧（雲）を作る装置である。霧や雲を作るためにはどのような条件が必要であろうか？

もちろん、その密閉された容器の中が湿っていなければならない。真昼の砂漠のように、からからの条件で雲や霧が発生するとは誰も思わないであろう。では、どれくらい湿っていることが必要であろうか。それには空気中の水蒸気と水が平衡状態に達しているときの量（飽和水蒸気量）よりも多くなければならない。つまり、過飽和の状態にならなければならないのである。しかし過飽和の状態になったからといって蒸気はすぐに水滴（霧）になるわけではない。蒸気がある一定量を越えると、空気中の水分子が衝突し、結合して一応小さな水滴ができるが、この水滴は非常に小さく、普通はそれ以上成長しない。なぜなら、水滴の表面張力は表面積を増加させまいとして、周りの水分子が水滴の中に入ろうとするのを阻止するからである。また、小さければ、引き止める表面の分子の数が少ないため、蒸発する力の方が大きくなってしまい、その水滴は消えてしまう。目で見える程の水滴を作るには表面張力を打ち破るための中心となる凝結核（空気中の細かいゴミ）が必要である。凝結核があれば、それを中心に水滴を作ることができ、雲や霧を作ることができる。逆に、それが無い場合は、過飽和の状態がずっと保たれることになる。

0.2 ウィルソンの霧箱

ウィルソンの霧箱は箱の一つの側面がピストンのように動き、他の側面は透明な、しっかりと密閉された円筒形の容器でできている。この容器の中には凝結しやすい蒸気が充填してある。蒸気量を室温で飽和する程度にしておき、箱の背後にあるピストンを急に引き抜いて膨張させる。するとどうなるか。

この現象は熱を出し入れしないで膨張を行うため断熱膨張と呼ばれている。

最初空気の分子は風船に閉じ込められているように一ヶ所に固まっていたわけであるが、膨張により、四方八方に移動する。空気の分子の動かす力を F とし、その方向に移動した距離を L とすると FL という仕事をしたことになる。この仕事をするためのエネルギーは空気が持っている熱エネルギーを用いて行われる。熱エネルギーが消費されると、空気はそのエネルギーを本来は外から奪うのであるが、断熱状態であるため奪うことができず、温度は下がるのである¹⁾。

箱内部のガスの温度が下がるとどうなるか。蒸気の飽和量は温度によって決まる、箱内部の飽和蒸気量も減ってしまう。もともと容器の中の蒸気は飽和する程度に入っていたわけであるから、蒸気量が飽和蒸気量よりも多いという、過飽和の状態になる。

このときガス中に放射線が透過すると、放射線は空気中の分子を電離して陽イオンと陰イオンに変えてしまう。(というよりも、放射線は「電磁波又は粒子線のうち、直接又は間接に空気を電離する能力をもつもので、……」と法律上決められている。) イオンは単なる分子と違い、電荷を持つので、表面張力を減少させる凝結核のように振る舞うことができる。そして、それを中心に周りの蒸気から液の分子が供給され急速にそれなりの大きさをもった液滴となり、霧粒が生じる。これに光を当てると、霧粒によって光が散乱され、霧粒の密集しているところが光って見えるのである。

0.3 拡散型霧箱

拡散型霧箱の仕組みはもっと簡単である。

透明な密閉容器の上部に設置した溝にアルコール等の液体を入れておき、ヒーター等で温めて蒸発するようにしておく。そして底面部を冷却すると強い温度勾配ができる。上部では暖かいため飽和蒸気量も大きい。したがってアルコールはどんどん蒸発する。そして蒸発したアルコールは上部がふさがっているため、下部に向かって拡散する。ところが下に行くにしたがって周りの温度が下がってしまうため、その温度に対応する飽和蒸気量も減少していく。そして、上部の濃度では飽和でもない蒸気量だったのが、容器の中央部付近では過飽和状態になってしまう。そこに、放射線が通過すると、できたイオンが凝結核となり飛跡が見えるのである。

1. 霧箱ができるまで^{2),3)}

霧箱は現在でこそ放射線を目で見るための道具として使われているが、最初の霧箱は、そもそも放射線を検出するために作られたものではなかった。

霧箱を発明したのは C. T. R. ウィルソン (Charles Thomson Rees Wilson) である。彼は 1869 年 2 月 14 日にスコットランドのグレンコースに生まれた^{4),5)}。彼の父親は羊の飼育場を営んでいたが彼が 4 歳の時に亡くなったため、家族はマンチェスターに引っ越した。その後マンチェスター大学の前身であるオーエンズ=カレッジ に入学した (このカレッ

ジは当時では珍しく物理等の実験実技をしっかりと教えていた。電子の発見で有名な J. J. トムソンもこのカレッジの卒業生である)。ここを卒業すると 1888 年にケンブリッジ大学のシドニー=サセックス=カレッジに入学し、92 年に優秀な成績で学位を修めた。そして 4 年間教鞭をとった後⁵⁾、キャベンディッシュ研究所の所長でもある J. J. トムソン (Joseph John Thomson) の研究生となった。

1894 年 9 月に、ウィルソンはベン・ネヴィス気象観測所で見えた雲の光学的現象に興味を持ち、水蒸気が水滴になる現象を研究し始めた。空気中で水蒸気が水滴になると霧が発生することになるのであるが、霧を発生させるためには、先程も述べたように水滴の中心となる凝結核(空気中の細かいゴミ)が必要である。ここまでの現象は既に、クーリエ及び、ジョン・アイトケンによって研究されていた。そこで 1896 年にウィルソンは空気中のゴミをなくして霧の発生の実験していたが、凝結核となるものが何も無いはずなのに飽和量の 4 倍を越えると水蒸気の凝結が起きた。何が凝結核となったのであろうか。その問いに対するヒントは一年前にさかのぼる。

1895 年、ドイツで W. K. レントゲン (Wilhelm Konrad Röntgen) が X 線を発見した。更に彼は X 線が周囲の空気に電導性を持たせることを見つけた。電磁気の研究をしていた J. J. トムソンはその原因が何であるかをすぐに理解し、その実験のために手助けになる学生達を自分の研究所(キャベンディッシュ研究所)に受け入れた。その中には、「1851 年博覧会奨学金」を受けてニュージーランドからはるばるやって来た 26 歳の E. ラザフォード (Ernest Rutherford) もいた。1896 年、J. J. トムソンと E. ラザフォードは気体に X 線を当てると、陰イオンや陽イオンが発生し、その結果気体が電導性を帯びることを確かめた(この論文「レントゲン線にさらされた気体中の電気の通過について」は日本語訳で読むことができます⁶⁾)。

ウィルソンは、霧を発生させる箱に X 線をあてることを思いついた。実際に実験をしてみると濃い霧が見られた。彼はこの様子を見て埃がない空気では霧の核となるものは(X 線を当てない場合でも)イオンであると結論づけた。それまでは、埃しか霧の核にならないと考えられていたのである(参考までに……ウィルソンは、全く塵やイオンがない状態でも霧が発生する条件が飽和蒸気量の 8 倍であることを見つけている)。

J. J. トムソンは、ウィルソンがつくった霧を発生させる箱を用いて X 線によって発生したイオンの電荷を決めようとした。まず、発生した霧の重さ(硫酸に吸収させて測定)と水滴の大きさ(落下速度から計算)から水滴数を決める。水滴数はそのままその霧に含まれるイオンの数になる。空気の電導率はその霧に含まれるイオンの数とイオンが荷なっている電荷の積であるので、電導率を測ればイオンの電荷が計算できるということである。この研究は更に改良されて、最終的にシカゴ大学のミリカンが電気量を測定することになる⁷⁾。

つまり、ウィルソンがつくった霧を発生させる箱(霧箱)は最初は気象を研究する装置であり、また、物理学としては電荷を測定するという目的で作られたのである。

ウィルソンはこのあと母校のシドニー=サセックス=カレッジの講師となり、空気の電導度について研究した。そして再び水蒸気の研究に戻ったのは 10 年以上もたった後であ

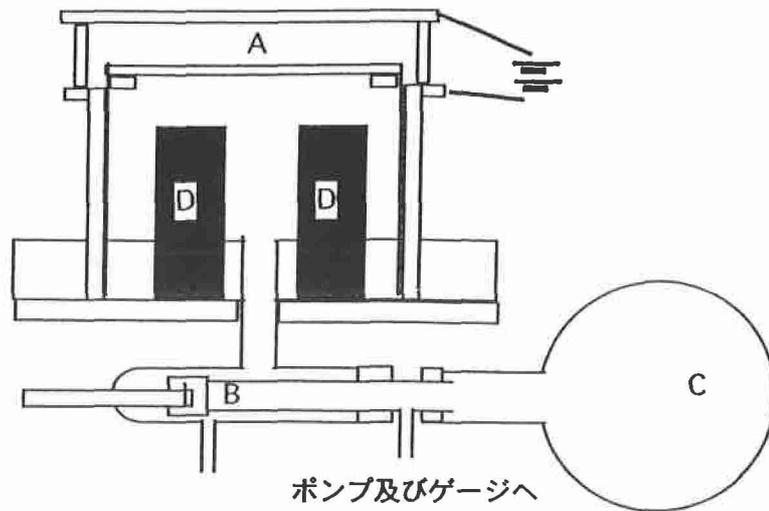


図1：ウィルソンの霧箱（1912）⁹⁾ をもとに作成

Aが本来の霧箱。空間Aの底部はピストンの上部になっている。霧箱の外側の容器はDの下にあるゴム板までつながっている。ピストンは上部を除いて容器に沿うように作られ、下端は水中に入っている。弁Bを開けると、ピストンの下部の空間が真空溜Cとつながっているため、ピストンは急速に引き下げられ、水中の底部のゴムにぶつかる。そのため、霧箱内は過飽和状態になる。木材Dは空間をせばめることによって、膨張に際して管を通していく空気分量を減らすためのものである。

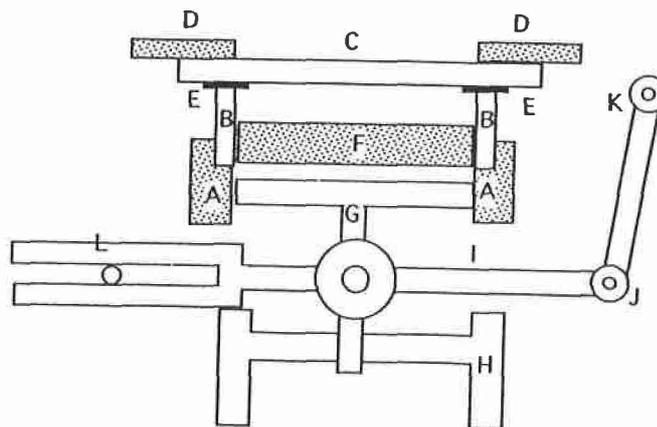


図2：清水の霧箱（模式図）（1921）¹⁴⁾ をもとに作成

- | | |
|------------------|----------------------|
| A 真鍮のシリンダー | B ガラス製シリンダー（Aと直径が同じ） |
| C ガラス板 | D 真鍮のリング |
| E 薄い銅製のリング | F 真鍮製のピストン |
| G ロッド（Fにつながっている） | H 底面の穴（ロッドをガイドする） |
| I ロッド | J IとKをリンクさせる |
| K モーターにつながるシャフト | L ピン |

った(ちなみに、その間の1906年にJ.J. トムソンはノーベル物理学賞を、1908年にはE. ラザフォードがノーベル化学賞を受賞しています)。

1910年、新しい霧箱を完成させ、アルファ線、ベータ線、ガンマ線、エックス線の霧箱による飛跡の結果を1911年に初めて発表した⁸⁾。論文は「イオン化粒子の飛跡を見る方法」としてロンドン王立学会紀要という雑誌に掲載された。エックス線以外の線源は全てラジウムであり、アルファ線とガンマ線の飛跡の写真のみ公開された。このときの霧箱の完成図は描かれていないものの、容器は直径7.5cm、膨張した後の高さは6.2mmと、サイズは書かれており、小さいものであることがわかる。容器の底面を黒くするためにインクを用いたり、容器の上部をガラスの蓋だけでなく透明なゼラチンでコーティングしたりという工夫をしている。写真撮影の方法としては膨張させてから10分の1秒から20分の1秒あとに撮影ができるようにしなければならない。ライデン瓶の放電により写真を撮らせるのであるが、そのタイミングは水銀の蒸気を使って合わせるという工夫もしている。

翌1912年には更に改良された霧箱をつくり新しく撮られた19枚の写真とともに発表した⁹⁾。今度の容器は直径16.5cm、高さは3.4cmなので、前よりかなり大きい。霧箱の膨張を行うのに、下部の弁を開くと、ピストンの下部の空間が真空チャンバーと繋がっているため、ピストンは急に引っ張られる仕組みを用いた(図1参照)。

この後、霧箱の改良等は彼自身が行うことはなかったようであるが、1927年(58歳の時)、蒸気の凝縮による荷電粒子の飛跡を可視化する方法を開発したということで、コンプトン効果のシカゴ大学のA. H. コンプトン(Arthur Holly Compton)と共にノーベル物理学賞を受賞した。コンプトンは、X線が電磁波の粒子(光子)であることを示すために、霧箱を使って、X線と電子の衝突を証明したのである。ウィルソンは87歳まで論文を発表し続け、1959年11月15日、91歳で亡くなっている。ウィルソンの霧箱はキャベンディッシュ研究所の博物館の中で展示しているそうである。

2. 霧箱の改良

2.1 霧箱に関与した日本人

霧箱に磁場をかけると電荷を持っている粒子の飛跡が曲がる(フレミングの法則を思い出してほしい。磁場のかかっているところに、電流が流れると力がかかるように、粒子にも脇へそらせる力がかかるのである)ことが分かった。この技術によって、放射能のアルファ線やベータ線の測定がより詳しくできるようになった。更に霧箱に板を挿入して板に入る前と後との曲がり具合の差を測ると粒子の運動量がわかり、ひいては質量も計算できる。これらの技術は素粒子の研究に大いに役に立った¹⁰⁾。

霧箱の最初の構造は非常に簡単なものであったが、宇宙線や素粒子の研究にとって非常に有益であるため、いろいろと改良が行われた。

その改良に、一人の日本人、清水武雄が絡んでいた。

清水武雄は、1890年7月12日、石川県に生まれた。1914年東京帝国大学理科大学実

験物理学科を卒業し、九州帝国大学、東北帝国大学の講師を経て、塩見化学研究所の部長となった^{11,12)}。

このあと、経緯は全く不明であるが、1920年頃、E. ラザフォードの元へ留学している。この時、鏡を用いて立体的に撮影する手法を開発したり¹³⁾、ピストンを上下させるのを機械的に行う方法を研究したりしていた¹⁴⁾。モーターがぐるぐる廻ると、ピストンの下のロッドが上下するのである(図2参照)。ただ、あまり他の成果が上がらないうちに日本に戻ってしまい(この当時は東大教授だった長岡半太郎の後任として呼び戻されたという説もあるが、本当かどうか不明)、この後の研究は一時P. L. Kapitsa (P. L. キャピツァ)が継いだ後、P. M. S. ブラケット (Patrick Maynard Stuart Blackett) が引き受けることになった。

その後、清水武雄は、1922年に塩見化学研究所長に、1925年には東京大学理学部の教授となり、電磁気学において業績を残した。1927年2月17日に「電離線ヲ看出スル反覆膨張装置」という論文で理学博士の学位を得た。その後、日本物理学会の設立発起人代表となり、創立が認められた後、日本物理学会の初代理事長を務めている。1948年教授職を辞任し、1950年清水研究所を創立した。装置の改良や工夫が好きで、この霧箱のほかに清水式電位計や、白昼映写膜等の発明も行っている。彼の改良した霧箱は、清水式と呼ばれたこともあった。1976年10月16日午前9時半、心筋梗塞のため都内の病院で亡くなっている。87才であった¹¹⁾。

2.2 P. M. S. ブラケット^{15,16)}

さて、P. M. S. ブラケットは1897年11月18日に生まれている。海軍に入隊し、第1次世界大戦中はフォークランド諸島やユトランド半島沖の戦闘に参加していたが、戦争が終わると、ケンブリッジ大学で、物理と数学を学んだ。1921年に修士号をとった後、清水の仕事を引き継いで、霧箱の研究を始めた。そしてとうとうピストンが規則的に正しく上下して、15秒毎に1枚の写真が自動的にとれる霧箱を完成させた。(図3参照) この霧箱を用いることによって、初めにアルファ線の観測を行い、数学的な解析を行って、1922年に「アルファ線写真の分析」という題で論文を書いている(その論文の「方法」のいたるところで、清水の名前が出てくるので清水の仕事を引き継いだのがよくわかる)¹⁷⁾。1924年にはE. ラザフォードの原子核破壊について霧箱による証拠を得た¹⁸⁾(これについては後述)。

その後、霧箱は宇宙線の研究等に用いられるが、そのためには、更に霧箱を改良する必要があった。それというのもこの霧箱は有感時間が膨張前の僅か1秒足らずである一方膨張してからもとの時間に戻すには長い時間を要するため、観測出来ない無駄な時間が多くなるという欠点があったためである。

その欠点を克服するために、1932年P. M. S. ブラケットとG. P. S. オッキヤリヤーニ (Guiseppe P. S. Occhialini) は霧箱の上下に計数管を置き、宇宙線が通過したときだけ膨張するように制御する自動霧箱を開発した¹⁹⁾。これは陽電子の研究の役に立った²⁰⁾。

第二次世界大戦後、イギリス政府原子力諮問委員会の委員になっている。この委員会

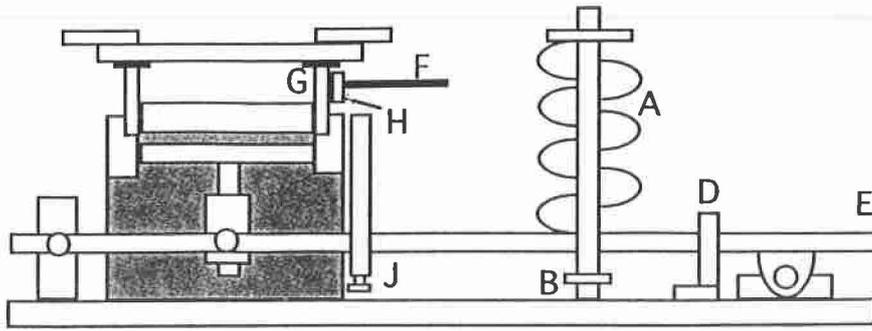


図3：ブラケットの霧箱（1922）¹⁷⁾ をもとに作成

- A 膨張速度調整のバネ
- B 高さ調整のネジ
- D 腕がね（ものさし付き）（Eの動いた長さを測定するためのもの）
- E 棒
- F 線源
- G 穴（雲母でふさいである）
- H シャッター
- J シャッター用の調節ネジ

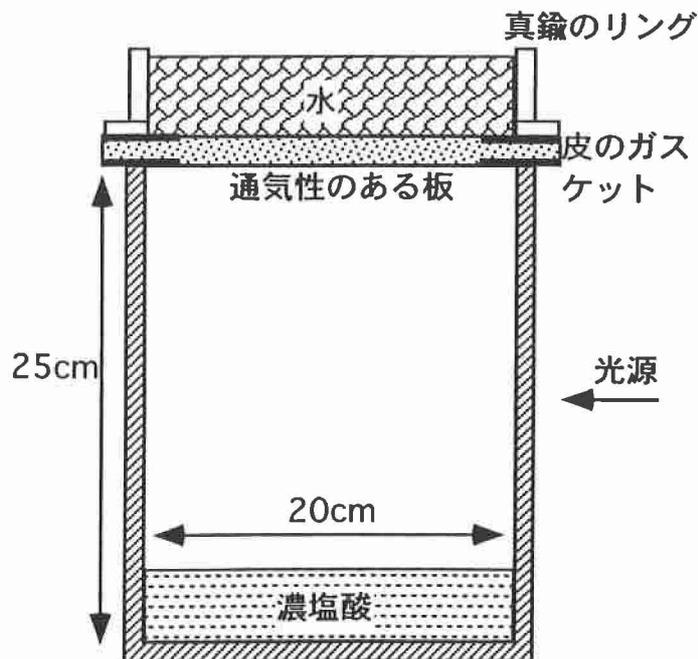


図4：ヴォルラスの霧箱（1936）²³⁾ をもとに作成
塩酸を用いた拡散型霧箱

は 1948 年の春に解散したが、その頃書いたものを「恐怖、戦争、爆弾」²¹⁾という書物にまとめている。第三次大戦を防止するために原子力の国際管理についても述べている本である。

同じ年に P. M. S. ブラケットは「ウィルソンの霧箱の方法の改良、ならびにそれによる原子物理学及び宇宙線の分野における発見」に対してノーベル物理学賞を受賞している。宇宙線との関連で地球の磁場にも興味を持ち岩石磁気の研究チームを組織したりもした。1974 年 7 月 13 日に P. M. S. ブラケットは 78 才で亡くなった。

2.3 拡散型の霧箱²²⁾

1930 年代になると、連続的に感度を保てるようにして霧箱を使いたいと多くの人思うようになった。1933 年から 4 年にかけて初めてのおおざっぱな装置がホクストン (Hoxton) によって作られたが、他にも 1936 年に濃塩酸を用いた霧箱を南カリフォルニア大学の R. E. ヴォルラス (Richard E. Vollrath) が発表している (図 4 参照)²³⁾。1939 年の発表でカリフォルニア大学の A. ラングスドルフ (Alexander Langsdorf) は、性能を高めた拡散霧箱と呼ばれる装置を作った。そしてこれはその後全ての霧箱に使われる様式となった (図 5 参照)²⁴⁾。

1951 年 (つまり、ウィルソンが霧箱を発明してから 40 年後) C. E. ニールセン (Carl E. Nielsen) らオハイオ大学の研究者が拡散型霧箱をさらに改良した 3 タイプの霧箱を発表した²⁵⁾。

そのうちの一つは「ピーカーチェンバー」と呼ばれ、ピーカーやドライアイス、磁石などを用いたものもあった (ただ、大気中のほこりをとる装置がやや複雑)。家庭や学校で作る霧箱はほとんどこれと同じである (図 6 参照)。

拡散型霧箱は宇宙線のように垂直な運動をする粒子の観測には適していないものの、加速器から出てくる粒子のように水平に運動する粒子にとっては明らかに有利であった。R. P. シャット (R. P. Shutt) らは加速器によって得られた「ストレンジ粒子」と呼ばれる粒子を拡散型霧箱を用いて発見している²⁶⁾。

3. 霧箱の役割

まず、図 7 を見てほしい。

これは、「ケミカル アブストラクト (Chemical Abstract)」という文献を検索するためのデータベースから、発行年毎に「霧箱」というキーワードでどれくらいの文献がひっかかるか調べたものである。これを見ると霧箱は 1945 年以降 60 年頃まで活躍していたことがわかる。また、戦時中の 1940 年代初期はともかく 1930 年代もそれなりに使われていたことがわかる。

さて、ラザフォードに「科学史上最も独創的かつ驚嘆すべき機械である」と言わしめた (らしい) 霧箱は、どんな発見に役立ったのであろうか。

先に述べたように 1924 年に E. ラザフォードの原子核破壊の証拠が得られた¹⁸⁾。これ

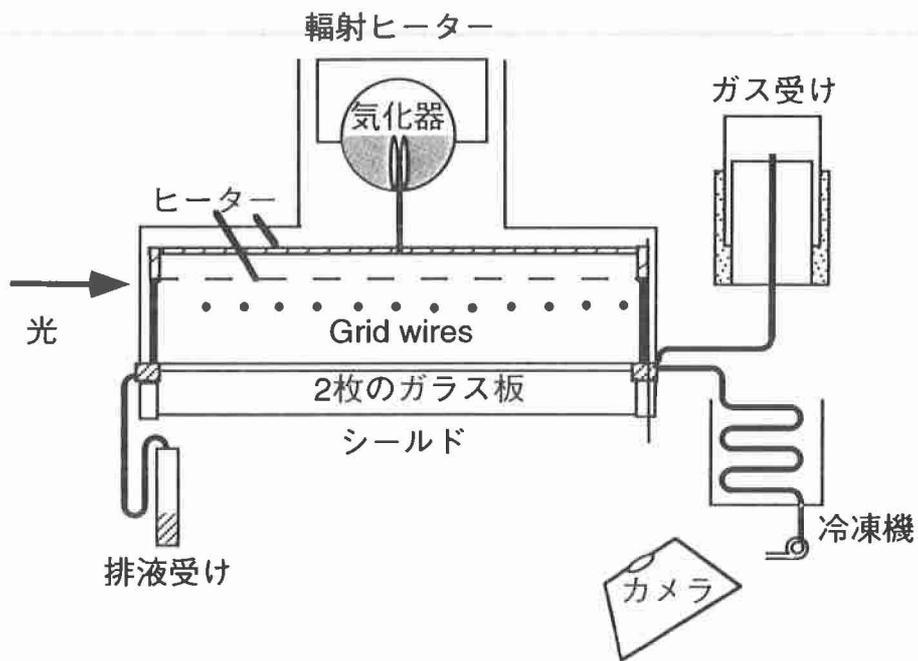


図5：ラングスドルフの霧箱(1939)
文献²⁴⁾をもとに作成。冷蔵システムを用いた霧箱

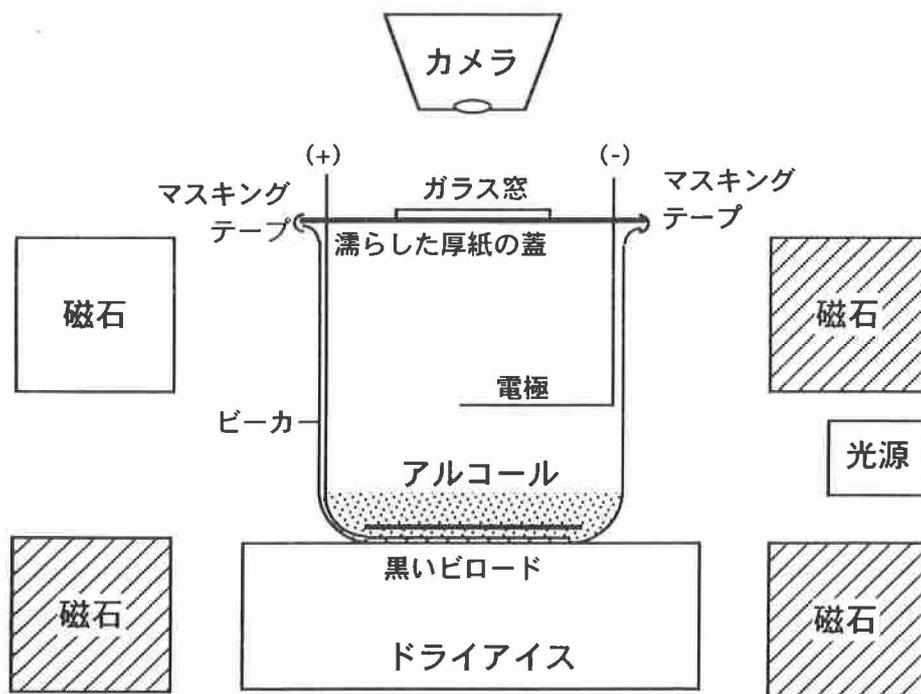


図6：ニールセンの「ビーカーチェンバー」(1951)
文献²⁵⁾を本に作成。他にも2種類の霧箱を発表している

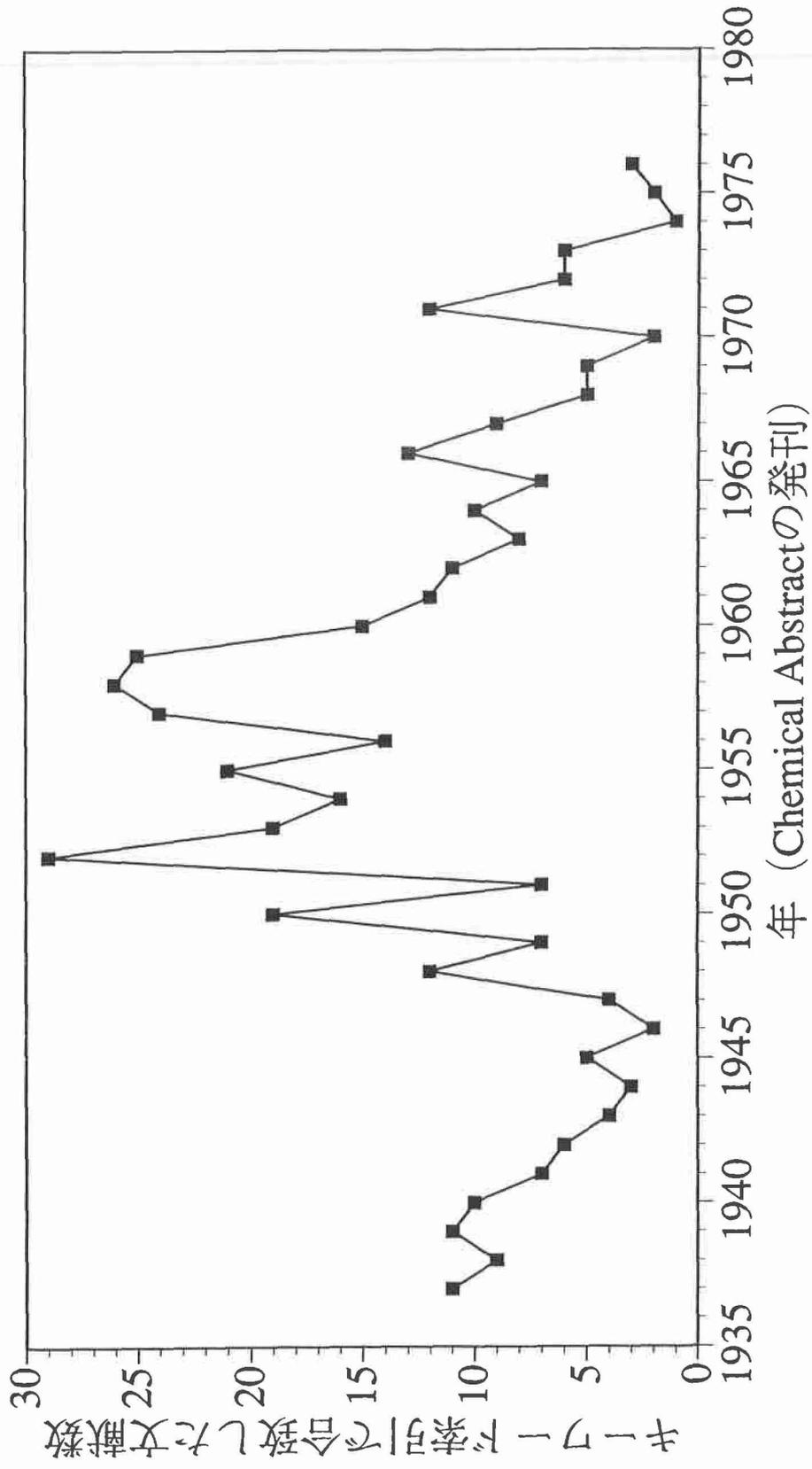


図7：霧箱はどれほど役に立ったのか

は 1917 年に既に E. ラザフォードは窒素の原子核にアルファ粒子を当てて陽子と酸素の原子核を作るという核変換の実験を行っていたが、なんらかの証拠が必要であった。P. M. S. ブラケットは数カ月の間に、トリウム B (現在の鉛-212) とトリウム C (現在のビスマス-212) を線源とした窒素中のアルファ線の飛跡の写真を約 23,000 枚も撮った。一枚の写真に平均して 18 本の飛跡が見られ、270,000 本の飛跡は 8.6cm、145,000 本の飛跡は 5.0cm であった。この中から彼は、一方は明らかに陽子 (非常に長くて細い) と思われる飛跡と、もう一本 (短くて太い) の飛跡からなる、新しい種類の枝分れの飛跡を 8 枚の写真に見つけた (うち 6 枚が雑誌に掲載)。もし、アルファ粒子が激しい衝突によって窒素の原子核から陽子をたたき出すと同時にアルファ粒子が再び跳ね返ってくるとすれば、三本の飛跡が認められなければならない。一つは陽子の飛跡、もう一つは衝突された窒素の原子核の飛跡、最後が跳ね返されたアルファ粒子の飛跡である。陽子の飛跡の他には反応後の飛跡が一本しかないということはアルファ粒子は窒素の原子核と一つになったということを意味している。これは立派な一つの証拠となった。

粒子線を当てて、人工的に新しい原子核を作るという技術はその後更に研究され、理化学や生物、医学の分野で利用されている。

歴史上ではこの他に、1927 年にスコベルツィン (Skobelzyn) が宇宙線の飛跡を観測し、磁場がかかっているにもかかわらず飛跡が殆ど曲らなかったことから、宇宙線は運動量が非常に高い粒子であることがわかる^{7,27)}等、いろいろ役に立っている。

だが、その中でも一番の功績は、陽電子の発見ではないだろうか。

1932 年に宇宙線粒子の運動量損失を調べるために磁場をかけて霧箱の写真を撮っていた C. D. アンダーソン (Carl David Anderson) は偶然、陽電子を発見した²⁸⁾。霧箱の中には厚さ 0.6cm の鉛の板が入っており、更に磁場がかけられていた。その中のある飛跡は、電子と逆の向きに曲っていた。もっとも、鉛板を下から上に突き抜けた電子もその向きに曲がるが、鉛板の上の飛跡が下のものに比べて曲がり方が小さく、上から下に突き抜けていることが確かめられた。しかも、この飛跡を描いた粒子の質量は電子の質量と等しかったのである。この粒子が陽電子であり、陽電子の存在を唱えていた「Dirac の理論」が成立した瞬間でもある^{7,10)}。この成果が認められて C. D. アンダーソンは 1936 年ノーベル物理学賞を受賞した。一方、陽電子の理論を唱えていた P. A. M. ディラック (Paul Adrien Maurice Dirac) も 1933 年にノーベル物理学賞を受賞している。

1960 年を過ぎると、原子核乾版の発達や泡箱により、霧箱はあまり使われなくなってしまった。そして、今は教育用 (展示用など) にしか使われていない。

何はともあれ顕微鏡でも見るできない電子や陽子などの粒子の動きを見せることには価値があったということは間違いない。

では、これで「霧箱の歴史」は終わりかということそうでないと思う。

今後「誰か」が霧箱で新しい発見をするかもしれないし、その「誰か」とはあなたなのかもしれないのだから。

引用文献

- 1) 小倉義光、『一般気象学』、p.48 - 50 東京大学出版会、東京 (1984)
- 2) ジョージ・P・トムソン著 伏見康治訳 『現代の科学(SCIENCE STUDY SERIES) 21 J・J・トムソン 電子の発見者』269p、河出書房新社 (1969)
- 3) エドワード・N・ダ・C・アンドレード著 三輪光雄訳 『現代の科学(SCIENCE STUDY SERIES) 6 ラザフォード 20世紀の錬金術師』276p、河出書房新社、東京 (1967)
- 4) Wilson, J. G. "Wilson, Charles Thomson Rees" 『Dictionary of National Biography 1951-1960』Eds: Williams, E. T. and Palmer, H. M. Oxford University Press, London (1971)
- 5) デービッド・アボッド編／伊東俊太郎 日本語版監修 『世界科学者事典』38-39、原書房、東京、(1987)
- 6) Thomson, J. J. and Rutherford, E.、Roentgen 線にさらされた気体中の電気の通過について、17-35 『物理学古典論文叢書 7 放射能』物理学史研究刊行会編集、東海大学出版会 (1970)
- 7) 早川幸男 『宇宙線 自然探究の歩み(筑摩総合大学)』、268p、筑摩書房、東京 (1972)
- 8) Wilson, C. T. R. On a Method of making Visible the paths of Ionising particles through a Gas, Proc. Royal Soc. London Ser. A 85, 285-288 (1911)
- 9) Wilson, C. T. R. On an Expansion Apparatus for making Visible the Tracks of Ionising Particles in Gases and some Results obtained by it Use, Proc. Royal Soc. London Ser. A 87, 277-292 (1912)
- 10) 湯川秀樹、小林 稔、井上 健、『近代物理全書 宇宙線及び中間子論』、404p、共立出版(株)、東京 (1955)
- 11) 熊谷寛夫、故清水武雄先生の御逝去を悼む、『日本物理学会誌』32 (3) i-ii 1977
- 12) 平凡社教育産業センター編集、『現代人名情報事典』、488、平凡社、東京 (1987)
- 13) Shimizu, T. A Preliminary Note on Branched α -Ray Tracks, Proc. Royal Soc. London Ser. A 99, 432-435 (1921)
- 14) Shimizu, T. A Reciprocating Expansion Apparatus for Detecting Ionising Rays, Proc. Royal

Soc. London Ser. A 99, 425-431 (1921)

15) デービッド・アボット編／伊東俊太郎 日本語版監修 『世界科学者事典』 165-166、原書房、東京、(1987)

16) Lowell, B. "Blackett, Patrick Maynard Stuart, Baron Blackett" 『Dictionary of National Biography 1971-1980』 Eds; Blake, L. and Nicholls, C. S. 60-62, Oxford University Press, London (1986)

17) Blackett, P. M. S. On the Analysis of α -Ray Photographs. Proc. Royal Soc. London Ser. A 102, 294-318 (1922)

18) Blackett, P. M. S. The Ejection of Protons from Nitrogen Nuclei, Photographed by the Wilson Method. Proc. Royal Soc. London Ser. A 107, 349-360 (1924)

19) Blackett, P. M. S. and Occhialini, G. Photography of Penetrating Corpuscular Radiation, Nature, 130, 363, (1932)

20) Blackett, P. M. S. and Occhialini, G. P. S. Some Photographs of the Tracks of Penetrating Radiation, Proc. Royal Soc. London Ser. A 139, 699-727 (1933)

21) P. M. S. ブラケット、「恐怖、戦争、爆弾」355p、田中慎次郎訳、法政大学出版局、東京 (1951)

22) Brown, L. M., Paris, A. and Pippard, B. 大場一郎訳「第9章 20世紀後半の素粒子物理」、『20世紀の物理学 Vol.II』、「20世紀の物理学」編集委員会編 1-166、丸善、東京、1999

23) Vollrath, R. E. A Continuously Active Cloud Chamber, Rev. Sci. Instr. 7(11), 409-410 (1936)

24) Langsdorf, A. A Continuously Sensitive Diffusion Cloud Chamber, Rev. Sci. Instr. 10(3), 91-103 (1939)

25) Nielsen, C. E., Needels, T. S. and Weddle, O. H. Diffusion Cloud Chambers, Rev. Sci. Instr. 22(9), 673-677 (1951)

26) Shutt, R. P. Fowler, E. C., Miller D. H. Thorndike, A. M. and Fowler, W. B. Phys. Rev. 84, 1247-1248 (1951)

27) Skobeltzyn, D. Positive Electron Tracks, Nature, 132, 23-24 (1934)

28) Anderson, C. D. Cosmic- Ray Positive and Negative Electrons, Phys. Rev. 44, 406-416 (1933)

放射線教育における表集計ソフト(Microsoft Excel)の活用例

鎌田正裕、渡部千春

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)

[要約] 我々は、温泉水等に含まれる天然の放射性核種を利用して放射能の経時変化を調べる生徒・学生実験を開発・提案してきたが、この種の実験を実践する際には教育的な観点から、得られた実測値を計算値(理論値)と比較することが望ましい。一般には、 ^{222}Rn ~ ^{214}Bi を利用する実験であれば、高々3元の連立常微分方程式を解けば計算値を容易に求めることができるが、非理科系の大学生や高校生にとってこれは困難である。そこで、本報では、Microsoft Excelに代表される表集計ソフトを利用した近似的解析方法を紹介する。

1. はじめに

天然放射能温泉の泉水や湯ノ花、あるいは園芸用の肥料(過磷酸石灰)などに含まれるごく微量の天然放射能を放射化学的に分離・測定することで、安全かつ安価な生徒・学生実験が手軽に実施できることは既に報告した⁽¹⁻¹⁰⁾。いずれの場合も、実験操作が容易な割には得られるデータの定量性が高いため、カウント率の経時変化を計算値と比較することで、半減期や放射平衡の意味を学ぶことができる。この際の計算値である各核種の放射能や原子数(もしくはカウント率)については、1~3元の連立常微分方程式を解けばよく、数学や物理系の領域を専門とする大学生にとってはそれほど難しくはない。しかし、たとえば非理科系の大学生や高校生にとっては、方程式を解くことはもちろん、その解析解の物理的な意味を理解することさえ容易ではない。そこで本報では、計算方法そのものにはこれといった新規性もないが、表集計ソフト(Microsoft Excel)を利用すれば微分方程式を用いずに放射能の経時変化を計算できることを紹介するとともに、その計算精度や教育的な意義について簡単に説明する。

2. 微分方程式と解析解

ある放射性核種の減衰やその娘核種の生成・減衰については、各核種の半減期と、時刻 $t=0$ における原子数(初期条件)を用いて記述できる。既報の実験で取り上げた崩壊系列は、以下の3つのケースに大別することができる。

Case1) $A \rightarrow B$ (例 $^{214}\text{Bi} \rightarrow ^{210}\text{Pb}$) (注1)

この場合、核種Aの原子数 N_A については次式で計算できる。

$$dN_A/dt = -\lambda_A N_A \quad (1)$$

式(1)を初期条件:

$$N = N_A^0 \text{ at } t=0 \quad (2)$$

のもとで解くと、次の解析解が得られる。

$$N = N_A^0 \exp(-\lambda_A t) \quad (3)$$

既報¹⁾の実験結果の一例として、三朝温泉(鳥取県)の泉水から分離された ^{214}Bi をGM式測定器(注2)で測定した際のカウント率を、式(3)による計算値とともに図1に示す。

Case2) $A \rightarrow B \rightarrow C$ (例 $^{214}\text{Pb} \rightarrow ^{214}\text{Bi} \rightarrow ^{210}\text{Pb}$) (注1)

核種A, Bの原子数については次式で計算できる。

$$dN_A/dt = -\lambda_A N_A \quad (4)$$

$$dN_B/dt = -\lambda_B N_B + \lambda_A N_A \quad (5)$$

既報^(1,6)の実験では、 ^{214}Bi をそれと放射平衡にある ^{214}Pb と共に泉水から分離したので、式(4)(5)を解くための初期条件は、

$$N_A = N_A^0, \quad \lambda_B N_B = \lambda_A N_A \quad \text{at } t=0 \quad (6)$$

となり、核種Bの原子数は以下のように算出できる。

$$N_B = N_A^0 \left\{ \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} \right\} \{ \exp(-\lambda_A t) - \exp(-\lambda_B t) \} + (\lambda_A / \lambda_B) \exp(-\lambda_B t) \quad (7)$$

ただし、測定されたカウント率が式(7)で与えられた ^{214}Bi の原子数に比例するのは、低エネルギーの β 線に対してほとんど感度を持たないGM管(HAMAMATSU D3372)で測定した場合である。たとえば、「はかるくんII」(注3)のように ^{214}Pb から放出される0.5MeV以下の β 線に対しても十分な感度を有する測定器を用いた場合には、カウント率は $\lambda_A N_A + \lambda_B N_B$ に比例すると考えられる(N_A, N_B の値は式(3)と式(7)から求めることができる)。

既報¹⁾の実験結果の一例として、三朝温泉(鳥取県)の泉水から ^{214}Pb と共に分離された ^{214}Bi をGM式測定器(注2)で測定した際のカウント率を、式(7)による計算値とともに図2に示す。

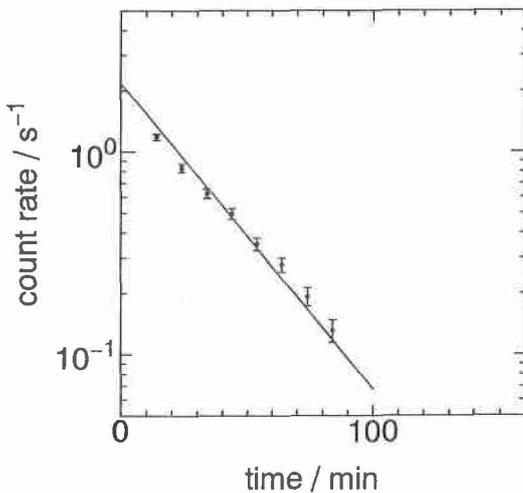


図1 Case 1の実測例と計算値

(三朝温泉の泉水80mLに硝酸10mLを加えた後、硝酸ビスマスと硝酸鉛を各100mg溶かし、これに水酸化ナトリウムを加えて作った $\text{Bi}(\text{OH})_3$ の沈殿から放出される β 線を測定した。)

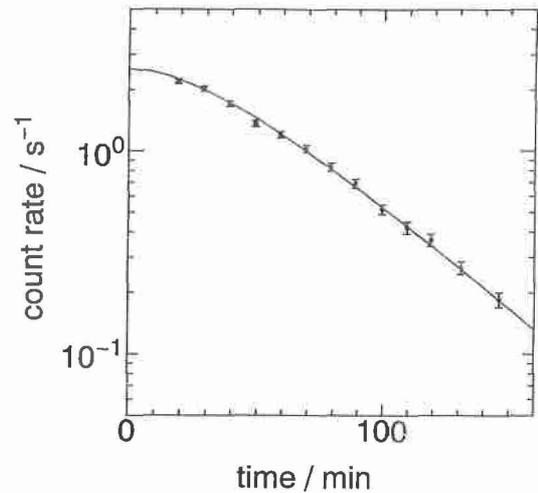


図2 Case 2の実測例と計算値

(三朝温泉の泉水80mLに硝酸10mLを加えた後、硝酸ビスマス100mgを溶かし、これにアンモニア水を加えて作った $\text{Bi}(\text{OH})_3$ の沈殿から放出される β 線を測定した。)

Case3) $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$

(例 $^{222}\text{Rn} \rightarrow ^{214}\text{Pb} \rightarrow ^{214}\text{Bi} \rightarrow ^{210}\text{Pb}$) (注4)

核種A, B, Cの原子数については以下の式で計算できる。

$$dN_A/dt = -\lambda_A N_A \quad (8)$$

$$dN_B/dt = -\lambda_B N_B + \lambda_A N_A \quad (9)$$

$$dN_C/dt = -\lambda_C N_C + \lambda_B N_B \quad (10)$$

既報¹⁰⁾では、 ^{222}Rn のみを分離したため、初期条件は、

$$N_A = N_A^0, \quad N_B = N_C = 0 \quad \text{at } t=0 \quad (11)$$

となり、核種B, Cの原子数は以下のように算出できる。

$$N_B = N_A^0 \left\{ \lambda_A / (\lambda_B - \lambda_A) \right\} \left\{ \exp(-\lambda_A t) - \exp(-\lambda_B t) \right\} \quad (12)$$

$$N_C = N_A^0 \lambda_A \lambda_B \times \left[\exp(-\lambda_A t) / \{ (\lambda_B - \lambda_A) (\lambda_C - \lambda_A) \} \right. \\ \left. + \exp(-\lambda_B t) / \{ (\lambda_A - \lambda_B) (\lambda_C - \lambda_B) \} \right. \\ \left. + \exp(-\lambda_C t) / \{ (\lambda_A - \lambda_C) (\lambda_B - \lambda_C) \} \right] \quad (13)$$

Case2と同様、測定器に「はかるくんII」を使用した場合には、カウント率は $\lambda_B N_B + \lambda_C N_C$ に比例し、GM管(HAMAMATSU D3372)を用いた場合には N_C に比例する。

既報¹⁰⁾の実験結果の一例として、増富温泉(山梨県)の泉水から活性炭を利用して回収された ^{222}Rn を「はかるくんII」で測定した際のカウント率を、計算値と共に図3に示す。

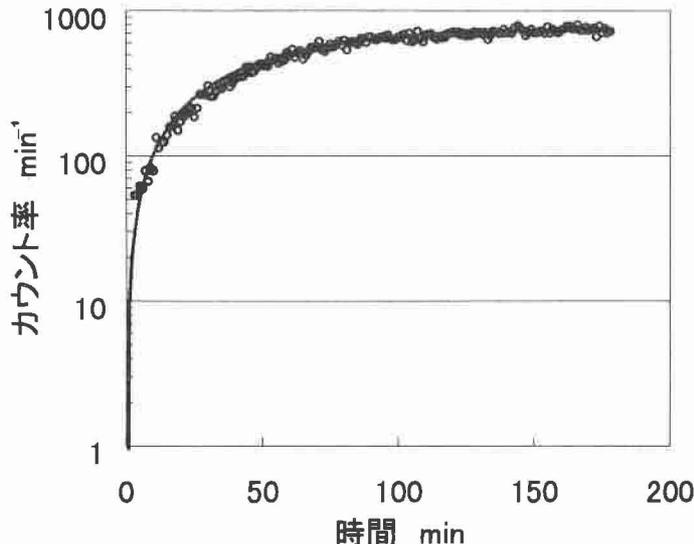


図3 Case3の実測例と計算値

(500mLのポリ瓶に温泉水を200mL入れて激しく振った後、瓶内の気体を活性炭が充填されたカラム内に流して、同気体中の ^{222}Rn を捕集した。測定には「はかるくんII」を使用し、活性炭(の上で生まれた ^{214}Pb や ^{214}Bi)から放出される β 線を計数した。)

3. Microsoft Excel の利用方法

Case1) $A \rightarrow B$ (例 $^{214}\text{Bi} \rightarrow ^{210}\text{Pb}$)

図4に ^{214}Bi の原子数を計算するためのワークシートを示す。時刻 t における ^{214}Bi の原子数を $N_{(\text{Bi})t}$ で表すと、ある時刻 t と、その1分前の時刻 $t-1$ の間で崩壊した ^{214}Bi の原子数 $\Delta N_{(\text{Bi})}$ は、次式で近似できる。(注5)。

$$\Delta N_{(\text{Bi})} = (0.693/19.9) \times N_{(\text{Bi})t} \quad (14)$$

そこで、時刻 t における ^{214}Bi の原子数は、

$$N_{(\text{Bi})t} = N_{(\text{Bi})t-1} - (0.693/19.9) \times N_{(\text{Bi})t-1} \quad (15)$$

と書くことができる(注6)。

図4中のセル B3 に入力した式は、式(15)であり、これをそれ以降のセルにコピーすることで、各時刻における ^{214}Bi の原子数を計算することができる。ただし、B2には初期値として適当な数値を入力する。

また、同図のワークシートには、解析解(式(3))を用いて計算した結果を列Cに、数値解との差を列Dに示す。

	A	B	C	D	E	F
1	時刻(min)	近似解(^{214}Bi)	解析解(^{214}Bi)	誤差(%)		
2	0	10000	10000	0.0		
3	1	9652	9658			
4	2	9316	9327			
5	3	8991	9008			
6	4	8678	8700	0.2		
7	5	8376	8402			
8	6	8084	8114			
9	7	7803	7837			
10	8	7531	7568			
11	9	7269	7309			
12	10	7016	7059			
13	11	6771	6818	0.7		
14	12	6535	6584	0.7		
15	13	6308	6359	0.8		
16	14	6088	6141	0.9		
17		$= (C16 - B16) / C16 * 100$	5931	0.9		
18			5728	1.0		
19	17	5474	5532	1.0		
20	18	5283	5343	1.1		
21	19	5099	5160	1.2		
22	20	4922	4983	1.2		
23	21	4750	4813	1.3		
24	22	4585	4648	1.4		

図4 Case1における ^{214}Bi の原子数の経時変化

Case2) $A \rightarrow B \rightarrow C$ (例 $^{214}\text{Pb} \rightarrow ^{214}\text{Bi} \rightarrow ^{210}\text{Pb}$)

図5に ^{214}Pb および ^{214}Bi の原子数を計算するためのワークシートを示す。 ^{214}Pb の原子数を計算するための列Bについては、半減期の値に ^{214}Pb のそれ(27min)を用いたこと以外、図4における列Bと同じである。

一方、 ^{214}Bi の原子数については、 ^{214}Bi 自身の崩壊による減少分(式(14))以外に、 ^{214}Pb の崩壊によって生まれてくる増加分についても評価しなくてはならない。後者については、同時刻に崩壊した ^{214}Pb の原子数と等しくなるため、時刻tにおける ^{214}Bi の原子数 $N_{(\text{Bi})t}$ は以下のように表すことができる。

$$\begin{aligned}
 N_{(\text{Bi})t} &= (\text{時刻 } t-1 \text{ における } ^{214}\text{Bi} \text{ の原子数}) \\
 &\quad - (\text{時刻 } t-1 \sim t \text{ 間に崩壊した } ^{214}\text{Bi} \text{ の原子数}) \\
 &\quad + (\text{時刻 } t-1 \sim t \text{ 間に崩壊した } ^{214}\text{Pb} \text{ の原子数}) \\
 &= N_{(\text{Bi})t-1} - (0.693/19.9) N_{(\text{Bi})t-1} + (0.693/27) N_{(\text{Pb})t-1} \tag{16}
 \end{aligned}$$

ただし、 $N_{(\text{Pb})t-1}$ は時刻t-1における ^{214}Pb の原子数とする。

図5中のC3に入力した式が式(16)であり、これをそれ以降のセルにコピーすることで、各時刻における ^{214}Bi の原子数が計算できる。ただし、 ^{214}Pb の初期値(B2)には適当な数値を入力し、 ^{214}Bi の初期値(C2)は、初期条件(式(6))に基き、B2の値から計算した。また、解析解(式(7))についても計算したが、近似解との差は1%にも満たなかった。

	A	B	C	D	E	F
1	時刻(min)	近似解(^{214}Pb)	近似解(^{214}Bi)	解析解(^{214}Bi)	誤差(%)	
2	0	10000	7370	7370	0.0	
3	1	9743	7370	7367	0.0	
4	2	9493	7364	$= (0.693/27) / (0.693/19.9) * B2$ 初期条件 式(6)より		
5	3	9250	7351			
6	4	9012	7332			
7				7296	0.2	
8				7265	0.2	
9				7230	0.2	
10				7191	0.2	
11				7147	0.2	
12				7100	0.2	
13				7050	0.3	
14				6997	0.3	
15	13	7132	6958	6940	0.3	
16	14	6949	6899	6881	0.3	
17	15	6770	6827	6810	0.3	
18	16	6597			0.3	
19	17	6427			0.3	
20						
21			6638	6621	0.2	
22			6567	6552	0.2	
23	20	5945	6495	6480	0.2	
24	21	5792	6422	6408	0.2	
25	22	5644	6347	6333	0.2	

図5 Case2における ^{214}Bi の経時変化

Case3) $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$

(例 $^{222}\text{Rn} \rightarrow ^{214}\text{Pb} \rightarrow ^{214}\text{Bi} \rightarrow ^{210}\text{Pb}$)

各核種の原子数を計算するために用いたワークシートを、図6に示す。列B,Cについては、用いた半減期の値 (^{222}Rn : 3.824 日) を除けば、図5における列B,Cと同様であり、 ^{214}Bi の原子数の計算 (列D) については、Case2におけるCと同じである。ただし、 $t=0$ における初期値として、B2には適当な数値を、C2,D2には0を入力した。

解析解 (式(13)) との比較 (列F) を見ると、最初の数分間の誤差は非常に大きい、十数分を越えるあたりから小さくなる。実際の実験では、 $t=0$ の定義があいまいであること、分離操作が終了してから測定までに短くても数分を要することから、これらの不一致が、実測値の解析に大きく影響することはないものと考えられる。

	A	B	C	D	E	F
1	時刻 (min)	近似解(^{222}Rn)	近似解(^{214}Pb)	近似解(^{214}Bi)	解析解(^{214}Bi)	誤差(%)
2	0	100000000	0	0	0	-100.0
3	1	99987415	12585	0	158	-100.0
4	2	99974832	24845	323	621	-47.9
5	3	99962250	36790	949	1368	-30.6
6	4	99949670	48425	1861	2385	-22.0
7					3652	-16.8
8					5155	-13.4
9					6879	-10.9
10					8809	-9.1
11					10931	-7.7
12					13232	-6.6
13					15699	-5.6
14					18321	-4.9
15	13	99836519	140523	20191	21086	-4.2
16	14	99823954	149481	23094	23984	-3.7
17	15	99811391	158207	26127	27003	-3.2
18	16	99798830	166707			2.8
19	17	99786270	174988			2.5
20	18	99773712	183055			2.2
21	19	99761156	190913	39344	40112	-1.9
22				42874	43603	-1.7
23				46477	47164	-1.5
24	22	99723496	213288	50147	50788	-1.3
25	23	99710946			54468	-1.1
26	24	99698397			58197	-0.9
27	25	99685850	233971	61480	61969	-0.8
28	26	99673304	240511	65344	65779	-0.7
116	114	98575465	460295	305904	304440	0.5
117	115	98563059	460886	307066	305615	0.5
118	116	98550655	461461	308202	306764	0.5
119	117	98538252	462020	309313	307888	0.5
120	118	98525851	462562	310400	308989	0.5

図6 Case 3における ^{214}Bi の原子数の経時変化

4. 結果と考察

Case3 の t が 0 に近い時を除けば、差分化する際の時間の刻み幅が 1 min (注目核種の半減期の 1/20) 程度であれば、ワークシートを用いて算出した数値解と解析解の差は数% 以下程度に収まるようである。既報で使用した測定器「はかるくん II」では、1 分ごとのデータを記録することができるので、1 枚のワークシート内に実測値と計算値を並べて入力し、グラフ上で両者を容易に比較することができる。

計算機で得られる数値解は、解析解と異なって教育的ではないと考えられがちである。これは多くの場合、数値解を求めるために用いる既存のプログラムが学習者にとってブラックボックスにすぎず、正しい数値解を得ることはできても、その物理的な意味を理解する機会がないことに由来する。これに対し上述の方法では Excel の各セルに入力する式の物理的な意味が明確であるため、学習者はワークシートを完成させる作業を通して、親核種の減衰や娘核種の増加するメカニズムについて理解を深めることができる。また、この際に学習者に求められる知識は、「単位時間あたりの崩壊数が全原子数に比例する」ことだけで、これについては、例えば「いま、放射性の原子を 10000 個持ってきて、これをよく調べたら 1 秒間に 1 個ずつ崩壊していることがわかりました。では、20000 で調べたらどうでしょう？」といった直観で答えられる簡単な問いに帰着させることができる。

なお、ここでは注目核種の原子数と崩壊速度の比例係数である崩壊定数を、半減期から計算できる既知のものとして与えたが、逆に、実験結果から試行錯誤的に比例係数を求めさせ、その値から半減期を算出させる指導方法も考えられる。また、ここでは測定値を解析するための一方法として上記の計算方法を紹介したが、上でも述べたようにワークシートに記述する式が実際の物理現象を明確に表現しているため、実験とは切り離し、教育目的のシミュレーションとして利用する方法も考えられる。

注 1 : 測定結果に影響を与えない ^{214}Po , ^{210}Tl については無視した。

注 2 : GM 管に D3372 (HAMAMATSU) を使用した測定器が (株) 秋月電子通商 (TEL03-3251-1779 <http://www.akizuki.ne.jp>) より組立キットとして約 1 万円で市販されている。

注 3 : 「はかるくん II」は、放射線計測協会 (TEL029-282-5546 <http://www.irm.or.jp>) より無料で貸し出されている。

注 4 : 測定結果に影響を与えない ^{218}Po , ^{218}At , ^{214}Po , ^{210}Tl については無視した。

注 5 : 式(14)は式(1)を差分化したものに相当する。

注 6 : 19.9(min)は ^{214}Bi の半減期であり $0.693 (= \ln 2)$ をこれで除したものが、崩壊定数と呼ばれるものである。崩壊定数の単位は通常 s^{-1} であるが、ここでは min^{-1} とした。

追記

本研究の一部は、科学研究費補助金 (基盤研究(B)(2)10558077 平成 10-12 年度) の援助を受けて行われた。

文献

1. 鎌田正裕、中村麻利子、江坂享男、化学と教育, 42, 286-291(1994)
2. 鎌田正裕、中村麻利子、江坂享男、化学と教育, 42, 500-503(1994)
3. 鎌田正裕、中村麻利子、江坂享男、化学と教育, 43, 321-324(1995)
4. 鎌田正裕、江坂享男、化学と教育, 43, 588-591(1995)
5. 鎌田正裕、江坂享男、化学と教育, 44, 51-53 (1996)
6. 鎌田正裕、中村麻利子、江坂享男、化学と教育, 45, 33-36 (1997)
7. 鎌田正裕、中村麻利子、星野洋子、江坂享男、化学と教育, 47, 46-49(1999)
8. 鎌田正裕、星野洋子、化学と教育, 47, 50-52(1999)
9. 中村麻利子、江坂享男、化学と教育, 48, 印刷中 (2000)
10. 鎌田正裕、渡部千春、化学と教育, 48, 印刷中 (2000)

放射線教育フォーラムは何処から来たのか

放射線教育フォーラムは何者なのか

放射線教育フォーラムは何処へ行くのか

笹川 澄子

(財)環境科学技術研究所

(〒039-3212 青森県上北郡六ヶ所村 e-mail: ssgw@ies.or.jp)

【要約】放射線教育フォーラムの役割の一つは、科学技術と人々を結びつける役割を担うことだろう、科学技術と人々との間にいいかかわりを形成することだろう。そのためには、現場主義にのっとり、地域に愛されることではないだろうか。

2000 年度秋の拡大幹事会・勉強会（2000 年 11 月 25 日、東京港区虎ノ門 升本ビル 2 階原産 B 会議室）で放射線教育フォーラムが NPO 法人として環境庁に認可されたことが松浦辰男事務局長から報告された。本フォーラムにはエネルギー環境教育に関して様々な活動が以前にも増して期待されることが併せて説明された。新参の私も改めて本フォーラムの意義と活動を意識することになった。それについて寄稿したい。

いまでも時々思い出す記事がある。1999 年 10 月 20 日付け朝日新聞の地域通信という小さな欄である。「地域に愛される大学づくり」と題して、竹井史氏（富山市、富山大学教育学部助教授）は呼びかけた（資料 1）。国立大学は独立行政法人化という生き残りかけた問題を抱えているが、地域の大学に対する期待は大きいということを大学人は自覚し、地域に愛される大学づくりこそ、大学改革の第一歩、と呼びかけた。大学と地域がうまく交流できるかは、①地元で望まれる文化活動であること ②学生が自主的に運営でき、生きがいを実感できる活動であること ③大学の知識を社会に還元していること、が重要なポイントだ、地域に愛される大学づくりこそ大学改革の第一歩だ、と呼びかけた。

この記事の約 1 週間後、私は、青森県 ITER (International Termonuclear Experimental Reactor 国際熱核融合実験炉) シンポジウム（主催：青森県 ITER 誘致推進会議および青森県、開催日：平成 11 年 10 月 28 日、場所：青森市）にパネリストとして列席し、指定課題「科学技術の研究と地域協力・地域振興」について発言する機会を与えられた。期せずして、この機会は私にとって、「科学技術」と「社会つまり地域住民」との関わりとは何かをじっくりと考える好機となった。そして、竹井史氏の呼びかけが以前にも増して理解でき、氏の視点が大切なのだという結論に至った。シンポジウムでは概略次のように発言した(1)。

科学技術、特に科学は、人間の本性から生まれ発展してきた最も人間的な所作である。人間だけが創り得る文化ともいえるべきものだ。音楽、美術、文学、スポーツなどと同様に、

我々の「知的好奇心 Incentive」がその源泉に横たわっているだろう。美しいものを美しいと感じる喜び、知る楽しみ、分からないものを解き明かしていく喜び。そういったものが科学を発展させてきたといえる。同様に、技術は、ものを創り出す喜びから生まれ、人のために役立つ喜び、生きる喜びを大切にしたいという願いから発展してきたといえる。

我々の知的好奇心から生まれた極めて人間的なものは、社会の中で多くの人々と関わりを持ってくる。一方、社会は多様な人々で構成され、価値観や趣向も多様だ。したがって、極めて人間的なものでも必ずしも全ての人が受け入れるとは限らない。この現実是我们もよく認識しているところだ。特に、科学技術がつくり出す世界と、経験で支えられる日常生活との間にずれが生じると、人々はその間に不安を感じるかも知れない。しかし、歴史を振り返ってみると、科学技術は我々の日常と乖離したものではないことが分かる。つまり、「ずれをどう解決するか」という問いに応える知性・英知を我々はもっている。それには芸術やスポーツなどと同じように、科学技術を生み出した知的好奇心を皆で共有することが必要だ。そのために有効な手段が教育だろう。科学技術における広報活動やPA (public acceptance、*脚注参照) 活動もその範疇にはいる。

「科学技術の研究」に含まれる「研究」とは、「自然とは何か、人間とは何か、物とは何か」ということに対する答を探ることだろう。そこには知る楽しみ、わからないものを解き明かしていく喜び、美しいものを美しいと感じる喜び、ものを創り出す喜び、人のために役に立つ喜びがある。つまり、生きる喜びが研究を進める原動力になっている。

「科学技術の研究」とは生きる喜びを探求することである。生きる喜びを皆で共有することによって「香り高い文化 Incense of culture」を創り出すことができる。ITER を介して生きる喜びを共有する。どのように共有していくか？ それには方法論を十分研究した教育、広報活動、PA 活動が有効な手段となるだろう。「科学技術の研究」が香り高い文化を創り出すとき、「地域協力・地域振興」が実現でき、「未来への第一歩 Incipient step to the future」がはじまる。そして、「無限 Infinity」の可能性へと繋がり広がっていくだろう。

生きる喜びを求めることから始まり、生きる喜びを共有することが ITER のあるべき姿を象徴すると思われる。四つ葉のクローバー (図 1) にその姿を描きたい。

さて、このような視点で考えさせられるきっかけとなったもう一つは、フランス後期印象派の画家ポール・ゴーギャン (Paul Gauguin 1848~1903) の作品「我々は何処から来たのか、我々は何者なのか、我々は何処へ行くのか」(1897 年作、139×375 cm、米国ボストン美術館蔵) (図 2) である。向かって左上に見落としてしまいそうなくらい小さく薄くこの絵のタイトルを書いている。作品名は謎めいていて、そこに込めた作者の真意は巷の美術書にさまざまに解説されているが、美学に疎い著者には本当のところ分からない。しかし、いろいろな事柄に置き換えることができ、そういう意味で、私は興味を引かれている。

* PA (public acceptance) 社会的容認、公衆の容認、社会的合意形成、公衆の合意形成などと訳される例が多い。

D'ou venons-nous Que somme-nous Ou allons-nous?

(Where do we come from what are we where are we going?)

(我々は何処から来たのか 我々は何者なのか 我々は何処へ行くのか?)

放射線教育フォーラムは何処から来たのか?

放射線教育フォーラムは何者なのか?

放射線教育フォーラムは何処へ行くのか?

この置き換えは、科学技術と人々、そして両者の間に介在する放射線教育フォーラムとその意義を考える上で新参者に一つの視点を提供してくれそうだ。

- ◎ 放射線教育フォーラムは何処から来たのか? 古来、人々は「我々の根源は何か」を問い続けてきた。放射線教育フォーラムの元にある放射線・原子力という現象は、この「知りたい」という知的好奇心から発見された。
- ◎ 放射線教育フォーラムは何者なのか? 社会には多様な価値観や趣向があり、その多様性は様々な放射線教育フォーラム像を作り上げると想像される。我々も一人一人の放射線教育フォーラム像をもっているだろう。
- ◎ 放射線教育フォーラムは何処へ行くのか? 日常生活との間にずれが生じると人々は不安を感じるかも知れない。しかし、科学者や技術者の知識に対する知的好奇心を皆で、若齢者・高齢者・男・女の皆で共有したとき、放射線教育フォーラムはごく自然に社会に根付き、社会に向かって歩み始めるだろう。

前出の竹井史氏は、大学と地域とのいいかかわりを求めて模索し、活動の多くは児童と一緒にだった(資料 1)と述べている。これは、現場主義の大切さをも言い当てていると思う。そして、現場には「する人」と「される人」(2)が存在する。だからこそ、そこには両者が共有する生き甲斐、生きる喜びがなくてはならないだろう。これこそは竹井氏が指摘する、地域あるいは地元で望まれる文化活動、「する人」が自主的に運営でき生きがいを実感できる活動、「する人」が所有する知識の社会への還元、そのものではないか。

私の拙い経験から、地域の人々との直接交流あるいは現場主義は何かしら程度の低いことと見なす風潮があるような印象を持っている。しかし、放射線教育フォーラムはまずはどこかの地域あるいは地元とのいいかかわりを築くことが第一歩だろう。いいかかわりとは何か、それはどのようにして築いていくべきか、それこそは放射線教育フォーラムが今取り組むべき研究課題だろう。

参考資料

- 1) 六ヶ所村読書愛好会、「六ヶ所村女性たちの発信」第五巻、六ヶ所村文化協会、2000(平成 12 年)
- 2) 笹川澄子、原子力時代に期待される教育・PA、放射線教育、3、43-50、1999

地域に愛される大学づくり

竹井 史



富山市
(富山大学教育学部助教授)

フェスティバルで実施したアンケートでは、回答者の九割近くが「今後も子どもが参加できる行事を教育学部に行ってほしい」と望んでいる。大学への期待は大きいのだ。地域に愛される大学づくりこそ、大学改革の第一歩であると思う。

国立大学では、独立行政法人化問題が議論されている。公的なサービスにかかわる問題なのに、関心は低い。地域社会に愛されず、孤立した存在である大学の現状と無関係ではないだろう。

大学と地域が、うまく交流できるかは、次の三点が決まると思う。①地元で生まれる文化活動が②学生が自主的に運営でき、生きがいを実感できる活動が③大学の知識を社会に還元しているか、である。

もちろん、こうした活動が大学と地域のつながりを深めるのに一役買えば確信を持った。

十年前、前任地の岡山の女子大で、伝承行事づくりなどを遇して、新しい教材の開発につながると、学生と私塾を開いた。活動の多くは原簿と一緒にだった。学生の成長はも

いま卒業することへの躊躇もあった。習以外に子どもたちと接する機会を持たない

て以来、大学と地域の「いいかわり」を実現できないか、と模索してきた。また教員を目指しながらも、多くの学生が教育実習以外に子どもたちと接する機会を持たないまま卒業することへの躊躇もあった。

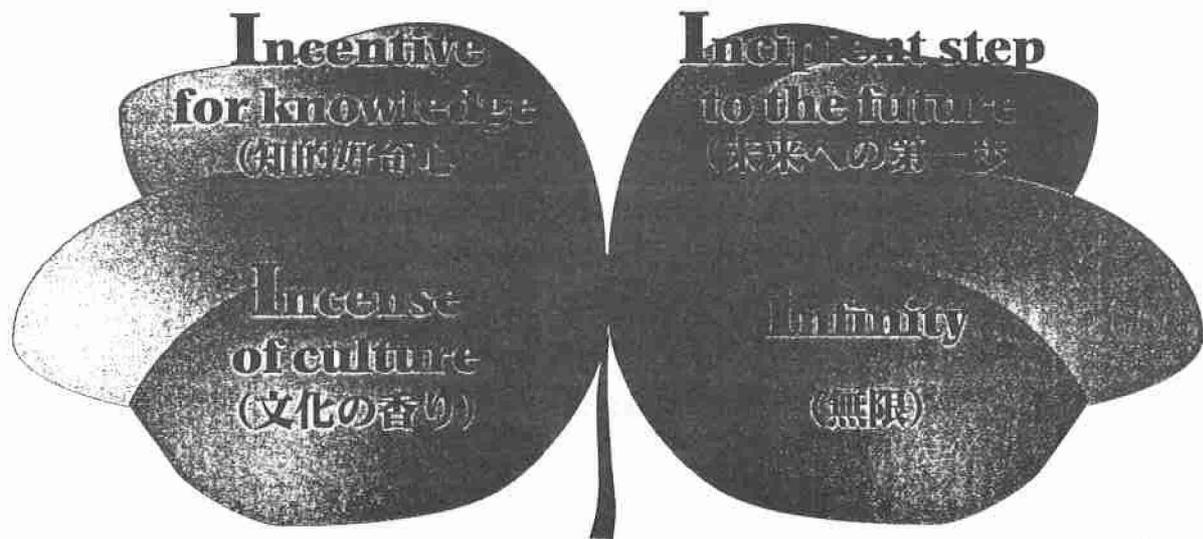
富山大学でこの夏、学生と教員が初めて企画した「親子フェスティバル」に、二日間延べ千七百人を超える親子連れが訪れた。県内に伝わる「和紙すき」の体験、地元の間伐材を使つての工作や、目の不自由な子どもたちの彫刻作品展、夏休みの宿題質問コーナーなども開き、廃材を壁紙ールを利用した巨大迷路もつくった。



資料 1

ITERと4つのI・あい・アイ・愛

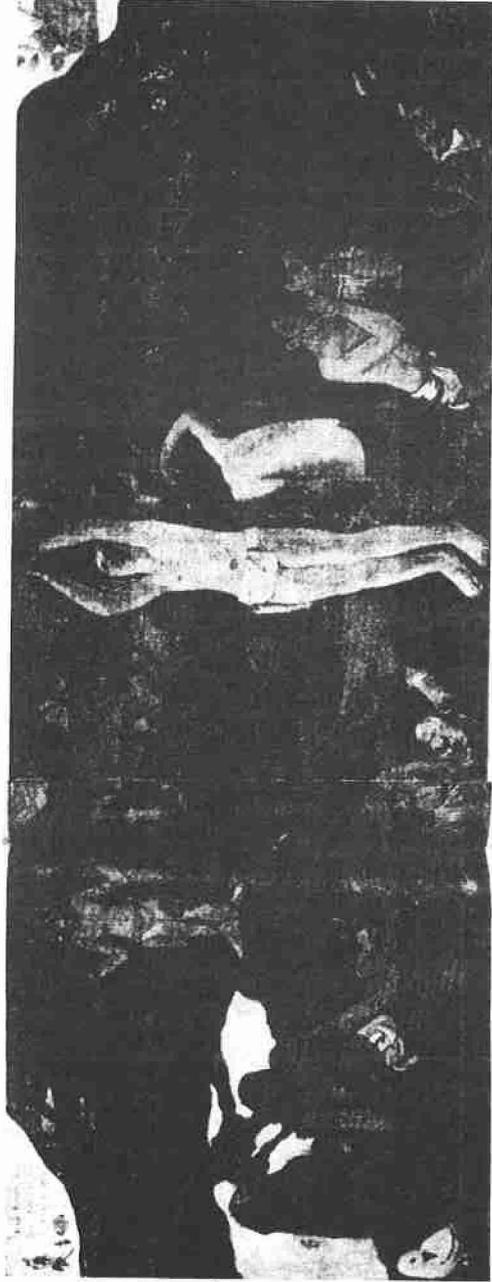
A Four-leaf Clover



ITER

Sasagawa S. 

図 1



ゴーギャン「我々は何処から来たのか、我々は何者なのか、我々は何処へ行くのか」

(1897年作、139×375 cm、ボストン美術館蔵)

図 2

暮らしとリスク

村主 進

原子力システム研究懇話会

(〒105-0001 東京都港区虎ノ門 1-7-6 升本ビル 4階)

要約

日常の生活の中で不慮の事故や天災によって生命を失うようなリスクが至る所に存在している。そこでリスクはどの程度であるのか、どのようにしてリスクを求めることができるか、そしてリスクに関する考え方について説明した。またリスクとベネフィットの関係についても言及した。

書き方としては、文部省の新しい初等教育指導要領の「総合的な学習の時間」に役立つように記述した。

1.はじめに

われわれは産業活動によって収入を得て、これにより生計を立て、快適な生活を過すことができる。すなわち、人は人生を楽しむために働き、その報酬として収入を得て充実した生活を営んでいる。しかし、一方そのために交通事故などの不慮の事故やその他の諸々のリスクにさらされているのが現状である。

そこで、日常生活においてどのようなリスクがあるのか、そのリスクの程度はどのくらいか、そしてリスクを受容できるだけのベネフィットがあるのかを知ることは重要なことである。

リスクのうちでも健康に関するリスク、特に生命に関するリスクは人々の関心の的であろう。そこで本論文では、まず日常生活における生命に関するリスクとその求め方について述べる。つぎに原子力利用に伴うリスクについて、日常生活におけるリスクと同様な考察をする。またリスクとベネフィットについての考え方についても述べることにする。

一方初等教育指導要領の改定により、物事を主体的に判断し問題を解決する能力を養うために「総合的な学習の時間」を設けることになったと聞いている。この時間には、情報の調べ方まとめ方に重点を置いて、環境、健康などに対して総合的な課題を取り上げることとなる。そこで、学校の先生方が中学生、高校生に健康に関する総合的な視野を持たせる教育をすることを期待して、教育指導に役立つように述べることにする。

2.リスクとは

「リスク」とは「損害を受けるおそれ」である。すなわちリスクとは将来予想される損害であって、過去に受けた損害を言うものではない。

リスクの評価は、権威あるデータベースを基にして、過去の損害と同じ大きさの損害が将来も起こると考えて評価する。

つぎにできれば、将来の技術の進歩または制度の改善によって減少するリスクを適切な方法によって補正する。

リスクは大きく健康に関するリスクと財産に関するリスクとに分けられる。健康に関するリスクは生命を失うリスクと病気になるリスクとに分けられる。

事故、災害によって生命を失うリスクの評価は、①10万人中の年間の死亡者数で表わされることが多い(今後これを「死亡者数による表現」と言うことにする)。また、②事故、災害による死亡を過剰の死亡と考え、生涯における過剰死亡確率で表されることもある(今後これを「過剰死亡確率による表現」と言うことにする)。さらに、③寿命の短縮という尺度でリスクを考えることもある(今後これを「寿命の損失による表現」と言うことにする)。

寿命の短縮という尺度でリスクを取り上げると次のような長所がある。

- ①年少者が生命を失うのと老年者が生命を失うのとはその重さが異なるが、これを勘案することができる。
- ②生命表のように平均寿命で表されている統計もある。寿命の短縮はこの平均寿命と直接対比することができる。

③リスクには自動車事故のように毎年死亡者がでるもの、兵庫県南部地震のように地震時に一度に死亡者のでるもの、放射線被ばくのように被ばく後数年してからガンが発生し数十年間ガンの発生が継続するものなどがある。これらは考察する時間間隔が異なるので直接比較できない。平均的な生涯の期間(寿命の期間)を評価の時間間隔とすれば、これらを比較することができる。

リスクを評価するに当たっては、用いるデータベースおよび評価方法の考え方(過去の損害を考慮する期間(年数)、将来の技術進歩や制度の改善を考慮することなど)を明らかにしなければならない。リスク評価の値はこれらの前提の下に得られたものである。前提が異なれば異なる結果が得られる。そして前提が妥当であれば得られた結果も妥当なものと言える。

3. リスクとベネフィット(便益)

3.1 リスク

日常生活においてわれわれが認識していると否とに関わらず、多くのリスクの中で生活している。たとえば自動車の利用に伴う事故のリスクでは、寿命の損失で表わすと130日の損失とかなり大きい。平成63年のインフルエンザの流行では120日の寿命の損失が記録されているが、今後も昭和63年と同じくらいのインフルエンザの流行があれば120日程度の寿命の損失を覚悟しなければならない。

われわれはまずどのような行動やどのような病気などがどの程度のリスクであるかを十分に認識しなければならない。

3.2 ベネフィット(便益)

人間はあらゆる場合においてベネフィット(便益)を得ようとして行動しているが、この行動には大なり小なりリスクを伴う。科学技術を推進する目標は、あらゆる行動でリスクを最小にして最大のベネフィットを得ることにある。

科学技術の進んでいなかった昔の産業では生産量が少ないにも関わらず、事故はかなり起こっていた。すなわち、ある生産量あたりの事故はかなり多いものであった。科学技術の進歩とともに事業は巨大となり、その進展とともに事故の発生頻度は少なくなったが、事故の規模は大きくなった。こうして、ある生産量あたりのリスクは小さくなってきたのが現実であるが、事故の規模が大きくなったために公衆はリスクをよりはっきりと認識するようになった。

一方ベネフィットについては、個人としてベネフィットを受けるというよりは、集団としてベネフィットを平等に受けることが多い。このため個人としては、ベネフィットの認識が薄いように考えられる。

総合的に、科学技術の進展によるベネフィットを判断する指標として日本人男性の生存数曲線の推移を見てみよう。平均寿命の記録が取られ始めた明治24年より今日までの生存数曲線の推移は第1図に示すとおりである⁽¹⁾。またそれぞれの生存数曲線とともに平均寿命も併記した。

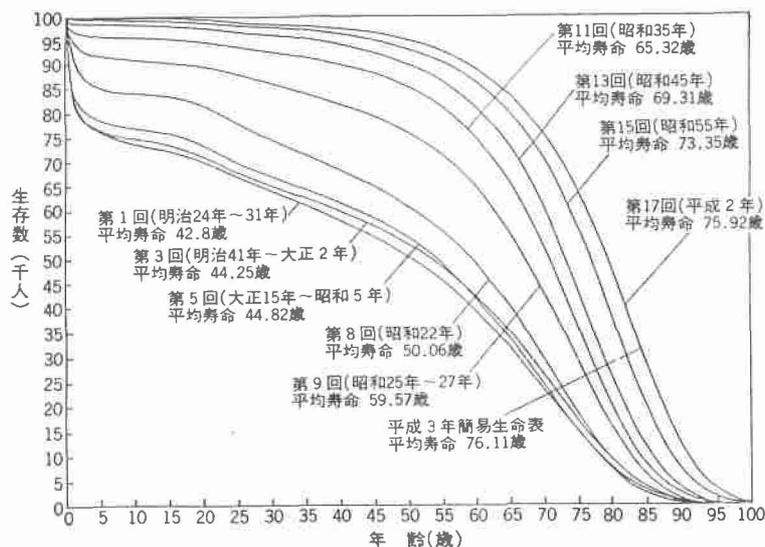
図を見ると、第1回調査の明治24年～31年では、2歳までに20%の幼児が死亡しており、その後歳をとるとともに生存者の減少はかなり著しく、平均寿命は42.8歳であった。この傾向は明治、大正、昭和、平成と年代を経るとともに、乳幼児の死亡率は著しく減少し、また成人についても死亡率は減少しており、そのため平均寿命は次第に高くなってきた。平成3年では乳幼児及び成人の死亡率は非常に低くなり、平均寿命が76.11歳にまで延びた。この生存数曲線の傾向は男子の平均寿命が77.1歳になった現在でも殆ど変わらない。このことは次に述べる事情によるものと考えられる。

・明治以降、科学技術の進展とともに産業が興り国民所得が次第に多くなり、国民が豊かになった。

・国民が豊かになるとともに、衣食住も整い、上下水道のようなインフラも整備された。また国民は医療費も十分に支出することができるようになって、医者は医療収入によって高価な医療器械もそろえることができ、また医療研究も進展してきた。

- ・このことが、平均寿命に大きな影響を及ぼす乳幼児の死亡率を減らし、また成人の病気による死亡率を下げる事ができた。このため平均寿命が大きく伸びた。
- ・一方、産業活動のための環境汚染、不慮の事故その他の各種のデメリットにより平均寿命の損失が考えられるが、メリットのほうが優り、メリット、デメリットの相殺の結果としては日本人の平均寿命が上昇した。

以上の推論は後で述べる世界各国の平均寿命の比較からも妥当なものであることが分かる。



第1図 生存数曲線の推移(日本人・男子)

4. 日常生活に伴うリスク

ここでは日常生活に伴うリスクの求め方の数例を紹介する。ここに紹介した項目以外のリスクも、同じ方法で総合的な学習の時間において生徒に実習させることができる。

4.1 自動車の利用に伴う事故のリスク

(1) 過去の自動車事故による死者数の推移

われわれは日常生活において常に自動車事故など不慮の事故に遭う危険にさらされている。どの程度の自動車事故があるかは、例えば日本統計年鑑を見れば分かる。日本統計年鑑から人口10万人あたりの不慮の事故および天災、その内訳としての自動車事故などによる死者数の推移をまとめると第1表のとおりになる⁽²⁾。

第1表 不慮の事故および天災による死者数の推移(人口10万人あたりの死者数)

事故・災害	昭和25年 1950	昭和30年 1955	昭和35年 1960	昭和40年 1965	昭和45年 1970	昭和50年 1975	昭和55年 1980	昭和60年 1985	平成2年 1990	平成7年 1995
不慮の事故および天災	39.5	37.3	41.7	40.9	42.5	30.3	25.1	24.6	26.2	36.5
交通事故			19.0	19.9	23.4	14.6	11.4	12.0	12.9	12.2
自動車事故	3.7	6.7	14.4	16.5	20.9	12.8	10.1	10.5	11.9	
自動車事故以外の交通事故	5.4	5.1	4.6	3.3	2.5	1.8	1.3	1.4	1.0	

参考文献：平成5・6年版日本統計年鑑、平成12年版日本統計年鑑

以上の日本統計年鑑の原本は厚生省、統計情報部、「人口動態統計」

この表から自動車事故を見ると戦後の昭和25年あたりは自動車の普及していない時代であって、自動車事故による死者数は少なかったことが分かる。その後昭和45年ごろまでは自動車の普及とともに死者数が増加してきた。昭和50年ごろより死者数の増加を食い止めるために交通取り締まり法規の改正、交通信号の整備、運転者のマナーの改善などにより、

現在では自動車事故による死者数は10万人あたり約10人程度にまで低下している。

一方自動車事故以外の交通事故は戦後より毎年減少しており、現在では人口10万人あたり1名以下の死者数となった。自動車事故の1割以下の数字になったためなどの理由により平成7年からは「自動車事故以外の交通事故」の項目は設けず、これは交通事故に含め集計するようになった。

(2) 事故のリスクの表し方、その1—死亡者数による表現

まず健康に関する最も直接的なリスクの表し方は、10万人あたりの年間死亡者数で示す方法である。第1表から自動車事故による死亡のリスクをこの方法で評価する。リスクを評価する場合、評価の前提を明らかにする必要がある。第1表を見ると1980年より死亡者数が激減しているのが分かる。そこで2種類の前提を考えることにする。

① 交通取り締まり法規、運転者のマナーなどの死亡率に影響する因子が改善されたために、1980年より死亡者の数が減っている。この死亡率に影響する因子が将来も変わらないとの前提で、1980年～1990年のデータの平均値を将来のリスクと考える。この場合平均値は $(10.1+10.5+11.9) \div 3 = 10.8$ となる。すなわち自動車事故による死亡のリスクは人口10万人あたり年間11人となる。

② 死亡率に影響する因子が年々改善されるとする。そして1980年、1985年、1990年の死亡者の平均値と1965年、1970年、1975年の死亡者の平均値との比、0.6を補正係数として前記①のリスクに掛けることにする。この場合リスクは10万人あたり年間 $10.8 \times 0.6 = 6.5$ 人となる。

以上の2ケース以外にも妥当な前提は色々考えられる。生徒に、色々な前提でリスクを計算させてみることにより、リスクの曖昧さや、どのようにリスクを大きく考えようとしてもリスクがこれ以上大きくならない限界が分かるであろう。

(3) 事故のリスクの表し方、その2—過剰死亡確率による表現

リスクの表し方の別の方法は平均的な人が生涯に受ける事故または災害による死亡を過剰死亡と捉え、過剰死亡確率で表わす方法である。すなわち日本人の平均寿命は約80歳であるので、生涯(80年間)に事故、災害による過剰死亡はどの程度の確率になるかを示す方法である。自動車事故による死亡の場合を例にとると、「過剰死亡確率による表現」でのリスクは次のようになる。

日本人の平均寿命を80歳とすると

①4.1節(2)の①の「人口10万人あたり年間10.8人の死亡」の場合は

$$10.8 \times 80 \div 100,000 = 0.009$$

②4.1節(2)の②の「人口10万人あたり年間6.5人の死亡」の場合は

$$6.5 \times 80 \div 100,000 = 0.005$$

(4) 事故のリスクの表し方、その3—寿命の損失による表現

リスクの表し方の第3の方法は寿命の損失で表わす方法である。

一般に、ある集団の人口をP、この集団の平均的な生涯の期間(平均寿命)における事故または災害による死亡者の数をD、この死亡者(犠牲者)の失う平均的な余命をLとすれば、この集団の平均的な寿命の損失Sは

$$S = L (D/P) \dots \dots \dots (1)$$

となる。

さてLについてまず考える。自動車事故では事故に遭って死亡するのは幼児から年寄りまですべての年齢層にわたる。したがって日本人の平均寿命を80歳とし、事故の犠牲者の平均的な年齢は $\{0(\text{歳}) + 80(\text{歳})\} \div 2 = 40$ 歳とすれば、犠牲者の失う平均的な余命Lは

$$L = 80(\text{歳}) - 40(\text{歳}) = 40(\text{歳})$$

となる。

(1)式を用いて自動車事故による寿命の損失のリスクを求めれば

①4.1節(2)の①の「人口10万人あたり年間10.8人の死亡」の場合は、Dは 10.8×80 であるから

$$S = 40 \times (10.8 \times 80 / 100,000) = 0.35 \text{ 年} = 130 \text{ 日}$$

④.4.1 節(2)の②の「人口 10 万人あたり年間 6.5 人の死亡」の場合は、Dは 6.5×80 であるから

$$S = 40 \times (6.5 \times 80 / 100,000) = 0.21 \text{ 年} = 80 \text{ 日}$$

となる。

4.2 兵庫県南部地震(神戸大震災)による被害

(1) 兵庫県南部地震の規模

平成 7 年 1 月 17 日に淡路島北部より須磨、六甲にかけて活断層が動き、淡路島北淡町、神戸市、西宮市、芦屋市、伊丹市、宝塚市、尼崎市に居住している住民のうち約 6,400 人が地震のために死亡した。この 7 市町の住民の総数は約 300 万人である。

なお、この地震では地震後の住民の移住費用、仮設住宅費用、復興費用および諸々の補償費用等の経済的損失は大きい。ここでは健康に関する損失について述べているので、経済的損失についてはここでは触れない。

(2) 死亡者数による表現

10 万人あたりの死亡者数は $6,400 \text{ 人} \times 100,000 / 3,000,000 = 210 \text{ 人}$ となる。しかしこの値は 4.1 節(2)の自動車事故のときの 10 万人あたりの死亡者が年間 10.8 人若しくは 6.5 人とは比較できない。兵庫県南部地震の場合は地震あたりの死亡者であり、自動車事故の場合は年あたりの死亡者であるので、単位が異なるからである。

(3) 過剰死亡確率による表現

兵庫県南部地震の場合は断層の性状から考えて地震の頻度は 2~3,000 年に 1 回程度と考えられている。従ってこの地方の住民が一生のうちに同じ程度の大規模の地震を経験することはないと考えられるので、この場合の生涯における死亡確率は $6,400(\text{人}) \div 3,000,000(\text{人}) = 0.0021$ となる。この値は 4.1 節(3)の自動車事故の場合の 0.008 若しくは 0.005 と比較することができる。

(4) 寿命の損失による表現

(1)式において、犠牲者の失う平均的な余命 L は 40 年であり、災害による死亡者の数 D は約 6,400 人であり、この集団の人口 P は約 300 万人であるから、**兵庫県南部地震による寿命の損失は(1)式より**

$$S = 40 \times 6,400 / 3,000,000 = 0.085 \text{ 年} = 31 \text{ 日}$$

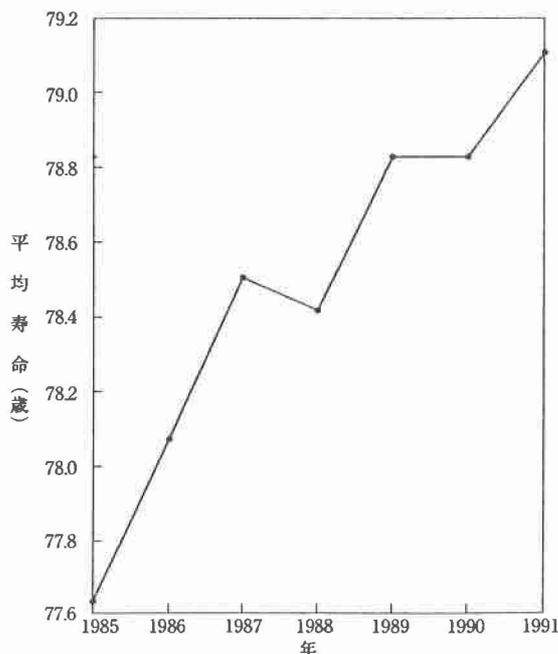
となる。この値は自動車事故の場合の 130 日若しくは 80 日と比較することができる。

4.3 流行病による寿命の損失

流行病による寿命の損失の程度はかなり大きい。平成 3 年簡易生命表によって、日本人の平均寿命を 1985 年から 1991 年までプロットすれば第 2 図のようになる⁽¹⁾。

この 6 年間の寿命の伸びは 1.46 歳で、年平均で 0.24 歳の寿命の伸びとなる。これはこの間年々国民が豊かになり、従って良質の食糧を取り、衛生的な生活を営み、高度の医療の恩恵を受けるなどして平均寿命が伸びたものである。

一方、1988 年(昭和 63 年)は 1987 年に対して平均寿命が 0.08 歳短くなっている。平成 3 年簡易生命表には、これは 1988 年のインフルエンザの流行が主因であると記述している。この前後の期間で平均寿命の伸びが年平均で 0.24 歳であることを考えれば、インフルエンザの流行が主因となって 1988 年は平均寿命が短縮し、その正味の値は $0.08(\text{歳}) + 0.24(\text{歳}) = 0.32 \text{ 歳}$ となる。これを日で表わすと 120 日となる。



第 2 図 日本における平均寿命の推移

(出典：厚生省、平成 3 年度簡易生命表)

4.4 不慮の事故および天災に伴うリスク

(1) 死亡者数による表現

第1表の「不慮の災害および天災」の欄を見ると、自動車事故ほど経年的に大きな変動はない。そして昭和25年以降死者数の推移はほぼ一定である。このためリスクの値としては、1985年、1990年、1995年の平均値を取るのが妥当であろう。

この値は $24.6+26.2+36.5 \div 3 = 29$ となり、人口10万人あたりの年間の死者数で表わしたリスクは29人となる。

(2) 過剰死亡確率による表現

日本人の平均寿命を80歳とすると、過剰死亡確率は

$$29 \times 80 \div 100,000 = 0.023 \text{ となる。}$$

(3) 寿命の損失による表現

(1)式において、生涯の期間における死亡者数Dは 29×80 人であり、この集団の人口Pは100,000人である。犠牲者の失う平均的な余命を40歳とすれば(1)式より平均的な寿命の損失Lは

$$L = 40 \times (29 \times 80 / 100,000) = 0.93 \text{ 年} = 340 \text{ 日}$$

となる。

4.5 産業活動に伴うリスク

(1) 産業活動における事故による死亡者

産業活動のうち農業、林業、漁業、鉱業に従事する人の不慮の事故による死亡率はかなり高い。この4産業に従事している男子の死亡率をみると第2表のようになる⁽³⁾。

第2表 産業別の不慮の事故による男子10万人あたりの死亡者

産業の種類	昭和60年度 1985年度	平成2年度 1990年度	平成7年度 1995年度	1985~1995 年度の平均値
農業	79.4	87.1	100.1	88.9
林業	169.5	177.0	202.7	183.1
漁業	108.1	118.1	131.7	119.3
鉱業	382.3	307.8	274.1	321.4

出典：平成2年度および平成7年度 人口動態職業・産業別統計

(2) 死亡者数による表現

第2表を見ると男子10万人あたりの死者数は、経年的に著しい増加もしくは減少の傾向は見られないので、今後のリスクは1985年度、1990年度、1995年度の平均値と考えるのが妥当であろう。従って農業、林業、漁業および鉱業における事故による死亡のリスクは、それぞれ10万人あたり90人、180人、120人、320人となる。

(3) 過剰死亡確率による表現

日本人の平均寿命は約80歳であるが、産業に従事する期間は約20歳から約60歳までと考えてよいであろう。従って産業のリスクにさらされる期間は、この場合は平均寿命の期間ではなくて、 $60 - 20 = 40$ 年間と考えるのが妥当であろう。従って過剰死亡確率は

$$\text{農業においては } 90 \times 40 \div 100,000 = 0.04$$

同様にして

$$\text{林業においては } 180 \times 40 \div 100,000 = 0.07$$

$$\text{漁業においては } 120 \times 40 \div 100,000 = 0.05$$

$$\text{鉱業においては } 320 \times 40 \div 100,000 = 0.13$$

となる。

(4) 寿命の損失による表現

農業においては、(1)式において、集団の人口Pが100,000人、生涯の期間における死亡者数Dは 90×40 人となる。犠牲者の失う平均的な余命を40歳とすれば(1)式より寿

命の損失Lは

$$L=40 \times (90 \times 40 / 100,000) = 1.4 \text{ 年} = 500 \text{ 日}$$

となる。同様に

$$\text{林業における寿命の損失は } L = 40 \times (180 \times 40 / 100,000) = 2.9 \text{ 年} = 1,100 \text{ 日}$$

$$\text{漁業における寿命の損失は } L = 40 \times (120 \times 40 / 100,000) = 1.9 \text{ 年} = 700 \text{ 日}$$

$$\text{鉱業における寿命の損失は } L = 40 \times (320 \times 40 / 100,000) = 5.1 \text{ 年} = 1,900 \text{ 日}$$

となる。

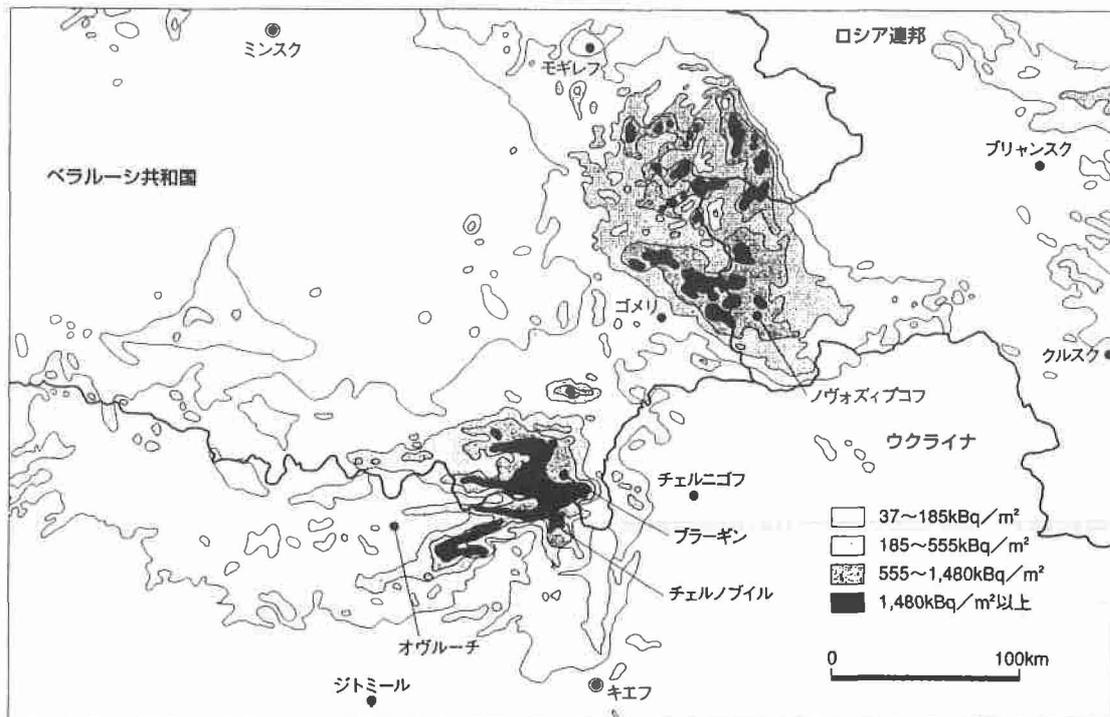
5. 原子力発電所の事故に伴うリスク

原子力発電所の事故に伴うリスクは「総合的な学習の時間」で取り上げるには難しいと考えられるが、教師の教養として知っておくべきものと考えられるのでここで取り上げる。ここではリスクを求めるために必要な基礎知識を述べ、その後にリスクの求め方について記す。

5.1 原子炉事故の規模の想定

わが国の原子力発電所の事故に伴うリスクを求めるためには、先ず原子炉事故の規模を定めなければならない。すなわち事故により放出される放射能の量を定めなければならない。ここでは1986年4月26日に旧ソ連邦ウクライナ共和国のチェルノブイリ原子力発電所で起こった事故の規模⁽⁴⁾を用いることにする。そうすれば、次に述べる理由によって、我が国の軽水炉の事故による放出放射能の量を多く見積り過ぎることはあっても、少なく見積り過ぎることはないと考えられる。

- i チェルノブイリ発電所の事故では10日間も燃料は冷却されず、長期間高温の状態であった。
- ii 放射能の放出は、高温の二酸化ウランペレットの中を拡散して出てくるものであって、高温継続時間が長いと放出される放射能の量は多くなる。
- iii このためチェルノブイリ事故では、ガス状の希ガスで炉心放射能の100%、揮発性の高いヨウ素で50~60%、セシウムで20~40%、ストロンチウムで4~6%が環境に放出された。この他にもテルルが25~60%、バリウムが4~6%、その他の核種では約3.5%程度が環境に放出された。



第3図 チェルノブイリ事故によるセシウム137の汚染分布図

iv 軽水炉では原子炉格納容器があるために、万一炉心溶融事故が起こっても、放射能は格納容器内に閉じ込められ、環境に放出される放射能は原子炉格納容器のないチェルノブイリ原子力発電所に比べて格段に少なくなる。

v 軽水炉では、10日間もの長期の期間にわたり燃料が冷却されない事態は考えられない。

5.2 チェルノブイリ原子力発電所事故の影響

チェルノブイリ原子力発電所では最初の暴走によって蒸気爆発が起こり、蒸気爆発で機械的に粉碎された燃料粒子はチェルノブイリ発電所の周辺で風下方向の100km以内に沈降した。その後に長時間にわたり放出された放射能は微粒の粉塵となって遠距離まで風によって運ばれ、雨とともに地表に降下したので、チェルノブイリ発電所より遠く離れた地域の地表も汚染させた。第3図にセシウムによる汚染分布を示す⁽⁵⁾。

1480kBq/m²(40Ci/km²)以上の汚染の区域は居住禁止区域とされ、住民は強制的に移住させられた。555kBq/m²(15Ci/km²)~1480kBq/m²の汚染の区域は嚴重管理区域と指定されて、住民の居住を制限され、14歳以下の子供や妊婦は一時退避することを勧告された。

UNSCEAR(国連科学委員会)2000年報告書⁽⁶⁾によれば、嚴重管理区域の住民の人口と、事故を起こした1986年より1995年まで(事故後10年間)の集積実効線量の評価は第3表のとおりである。すなわち旧ソ連邦の3国の合計で、人口は193,367人であり、この集団の1986年~1995年の10年間の集積実効線量は外部被ばくで6,055人・Sv、内部被ばくで1,963人・Svと評価されている。

第3表 嚴重管理区域住民の人口と集積実行線量の評価値(1986年~1995年)

国名	人口(人)	集積実効線量(人・Sv)	
		外部被ばく	内部被ばく
ベラルーシ共和国	97,593	3,433	1,150
ロシア連邦	95,474	2,611	799
ウクライナ国	300	11	14
合計	193,367	6,055	1,963

出典：UNSCEAR 2000

次に生涯(1986年~2056年の71年間)の集積実効線量を求める。UNSCEAR2000年報告書によれば、外部被ばくでは、最初の10年間(1986年~1995年)の集積線量は生涯の集積線量の60%と評価され、内部被ばくでは、最初の10年間の集積線量は生涯の集積線量の90%と評価されている。したがって、内部被ばく、外部被ばく合計の生涯の集積実効線量は193,367人の集団で

$$6,055(\text{人} \cdot \text{Sv}) \div 0.6 + 1,963(\text{人} \cdot \text{Sv}) \div 0.9 = 12,273(\text{人} \cdot \text{Sv})$$

となる。

原子炉事故の被ばく影響としてこの値を用いることにする。なお、ある集団が被ばくした生涯の集積線量をこの集団の単位人口で割った値、例えば100,000人あたりの生涯の集積線量の値は、放出される放射能の量および気象条件が同じならば、日本のような人口稠密な国でも人口希薄な国でも変わらない。

5.3 原子炉事故による財産上の損害

チェルノブイリ事故では、住民の待避費用、住民の移住費用、汚染除去作業費用、汚染食品廃棄費用および諸々の補償費用など経済的損失は莫大なものがある。しかしここでは健康上の損失を論じているのでこれには触れない。

5.4 放射線によるガン死のリスク係数

被ばく線量がわかると次に放射線の影響を求めなければならない。放射線影響に関してはICRP(国際放射線防護委員会)はガン死のリスク係数として0.05/Svとしている。これは0.1Svの被ばくで100,000人あたりのガン死が生涯で500人になるということである。しかし次節に述べるチェルノブイリ事故の甲状腺ガン多発を考慮して、ICRPのリスク係数

より高い値である、米国科学アカデミーの BEIR(Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation) - V 報告書⁽⁷⁾ のリスク係数を用いることにする。

BEIR-V 報告書では、0.1Sv の全身急性被ばくを受けた 100,000 人あたりの生涯のガン死は、男性 770 人、女性 810 人とある。男女平均すると 790 人となる。するとガン死のリスク係数は $790(\text{人}) \div 100,000(\text{人}) \div 0.1(\text{Sv}) = 0.079/\text{Sv}$ となる。

BEIR-V 報告書のリスク係数は、0.1Sv の急性被ばくのデータである。一時的の急性被ばくに対して時間間隔の長い被ばくではリスクは少なくなることは知られている。また 0.1Sv より低い線量ではリスクが線形比例の値より低くなることが期待される。しかし、ここでは上記のリスク係数を、長期間の被ばくであってしかも低い線量の被ばくにも適用する。したがって、上記のリスク係数から求まるリスクは、大き目のリスクを求めていることになる。

5.5 甲状腺ガンについて

チェルノブイリ事故では甲状腺ガンが多発している。甲状腺ガンは、事故により放出された放射性ヨウ素が甲状腺に摂取吸収されて起こるものと考えられるが、今までの甲状腺への放射性ヨウ素投与治療の経験などからは考えられない位の多発である。このような甲状腺ガンの多発は、この地方の住民の遺伝的素質や甲状腺のヨウ素欠乏、その他事故以外の因子の影響によるとも考えられる。

わが国では、甲状腺への放射性ヨウ素投与治療やその他の放射線治療の経験からも、また日本人はヨウ素を多く含む海藻を摂る食習慣であることから、チェルノブイリ事故程度のヨウ素の吸入・摂取があっても甲状腺ガンは殆んど起こらないと考えられる。

しかしながら現実にベラルーシ、ロシア、ウクライナ 3 国の高汚染地域では甲状腺ガンが多発しているの、これを勘案して放射線によるガン死のリスク係数として ICRP の値より約 5 割高い BEIR-V のリスク係数を用いることにした。

BEIR-V 報告書のリスク係数を用いれば、チェルノブイリ事故と同程度の甲状腺ガンの発生があったとしても、被害を少なめに見積もることはないであろう。

5.6 原子力発電所の重大事故に遭った時のリスク (寿命の損失)

わが国の原子力発電所の事故防止対策は厳重であって、放射能を大量に放出するような事故が起こるとは考えられない。わが国では大量の放射能を放出するような事故は未だ起こしたことはない。しかし万一チェルノブイリ事故のような大量の放射能を放出するような事故に遭ったときを想定して、そのときのリスクを求めてみる。

(1) 原子力発電所事故による被ばく線量

チェルノブイリ事故のときと同様に $1480\text{kBq}/\text{m}^2$ ($40\text{Ci}/\text{km}^2$) 以上の汚染区域を居住禁止区域として住民を強制的に移住させ、また $555\text{kBq}/\text{m}^2$ ($15\text{Ci}/\text{km}^2$) ~ $1480\text{kBq}/\text{m}^2$ の汚染区域を厳重管理区域として住民の居住を制限するとすれば、最大の被ばくをするグループの生涯の集積実効線量は、5.2 節に述べたように 193,367 人あたり $12,273 \text{人} \cdot \text{Sv}$ とするのが妥当であろう。

(2) 放射線のリスク係数

放射線によるガン死のリスク係数は、5.4 節に述べた BEIR-V の値 $0.079/\text{Sv}$ を用いることにする。この値は 5.4 節に述べたようにリスクを大き目に見積もることになる。

(3) 犠牲者の失う平均的な余命

放射線被ばくの場合は、被害者の失う平均的な余命は他の事故、災害の場合と異なる。

放射線に被ばくしてガンになる人は、被ばく後何年か後に発症し、さらに何年かの間を置いて死亡して、放射線被ばくの犠牲者になる。犠牲者の死亡は早い人で被ばく後数年後、遅い人では数十年経過した後である。そこで、放射線被ばくによる犠牲者の発生は平均して被ばく後 20 年経過した後起こるものと仮定する。すると犠牲者の平均的な年齢は、20 歳と平均寿命の 80 歳の間値として 50 歳となる。したがって犠牲者の失う平均的な余命は $80 - 50 = 30(\text{歳})$ となる。

(4) 原子力発電所事故によるリスク(寿命の損失)

人口 P のある集団の受ける生涯の集積線量を $C(\text{人} \cdot \text{Sv})$ とすれば、事故による死亡者の人

数Dは

$$D=0.079C$$

となる。これを平均寿命の損失の計算式(1)式に代入すれば

$$S=0.079L(C/P)$$

となる。犠牲者の失う平均的な余命Lは30歳である。また最大の被ばくをするグループの被ばくは人口Pが193,367人のとき、生涯の集積線量Cは12,273人・Svとなる。従って最大の被ばくをするグループの平均的な寿命の損失Sは

$$S=0.079 \times 30 \times (12,273/193,367) = 0.15(\text{年}) = 50(\text{日})$$

となる。

すなわち、万一大量の放射能を放出するような大事故に遭うことを想定したとき、最大の被ばくをするグループのリスクは50日の寿命の損失となる。

5.7 原子力発電所のリスク(寿命の損失)

前節で、チェルノブイリ事故のような大事故を想定した場合、最大の被ばくをするグループの寿命の損失のリスクは50日であると述べた。

しかし燃料が大破損するような大事故は恐らく人の一生のうちに経験することはないであろう。子、孫の時代にも経験することがないであろうと考えられる。そこで人類に対してどの程度のリスクになるのかを以下に述べる。

(1) 原子力発電所が大事故を起こす頻度

原子炉施設には多数の事故防止のための機器が設置されて、厳重な事故防止対策がなされている。したがって幾つかの機器の故障や人の誤操作があっても燃料が大破損するような大事故には発展しない。しかしこの何重にも設けられた事故防止機器が同時にすべて故障しているときには燃料の大破損事故が起こり得る。

この事故防止機器の故障頻度を調査し、また人の誤操作の頻度を調査すれば、この機器の故障頻度および人の誤操作頻度を基にして、燃料を大破損するような大事故の頻度を求めることができる。我が国の代表的な軽水型原子力発電所の燃料の大破損事故頻度を、このような方法で求めた結果は第4表とおおりである⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

燃料大破損事故の頻度は確率分布をもっており、表には平均値と、確率分布の95%を占める上側の値(95%上限値)を示す。代表的なPWRおよびBWRの燃料大破損頻度は平均値でほぼ 1×10^{-6} /炉・年と考えてよい。また95%上限値は平均値の約3倍となる。

なおこのリスク評価はできるだけ現実的な値を求めるようにしたが、不確定な要素については大き目の値を用いている。したがって表に示す頻度は大き目の値を示したことになる。

第4表 わが国の原子力発電所の燃料大破損頻度

炉形	炉心大破損頻度(／炉・年)	
	確率分布の平均値	確率分布の95%上限値
代表的なPWR	1.9×10^{-6}	5.1×10^{-6}
代表的なBWR	7.6×10^{-7}	2.0×10^{-6}

出典：原子力安全解析所報告書

(2) 原子力発電所のリスク

上に述べたように、多量の放射能を放出するような燃料大破損事故の頻度は 1×10^{-6} /炉・年(1年間運転する原子炉1基あたり、燃料の大破損事故の起こる頻度は100万年に1回)程度である。また我が国の原子力サイト当たりの原子炉の基数は、最大規模のものでも10基と考えてよい。そして日本人の平均寿命は80歳であるので、発電所周辺の住民が生涯の間に燃料大破損の事故を経験する確率は

$$1 \times 10^{-6}(\text{／基・年}) \times 10(\text{基}) \times 80(\text{年}) = 8 \times 10^{-4}$$

となる。

前節で述べたように、原子力発電所が燃料大破損を起こすような大事故に遭った時のリ

スクは、最大の被ばくをするグループで寿命の損失 0.15 年 (50 日) である。また上に述べたように、発電所周辺の住民が生涯の間に燃料大破損事故を経験する確率は 8×10^{-4} であるので、原子力発電所そのもののリスクは、寿命の短縮 S で表現すると

$$S = 0.15(\text{年}) \times 8 \times 10^{-4} = 1.2 \times 10^{-4}(\text{年})$$

となる。 1.2×10^{-4} 年を日に直すと **0.04 日の寿命の短縮** となる。

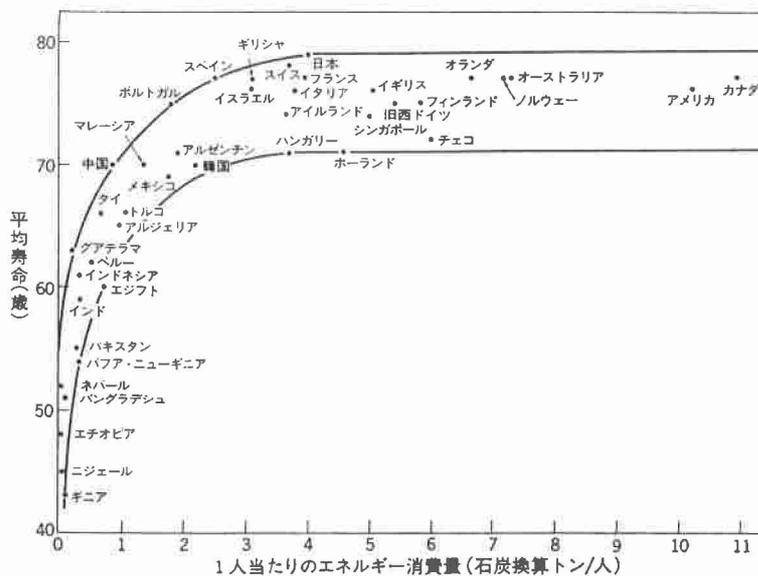
これが原子力発電所の重大事故について最大の被ばくをする人々のリスクとなる。

6. 各国の国民の平均寿命の比較

今まで日常生活におけるリスクについて述べたが、この節では貧困な暮らしによる寿命の短縮のリスクについて述べる。

国の経済が発展し、国民 1 人当たりの国内総生産(GNP)が高まれば、国民 1 人当たりのエネルギー消費が増える。すなわちエネルギー消費の増大によって国内総生産が高まり、これによって国民は豊かになり、暮らしが向上し、快適な生活を送ることができる。

各国の 1 人当たりのエネルギー消費と国民の平均寿命の関係を調べてみると、かなり良い相関が得られる。第 4 図にこの関係を示す⁽¹⁰⁾。



第4図 平均寿命とエネルギー消費量

もちろん各国の政治・経済体制、風土、食習慣、医療制度、省エネルギーの程度などの差異によって平均寿命に幅があるのは当然であるが、ある程度以上のエネルギー消費の国では、エネルギー消費とともに暮らしが向上しているのは事実であるが、平均寿命には関係ない。

一方各国のエネルギー消費量が極端に低くなると、エネルギー消費量の低下とともに平均寿命が低くなっている。これはエネルギー消費が極端に少ないということは国民の貧困を意味し、国民は貧困のために、食糧の不足に悩まされ、上下水道のようなインフラが不十分で不衛生な生活を余儀なく強いられ、医療費にも支出する余裕が少ないためであると言われている。

図に示すようにエネルギー消費の高い先進国の平均寿命は約 75 歳前後であり、パキスタン、ネパール、バングラデシュ、エチオピア等のエネルギー消費の極端に低い貧困な国の平均寿命は 50 歳前後である。この差は 25 歳となっている。すなわち**貧困による寿命の短縮は** $(365 \text{日} \times 25 =)$ **9,000 日**となる。逆にいえば、貧困でない暮らしは平均寿命で約 9000 日のメリットがあることになる。

7. 様々なリスクおよび災害などのまとめ

今まで述べたリスクおよび災害について、損害の大きい順序に纏めると第5表のようになる。表には「死亡者数による表現」と「寿命の損失による表現」について載せた。表に示したように、年間死亡リスクで表現できないものもあるが、すべての項目は寿命の損失では表現できる。以下各項目について、今までの記述と重複する点もあるが、分かり易く簡単に説明をする。

第5表 種々のリスクおよび過去の災害による寿命の損失

事象	10万人あたりの 年間死亡リスク	寿命の損失
貧困	—	9,000日
鉱業に従事(男子)	320人	1,900日
林業に従事(男子)	180人	1,100日
漁業に従事(男子)	120人	700日
農業に従事(男子)	90人	500日
日常生活における不慮の事故および天災	29人	340日
自動車事故	11人	130日
過去の災害—1988年のインフルエンザの流行)	—	120日
原子力発電所の大事故に遭遇	—	50日
過去の災害—兵庫県南部地震	—	31日
原子力発電所の大事故	—	0.04日

(1) 貧困

貧困な国とそれ以外の国の平均寿命の差から、貧困による寿命の損失を9,000日としたものである。国が貧困になるのは、エネルギー消費が極端に低いために国内総生産が低くなり、そのため国民の所得が低くなるためである。

(2) 産業に従事

産業の中にはリスクの高い産業もある。産業活動において自動車事故のほかにも、墜落、溺死、火災による火傷、窒息、落下物に直撃、機械に巻き込まれ、感電などの事故により不慮の死に遭うことも多い。厚生省の人口動態統計によればリスクの高い産業は鉱業、林業、漁業の順序となる。これについて農業もリスクが高い。表には男性に対するリスクを示した。産業によって生計を立てているので、ある程度のリスクはやむを得ないが、このようにリスクの高い産業は今後ともリスクを減らす努力は必要であろう。

(3) 日常生活における不慮の事故および天災

日常生活における不慮の事故および天災のリスクを求めるにあたって、対象とする集団として日本の人口を用いている。日常生活において、現実にはこの程度のリスクが存在していることは認識せざるを得ない。

(4) 自動車事故

自動車事故のリスクを評価するにあたって、「死亡率に影響する因子」が将来も変わらない場合と将来改善されるとした場合の2種類の前提のもとに評価している。しかし表には死亡率に影響する因子が将来も変わらない場合を載せた。

不慮の事故の中で、自動車事故の占める割合は大きい。自動車事故を減らす努力は今後とも真剣に行なわなければならない。

(5) 過去の災害

過去の災害として、インフルエンザの流行と兵庫県南部地震とを挙げた。いずれも将来同じ程度のインフルエンザの流行や地震があれば、同じ程度のリスクは覚悟しなければならないであろう。

(6) 原子力発電所の重大事故に遭遇

わが国においては、原子力発電所の大事故の遭うことは殆んど考えられないが、あえて原子力発電所の大事故に遭うことを想定してリスクを評価した。

マスメディアが原子炉事故を常にセンセーショナルに報道しているために、事故の影響は過大に考えられているのではないだろうか。チェルノブイリ事故の程度の大事故に遭遇したときの住民のリスクの最大が、寿命の損失で50日程度であることを知っている人は少ないのではないだろうか。

ここでは生命に関するリスクを述べているが、原子力発電所の事故時のリスクが低いのは、緊急退避および事故後の高汚染区域における居住禁止および居住制限などによるところが大きい。これらの措置に要する費用、すなわち退避費用、移住費用、汚染除去費用、汚染食品廃棄費用および諸々の補償費用などは莫大なものであるが、これらは経済的な負担であって金銭で解決のつく問題である。

(7)原子力発電所の大事故

原子力発電所には、事故防止のために多数の機器が重複して多重に設置されていて、厳重な事故防止対策が実施されている。したがって原子炉に事故が起こっても、燃料の大破損事故に至る頻度はきわめて低い。

したがって、燃料が大破損するような大事故はおそらく人の一生のうちに経験することはないであろう。子、孫の時代にも経験することがないであろう。しかしながら、このような大事故の頻度は0ではなく、 10^{-6} /炉・年程度である。この事実を勘案したものが「原子力発電所の大事故」である。

燃料の大破損の頻度と前述の原子炉の大事故に遭遇したときのリスクを基にして、原子力発電所の大事故によるリスクを求めてみると、寿命の損失のリスクで0.04日と極端に低い。

エネルギー供給に重要な役割を受け持つ原子力発電所のリスクを認識し、原子力発電所のベネフィットの認識とともに、総合的な視野にたつて物事を判断することが必要であろう。

8. あとがき

我々は働き、収入を得て、快適な生活をする上で多くのリスクに曝されている。これらのリスクを正しく認識することが、物事を判断する上に必要である。リスクの理解を得るためにリスクの求め方、考え方について述べた。リスクについて正しく認識してもらえれば、そして学校の教育においてリスク教育に利用してもらえれば、筆者の喜びとするところである。

参考文献

- (1)厚生省大臣官房統計情報部：平成3年簡易生命表
- (2)総務庁統計局：第43回、第46回、第49回 日本統計年鑑
- (3)厚生省大臣官房統計情報部：平成2年度、平成7年度 人口動態職業・産業別統計
- (4)OECD NEA：The radiological and health impact of the Chernobyl accident-Ten years on(Nov.1995)
- (5)ソ連原子力国家委員会資料(1986年8月 IAEA 専門家会議)
- (6)United Nations：UNSCEAR 2000 Report—Sources and Effects of Ionizing Radiation(2000)
- (7)原子力安全研究協会：低線量電離放射線被ばくによる健康影響—BEIR - V—概要と解説(1991.3)
- (8)原子力発電技術機構・原子力安全解析所：110万kW級PWRプラントのレベル1 PSA (1997.11)
- (9)原子力発電技術機構・原子力安全解析所：110万kW級BWRプラントのレベル1 PSA (1997.11)
- (10)国連統計局：1990/91 国連世界統計年間(Vol.38) - 翻訳版,原書房(1994)

^{42}K による溶液中のKの放射分析

(同位体希釈法と放射滴定)

谷本清四郎

エネルギー・環境技術教育研究会

(要約) 放射分析は①簡単な分離操作で②精度よく③短時間にできるなどの優れた分析方法である。しかしラベル化された放射性化合物を入手することや実験をするには非密封線源使用にあたるので放射線障害防止法の規制をうける。これに対して $^{42}\text{Ar} - ^{42}\text{K}$ ジェネレータのミルクキングにより随時得られる ^{42}K を用いることは教育用実験に適している。このジェネレータには $^{42}\text{Ar} 33.3\text{KBq}$ が封入されている。

(はじめに)

通常の実験室で放射線実験をするには法令の規制以下の密封線源と放射線測定器が必要である。 β 線源や γ 線源も何種類か必要であるが一般には入手はなかなか難しい。化学実験用の非密封線源の使用はさらに難しい。以上のような理由から放射線実験に関する研究は長い年月いろいろな研究会、研究者、教育現場の人たちによって絶え間ない研究・努力がなされているがあまり成果はあがっていない。

線源として $^{42}\text{Ar} - ^{42}\text{K}$ ジェネレータ*のミルクキングにより得られる ^{42}K 、測定器は後述する“はかるくんII”との組み合わせで非密封線源の化学実験を検討した。

Kの沈殿をつくる試薬に $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ を使用して $\text{K}_2\text{Na}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ の沈殿をつくり同位体希釈法と放射滴定によりKの定量を行った。簡単に実験ができることは好都合である。沈殿の $\text{K}_2\text{Na}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ は水にたいして難溶性であるので、さらに応用の実験が可能であることが期待される。

A. 同位体希釈法によるKの定量

1. 実験

1・1 試薬および器具

・ KCl (0.2 mol/l)。・ $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ (0.2 mol/l) 10ml中に0.808gの水溶液。・溶離した ^{42}K の液を別の容器にとった KCl (0.2 mol/l) 5mlに加える。・安全ピペッター　・遠心分離管　・遠心分離器。

1・2 方法

- (1) 10mlの遠心分離管に ^{42}K 溶液2mlをとる。
- (2) 別の10mlの遠心分離管に試料溶液2ml、 ^{42}K 溶液2ml (Kの質量 W_1)を加える。
- (3) 両方の管に $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ を2mlを加え、沈殿 $\text{K}_2\text{Na}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ をつくり、遠心分離する。
- (4) 上澄液をデカンテーションして除去する。
- (5) さらに沈殿を洗浄し、遠心分離する。 * (図1)
- (6) 上澄液をふたたびデカンテーションして棄却する。
- (7) 沈殿の大部分を測定皿に移す。

(8) 沈殿を乾燥（赤外線ランプ）する。乾燥は両方の測定皿を並べて同時に同一時間行う。

(9) 沈殿の質量を測る。 (w_1, w_2) (10) 沈殿の放射能を測る。 (a_1, a_2)

(11) 比放射能 $S_1 = a_1 / w_1, S_2 = a_2 / w_2$ を求める。

求める化合物の質量を W_x とすればこれらの諸量の間には次のバランスシートが成り立つ。

	質量	比放射能	全放射能
未知量の化合物	W_x	0	0
添加したトレーサー	W_1	S_1	$S_1 W_1$
混合物	$W_x + W_1$	S_2	$S_2 (W_x + W_1)$
	$S_1 W_1 = S_2 (W_x + W_1)$	$\therefore W_x = (S_1 / S_2 - 1) W_1$	

この実験では濃度未知の KCl 水溶液に ^{42}K を含んだ濃度のわかっている KCl の水溶液の一定量を加え混合後 $Na_3 [Co(NO_2)_6]$ を加えて $K_2 Na [Co(NO_2)_6]$ の沈殿として分離する。以上のように同位体希釈法によりもとの試料溶液中に含まれている K の量を求めることが可能である。

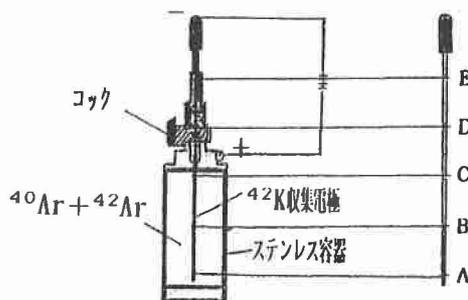


1・3 実験の手順

(1) ^{42}K を含む 0.2 mol/l の KCl 水溶液の作り方

- ① 0.2 mol/l の KCl 水溶液を 1 ml 用駒込ピペットに 1 ml とる。(図3)
- ② このピペットの中へ電極棒を入れて ^{42}K を溶離する。(3分程で殆ど溶離する) (図2)
- ③ 0.2 mol/l の KCl 水溶液が 5 ml くらい入っている別の容器へ②の ^{42}K の溶離液を入れる。一回の実験でこの液を 4 ml (管A, 管Bにそれぞれ 2 ml ずつとる) 使用したので調整時に 6 ml あれば十分である。計数率をあげるために量を少なくした方がよい。(図4)

$^{42}Ar - ^{42}K$ ジェネレータ (図1)

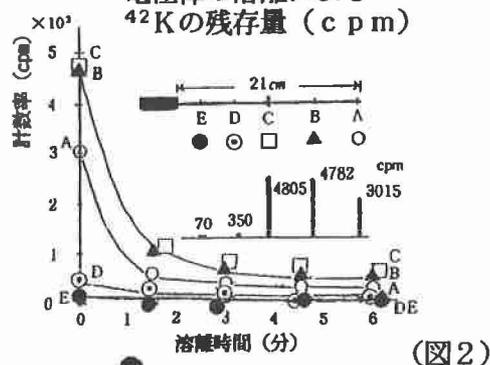


^{42}K の溶離



(図3)

電極棒の溶離による ^{42}K の残存量 (cpm)



(図2)



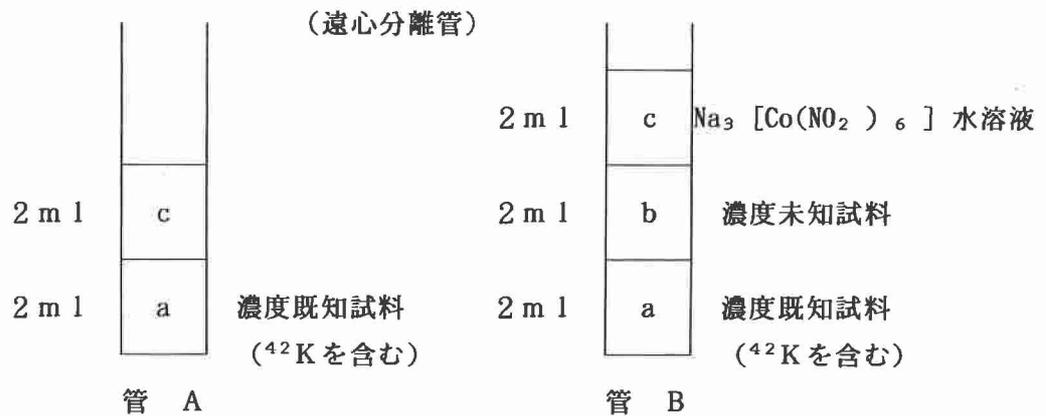
0.2 mol/l の KCl (図4)
水溶液 5 ml

(2) 試料皿の質量を測る。(電子天秤が便利である)

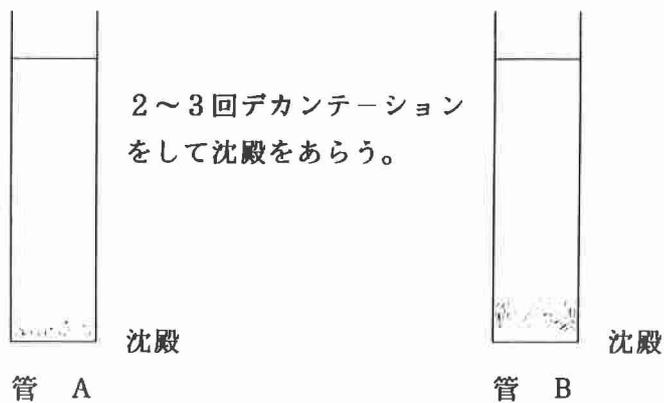


(3) 遠心分離管に次の順序で試料をとる。

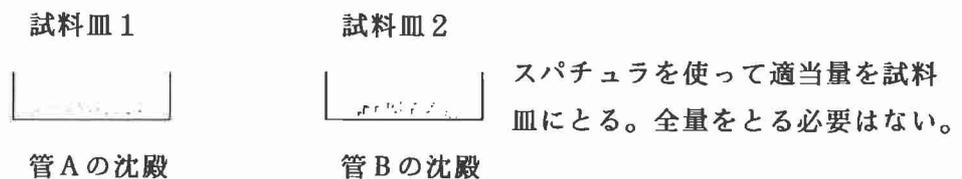
- ① (1) の③で作った⁴²Kを含む0.2 mol/lのKCl水溶液2 mlを管A, 管Bにとる。(a)
- ② 濃度未知の試料KCl水溶液2 mlを管Bに取る。(b)
- ③ 次に管A, 管BにNa₃[Co(NO₂)₆]の水溶液2 mlずつとる。(c)



(4) 遠心分離する



(5) 沈殿を適当量とって試料皿に移す



(6) 乾燥後沈殿の質量と放射能を測る

<p>• 試料皿 1</p> <p>1.439 g 試料皿+沈殿</p> <p><u>-1.387 g 試料皿</u></p> <p>0.052 g 管Aの沈殿……w_1</p>	<p>• 試料皿 2</p> <p>1.474 g 試料皿+沈殿</p> <p><u>-1.407 g 試料皿</u></p> <p>0.067 g 管Bの沈殿……w_2</p>
--	--

(7) 比放射能を計算する (ここでは「はかるくんII」を使用) $B \cdot G = 4$ (cpm)

$$1310 - 4 = 1306 \text{ (cpm)} \qquad 850 - 4 = 846 \text{ (cpm)}$$

$$1306 / 52 = 25.1 \dots S_1 \qquad 846 / 67 = 12.6 \dots S_2$$

S_1 : 管Aの沈殿の比放射能

S_2 : 管Bの沈殿の比放射能

2. 実験結果および考察

放射性および 未知試料	沈殿の質量 (mg)	沈殿の放射能 (cpm)	比放射能 (cpm/mg)
放射性K $W_1 = 29.8$ (mg)	$w_1 = 52$	$a_1 = 1306$	$S_1 = 25.1$
未知試料+放射性K	$w_2 = 67$	$a_2 = 846$	$S_2 = 12.6$

$$W_x = (S_1 / S_2 - 1) W_1 \qquad W_1 = 29.8 \text{ mg} \quad 2 \text{ ml 中に } 29.8 \text{ mg}$$

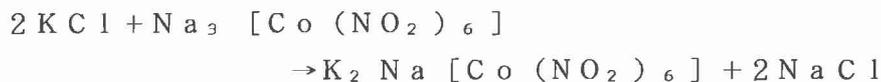
$$= (25.1 / 12.6 - 1) 29.8 = (2 - 1) \times 29.8 = 29.8$$

未知試料として0.2 mol/lのKClの水溶液(1 ml中に14.9 mgのKClが溶解している)2 mlを使用したのでこの中には29.8 mgのKClが溶解していた。上記の実験結果は近い値を示している。

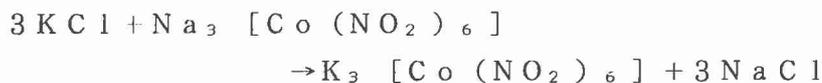
また、1・3実験の手順の(1)で0.2 mol/lのKClの水溶液に電極棒に電着した ^{42}K を溶離して加えても濃度変化に影響はない。ジェネレータの容器に封じこめられている ^{42}Ar は33.3 KBqで放射平衡にある ^{42}K の原子のmol数は極めて小さいので濃度の変化は無視してよい。

ミルキングにより随時 ^{42}K の供給ができることはこのジェネレータの利点である。

$\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ は K^+ と反応して黄色結晶性沈殿を生ずる。



実験結果からは黄色沈殿を生じたので沈殿の大部分は $\text{K}_2\text{Na}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ であると考えられる。¹⁾ K^+ が過量の場合は $\text{K}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ の輝いた濃黄色の沈殿を生じる。²⁾



K^+ の量を増やすと輝いた濃黄色の沈殿を生じた。³⁾

同位体希釈法の実験では $\text{K}_2\text{Na}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ や $\text{K}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ のどちらの沈殿ができて水に難溶性であるので実験の結果にはあまり影響はないと考えられる。

B. 放射滴定によるKの定量

1. 実験

1.1 概要

ある元素または化合物を定量しようとして、これに放射性トレーサーを加えてその放射能の測定により目的物質を定量する方法を放射分析法という。容量分析に放射分析法を適用した方法が放射滴定である。“ $A + B^* \rightarrow AB^*$ ”この反応で生成した AB^* の放射能を測定してAの量を求める直接法と AB^* をろ別してろ液中の放射能の強さよりAの量を求める間接法とがある。

この実験では ^{42}K を加えた濃度未知の KCl 水溶液に濃度の決っている $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ の水溶液を加えて沈殿をろ別して、ろ液中の放射能の強さより当量点を求めるので、上式“ $A + B^* \rightarrow AB^*$ ”の B^* を求める間接法にあたる。

1.2 試薬および器具

- ・濃度未知の KCl 水溶液 (^{42}K を含む。0.2 mol/l に調整してある。)
- ・0.2 mol/l $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ 水溶液
- ・安全ピペット ・遠心分離管 ・遠心分離器

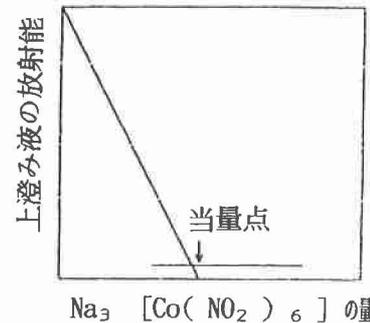
1.3 試料溶液の作り方

- (1) 実験一回分の量 a. 濃度未知の KCl 水溶液,
 KCl 1.492 gを純水に溶かして全量を100 mlとする。
- ・ b. 0.2 mol/l $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ 水溶液,
この試薬 0.809 gを純水に溶かして全量を10 mlとする。

(2) $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ の水溶液は時間がたつと効果が減るので実験を始める直前に調整したほうがよい。

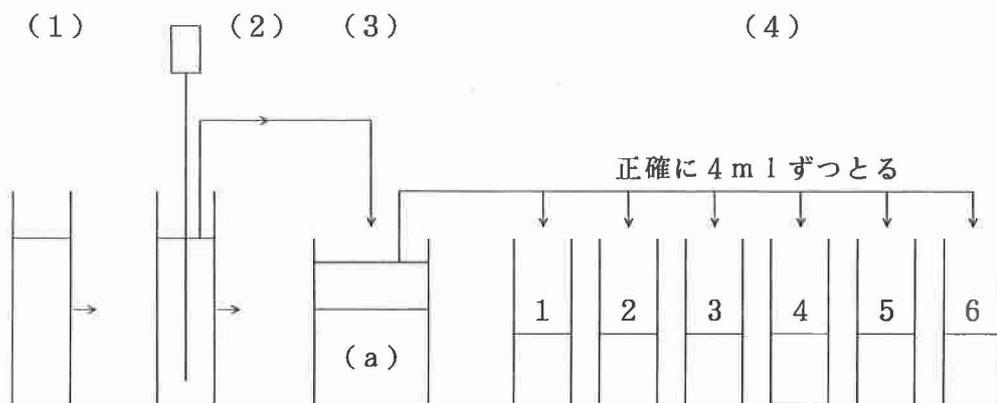
1.4 方法

- (1) 10 ml用のメスシリンダーに濃度未知の KCl 水溶液10 mlをとる。
- (2) ジェネレーターより電極棒をとりだしメスシリンダーの中に入れて ^{42}K を溶離する。
- (3) ^{42}K を溶離したメスシリンダーの液を別に用意した15 mlくらいの未知試料に加えてよくまぜる。
- (4) 6本の遠心分離管へ(3)の液を4 mlずつ安全ピペットでとる。
- (5) 0.1 mol/lの $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ 水溶液を5本の遠心分離管へそれぞれ0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 mlずつとる。NO.1の管にはとらない。(下の表のb項)
- (6) しばらく放置して沈殿の沈積後遠心分離する。
- (7) 沈殿を浮遊させないように上澄液を安全ピペットで2 mlずつ試料皿にとる。
- (8) 乾燥後放射能を測定する。
- (9) 容量変化を測定計数値に(4 + b) / 4 を乗じて補正する。
- (10) 縦軸に放射能強度、横軸に加えた $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ の液量を取りプロットして、これより当量点を求める。

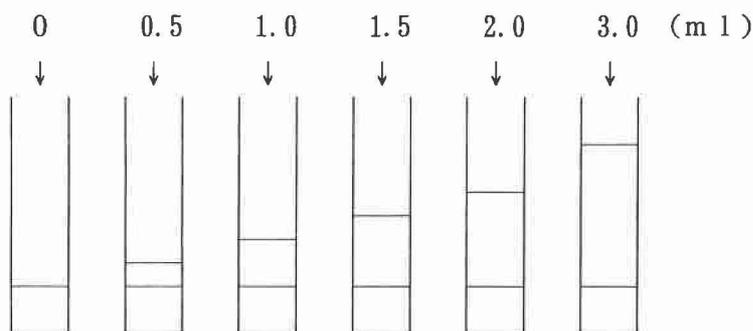


1・5 実験の手順

- (1) 10m l 用メスシリンダーに濃度未知の K C l 水溶液を10m l とる。
- (2) ジェネレータよりとりだした電極棒を (1) の濃度未知の K C l 水溶液の中へ入れて電極棒を上下させて⁴²Kを溶離する。
- (3) 50m l 用のビーカーに15m l くらいの K C l の未知試料をとっておく (a)。その中へ (2) の液を加える。全量はおよそ25m l になっている。
- (4) 6本の遠心分離管に (3) の液を正確に 4 m l ずつとる。

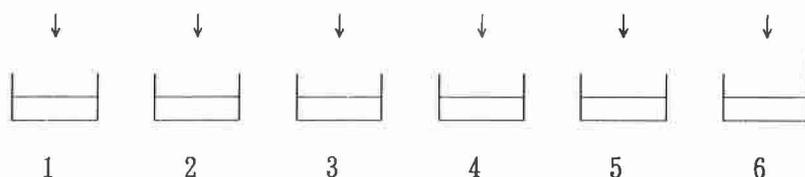


- (5) 0.1 (m o l / l) の $\text{Na}_3 [\text{Co} (\text{NO}_2)_6]$ の水溶液を 6本の遠心分離管へそれぞれ、遠心分離管 1 は 0、遠心分離管 2 から順に、0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 m l ずつ正確にとる。



遠心分離管 (NO.)	1	2	3	4	5	6
a K C l 溶液 (m l) ⁴² Kを含む	4	4	4	4	4	4
b $\text{Na}_3 [\text{Co} (\text{NO}_2)_6]$ (m l)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
全量 a + b (m l)	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	7.0

- (6) しばらく放置してから沈殿の沈積後、遠心分離する。
- (7) 上澄み液を 2 m l ずつ正確に測定用の試料皿にとる。



(8) 乾燥後放射能を測定する。

(9) グラフより当量点を求め、濃度の計算をする。

1・6 測定値

B. G. 4 (c p m)

試料NO.	1	2	3	4	5	6
(c p m)	78	54	33	18	4	4
-B. G	74	50	29	14	0	0
補正值	74	56	36	19	0	0

2. 実験結果および考察

・グラフより当量点を求める。2.0 (ml) をよみとる。

濃度(mol/l) 価数 体積 (ml)

M N V K C l

M N V = m n v

m n v Na₃ [Co (NO₂)₆]

$$M \times 1 \times 4 = 0.2 \times 2 \times 2.0$$

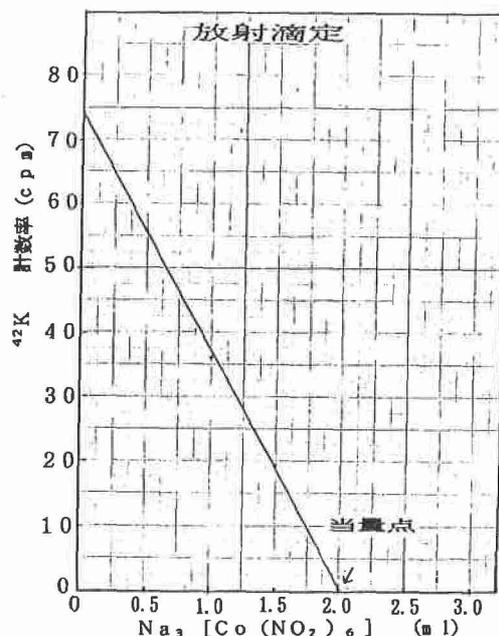
$$M = \underline{0.2 \text{ (mol/l)}}$$

・未知試料として0.2 (mol/l) のK C l 水溶液を調整したので放射滴定の目的を理解できると考えられる。

・⁴²Kを含む水溶液を加えていく方法もあるがこの実験のように⁴²Kを含む水溶液の一定量をあらかじめ遠心分離管にとる方が操作が簡単である。

・生じた沈殿は黄色だったので、K₂ Na [Co (NO₂)₆] だと考えられる。

・K⁺ が過量ときは、K₃ [Co (NO₂)₆] の輝いた濃黄色の沈殿を生じるので、あらかじめK⁺ の量による沈殿の変化が分かるようにしておけば便利である。



(おわりに)

(1) ミルキングにより何回でも繰り返し簡単に実験ができる

$^{42}\text{Ar} - ^{42}\text{K}$ ジェネレータより得られる ^{42}K をもちいれば同位体希釈法や放射滴定など教育用実験が簡単にできる。

施設や設備の整った実験室では ^{60}Co でラベルした $\text{K}_2\text{Na}[\text{Co}^*(\text{NO}_2)_6]$ の沈殿の放射能を測定したり、 ^{42}K を生成させるために中性子による放射化分析が試みられているが、照射に時間がかかり、 ^{42}K の半減期が短いなど、あまり良い方法ではない。これらの方法は簡単には実験できない。

(2) 法令の規制をうけない安全な線源である

学生(生徒)による放射線実験を進める上で適当な線源が入手困難であったことがネックであった。ミルキングにより長期にわたり、 ^{42}K を随時供給できる $^{42}\text{Ar} - ^{42}\text{K}$ ジェネレータはこれにこたえる線源だといえる。この $^{42}\text{Ar} - ^{42}\text{K}$ ジェネレータの量産が望まれる。

(3) ^{42}K で多数の実験ができる

^{42}K の壊変はおよそ82%の β 線、18%の γ 線が放出される。

a. [β 線に関する実験]

①GM管のプラト-特性 ②半減期* ③ β 線の最大飛程* ④ β 線の後方散乱 ⑤GM管の分解時間

b. [γ 線に関する実験]

①逆二乗則* ②半価層* ③液面計* ④ γ 線の吸収*

c. [化学実験]

①同位体希釈法* ②放射滴定* (いずれもKの定量)

*測定器は“はかるくんII”を使用。

謝 辞

本稿の執筆にあたり、その機会とご指導を下さいました放射線医学総合研究所の渡利一夫先生に感謝申し上げます。

また、 $^{42}\text{Ar} - ^{42}\text{K}$ ジェネレータの使用にあたり便宜をはかっていただいた日本アイソトープ協会にたいして厚くお礼を申し上げます。

文 献

- 1) 新実験化学講座：第2巻定性分析化学、第17巻無機錯体、丸善出版(1989)
- 2) 化学大辞典：第8巻、丸善出版(1960)
- 3) 千谷利三：無機化学(下巻)(1955)

高校生が考える放射線

谷野 祐子、村石 幸正

東京大学教育学部附属中等教育学校

(〒164-8654 中野区南台 1-15-1)

<要旨>

JCO での臨界事故の後、放射線についてどのように感じているのかを東京、大阪、広島、青森、茨城の5都府県に住む高校生にアンケートを実施した。放射線のイメージは危ないという意見が多く、その理由として、原爆と原子力発電所の事故の2つを80%以上の人があげていた。自然放射線についてはあまり知られていないことがわかった。また、同じ放射線でも核医学については仕方がない、わからないと考えている人がほとんどだった。

<はじめに>

1999年9月30日に日本で初めての臨界事故が起こり、改めて放射線の怖さを思い知らされることとなった。このような事態を経て、原子力施設の近くに住む人と原子力施設のない地域に住む人の放射線に対する意識が大きく異なっているのではないかと考えた。また、放射線教育に関して学校での学習が重要であると期待されているが、その実態はどのようなものであるのかの興味もあり、原子力施設のある青森・茨城、原子力施設のない東京・大阪、そして、過去に被ばくの経験のある地域として広島を選んだ。この5都道府県の高校生を対象に、放射線に関する意識調査を行うことにした。

<目的>

広島と青森に現地調査に行き、県庁の人や現地の人と色々な話をしたおり、放射線に対する考えが東京に代表される都会の人々は違うことを感じた。そこで全く違う地域に住む高校生は放射線というものに対して、どのように考えているのか、また必要としているのかを知るためアンケートを実施した。

<方法>

1. 質問紙調査法

アンケート用紙による調査

2. 配布および回収方法

当該高校の担当教諭宛に郵送し、アンケートの実施は各校の判断に委ねた。

3. 調査項目

(1) 放射線のイメージについて

- (2) 原子力発電について
- (3) 核医学について
- (4) 自然放射線について
- (5) 高校生が考える放射線について

4. 調査対象

東京、青森、茨城、大阪、広島に住む高校1年もしくは2年

5. 調査時期

2000年2月18日から3月2日

6. 回収結果

地域	人数 (女子)	調査不能数	回収率
東京	100 (52)	1	99.0
大阪	150 (75)	0	100.0
広島	127 (53)	21	83.5
青森	65 (39)	0	100.0
茨城	434 (291)	7	98.4
合計	876 (510)	29	96.7

<結果>

Q1 「放射線」と聞くとどのようなイメージを持っていますか。

地域での極端な偏りは見られなかった。1番多かった回答は、大阪では“体に悪そう”で、その他の地域では東京・広島・青森・茨城は“危ない”だった。また“人を死に追いやるもの”と解答したのは、広島が一番多かった。

Q2 放射線と聞いて思い浮かぶものはどれですか。

茨城で“原子力”、その他の地域では半分以上の人が原爆を選択している。“第五福竜丸”については東京以外の地域では知っている人は少なく、また“キュリー夫人”を選んだ人も全体的に少なかった。しかし、どの地域においても極端な差は見られなかった。

Q3 何が理由で放射線を危険と感じますか。

“広島・長崎の原爆投下”と“原子力発電所の事故”の2つを合せると全ての地域で80%を越えていた。広島では“広島・長崎の原爆投下”と答えた割合が高かったが、その他の地域では“原子力発電所の事故”を1番にあげていた。やはり、全ての地域で“危険だと思っていない”という割合は1番少なかった。

一方、“学校での教育”と回答したのは東京と広島で10%。他の地域では5%と全体的に選択した人が少なかった。

Q4 あなたの都府県が原子力施設を受け入れるとしたらどう思いますか。(東京・大阪・広島)

すべての地域で、原子力施設を受け入れることに60%以上の人が反対していた。しかし東京・大阪では仕方がないと思っている人が30%、また賛成している人が1桁なのに対し、広島では仕方がないと思っている人は16%、賛成している人が12人と多かった。また、賛成しているのはほとんどが男子であった。

Q4' あなたの県が原子力施設を受け入れていることについてどう思っていますか。(青森・茨城)

青森では“反対”している人より、“仕方がない”と思っている人が若干多かった。茨城では“反対”している人数の3倍以上の人が、“仕方がない”と考えていて、地域での考え方の違いが出ていた。

Q5 福島、新潟などが原子力施設を受け入れる理由は何だと思えますか。(東京・大阪・広島)

全ての地域で半分以上の人が“金銭面”と答えていた。しかし、東京では“町の活性化”と回答した人は17%、“金銭面”が66%だったのに対して、広島では“町の活性化”が35%、“金銭面”が50%という割合で、地域差が出ていた。

Q5' 原子力施設を受け入れて変わったところは何ですか。(青森・茨城)

青森は46%、茨城では57%の人が“特に変わった所はない”と回答している。茨城は“その他”のところにも“小さい頃からあるのでわからない”などと書かれているものが多かった。また、“公共施設などが増えた”と感じている人は青森では32%もいるのに対し茨城では11%しかいなかった。また青森も茨城も“観光客が増えた”と答えた人は1桁と少なかった。

Q6 日本の原子力発電についてどのように感じていますか。

東京・大阪・広島・青森の4都府県では60%の人が危険だと感じている。茨城は“危険である”が47%、“わからない”が42%で意見が2つにわかれた。逆に危険だと思っていない割合は東京・広島5%、大阪9%、青森3%、茨城6%とあまり変わらなかった。

Q7 Q6で「①危険である」と答えた方にお聞きします。

・それは東海村で臨界事故があったから危険だと思うようになったのですか。

東京・大阪は70%の人が“事故以前から危険だと思っていた”と回答した。一方、広島・青森は少しだけ“事故以前から危険だと思っていた”と答えた人が多かったが、“事故で危険だと思うようになった”と答えた人とあまり変わらない割合だった。一方、茨城では59%が事故で、また事故以前から危険だと思っていたのは39%だった。

Q8 再び日本国内で放射線の事故が起こると思いますか。

すべての地域で“起こる可能性が高い”というのを1番選び、約50%だった。“起こる”という選択肢を合せると80%にもなる。東京・青森だけ“起きない”と回答した人は全くいなかった。その他の地域も5%以下と少なかった。

Q9 Q8で「起こる」もしくは「起こる可能性が高い」と答えた方にお聞きします。

・なぜまた事故が起こると思うのですか。

起こる可能性については全ての地域で“危機管理ができていないから”を1番にあげた。これは東京・大阪・広島より、青森・茨城の方が、割合が高くなっていて、茨城では56%もいる。“海外で大きな事故が起きているから”を選んだのは茨城で4%、それ以外は10%だった。

Q10 医学から放射線がなくなったらどうなると思いますか。

すべての地域で“医学が発展しない”を1番に選んでいる。大阪が48%と最も多く、逆に1番少なかったのは東京の34%だった。“手術するのが困難になる”が約20%（青森だけ9%）“死亡する人が増加する”は10%だったが、“ガンが治らない”を選択したのは5%以下と少なかった。

Q11 医療で用いられている放射線についてどのように感じていますか

東京は50%、大阪・広島では45%の人が“仕方ない”と考えている。青森では“仕方ない”と考えている人は30%で、47%が“わからない”と回答した。茨城では“危険でない”と考えている人が18%と5ヶ所の中で最も多かった。また、“仕方ない”と考えている人は38%、“わからない”と答えた人は33%だった。

1、自然の中に放射線がある。

東京・大阪では“聞いたことがある”、広島・青森では“知らない”が1番多かった。また茨城は“聞いたことがある”と“知らない”が同じくらいの割合だった。

2、日常生活の中にも放射線物質を含んでいる食品がある。

東京・広島は“知っている”と回答した人は少なかったが、“聞いたことがある”“知らない”が同じくらいの人数だった。一方、大阪・青森・茨城は“知らない”と答える人が圧倒的だった。

3、ラジウム温泉から放射線が出ている。

全ての地域でほとんどの人が“知らない”と答えている。

4、高度（標高）が高くなるほど放射線は多くなる。

圧倒的に“知らない”と答える人が多かった。

5、医療器具を滅菌している。

全ての地域で“知らない”と答える人が半分以上だった。

6、人体の断面を見ることが出来る。(CT検査)

東京・大阪では“知っている”人が1番多いのに対し、青森では“知らない”と答える人が一番多く、全く逆だった。広島・茨城は3つの答えとも同じくらいだった。

7、ジャガイモの発芽を防止するため放射線を照射している。

東京・大阪・青森・茨城は“知らない”という人が圧倒的だったが、広島では“知っている”や“聞いたことがある”人が半分くらいいた。

8、宇宙開発に利用している。(アイソトープ電池)

“聞いたことがある”とした人が若干いたが、“知らない”と回答した人の方が多かった。

あなたにとって放射線とはどのようなものですか。

東京では、“わからない”と“仕方ない”の2つで70%の人が選択している。

大阪・広島が2つ合せて60%だったのに対し、青森・茨城では80%を越えていて若干だが地域差が出た。

東京・大阪は“必要なもの”を選んだ人は20%、広島では“必要なもの”“必要ではないもの”が同率の14%だった。茨城では“必要なもの”が13%いるのに対し、青森では6%しかいなかった。

あなたは現代の社会に放射線が必要だと思いますか。

東京・大阪の場合、半分以上の人が“必要”であると考えていて、逆に“必要ない”と考えているのは1桁しかいなかった。

広島では半分の人が“わからない”と回答している。“必要”と考えているのは大阪の1/3の人数だった。また“必要ない”と考えているのは11%で地域別に見ると1番多い。

青森は69%の人が“わからない”、17%が“必要”と考えている。しかし、茨城では57%の人が“わからない”と考え、37%が“必要”と回答していて青森と若干割合が違っている。

<地域別>

東京：放射線に対して危ないというイメージがあり、原子力施設の受け入れも危険だと思われ、反対していた。しかし、医療に用いられている放射線については仕方がないと考えている割合が一番多かった。東京の高校生にとっての放射線とは、わからないと考えている人が多かった。

大阪：放射線のイメージは他の地域と違い、体に悪そうというイメージが一番多かった。原子力施設に関しては東京と同様、危険だと思われ受け入れを反対している。

また、医療で用いられている放射線についても、東京と同じ、仕方がないを選択している人が多かった。大阪の高校生は放射線について仕方がないと考えている人が多かったが、必要だと考えている人の割合が他の地域と比べると1番多かった。

広島： やはり、放射線に対して危ないというイメージを持つ人が多く、また人を死に追いやるものだと考える人の割合が他の地域より高かった。原子力施設に関しては反対している割合が最も高い。医療で用いられている放射線は仕方がないと考えている人が多い一方で、危険であると思っている割合も他の地域より高かった。広島の高中生は放射線について、仕方がないとわからないの2つに意見がわかれている。しかし社会にとっての放射線になると、わからないと考える割合が増加していた。

青森： 放射線に対して危ないと思っている割合が一番多かった。しかし、原子力施設については反対している割合より、仕方がないと思っている割合の方が高かった。また、医療に用いられている放射線についてはわからないと思っている人が多い。青森の高校生にとっての放射線はわからないという回答が多く、逆に必要だと思っている割合が1番少なかった。

茨城： 危ないと思っている割合が一番多かったが、体に悪そうや怖いというイメージをもつ人も多かった。また、原子力施設については青森と同様に仕方がないと思っている割合が多い。医療に用いられている放射線についてはわからないと思っている割合より、仕方がないと考えている割合の方が若干高かった。茨城の高校生は、放射線について、仕方がないというより、若干だったが、わからないと考えている人の方が多かった。

<考察>

【放射線のイメージについて】

茨城を除く4地域で放射線と聞くと原爆を思い出す人数が1番多かったにも関わらず、放射線のイメージは怖いというより危ないというイメージを持つ人が多かった。

放射線と聞いて思い浮かぶものについては、人に有益な医学やレントゲンではなく、原爆や原子力を選ぶ人の方が多かった。また、ガンと連想する人は意外と少なかった。

危険だと思う理由については学校での教育や人からという意見が少なく、逆に広島・長崎の原爆投下と原子力発電の事故を選ぶ人が多かった。このことから、学校での教育や地域などの環境が要因となっていないことがわかった。

これは、どの地域に住んでいても、放射線=原爆というものが頭の中にあるが、JCOの事故後約5ヶ月後に実施したので、実際に経験したことのない原爆よりも、JCOの事故の危険さを知り危ないというイメージを持つ人が多くなっているのではないかと考えられる。

【原子力発電について】

原子力施設のない東京・大阪・広島では、やはり原子力施設を受け入れることについて反対している人が多かった。東京・大阪より、広島の方が受け入れに賛成している割合が高かった。また、受け入れている理由については半分以上の人が金銭面をあげていた。

一方、原子力施設のある地域では受け入れている事について反対している人より仕方がないと思っている人の方が圧倒的に多かった。しかし、青森と茨城ではその割合が若干違っていた。割合の違いは、公共施設などが増えたと感じていることからもいえることができる。このような差があるのは、六ヶ所村は東海村より原子力施設が村に来たのは最近のことなので、小さい頃から原子力施設があるのとないのでは原子力施設に対する考えが少し違うのではないかと思われる。

原子力発電が危険だと思うようになったのは、東京・大阪では事故以前から、茨城では半分以上の人が臨界事故で危険だと思うようになったと回答していた。これは東京・大阪では、放射線は危ないという固定観念が先行してしまっているのではないかと思われる。例えば地震が多いといわれている日本で、日本に住んでいる人が毎日地震について考えていないのと同じで、茨城では原子力施設が近くにあるからといっていつも危険だと感じているわけではなく、実際に事故が起きてみて危険だと感じたのではないだろうか。

約 80%の人が、日本国内において今回のような事故が再び起こるもしくは起こる可能性が高いと考えている。また、理由としては海外での大きな事故はあまり関係なく、約 50%の人が、危機管理ができていないと考えている。

【核医学について】

ガンが治らないという意見は少なく、医学が発展しないを選ぶ人が多かった。また、これは東京と大阪で最も差が大きかった。

医療に用いられている放射線については、ほとんどの人が自分に有益なものと思い、仕方がないと考えている。危険だと思いつつも医学での放射線利用を理解しているのだと判断される。

【身近な放射線について】

全ての地域で、1番知られていたのはCT検査だった。

広島では他の地域より、ジャガイモの発芽を防止するために放射線を利用していることを知っていた。逆に青森では自然放射線については全く知られていなかった。また、人工放射線も聞いたことがあるという人はいるものの知らない人がほとんどだった。

やはり全体で 80%以上の方が知らないと答え、だいたい予想通りだった。これはどこの地域でも、身近にある放射線についての教育は全くされていないからではないかと判断した。

【高校生の考える放射線について】

高校生自身にとって放射線とは、地域で若干割合の差はあるが、わからないや仕方がないという意見が圧倒的で、特に青森・茨城に多かった。また、茨城では必要だと思っている人が13%いるのに対して、青森では6%しかいなかった。

東京・大阪では、現代社会に放射線は必要なものだと思っていた。青森の場合は広島より放射線が必要だと思っている人数が少なかった。

どの地域の高校生も放射線というものは遠い存在である。しかし、放射線という目に見えないものの利益を高校生はきちんと考えているのではないかと判断される。

<おわりに>

放射線のイメージは極端な地域差はなく、放射線といえば広島・長崎の原爆投下や原子力発電の事故のイメージが強いことがわかった。また、原子力施設に対しては全ての地域で反対しているわけではなく、施設のある地域と施設のない地域で差が出た。また、同じ原子力施設を受け入れている地域のなかでも若干の差があった。

核医学については仕方がないと考えていて、自然放射線についてはあまり知られていなかった。

自分自身にとって放射線とは、全ての地域でわからないや仕方がないと回答している人が多い。しかし、現代社会にとっての放射線になると、地域によって必要であると分らないの2つに分れていた。

本稿は東京大学教育学部附属中等教育学校の特別学習「卒業研究」での研究成果(2000年度)の一部に加筆・修正をしたものである。

<謝辞>

本研究にあたりアンケートに協力していただいた、青森県立 六ヶ所高等学校、茨城県立 東海高等学校、国立 大阪教育大学教育学部附属高等学校 天王寺校舎、広島県立 安芸高等学校、国立 東京大学教育学部附属高等学校(現 東京大学教育学部附属中等教育学校)のみなさんに感謝いたします。

		東京	大阪	広島	青森	茨城
		99	150	106	65	430
	質問					
Q1	「放射線」と聞くとどのようなイメージを持っていますか。(複数回答可)					
	① 危ない	76	77	58	46	215
	② 体に悪そう	58	101	51	29	199
	③ 怖い	37	51	35	25	200
	④ 人を死に追いやるもの	30	33	36	17	108
	⑤ 未知の力を秘めている	29	59	25	9	85
	⑥ その他	11	17	7	3	18
	無回答	0	0	0	0	1
Q2	放射線と聞いて思い浮かぶものはどれですか。(複数回答可)					
	① 医学	35	65	25	8	56
	② オゾン層	15	26	17	15	42
	③ ガン	32	49	29	13	87
	④ キュリー夫人	14	31	9	2	18
	⑤ 原子力	58	88	42	29	271
	⑥ 原爆	75	106	66	34	216
	⑦ 爆発	12	10	14	13	53
	⑧ 第五福竜丸	40	30	5	0	23
	⑨ 東海村	37	64	23	10	206
	⑩ レントゲン	37	84	30	10	106
	⑪ その他	5	10	3	5	11
Q3	何が理由で放射線を危険と感じますか。(複数回答可)					
	① 広島・長崎の原爆投下	69	91	80	35	214
	② 原子力発電所の事故	73	120	56	40	305
	③ 学校での教育	22	15	14	4	22
	④ 人から	6	5	3	6	27
	⑤ 危険だと思っていない	2	4	2	1	14
	⑥ その他	8	12	6	3	20
	無回答	1	2	2	0	4
Q4	あなたの都府県が原子力施設を受け入れるとしたらどう思いますか。					
	① 賛成	1	6	12	×	×
	② 反対	63	90	70	×	×
	③ 仕方がない	27	39	17	×	×
	④ その他	6	11	7	×	×
	無回答・複数回答	2	4	0	×	×
Q4'	あなたの県が原子力施設を受け入れていることについてどう思っていますか。					
	① 賛成	×	×	×	2	43
	② 反対	×	×	×	22	83
	③ 仕方がない	×	×	×	31	260
	④ その他	×	×	×	10	40
	無回答・複数回答	×	×	×	0	4
Q5	福島、新潟などが原子力施設を受け入れる理由は何だと思えますか。					
	① 町の活性化	14	37	37	×	×
	② 金銭面	55	82	54	×	×
	③ その他	13	29	14	×	×
	無回答・複数回答	1	20	2	×	×
Q5'	原子力施設を受け入れて変わったところは何か。					
	① 町が活性化した	×	×	×	10	68
	② 公共施設などが増えた	×	×	×	22	48
	③ 観光客が増えた	×	×	×	3	6
	④ 特に変わったところはない	×	×	×	31	253
	⑤ その他	×	×	×	3	62
	無回答・複数回答	×	×	×	0	10

		東京	大阪	広島	青森	茨城
		99	150	106	65	430
Q6	日本の原子力発電についてどのように感じていますか。					
	① 危険である	60	85	59	38	207
	② 危険ではない	5	14	5	2	24
	③ わからない	29	38	37	25	181
	④ その他	4	13	5	0	20
	無回答・複数回答	1	0	0	0	1
Q7	それは東海村で臨界事故があったから危険だと思ようになったのですか。					
	① 事故で危険だと思ようになった	17	21	26	17	122
	② 事故以前から危険だと思っていた	43	60	29	22	81
	③ その他	3	4	4	0	4
	無回答・複数回答	0	1	0	0	0
Q8	再び日本国内で放射線の事故が起こると思いますか。					
	① 起こる	23	38	34	19	123
	② 起こる可能性が高い	53	82	49	35	206
	③ 起こる可能性は低い	19	22	14	5	63
	④ 起きない	0	1	2	0	12
	⑤ その他	3	6	6	7	26
	無回答・複数回答	1	1	1	0	2
Q9	なぜまた事故が起こると思うのですか。					
	① 危機管理が出来ていないから	49	78	57	35	253
	② 情報公開が不十分であるから	32	38	44	19	152
	③ 海外で大きな事故が起きているから	12	16	14	8	19
	④ その他	18	29	10	6	33
	無回答・複数回答	1	3	1	0	1
Q10	医学から放射線がなくなったらどうなると思いますか。					
	① 医学が発展しない	35	71	42	29	170
	② 手術するのが困難になる	18	24	28	6	87
	③ 死亡する人が増加する	9	20	13	10	45
	④ 癌が治らない	5	3	4	2	17
	⑤ 特に困らない	1	6	8	6	30
	⑥ その他	21	15	8	7	54
	無回答・複数回答	12	11	6	3	28
Q11	医療で用いられている放射線についてどのように感じていますか。					
	① 危険である	5	16	18	8	22
	② 危険ではない	14	16	15	5	77
	③ 仕方がない	50	70	48	20	164
	④ わからない	23	33	24	31	142
	⑤ その他	6	10	1	0	18
	無回答・複数回答	2	5	0	2	7

		東京	大阪	広島	青森	茨城
		99	150	106	65	430
Q1	自然の中に放射線がある。					
	①よく知っている	23	45	10	3	58
	②聞いたことがある	47	73	40	13	178
	③知らない	28	32	55	49	194
	無回答・複数回答	1	0	1	0	0
Q2	日常生活の中にも放射線物質を含んでいる食品がある。					
	①よく知っている	17	16	15	2	24
	②聞いたことがある	38	33	39	11	108
	③知らない	43	101	52	52	298
	無回答・複数回答	1	0	0	0	0
Q3	ラジウム温泉から放射線が出ている。					
	①よく知っている	8	16	5	0	11
	②聞いたことがある	17	31	18	8	54
	③知らない	74	103	81	57	364
	無回答・複数回答	0	0	1	0	1
Q4	高度（標高）が高くなるほど放射線は多くなる。					
	①よく知っている	7	15	8	4	26
	②聞いたことがある	15	25	25	11	59
	③知らない	77	110	73	50	344
	無回答・複数回答	0	0	0	0	1
Q5	医療器具を滅菌している。					
	①よく知っている	15	35	18	5	53
	②聞いたことがある	17	34	32	20	108
	③知らない	66	81	54	38	278
	無回答・複数回答	1	0	2	2	1
Q6	人体の断面を見ることが出来る。（CT検査）					
	①よく知っている	42	75	38	10	137
	②聞いたことがある	37	50	38	20	131
	③知らない	10	25	30	35	160
	無回答・複数回答	0	0	0	0	2
Q7	ジャガイモの発芽を防止するため放射線を照射している。					
	①よく知っている	7	24	22	3	25
	②聞いたことがある	11	24	37	12	71
	③知らない	81	102	46	50	333
	無回答・複数回答	0	0	1	0	0
Q8	宇宙開発に利用している。（アイソトープ電池）					
	①よく知っている	17	25	9	4	32
	②聞いたことがある	23	34	26	13	85
	③知らない	59	91	71	48	313
Qα	あなたにとって放射線とはどのようなものですか。					
	① 必要なもの	21	41	15	4	54
	② 必要ではないもの	5	10	15	5	26
	③ 仕方がないもの	33	47	34	18	161
	④ わからない	36	42	33	35	180
	⑤ その他	4	5	5	3	7
	無回答・複数回答	0	5	4	0	2
Qβ	あなたは現代の社会に放射線が必要だと思いますか。					
	① 必要である	49	92	30	11	159
	② 必要でない	2	6	12	6	16
	③ わからない	44	43	54	45	246
	④ その他	4	7	7	3	8
	無回答・複数回答	0	2	3	0	1

放射線に関するアンケート

(青森・茨城)

東京大学教育学部附属高等学校

Ⅱ年C組 谷野 祐子

私は今、卒業研究で「放射線に対するイメージ」について調査したいと考えております。このアンケートは個人の意識に関する調査ではありません。アンケート結果は私の卒業研究において統計的に取り扱われ、それ以外の目的で使われることはありませんので正直に答えてください。ご協力をお願いします。

I あなた自身のことについてお伺いします。

アンケート実施日：()月()日

学年：高校()年()組 性別：男 ・ 女

II 以下の質問についてあなたの考えが当てはまる番号に○をしてください。

Q1 「放射線」と聞くとどのようなイメージを持っていますか。(複数回答可)

- ① 危ない ② 体に悪そう ③ 怖い ④ 人を死に追いやるもの ⑤ 未知の力を秘めている ⑥ その他()

Q2 放射線と聞いて思い浮かぶものはどれですか。(複数回答可)

- ① 医学 ② オゾン層 ③ ガン ④ キュリー夫人 ⑤ 原子力 ⑥ 原爆
⑦ 爆発 ⑧ 第五福竜丸 ⑨ 東海村 ⑩ レントゲン
⑪ その他()

Q3 何が理由で放射線を危険だと感じますか。(複数回答可)

- ① 広島・長崎の原爆投下 ② 原子力発電所の事故 ③ 学校での教育 ④ 人から
⑤ 危険だと思っていない ⑥ その他()

Q4 あなたの県が原子力施設を受け入れていることについてどう思っていますか。

- ① 賛成 ② 反対 ③ 仕方がない
④ その他()

Q5 原子力施設を受け入れて変わったところは何ですか。

- ① 町が活性化した ② 公共施設などが増えた ③ 観光客が増えた
④ 特に変わったところはない ⑤ その他()

Q6 日本の原子力発電についてどのように感じていますか。

- ① 危険である ② 危険ではない ③ わからない
④ その他()

Q7 Q6で「①危険である」と答えた方にお聞きします。

・それは東海村で臨界事故があったから危険だと思うようになったのですか。

- ① 事故で危険だと思うようになった ② 事故以前から危険だと思っていた

③ その他 ()

Q8 再び日本国内で放射線の事故が起こると思いますか。

- ① 起こる ② 起こる可能性が高い ③ 起こる可能性は低い ④ 起きない
⑤ その他 ()

Q9 Q8で「起こる」もしくは「起こる可能性が高い」と答えた方にお聞きします。

・なぜまた事故が起こると思うのですか。 (複数回答可)

- ① 危機管理が出来ていないから ② 情報公開が不十分であるから
③ 海外で大きな事故が起きているから
④ その他 ()

Q10 医学から放射線がなくなったらどうなると思いますか。1つ選んでください。

- ① 医学が発展しない ② 手術するのが困難になる ③ 死亡する人が増加する
④ 癌が治らない ⑤ 特に困らない
⑥ その他 ()

Q11 医療で用いられている放射線についてどのように感じていますか

- ① 危険である ② 危険ではない ③ 仕方がない ④ わからない
⑤ その他 ()

III 以下の質問について「よく知っている」場合には1、「聞いたことがある」場合は2、「知らない」場合は3、に○をしてください。

- | | | | |
|------------------------------|---|---|---|
| 1、自然の中に放射線がある。 | 1 | 2 | 3 |
| 2、日常生活の中にも放射線物質を含んでいる食品がある。 | 1 | 2 | 3 |
| 3、ラジウム温泉から放射線が出ている。 | 1 | 2 | 3 |
| 4、高度(標高)が高くなるほど放射線は多くなる。 | 1 | 2 | 3 |
| 5、医療器具を滅菌している。 | 1 | 2 | 3 |
| 6、人体の断面を見ることが出来る。(CT検査) | 1 | 2 | 3 |
| 7、ジャガイモの発芽を防止するため放射線を照射している。 | 1 | 2 | 3 |
| 8、宇宙開発に利用している。(アイソトープ電池) | 1 | 2 | 3 |

IV 最後の質問です。

α：あなたにとって放射線とはどのようなものですか。

- ① 必要なもの ② 必要ではないもの ③ 仕方がないもの ④ わからない
⑤ その他 ()

β：あなたは現代の社会に放射線が必要だと思いますか。

- ① 必要である ② 必要でない ③ わからない
④ その他 ()

ご協力ありがとうございました。

放射線に関するアンケート (東京・大阪・広島)

東京大学教育学部附属高等学校

Ⅱ年C組 谷野 祐子

私は今、卒業研究で「放射線に対するイメージ」について調査したいと考えております。このアンケートは個人の意識に関する調査ではありません。アンケート結果は私の卒業研究において統計的に取り扱われ、それ以外の目的で使われることはありませんので正直に教えてください。ご協力をお願いします。

I あなた自身のことについてお伺いします。

アンケート実施日：()月()日

学年：高校()年()組 性別：男 ・ 女

II 以下の質問についてあなたの考えが当てはまる番号に○をしてください。

Q1 「放射線」と聞くとどのようなイメージを持っていますか。(複数回答可)

- ① 危ない ② 体に悪そう ③ 怖い ④ 人を死に追いやるもの ⑤ 未知の力を秘めている ⑥ その他()

Q2 放射線と聞いて思い浮かぶものはどれですか。(複数回答可)

- ① 医学 ② オゾン層 ③ ガン ④ キュリー夫人 ⑤ 原子力 ⑥ 原爆
⑦ 爆発 ⑧ 第五福竜丸 ⑨ 東海村 ⑩ レントゲン
⑪ その他()

Q3 何が理由で放射線を危険と感じますか。(複数回答可)

- ① 広島・長崎の原爆投下 ② 原子力発電所の事故 ③ 学校での教育 ④ 人から
⑤ 危険だと思っていない ⑥ その他()

Q4 あなたの都府県が原子力施設を受け入れるとしたらどう思いますか。

- ① 賛成 ② 反対 ③ 仕方がない
④ その他()

Q5 福島、新潟などが原子力施設を受け入れる理由は何だと思えますか。

- ① 町の活性化 ② 金銭面 ③ その他()

Q6 日本の原子力発電についてどのように感じていますか。

- ① 危険である ② 危険ではない ③ わからない
④ その他()

Q7 Q6で「①危険である」と答えた方にお聞きします。

・それは東海村で臨界事故があったから危険だと思うようになったのですか。

- ① 事故で危険だと思うようになった ② 事故以前から危険だと思っていた
③ その他()

Q8 再び日本国内で放射線の事故が起こると思いますか。

- ① 起こる ② 起こる可能性が高い ③ 起こる可能性は低い ④ 起きない
⑤ その他 ()

Q9 Q8で「起こる」もしくは「起こる可能性が高い」と答えた方にお聞きします。

・なぜまた事故が起こると思うのですか。(複数回答可)

- ① 危機管理が出来ていないから ② 情報公開が不十分であるから
③ 海外で大きな事故が起きているから
④ その他 ()

Q10 医学から放射線がなくなったらどうなると思いますか。1つ選んでください。

- ① 医学が発展しない ② 手術するのが困難になる ③ 死亡する人が増加する
④ 癌が治らない ⑤ 特に困らない
⑥ その他 ()

Q11 医療で用いられている放射線についてどのように感じていますか

- ① 危険である ② 危険ではない ③ 仕方がない ④ わからない
⑤ その他 ()

III 以下の質問について「よく知っている」場合には1、「聞いたことがある」場合は2、「知らない」場合は3、に○をしてください。

- | | | | |
|------------------------------|---|---|---|
| 1、自然の中に放射線がある。 | 1 | 2 | 3 |
| 2、日常生活の中にも放射線物質を含んでいる食品がある。 | 1 | 2 | 3 |
| 3、ラジウム温泉から放射線が出ている。 | 1 | 2 | 3 |
| 4、高度(標高)が高くなるほど放射線は多くなる。 | 1 | 2 | 3 |
| 5、医療器具を滅菌している。 | 1 | 2 | 3 |
| 6、人体の断面を見ることが出来る。(CT検査) | 1 | 2 | 3 |
| 7、ジャガイモの発芽を防止するため放射線を照射している。 | 1 | 2 | 3 |
| 8、宇宙開発に利用している。(アイソトープ電池) | 1 | 2 | 3 |

IV 最後の質問です。

α：あなたにとって放射線とはどのようなものですか。

- ① 必要なもの ② 必要ではないもの ③ 仕方がないもの ④ わからない
⑤ その他 ()

β：あなたは現代の社会に放射線が必要だと思いますか。

- ① 必要である ② 必要でない ③ わからない
④ その他 ()

ご協力ありがとうございました。

中性子と私たち＝日本人 ― 歴史と展望 ―

荒谷 美智

(財)環境科学技術研究所

〒039-3212 青森県上北郡六ヶ所村尾駱字家ノ前1-7

要旨 日本ではこの地上における生活環境中の中性子が1970(昭和45)年から28年間にわたって、連続的に測定されていた歴史がある。にもかかわらず、先般、中性子が二人の同胞を死に至らしめるのを許してしまった。このことは、みずからの誇るべき科学文化の伝統や技術的な遺産が日本全体としては社会的に活かされなかったことを意味している。そして我々日本人の構成する社会の中で、知的流通の面において何かしらは是正すべき不具合があったということを示唆している。翻って、この粒子を一つの手がかり―アリアドネーの糸―として広く事物を縦、横、斜め、等に様々な切り口で辿っていくと、知の領域に新たな展望が拓けてくることがわかる。

宇宙線中性子観測の歴史

1900(明治33)年にゴッケルが、また1912(大正元)年にヘスが気球に乗り上空4500mで大気の高電離度(または電気伝導度)が増すことから宇宙線を発見した。これは、明らかに1898(明治31)年におけるラジウムの発見に触発されたことであり、放射能研究の初期に威力を発揮した装置、エレクトロメーター(電気計)の上層大気への応用の成果であった。1900年の段階ではエックス線、アルファ線、ベータ線、ガンマ線が知られており、エックス線・ガンマ線は電磁波、ベータ線は電子であることが解っていたが、アルファ線の実体が何であるかは未だ解明されていなかった。1912年になるとアルファ線がヘリウムの原子核であることは解ったが、中性子は未だその存在を頭わにしておらず、ネオンの陽極線分析によりプラスの原子核の中に中性の粒子が存在しなければならないとの仮定に至るのも尚先のことである。このような時期にあって地上の至るところ、上空にまで、何らかの新しい粒子・電磁波を求めて探索の域を拡大したのは時代の大きなうねりというほかにない。

日本では1917(大正7)年に財団法人理化学研究所が創設され、1930(昭和5)年に仁科芳雄が世界における宇宙線研究の現状を紹介し、1931(昭和6)年には同所に仁科研究室が開設され宇宙線と加速器の研究が開始された。1932(昭和7)年には米国でアンダーソンが宇宙線の中に陽子(水素原子核)が存在することを証明し、同年末に英国でチャドウィックが中性子を発見した。他の放射線の発見に遅れること何と三分の一世紀である。中性子のこのあまりに遅い登場こそ、荷電粒子に比べて中性子探索の困難さ、発見後の無視も含めた特別扱い、一般教育や技術教育での不適切な扱い、原子力をみずから開発してきた核先進国に比べて50年遅れの中性子死亡事故などの不可避性を如実に物語っているように思われる。1934(昭和9)年に日本学術振興会の中に宇宙線委員会が組織され、委員長が岡田武松、委員は石本巳四雄、寺田寅彦、木下正雄、仁科芳雄であった。1935(昭和10)年から理化学研究所(東京駒込)2号館屋上において宇宙線の連続測定が開始され(図1)、第二次大戦中も継続された。終戦後に板橋分所が設立され、先ず電離箱、ついでGM管、1970(昭和45)年からは中性子計による連続測定が開始/1/された。これは明らかに我々の生活空間である地上の環境中の自然放射線としての中性子に着目した最初の測定である。仁科の名は、戦後のGHQ(日本占領連合軍総司令部)による占領政策の一断面に関連して、ともすればサイクロトロン建設とのみ結びつけて劇的に語られる場合が殆どであるが、宇宙線起源の環境放射線としての中性子連続測定という基礎的な仕事においても嚆矢として高く

評価されるべきであろう。なお高所における中性子については現在も乗鞍において連続測定が続行されている。

問題の所在とその顕在化

これまでの文明は石器、土器、青銅器、鉄器、アルミニウムなどの鉱物・金属によって特徴づけられる。然しながら、第二次世界大戦の末期を境に、現代文明はこれまで使われることのなかった超ウラン元素時代に突入した。先ず実戦における爆弾投下、原爆・水爆の実験競争、宇宙開発における原子力電池の利用、平和利用としての原子力発電、放射性同位元素（R I）の医療・民生分野での利用により、例えばウラン、プルトニウム、アメリシウム-241、カリフォルニウム-252など、中性子を自発的に放出する超ウラン元素が軍事的に、あるいは商業的規模で大量に使われるようになった。このような状況では宇宙線起源の中性子だけでなく、人間活動起源の中性子についても考慮が必要になる。ちょうど二酸化炭素の場合と同様に全地球的視野で長期的展望に立った連続測定がなされて然るべきであろう。現在、地球環境に対する二酸化炭素の影響について科学的な議論が可能なのは、空気中の二酸化炭素濃度について基礎的な連続測定が長年、行われてきたからに他ならない。このような基礎的な視点が、上述したような先駆的業績をもつ日本において、どこの原子力立地においても基本的に欠如していたのが実状であった。かろうじて核融合研究のための連続中性子監視装置が臨界事故による中性子をとらえることができ、せめてもの面目が保てたことは不幸中の幸いであった。我々の社会が、人間活動起源の中性子も含めて基礎的な背景データが必要とされるに至った丁度その段階に、板橋分所の中性子計は研究上の事情から一次宇宙線測定用に国外の高い山の上に移転/2/された（図1）。それは、宇宙放射線の研究分野の動向/3, 4/と関連しており、その分野の専門家集団にとっては妥当な措置であったと考えられる。しかしながら、国民的、あるいは国家的見地というものを想定すると、この現在において、我々の居住空間にそのまま置くのと、人の居住しない高い山の上に移動するのと、どちらがより有用なのか、どちらにより積極的意義があるのか、検討に値する課題と思われる。先般、（株）ジェー・シー・オー（以下JCO）東海事業所が臨界事故を起こしたことについて、国内では直接、間接の原因が公式、非公式の場で様々に語られ、また、国外からは厳しく論じられた/5/が、我々日本人の社会が、専門家の小集団主義も含めて、目先のことに流され、ものごとの基礎的な、より普遍的な側面を、殊に一般人との関連において蔑ろにしてきたことの現れであろう。

基礎的なことを蔑ろにしてきた二、三の例

JCOの事故が現場の問題だからといって、関連する基礎的な専門家集団に反省する余地は全く無いのだろうか。例えば、放射線という場合、エックス線、アルファ線、ベータ線、ガンマ線については語られるが、中性子については除外されるのがこれまでの通例であった。関連する研究所の見学者向けの案内所などを見ても、中性子が放射線として付け加えられたのは、JCO事故後に急遽出された改訂版が最初であった。そして放射線と放射能の違いについての一般的な解説はあっても中性子の性質についての説明はない。残念ながら、他の教科書や技術書においても大同小異である。

JCO東海東海事業所の臨界事故に関連して「技術者が原子炉外の場における核分裂や中性子線の放出について極めて不勉強であった」という/6/働く者の倫理性にふれる論調がある。とはいえ、それ以前の問題として、技術者・技能者が勉強するためには適切な教科書、解説書が先ず書かれていなければならない。しかし上述のように放射化学者によっても原子力工学者によってもそのようなものは書かれていない。また、いわゆる原子力PAあるいは科学普及活動でも事態は同様で、大方の認識も、伝達の

内容も、ほぼ 100 年前の段階に留まっている現状である。自分たちの小集団内部では最新の情報を共有しているが、社会が原子力を実用化（電力の 32.1%）/7/して久しく/8/、多くの作業者が従事する産業になっているにしては、このような知的、教育的状況は整合的でない。教育者というより、それ以前に、この 100 年間に教育内容が同じだったことに対する無関心、という知的怠慢が基礎科学者の側にあったと言わねばならない（これは、もとより筆者自身についても言えることで、一般市民と接する仕事をするようになって初めて見えてきたことである）。一方で低線量放射線の線量測定や評価については生物影響も絡んでかなり立ち入った議論/9/がなされている。しかし、これは遥かに下流の問題であり、こと原子力立地点の上流の問題、例えば中性子の測定となると「寝た子を起こすな」に類する論調さえ聞かれたのが JCO 事故以前の一般的状況であった。

一般市民は基礎的なことに充分意欲的で真摯である

臨界事故のあと、それに関連して話をする機会があった二、三の会合で「中性子の本質について我々が持っている程度の知識はすべて述べる」という基本方針で、与えられた時間に応じて次の諸項目を全部または一部を説明した。

- 1) 中性子は宇宙線として地球にやってくる。これは気球、高い山、大気圏外でも観察される（大気圏外の宇宙線を一次宇宙線あるいは一次中性子という）。
- 2) 宇宙線が大気圏に入ると大気から中性子が生じる（これを二次宇宙線あるいは二次中性子）という。このような中性子は、我々の居住環境にも存在し、理化学研究所の板橋分所で 1970 年から 1998 年まで宇宙線研究者によって測定されていた。それらは宇宙線起源の中性子であったが、今は人間活動を起源とする中性子も考慮すべき段階に達している。
- 3) 中性子は放射線であると同時に、半減期 10.6 分でベータ壊変して陽子（水素原子核）になる放射能である。
- 4) 前項の性質により、中性子の原子番号は 0 である。
- 5) 同位体（核種）表における中性子の位置は水素の前である/10, 11, 12/（普通には載っていない）。
- 6) 中性子は電磁波ではなく物質粒子であり、周期表（表 1）に位置を占めるべきである。その位置は水素の前で且つヘリウムの上である。短周期型でも長周期型でも同じであり、第 0 族が左側にくるべきである。表 1 左上のコーナーは“核融合コーナー”として初めてこの種の話をお聴きの人にとっても直観的理解し易い。
- 7) 中性子は水素原子核と質量がほとんど同じであるため、この二つの中で運動エネルギー授受の効率が最大である。このことから含水素物質が遮蔽材、減速材として適していることが導かれる。
- 8) 中性子はその名の通り電氣的に中性である。そのため正または負の荷電粒子が物質から受ける阻止を受けず物質への透過性が大で、少なくとも人体程度の厚みでは停まらない（アルファ線やベータ線という飛程がない）。
- 9) 中性子はホウ素と反応してアルファ線を出す。この反応は中性子の計数や防護に利用される。
- 10) 中性子はカドミウムによく吸収される。この反応は防護に利用される。

実際に話した幾つかの場面から結論を先に述べると、一般市民はこのような基礎的なことに意欲的で真摯である。それは、隔絶した集団内で専門家の想像を遥かに超えるものであった。

【下北半島活性化研究会】本研究会は、青森県下北郡の全市町村と上北郡の一部市町村にわたる半官半民の任意団体で、下北半島の未来を自主的に考え、ヴィジョンを創り且つ実行する地域発信のための会

表 1 周期律表：短周期型

第0族	第I族	第II族	第III族	第IV族	第V族	第VI族	第VII族	第VIII族
0 中性子 n	1 水素 H							
2 ヘリウム He	3 リチウム Li	4 ベリリウム Be	5 硼素 B	6 炭素 C	7 窒素 N	8 酸素 O	9 フッ素 F	
	10 ネオン Ne	11 ナトリウム Na	12 マグネシウム Mg	13 アルミニウム Al	14 矽素 Si	15 リン P	16 硫黄 S	17 塩素 Cl
18 アルゴン Ar	19 カリウム K	20 カルシウム Ca	21 スカンジウム Sc	22 チタン Ti	23 バナジウム V	24 クロム Cr	25 マンガン Mn	26 鉄 Fe
	29 銅 Cu	30 亜鉛 Zn	31 ガリウム Ga	32 ゲルマニウム Ge	33 砒素 As	34 セレン Se	35 臭素 Br	
36 クリプトン Kr	37 ルビジウム Rb	38 ストロンチウム Sr	39 イットリウム Y	40 ジルコニウム Zr	41 ニオブ Nb	42 モリブデン Mo	43 テクネチウム Tc	44 ルテチウム Lu
	47 銀 Ag	48 カドミウム Cd	49 インジウム In	50 錫 Sn	51 アンチモン Sb	52 テルル Te	53 ヨウ素 I	45 ロジウム Rh
54 キセノン Xe	55 セシウム Cs	56 バリウム Ba	57-71 ランタノイド (15元素)	72 ハフニウム Hf	73 タンタル Ta	74 タングステン W	75 レニウム Re	46 パラジウム Pd
	79 金 Au	80 水銀 Hg	81 タリウム Tl	82 鉛 Pb	83 ビスマス Bi	84 ポロニウム Po	85 アスタチン At	47 コバルト Co
86 ラドン Rn	87 フランシウム Fr	88 ラジウム Ra	89~ アクチノイド Uなど					27 ニックル Ni

ランタノイド La	57 ランタン La	58 セリウム Ce	59 プロセチウム Pr	60 ネオジム Nd	61 プロメチウム Pm	62 サマリウム Sm	63 ユウロピウム Eu	64 ガドリニウム Gd	65 テルビウム Tb	66 ジスプロシウム Dy	67 ホルミウム Ho	68 エルビウム Er	69 ツリウム Tm	70 イットリウム Yb	71 ルチウム Lu
アクチノイド Ac	89 アクチニウム Ac	90 トリウム Th	91 プロトアクチニウム Pa	92 ウラン U	93 ネプツニウム Np	94 プルトニウム Pu	95 アメリシウム Am	96 キュリウム Cm	97 バークリウム Bk	98 カリホルニウム Cf	99 アインシュタインウム Es	100 フェルミウム Fm	101 メンデレヴィウム Md	102 ノーベリウム No	103 ローレンシウム Lr

* 文献15で提案

である。事業として、年3回の例会（依頼講演、研究発表、等を含む）、観光誌「るるぶ下北半島」の自主刊行、下北半島と大消費地を結ぶ直通列車「ドリームアックス号」（大湊―新宿間）を走らせる観光イベント、等でも知られている。臨界事故の直後に本研究会で話す機会をあたえられた（折しも日本放射化学の設立時に当たって、第43回放射化学討論会会場に事故緊急報告セッションが特設されるなど、直接的な情報を得ることができた）。そこで臨界事故報告を主題とし、その前置きとして中性子に関する上述の諸項目を基礎として予備的に述べ/13/、また、日本の加速器や放射能の研究の歴史にも簡単に触れた。

本研究会には各市町村長がメンバーとして入っており、問題に応じて適宜、当該の担当者がその都度、出席する仕組みで、その回には消防署長が代理として多く出席していたのが特徴であった。報道、情報、運輸の関係者も多く出席していた。話した結果は明白であった。内容は直ちに理解され、中でも消防署の職員は必要上から、また一般人も知的好奇心から、原子力立地地域で人間活動を起源とする環境放射能の一つとして中性子をみずから測定してみたいと考える人々もあった。後に、極低バックグラウンド放射能測定に関する一般公開セミナー/14/が六ヶ所村環境研で開催された時にも出席し、講師に直接、助言を仰いでいる。また、他の人々からは、この種の話をも自分の属しているまた別の団体の人々にも聴かせたいという積極的な申し出があった。

【出前理科実験教室「もっと知りたい身近な放射能」】全国組織である日本女性科学者の会（会長 数野美つ子：当時、会員数約300名）が、放射線医学総合研究所において、中学・高校の生徒と一般市民を対象に

「もっと知りたい身近な放射能」という講演と実験の会を事故の翌年1月に開催した。先ず、宇宙線を中心とした身近な放射能に関する幾つかの講義と各種放射線測定器の解説のあと、参加者がみずから各種の試料を測定するというやり方で、また、ジャムの空き瓶を利用して霧箱を手作りして会場の空気中のラドンを測定するコースも行われた。講義の部で、中性子の上述の項目について述べる機会を短時間与えられ/15/、出来るだけ解りやすい言葉で簡潔に話した。

具体的な反響として、昔、高等学校で化学を習ったという一主婦が、原子番号や周期表との関連から中性子という放射線の特徴がよくわかった、と述べた。また、中性子という放射線についてこういう、はっきりした話は初めて聞いた、という声が一市民からあった。要するに、誰でもわかるように述べれば、生きるために必要な知識としてわかってもらえるということであり、長い時間も不要である。

【ロータリークラブの場合】30分話す機会を与えたが、直前の回のテーマが臨界事故であったとのことで、原子力の中性子と宇宙の中性子を結びつける話題としてエックス線星/3, 4, 16, 17/を選び、恒星における核融合反応、地球両極への宇宙線の流入とオーロラなど、ロマンチックな面について話した。また、約100年前に実験室で発見された人工放射線としてのエックス線が、実は、遙か彼方の宇宙の星が遠い昔から放射されていたということ、さらに人工の極致のように考えられている原子炉も然りで、既に20億年も前にこの地球上で自然、天然に実現されていた、しかもエックス線星も天然原子炉/18/もそれぞれ日本の科学者による貢献であることを強調した。講演後の反響として、そういう現代の宇宙科学の最前線の中性子と、あの臨界事故における悪役の中性子とが同じものとは思議だというコメントや、エックス線の医療への応用の最前線などについて質問が寄せられた。

社会の存立・生命の危険にかかわる知識の一般人への速やかな伝達

原子力立地地域の人々に対しては、いわゆる原子力PA（普及活動）が行われている。その内容について一般的に言えることは、原子力発電など応用面の技術的詳細にわたることなどが多く、基礎的なことを

聞く機会は通常ないようである。「寝た子を起こす」などと考えていなくても一般に専門家は「この位まででよいだろう」と漠然と考えがちである。しかし、それが結果的には知識の小出しに終る。別の言い方をすれば専門家の小集団主義が、巧まずして一般市民に対する一種の愚民政策として機能してしまう。現代においては一般市民、すなわち納税者こそが、基礎研究という社会的支出を支える究極のパトロンであるから、仮にも一般市民の見識が、専門家集団の見解とあまりに懸け離れることは、双方にとって、ということは結局のところ国家的な損失に繋がる。

したがって我々の実生活で現実に動いている現象については、知識が遅滞なく一般人に伝達されるような仕組みが早急に構築されなければならない。また、生きるために必要な情報が特定の小集団に閉じているのではなく、広く一般人に開かれ、安全な暮らしのために活かされるべきである。増して人命が失われるような事故に至った中性子については、実務的な問題に限ることなく、我々の生活空間における宇宙線起源や人間活動起源の中性子の連続測定を通して地球や宇宙への好奇心が広がっていくような知的で豊かな社会の構築の糸口となることが期待される。

防災とのかかわりにおける新たな局面

極低レベルの放射能との関連で、コンピューターの記憶素子におけるソフトエラーの問題に言及しなければ片手落ちであろう。この問題は、はじめ電子材料中の自然放射性核種からのアルファ線の問題として提起された。記憶素子の容器の素材であるアルミナに自然のアルファ放射体（ウラン・トリウムなど）が、たとえ微量でも含まれていると、アルファ線の通り路で記憶内容が反転して誤作動する。この種のエラーは後遺効果がなく復帰する性質のものでソフトエラーと呼ばれ、1970年代の終りにインテル社のメイラ/19/に指摘されて以来、1980年代を通して我が国のコンピューター産業界における一大問題/20/であった。この問題は、技術の進歩により記憶素子の集積度が上がるにつれて厳しくなることが予想された。例えば不純物ウランの量について、原料アルミナの精製過程でアルカリ溶液中のウランの溶解度で決まってしまうなど、原理的な下限/21/まで高純度化を進めても、いずれは宇宙線中性子によりアルファ線が二次的に生じる核反応に対処しなければならないことが当初から考えられた。後に、材料の高純度が急速に進んだが、企業秘密の面もあり、少し分野が異なれば最前線で新たな問題/22, 23/として遭遇し、ゼロから出発するような場合も依然あるように見える。また、それに関連して新たな方法の開発や応用が展開/25/されている現状である。

かつてソフトエラーの問題が不可避であった最大の業界はコンピューター産業であり、その周辺のファインセラミック産業、半導体用薬品工業などが高い関心を示し、深くかかわった。しかしながら、原料の産地依存性という逃げ道があって、原料関連の鉱工業や一般の薬品工業までこの問題意識が及ぶことはなかったようである。したがって、その時点でこの問題を素通りできた分野で、その後の集積度上昇によりこの問題に全く新たな、知られない形で遭遇している筈である。このような段階で、環境中性子によるソフトエラーの問題がコンピューターの2000年(Y2k)問題など身近なことと関連して、防災という新たな観点から留意されなければならない。化石燃料の大量消費に伴う大気中の二酸化炭素の増大と同様の意味を持つ問題として、人類の原子力時代突入と同時に環境中性子の全地球的な微増が考えられ、長期的視野のもとに連続的監視が必要であったにも関わらず、これが等閑に付されていることは既に述べた。この基本的な問題の上に、集積度の一層の向上という新たな技術的進歩により、ソフトエラーの確率に新たな増大分が付け加わるというのが実態であろう。

2000年(Y2k)問題、等における原因不明現象との関連

1999年の年末、2000年（Y2k）問題で万全を期するためコンピューターの未曾有の総点検がなされ、パニックとは行かないまでも生活必需品の買い置き、旅行の中止などがなされたことは、まだ記憶も新たなところである。さらに2月29日には閏年問題が追い討ちをかけ、様々な不具合がみられたことが報道された。これら二つの問題は、予め充分対策を立てて臨んだにもかかわらず不具合が生じており、それらは原因不明の事象（20件程度）として処理された。これらの事象は実際問題として社会の安全と直接かかわることではなく、また、敢えてそれ以上に原因を究明しても、それに見合う社会的効用も期待できないので、そのまま打ち棄てられ忘却されるであろう。しかしながら、見方を変えれば、現代日本という一つの高度情報化社会において、ある時点でのコンピューターにかかわる原因不明のバックグラウンドエラーを測定した、ということであり、今、日本人が全体でコンピューターをn台持っていると仮定すると「2000年1月という時点（t）で原因不明事象の確率は $20/n$ である」という測定値を、全社会的規模の壮大な実験の結果得た、ということである。一部に、2000年（Y2k）問題など存在しない、踊らされただけだ、という論調があったが、問題の所在を弁えない空論である。この値が得られただけでも大変な意義があった。この確率を $f(t, n, x, y, \dots)$ とすると、xやyは如何なる因子であろうか。このようなバックグラウンドエラーについては基礎的な観点から社会的に集積の上、高度情報化社会における安全性の問題として、解析に付すべきものであろう。原子力立地地域にあっては、安全性、したがって防災に直結する潜在的意味をもつ関数である。

諸施設・装置・機器の電気系統の原因不明不具合との関連

2000年（Y2k）や閏年などの問題のように社会的に喧伝されることはなくとも、世の中の一般的な諸施設・装置・機器などで電気系統の不具合が常に散発的に報道されている。身近なところでは、例えば、停電、電話の不通、銀行のATMやみどりの窓口のコンピューターのダウンなど。いずれも、大抵は「復旧した」とか「復帰した」の一言で片付けられており、気象条件や物理的な条件も関係なく報道の前後の状況から見て、きわめてソフトウェアの事象であるのが特徴である。これらも高度情報化社会のバックグラウンドエラーとして記載され、社会的に蓄積され、解析に付すべきものであろう。原子力関連施設のあっては、如何なる場合でも「事故に繋がる筈はない」と予断したり、等閑に付したりしてはならない。建設に際して下請け業者が、常識的な考えで悪気なく（ということは専門的には無知ということだが）本質的に不用意な材料を部品などに使っている可能性が考えられる。例えば、ある特定の物質の有無、含量、濃度などの観点から再検討の必要がある/26/。JCOの事故も、同位対比（あるいは濃度）という量について、不用意な取り扱いがなされたことから生じた結果である。

地球環境をつくる太陽活動の周期性との関連

太陽物理学者の桜井邦朋は、これまで何回か観測された太陽宇宙線生成の中で最も注目された例として1989年9月29日のフレア/27/について述べている。フレアとは、太陽表面で発達中の黒点群の上空またはその付近でしばしば発生する一種の爆発現象で、主に水素の核融合反応による。これに伴って高エネルギーガンマ線から低周波電波まで広範囲にわたる電磁波と高エネルギー粒子が放射され、地球上ではフレアから数分から数十分遅れでそれぞれのピークが観測される。この大フレアによる中性子のピークは乗鞍/27/でも板橋/28/でも観測されている。一般に、このような時には北半球で地磁気の攪乱、オーロラの発生、地表下における誘導大電流の発生、大規模停電が起こることが知られている。黒点数の増減には約11年の周期性のあることが既に1880年代に見出されている。2000年から2001年は太陽の活動期に当たっており、“飛程”のない粒子としての振る舞いに着目して、地上の原因不明現象を読み解く

ための方法論の確立が要請されている。

単語の言い間違い・聞き間違いの問題から脳へ近づく

かつてフロイドは精神・神経病医として彼の患者の観察を通して、日常の言語生活における言い間違い、聞き間違いについて考察して、それらを患者の深層にある願望の現れ/29/と解釈した。このような古典的、人格的解釈はさておき、近年、科学的方法を駆使した脳研究の進展が目覚ましく、記憶素子のソフトエラーモデルによる言い間違い、聞き間違い、見間違い、考え違い、思い違いという見方が可能になってきた。ロボット学者の金出武雄は、ヒトとロボットによる将棋の対戦をめぐって脳に対する宇宙線の影響/30/に触れている。JCO事故に際し中性子被ばく者の初期状況について通報者が「てんかん」と表現したことは留意に値しよう。これは「転換」という作業をする場所という解釈も可能であったが、其の後、より詳細な各種のドキュメンタリー/31, 32/や解説/33/が刊行され、前後関係から中性子被ばく者の症状について述べたものであることが確認された。古代において癲癇（それに似た神経性発作）は神業によっておこるものとして呪術師たちは神聖視し、民衆は「神聖病」として恐れ、祈祷師を呼んで鎮めてもらった。これが脳という器官にかかわる病気であることが知られる時代になっても、ドストエフスキーのように天才との関連を仄めかすなど神秘のベールから完全に自由にはなっていない。現代の定義によると、癲癇とは脳の過剰なニューロン発射による反復性の発作を主な特徴とする慢性の脳疾患である。病因は単一ではなく、また多くの病気が癲癇と同様の症状を示す。中性子は人体のスケールからみて飛程を考慮しなくてもよい唯一の粒子性放射線である。中性子を用いた診断や治療の例はあるが、生体への影響に関する基礎研究も時代が要請しているように思われる。

劣化ウランの問題

このところ劣化ウラン弾による「バルカン症候群」について報道されている。ダボス会議でもイタリアが問題提起している。また、イラクの人々や湾岸戦争からの米国帰還兵士について劣化ウラン弾による「湾岸症候群」について、あまり声高ではないが一部で依然、語り継がれている。これらは戦場において劣化ウラン弾が大量に使用されたことの後遺症として問題になっている。劣化ウランはウラン濃縮の過程で出される不要品で、殆ど純粋なウラン-238であることを考慮するとこれらの症候群は、より明確には「ウラン-238症候群」と呼ばれるべきであろう。ユーゴスラビア・コソボ自治州（3万発以上使用）に派遣されたイタリア人兵士が6名死亡したことによる関連地域の緊急放射線測定ではベータ線が検出された、と報道されている。より信頼性の高い放射線測定が早急に行われることが望ましい。ここでは既に報道されている基本的な事実に基づいて考察する。

劣化ウラン弾が大量に使用されたということは、ウラン-238を含む微粒子が大量に環境中に存在するということである。土壌表面はもとより空気中にもエアロゾルとして漂っていると考えられる。土壌表面から除去されない限り汚染土壌は踏み潰され、より微細な粒子となって舞い上がり、空気中に絶えず供給されるであろう。ウラン-238はアルファ壊変核種（半減期45億年）であるが、また、外部から働きかけがなくても自発的に核分裂（半減期8000兆年）する性質があり、もし大量に環境中に拡散されることがあるなら、それは本質的には極めて緩慢な中性子爆弾として作用する、と考えると一向に差し支えない。こういう核種があれば極低線量ながらその分だけ環境中性子が増えている筈である。バルカン症候群とか湾岸症候群とか曖昧な名称ながら、確実に消耗的な病状は実に「中性子症候群」として早急に対応すべきものである。またウラン濃縮過程から出てくるものであれば、ウラン-235も存在しており、環境中性子の全量は、増える方向は考えられても減ることは考えられない。

ウランは、ベクレルにより放射線が見出される以前には黄色のウラン釉として使われており、今では

ガラスケース内に展示されたり、自然放射能の測定用に供されたりしている。今日ウラン釉は使われなくなったが、それらは高温焼結体として安定な状態に固定されたもので、たとえ日用に供したとしても、空气中に漂う無数の微粒子よりはるかに安全であろう。

緊急の測定でベータ線が観測されたということであるが、これはウラン-238に由来するトリウム-234（半減期 24 日）のベータ線、プロトアクチニウム-234のベータ線（半減期 1.2 分：準安定と半減期 6.7 時間：基底）と中性子のベータ線（半減期 10.6 分）が考えられる。アルファ線やベータ線は身の周りの物質で遮蔽されやすいが、中性子は遮蔽されないので、緊急または定常的な測定いずれにしても中性子に着目したほうが合理的である。たとえベータ線を丁寧に測定し核種を同定したとしても、実際に人体に効果を及ぼしているのは、遮蔽されたベータ線ではなくて遮蔽されない中性子であるということが充分あり得るからである。ガンマ線やアルファ線についても同様のことが言える。全体としての環境中性子の測定が緊急に望まれる最近の一例である。

日本ではこの地上における生活環境中の中性子が 1970（昭和 45）年から 28 年間にわたって、連続的に測定されていた歴史がある。にもかかわらず、先般、中性子が二人の同胞を死に至らしめるのを許してしまった。このことは、みずからの誇るべき科学文化の伝統や技術的な遺産が日本全体としては社会的に活かされなかったことを意味している。そして我々日本人の構成する社会の中で、知的流通の面において何かしらは是正すべき不具合があったということを示唆している。翻ってこの宇宙におけるこの基本的な粒子³⁴/を一つの手がかり—アリアドネーの糸—として広く事物を縦、横、斜め、等、様々な切り口で辿っていくと知の領域に新たな展望が拓けてくることがわかる。

文献

- 1) 和田雅美 “太陽地球系における宇宙線の役割—理研宇宙線研究室の役割—” 理化学研究所報告, 第 62 巻, 1 頁, 1986 年 1 月.
- 2) 松岡 勝 “理研板橋宇宙線連続観測所閉所のお知らせ” 1998 年 2 月.
- 3) 松岡 勝 “活動銀河と X 線の宇宙背景放射” 理研ニュース第 134 号, 1992 年 2 月.
- 4) 松岡 勝 “X 線の目で探る宇宙の謎” 理研ニュース第 196 号, 1997 年 10 月.
- 5) Nature, 401, 513 (1999).
- 6) 齋藤信房 “JCO 臨界事故の教訓” 放射線教育フォーラムニュースレター第 16 号, 2000 年 3 月.
- 7) 日本原子力文化振興財団 “「原子力」図面集—2000 年度版—” 50 頁, 2000 年 10 月.
- 8) 1963（昭和 38）年 10 月 26 日以来実用化。例えば 小牧 哲 “10 月 26 日は「原子力の日」” 環境研ミニ百科第 5 号, 1995 年 10 月.
- 9) 第 29 回環境研セミナー “放射線の線量測定と評価の動向” 環境研ニュース第 11 号 4 頁, 1995 年 4 月.
- 10) C.M.Lederer, V.S.Shirley, E.Browne, J.M.Dairiki, et al. “Table of Isotopes” 7th Edition, 1 (1978).
- 11) 村上悠紀夫他 『放射線データブック』地人書館 26 頁, 1982 年 4 月.
- 12) 古川路明 『放射化学』朝倉書店 186 頁, 1994 年 3 月.
- 13) 荒谷美智 “新顔放射線としての中性子について” 下北半島活性化研究会, むつ, 1999 年 10 月.
- 14) 小村和久 “環境放射能研究における極微量放射能測定—JCO 事故におけるその応用—” 第 70 回環境研セミナー, 六ヶ所, 2000 年 2 月.
- 15) 荒谷美智 “環境中性子モニタリングの意義” 日本女性科学者の会 出前理科実験教室「もっと

知りたい身近な放射能」千葉, 2000年1月.

- 16) 荒谷美智“神秘的でエキゾチックな放射線—中性子”青森ロータリークラブ月例会, 青森, 2000年3月.
- 17) 荒谷美智“X線発見100年”環境研ミニ百科第8号, 1996年1月.
- 18) 鳥養祐二“天然原子炉”環境研ミニ百科第43号, 1999年3月.
- 19) T.C.May and M.H.Woods “Soft Error by Natural Alpha Rays” IEEE Transactions on Electron Devices, Ed-26 (1), 2 (1979).
- 20) 荒谷美智“超L S I材料中のアルファ放射体の分析”分析化学2月号106頁, 1983年2月.
- 21) 岡本祥一, 野崎 正, 荒谷美智, 高橋保夫, 佐藤孝順“超高純度アルミナの製造法”特許公報(B2) 昭58-17130, 1983年4月.
- 22) 佐藤 純, 齊藤 敬“アルミニウム試薬中に含まれる非平衡のウラン”「環境放射能」研究会, つくば, 2000年3月.
- 23) 三頭聡明, 原 光雄, 金 豊, 野沢義晴, 中島幸一, 中山幸二, 黒岩洋一“アルミニウムの高純度化とそれに含まれるウラン・トリウム同位体の非平衡”同上.
- 24) 橋本哲夫, 小松庸子“液体シンチレーション法を用いた微弱天然アルファ放射性核種の壊変系列別同定・定量法の開発”同上.
- 25) 広瀬尚幸, 露崎典平, 山本博康, 三頭聡明, 原 光雄“産業用確率発生器のための微弱アルファ線源開発”同上.
- 26) 荒谷美智“ハイテクの安全確保は宇宙線観測で”BOUNDARY, 第8号44頁, 1994年8月.
- 27) 桜井邦朋『地球環境をつくる太陽』地人書館, 1990年12月.
- 28) K.Takahashi, M.Wada, E.Sakamoto, M.Matsuoka, et al. “Observation of High Energy Solar Particles on September 29 by Neutron Monitor with High Time Resolution” Proc. Japan Acad., 66(B), 10 (1990).
- 29) フロイド『日常生活における精神病理』
- 30) 羽生善治, 金出武雄“2010年, コンピューターと真剣勝負”文芸春秋5月号368頁, 2000年5月.
- 31) 核事故緊急取材班+岸本 康『臨界19時間の教訓』小学館, 2000年1月.
- 32) 読売新聞編集局『青い閃光—ドキュメント東海臨界事故』中央公論新社, 2000年4月.
- 33) 更田豊治郎“JCO臨界事故と環境”環境研ミニ百科第60号, 2000年8月.
- 34) 谷畑 功, 理研ニュース第173号, 1995年11月.

本稿は、平成12年6月に高エネルギー加速器研究機構で開催された「環境放射能」研究会の会議録65頁掲載の「宇宙線中性子地表連続測定から環境中性子全方向連続測定へ—歴史と展望—」を一般市民向けに書き直し、最近の事情を考慮し、劣化ウランの問題の項を新たに加えたものであることを付記します。ここにお一人お一人お名前は挙げませんが、初稿を読み、ことに市民の立場から解りにくい点をご指摘いただいた方々に謝意を表します。

また、本論文や関連論文の執筆に際して使用した理化学研究所板橋分所の中性子計によるデータ²⁶/および関連資料の提供について理化学研究所宇宙放射線研究室の坂本恵美子研究技術員に謝意を表します。

原子と原子核に関する学習指導の工夫

大野新一, 保坂明夫
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 本稿は、平成12年8月東京都立教育研究所で行われた「探求する能力や態度を育てる物理の学習指導の工夫(高等学校理科・物理)研修会」での講演内容をもとに書きなおしたものである。教科書の断片的な知識を伝えるのではなく、相互のつながりや背景を理解するために必要なことを述べた。原子、原子核の大きさや構造、安定性、そしてこれらのことがらと放射線との関係が理解され、何よりも人類が微細な粒子の存在をなぜ考える必要があったのかに思いをいたすのでなければ、原子や原子核を授業で取り上げてほとんど無駄に終わるのではないかと思われる。

1. はじめに

高校物理の教科書には、力と運動、幾何光学、熱と気体分子運動、電磁気学、電子・原子と原子核など広範囲にわたって、それぞれの章でいわゆる重要事項がびっしりとそして簡潔な文章で記載されている。ここでは教師が授業を進めるさいに、より広い視点から高校物理を考えることの必要性を述べてみる。話題を特に「原子と原子核」に絞ることとする。“より広い視点”とは、まず第1に、物理あるいは科学を学習することの意義、第2に、人類の自然に対する理解がどのような段階であるかについての認識のことであり、こうしたことを生徒に伝えようとするのでなければ、教科書はただ断片的な知識の詰め込みを強いるものでしかなくなる。

最近の新聞の話題になった物理関連の出来事では、ニュートリノの質量が測定されつつあるとか、最後(12番目)の基本粒子タウニュートリノが発見されたとかがある。こうしたニュースも、教科書に出てくる重要事項とどのように関係しているのか、そのつながりや背景が理解されなければ、興味が持てるわけがない。

2. 原子の存在：物質世界における多様性の中の統一性 (参考文献 4, 10)

ガラスの器に入れた氷の塊は、ふつうの室温では1時間もすると融けて液体の水に変化し、さらに数日もすればその水はすっかりなくなってしまう。庭の枯れ木に火をつければ煙と熱と光を周囲にまき散らしながら、枯れ木はなくなってしまう。鉄鉱石の粉を石炭と混ぜて強く加熱すると真っ赤に燃えたドロドロの液体が流れ出て、冷えると金属の鉄ができる。しかし鉄はいつしかさびてボロボロになってしまう。人間は、より良く生きるために道具を使うが、このためには自然界から採集してきた物質を目的に合わせて変化させたい。しかしやがて膨大な数の技術のあれこれは記憶しきれなくなる。それよりも多種多様な物質変化の奥にひそむ原理・原則を探るのが賢いというものであろう。1を知れば10を知るということわざどおり、原理を理解すれば多く覚えなくても済むし、新しい技術を探るときに有効である。このとき物質世界の複雑な目に見える変化が、実は、目には見えないが単純な原理に支配されていることに人類が気づいたのはそれほど古いことではない。それが原子論であり(付録1, 2)、またエネルギー保存則である。

4. 原子・分子の安定性

室温付近での水分子の走る平均速度は約 600 m/秒であるが、この程度の速さで互いに衝突しあっても分子自体は壊れないことに注目してほしい。水分子は、2個の陽子と1個の酸素原子核、それに10個の電子の集合であるが、これら13個の粒子は相互に働く静電力のもとで定常的な運動状態にある。このうち電子の運動によって一定の大きさの折れ曲がった水分子(H-O-H)の構造が保たれる。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。その電子が急に消失したとしたら2つの原子核同士は離れ離れになってしまう。そうでない限りいくつもの電子がはげしく振動・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、室温に比べて桁大きい衝突エネルギーでない限り、こわれることもなく、安定である。このような原子の安定性は電子が波のような性質でもって運動すること、そして原子核によって狭い空間に閉じ込められることから定在波を形成することから理解できる。高校物理では、ボーアの水素原子模型がでてくる。円運動する電子軌道の半径 0.53 nm と速度約 10^6 m/s と回転周波数 10^{16} Hz を学習する。しかし安定さには触れることはない。これでは片手落ちというほかない。

原子は、堅くて小さく決して壊れることはない、永久不変のものとギリシャ時代から考えられ、この考えはニュートンの時代も、またドルトンの時代にも引き継がれ、19 世紀の化学反応の定量的研究を通して確実視されていた。しかし第 2 の技術革命を経た人類は、その原子のなかを素通りする放射線、そのために原子のなかの構造を調べるのに利用できる放射線をついに手にするのである。

5. 放射線とは

放射線は、「原子・分子のなかを素通りし、その際まれではあるが原子・分子内の電子を弾き飛ばすもの」である。これを原子・分子の集合体である巨視的物体に当てはめて言いなおすと、放射線は、「物体の姿・形を崩すことなく、物体を透過し、そのさいに物体の内部に少しずつ化学変化を起こすもの」である。このような "もの" を具体的にしめす：

- ① 高い周波数 ($>10^{16}$ Hz) の電磁波
- ② 高速 ($>10^6$ m/s) の荷電粒子 (ただし大きさは原子よりずっと小さい)
- ③ 中性子

物質構造の立場からみると、放射線は物体内部の様子をしらべる、とりわけ原子・分子の内部構造をしらべるのに有力な手段を提供する。また物質変化の立場からみると、放射線は温度や相に関わりなく遠く離れたところに存在する物質に対して化学反応を起こすことができる。

6. 放射線の発見 (参考文献 5, 6, 7)

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。真空ポンプと電気技術(電池の発明: 1800)を組み合わせた真空放電の実験は、雷光・オーロラへの関心から盛んであったが、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 X 線の発見をもたらした。陰極から出る荷電粒子の電荷 / 質量の比が陰極材料や管内気体の種類によらずに一定であることから、J. J. Thomson はあらゆる種類の原子に共通にふくまれている電子の存在を確信した(1896)。また高エネルギーの陰極線 (=電子) が放電管壁に衝突したところから物体を透過する電磁波 (=X線) が発生することを K. Röntgen が見いだした(1895)。X 線発生機構を調べようとして Becquerel は天然の鉱物から出ている放射線を発見(1896)、その放射線を放出する物質の分離の研究からキュリー夫妻はポロニウムとラジウムを発見(1898)、その後、Rutherford らの研究により、天然放射線には α 線(ヘリウム原子核)、 β 線(電子線)、 γ 線(電磁波)の 3 種類があることがわかった。また、写真作用、蛍光作用のほか、気体電離を利用した放射線検出法が開発された。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 つを知れば残りが求められるようになった。

原子中を走る α 線の飛跡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 個の単位の電荷を有することも明らかとなってきた。また高エネルギーの電子衝撃を受けた原子から放出される X 線(特性 X 線)の波長と原子番号 Z との関係 (Moseley : 1913) も明らかになり、原子中の電子の運動状態が理解できる準備がととのった。

こうして微細な高速の粒子(=放射線)と原子・分子との相互作用に関する知見が得られるにつれて、その記述にふさわしい新しい力学理論が必要となってきた。すなわち量子論と相対論の誕生である。

7. 量子論の誕生 (参考文献 11)

微細な粒子の運動は、Newton 力学ではなく、量子力学に従う。粒子が小さいか大きいかは、粒子の運動がそれを観測することによって影響を受けるか受けないかによる。微細な粒子は、他の粒子と相互作用しないでひとりで運動している間はわれわれが日常知る波動のように振る舞うが、他の粒子と相互作用

用(エネルギーのやり取り)するときはわれわれが知る粒子のように振舞う。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込められた波動は、いくつもの定まった形の定在波としてのみ存在する。ひとつの定在波から別の定在波への移り変わり(遷移)は、電磁波の吸収・放出を伴って起こり得る。入射してくる放射線(たとえば高速電子)と相互作用するときは粒子と粒子の衝突である。束縛エネルギーを超えるエネルギーを衝突によってうけると、その電子は原子核から飛び出す(イオン化)。高速電子が結晶格子を通過するときも、エネルギーのやり取りがないならば、平面波が多数の原子からの散乱を受けるので干渉効果があらわれる。しかし最終的に検出器に達するときは、そこでエネルギーを渡すので検出器の中のどこか一点であり、粒子としての性格が現れる。

8. 放射線の発見その後

原子番号Zの原子核がもつ電荷 (Rutherford や Moseley の方法) と質量 (Thomson 及び Aston らの質量分析器の方法) 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(1932) である。そしてつぎの課題は、原子核の構成要素である陽子と中性子を結びつけている力である。それは、相対論と量子論に基づいて展開された湯川の中間子 (パイオン) 予言 (1934) とそれから始まる素粒子物理の展開を促した。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。

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。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よう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。

9. 原子と原子核の大きさ (参考文献 5.6)

トムソンの求めた電子の m/e 値 (0.5687×10^{-11} kg/C) は原子の種類に関係なく原子とは独立の存在であることを示している。この頃には、すでに種々の塩の水溶液の電気分解が知られていた。析出物質の量と流れた電荷量との関係は、Faraday によって 96500 C/mol と与えられていた。これを使うと水素イオンの質量 $M(H^+)$ と単位電荷との比は

$$M(H^+)/e = 1.0444 \times 10^{-8} \text{ kg/C}$$

となる。電子の e とイオンの e が同じ値であるとすれば、電子の質量は水素イオンの質量の約 2000 分の 1 である。

空中で重力のもとで落下する油滴に電荷をあたえ、上向きの電場で釣り合いをとらせることから e の値をもとめる Millikan(1906) の実験から $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C がわかる。すると 1 mol (アボガドロ数) が $96500 / 1.6 \times 10^{-19} = 6.02 \times 10^{23}$ と求められる。さらに水素イオンの質量が 1.7×10^{-27} kg, 電子の質量が 9×10^{-31} kg と計算される。原子の大きさも簡単である。たとえば金の原子量は 197 なので金原子の質量は $197 / (1.008 \times \text{水素の質量}) = 3.25 \times 10^{-25}$ kg, そして金の密度 1.93×10^4 kg/m³ より、それぞれの金原子が 1.68×10^{-29} m³ の体積、あるいは 1.3×10^{-10} m の半径を持つことが分かる。

原子核の大きさは高速の中性子をぶつけたときの散乱される割合からもとめられる。1 m² あたり断面積 s の原子核が N 個だけ存在するとき高速中性子が散乱を受ける確率は sN/m^2 である。 s がわかれば原子核の半径 R は容易に求められる。 A を質量数として

$$R = 1.5 \times 10^{-15} A^{1/3} \text{ m}$$

が知られている。するとその容積は A に比例しており、原子核の密度はどんな原子核でも同じことがわかる。すなわち $A \times 1.7 \times 10^{-27}$ kg / $(4/3\pi R^3)$

10. 原子核の安定性

原子核は 1 ~ 300 個の核子 (N 個の中性子と Z 個の陽子) の集まりである。原子核のあらゆる性質は N

と Z の関数として与えられる。近接した核子間にはパイオン(湯川の中間子論;1934)の交換による強い引力(核力)が働き、原子核が存在できる。力の働く有効距離は Rutherford の α 線散乱とか、高速中性子散乱断面積の測定から 10^{-14} m くらいであることが知られている。こうした近接力を仮定すると、重い原子核の結合エネルギーが質量数 $A (= N + Z)$ に比例することが理解できる。すなわち大きい核にさらに1個の核子を付け加えても、加えられた核子に働く力はごく近傍の 2, 3 個の核子だけで遠くの核子からは力をうけないからである。同じく近接粒子間でのみ働く引力の例として原子間力や分子間力が知られており、この類推を用いる原子核モデルは液滴モデルと呼ばれている。

安定な原子核の N/Z 比は、軽い原子核では 1 に近い値をとるが、これは中性子—中性子間、あるいは陽子—陽子間の力に比べて、陽子—中性子間の力がいくらか強い(略 2 : 3) ためである。N と Z のどちらかが大き過ぎる原子核では、弱い力の作用によって N/Z 比を安定領域に近づける (β 崩壊) :

中性子 \rightarrow 陽子 + β^- + 反ニュートリノ

陽子 \rightarrow 中性子 + β^+ + ニュートリノ

また重い核になると安定な N/Z 比の値は 1.6 に近い値になるが、これは核力以外に次第に陽子によるクーロン斥力の効果が現れてくるからである。斥力に打ち勝つように N が大きい方がより安定である。ウラン、ラジウムなどの重い核は、大きくなったクーロン斥力のために自然に α 粒子を放出して安定化する。またもっと大きい核、あるいはそれほどでなくても中性子などの他の核子が入射したときの原子核が励起されて球形からずれて振動したりする場合に、原子核は 2 つに分裂することが知られている。2 つの部分に離れたときに、表面積が増して核力は小さくなるのに遠隔力であるクーロン斥力のほうは小さくならないために、ついにクーロン反発によって 2 つの核が互いに飛び離れる。質量は減少するが、その分が 2 つの分裂片の運動エネルギーである。

参考文献

- 1) 片山泰久「現代物理入門」(講談社学術文庫)
- 2) A. アインシュタイン, P. インフェルト「物理学はいかに創られたか(上・下)」(岩波新書 51)
- 3) G. チャイルド「文明の起源(上・下)」(岩波新書 66 a, b)
- 4) 自然科学原典シリーズ「異端の科学史」(北大図書刊行会)
- 5) E. セグレ「X線からクオークまで」(みすず書房)
- 6) S. ワインバーグ「電子と原子核の発見」(日経サイエンス社)
- 7) 自然科学原典シリーズ「近代科学の源流—物理学編 III」(北大図書刊行会)
- 8) 物理学史刊行会「原子模型」, 「放射能」, 「原子構造論」(東海大学出版会)
- 9) 池内 了「宇宙進化の構図(科学全書 29)」(大月書店)
- 10) 水島三一郎「物質とはなにか——原子から微生物まで」(講談社)
- 11) 並木美喜雄「量子力学入門(岩波新書 210)」(岩波書店)

展開して欲しい話題

1. 古代ギリシャ原子論者たちの説明(以下のような物質の変化をうまく説明する方法としてギリシャ人は原子を考えた。原子を考えないような説明法が他にあるかどうかを生徒に考えさせて互いに議論し合う)

容器のなかに水がある。食塩をすこし溶かしてみる。見た目には水に何の変化もないが、それでもなめてみるとしょっぱいの塩のあることがわかる。水の量を多くしてゆけば、ついには見た目にも、なめてみても塩の存在はわからない。それでも熱を加えて水を蒸発させれば、元の塩が再びでてくる。人間の感覚にかからないからといって塩がなくなったのではない。こんなことは、水、塩、空気がいずれも目に見えない、しかし不変の原子と真空(すき間)の両方から成り立っているとしてでなければ、理解できない。水のなかの真空部分に塩の原子が入り込んでいってとける。水の原子がこんどは空気の真空部分に入り込んでいってついには塩だけが残ってあらわれる。塩の原子は空気の真空部分に入ることができない。

空気の中に入った水は上昇し寒さに触れると水と水の結合が勝り、水滴となり、雨となって地上に落ちる。また水は流れる。水の原子がすぐ隣の真空部分に移動し、そこへすぐ次ぎの水の原子が移動する。水の原子はまるやかで移動しやすいのだ。こんな調子でかれらは何から何まで、たとえば宇宙、天体、人間の精神までも原子と真空からできているものとして理解しようとした。火も原子からできている。そしてどの原子も決して壊れずに、そして決してなくなることのない不変のものであると考えた。

2. 物質の連続性と不連続性 (原子説の歴史)

ギリシャ人は、もちろんエジプト、メソポタミアの文明を引き継ぎ、多くの実践的な技術をもっていた。同時に自然についての知識も豊かであった。水が連続か不連続か、この種の議論は古代ギリシャ時代に盛んになされた。

「万物は水からできている」と説いたのはミレトス生まれのターレス(BC 600 頃) である。ターレスは、あらゆるものを神が創ったという考えを捨て、水を基本にして首尾一貫した世界像をつくらうとした。水さえあれば植物が生まれ、育ち、それを動物が食べ、動植物が死んで土を残す。動植物が燃えれば火も空気も生じてくる。あらゆるものが水から生じているのではないか。

ターレスに意義をはさんだ人たちも多くいた。あらゆるものの根元物質は火だ (ヘラクレイトスの説)、いや霧だ (アナクシメネスの説)、いやそんな変わりやすいものではなく不変のもの (パルメニデスの説) でなければならない、などなど。そしてついにシチリア島出身のエンペドクレス (BC 450) が妥協を試みた。かれは水、空気、火、土を永遠不変の基本実体とし、これらが「愛」と「争い」によってさまざまに混ぜ合わされて「自然」 (=あらゆるもの) ができるとした。

一方、産業技術とは離れたところ、自由人として活躍した人の業績も重要である。有名などころではピタゴラス、ユークリッドたち。ピタゴラスは「万物は数である」といい、宇宙を数の原理に基づく調和と秩序で考えた。

こうした古代ギリシャの自然哲学者たちの議論が 150 年間にわたって繰り広げられ、その終着がデモクリトス (BC 400 頃) の原子説なのである。すなわち「万物は原子 (分割できないもの) と空虚 (真空) からできている」。原子は不生不滅、微細で、不変のものとした。真空があるから原子は絶え間なく動くことができ、原子どうしの再配列 (種々の結合と分離) が可能になる。デモクリトスのつぎに現れる特筆すべき哲学者が、「幾何学を学ばない者は来るな」と言ったプラトンである。かれは、神は図形と数を用いて火、水、空気、土を創ったに違いないという信念から、正三角形と正方形をそれぞれ 2 分してできる 2 種類の基本三角形 (ふつうに使われている三角定規) を組み合わせて得られる 4 つの正多面体のそれぞれを火 (正四面体)、土 (正六面体)、空気 (正八面体)、水 (正二十面体) にあてはめ、それらの形状から物質の性質を説明しようとした。プラトンは、デモクリトスの原子論というよりはむしろピタゴラスの「万物は数である」を採用したといわれる。なお、正多面体としてはあと一つ正十二面体が残っているが、これは上記 2 種類の基本三角形の組み合わせからつくることができない。それは天体をつくる原子であろうと考えられた。

これ以後も、連続か不連続かをめぐって、アリストテレス、ニュートン、デカルトらを中心に論争がつづいた。しかし、つぎの実質的な進展は、人類の第 2 の技術革命を待たなければならなかった。物質変化の研究にとって重要な出来事をあげると、ボルタによる電池の発明 (1800)、トリチェリによる真空の発見 (1643)、ワットによる蒸気機関の発明 (1759)、ラボアジェによる化学反応の際の質量変化の測定 (1772) などである。こうした技術を身につけた 19 世紀の化学者や物理学者の実験的な努力によって、物質変化のさいの質量保存、化学反応の際の定比例の法則と倍数比例の法則、また電気分解の法則が見つけられ、これらは不変な原子の存在を示すものであった。そして真空と電気の技術を組み合わせた真空放電の実験がきっかけとなって、X 線、電子線、 α 線などの放射線が発見された。放射線によって、人類ははじめて原子のなか (構造) をしらべる道具を手にしたのである。やがて原子の種類もはっきりと具体的に理解できるようになった。同時に、これまで不変のものとして信じていた原子が不変の存在ではないこともわかった。量子力学、相対性理論から始まり、20 世紀科学の大きな展開へとつながり、現在では 21 世紀に引き継がれる物質究極理論、宇宙創成論として完成されつつある。

3. 真空放電の実験 ; 陰極線の実験

原子のなかで束縛状態にある電子がつくる定在波はいく種類も存在する (原子の場合 1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 3d など、二原子分子の場合の σ, π, δ など)。

原子に他の原子が勢いよく飛んできてぶつかるとか、強い電場の中に置かれるとか、光にさらされるとか、高速の電荷が近くを走りすぎるとかするとき、電子軌道が乱されて電子構造が変化することがある。すると電子が収まっている状態がくずれ、電子のない軌道が生じる。これが励起状態とよばれるものである。この状態はつぎの瞬間には電子がどこから落ち込んできて安定な状態に移り、そのときに光の放出をともなう。同じ原子の励起状態でもたくさんの種類があり、そして安定な状態に落ち着くまでもいくつかの道筋があるから、光の振動数もたくさん観測される。しかし原子がきまっておれば、いつも決まった振動数の電磁波の組があらわれる。この振動数の組をあらかじめ調べておけば、いま未知の物質があったときそこに含まれている原子の電子構造を何らかの方法でかき乱し、そして放出されてくる電磁波の振動数を測定すると、未知の物質がどのような原子を含んでいるかを確実に当てることができる。いわば原子の指紋ということが出来る。こうして太陽や星からのスペクトルを調べることから遠くはなれた天体に存在する原子の種類 (元素) を研究することができるのである

陰極線の実験は重要である。電子は物質をつくるもっとも基本的な粒子の1つであり、電子を物質中から真空中に導き出すことによって 100 年前にはじめてその存在が確認された。放射線の発見、原子構造の研究のきっかけとなった実験である。簡単に (たとえば不要になったテレビのブラウン管を利用するか、あるいは手製のガラス細工により) 数百ボルトの電源と真空ポンプで可能であろう。電磁気学や力学の応用問題としても有用な教材である。

4. 原子, 原子核, 電子の大きさ

γ 線のコンプトン散乱の断面積の値から電子の断面積, さらに電子の半径 $2.7 \times 10^{-15} \text{ m}$ が得られる。そこで原子や分子 (10^{-10} m) を仮に 1 兆倍 (10^{12}) すると原子は東京ドーム (100m) の大きさである。そのなかで電子は米粒 (1mm), 原子核も米粒からせいぜい小豆粒である。電子は猛烈な速さでまわる (1 秒間に 10^{16} 回)。水分子では同じドームで米粒が 10 個である。このなかを放射線が走る。 γ 線や X 線は光速ではしる中性の点粒子であり、米粒に直撃したときに跳ね飛ばす (コンプトン散乱)。高速電子は米粒に 50 cm とか 1 m の近くをニアミスするときクーロン力が短い時間はたらく (=力積) がめったにしか起こらない。アルファ線になると電荷が 2 倍になった分、そして速度がゆっくり (衝突時間が長くなる) になった分だけ、電子線にくらべて米粒との相互作用の確率が大きい。

5. 物質を凝集させるための 3 つの力

物質が連続的なものでなく、不連続的なものであるとすると、何かたくさん粒子が集合していると考えなければならない。このときの粒子がそれぞれに違っていたら、どうしようもなく考えにくいものになってしまう。全く等しい粒子がたくさん集まって物質ができているという考えは大変にすばらしいものである。後は、この考え方でどこまで自然現象を理解することができるかを確認すればよいのだ。

粒子と粒子を集合させるには粒子と粒子の間に引力が作用することが必要である。現在までのところ、そのような力は 3 種類存在することが知られている。第 1 は強い力である。現在知られているもっとも基本的な粒子の 1 つであるクォーク間に働く力である。たとえば 3 つのクォークを結びつけて陽子や中性子ができている。陽子も中性子もどちらも原子核の構成粒子であり、核子とよばれている。原子核はこの核子の集まったもので、核子どうしの間にはやはり強い力に基づく核力が働く。それは近距離でしか作用しない力であり、原子核の中でも隣り合わせた核子間でだけ働く力である。日本の湯川秀樹が 1934 年に理論的に研究した力である。宇宙が誕生したときは核子の密度も高く、核子同士の凝集も起こったが直ぐに (数分後) 核子の密度は宇宙の膨張のためにうすくなり、反応が停止した。ここでは重水素、ヘリウム等の軽い原子核ができたと考えられている。

物質を凝集する第 2 の力はクーロン力 (静電力) である。電荷をもつ粒子間で働く遠隔力である。正負の電荷間で働く引力と正と正あるいは負と負などの同種の電荷間で働く反発力が存在し、物質がつぶれてしまわないでであるところでバランスするようになっている。この力は原子核の周りに電子を引きつけて原子を作るとき、原子と原子の間に共有される電子によって化学結合 (共有結合) ができて分子がつくられるとき、イオンとイオンの間の結合 (イオン結合) ができるとき、中性の分子と分子の間で働く分子間

力（前節で述べた水素結合とか、ほかにも低温で中性分子の間で働くファンデルワールス力など）はいずれも本質的なところではクーロン力にもとづいている。

物質を凝集する第 3 の力は重力である。これも遠隔力でどんなに遠くはなれたものどうしても質量がある限り作用し、そして反発力はなく引力のみである。

われわれが知っているいろいろなものを考え、その物質としての大まかな密度を調べて縦軸に、そしてそのものの大きさを横軸にプロットすると、強い力、クーロン力、重力で凝集しているそれぞれのグループがはっきりと区別できる。

6. 原子核はいつどこでつくられたか（星の中の核融合反応）

宇宙はビッグバンとよばれる膨張とともに誕生したといわれている。膨張開始 1 秒後の宇宙の半径はすでに 1 光年（光が 1 年間かかって走るだけの距離）、密度は数 10 g/cm^3 、温度は約 100 億 $^{\circ}\text{C}$ であり、存在できた粒子は陽子、中性子、ニュートリノ、そしてこれらの粒子の十万倍の数の電子と陽電子、さらにこの十億倍の数の光子であったとされている。膨張開始数分後になると、大部分の電子と陽電子は消滅して、陽子と同じ数の電子だけが残る、またこの頃から陽子と中性子が衝突しあって重水素やヘリウム原子核を作る一方で、中性子は消えていった。さらに宇宙開始数十万年後にまでなると、温度は約 5000 $^{\circ}\text{C}$ にまで冷えて、電子は陽子などの陽電荷にとらえられてしまった。ここではじめて中性の原子、水素とその数 % のヘリウム原子が生まれたのである。

この時点では、宇宙には中性の原子（水素とヘリウム）と光とニュートリノから出来ていたと言える。そして引き続き膨張しつつ、原子の運動エネルギーも冷却につれて小さくなるために、周囲よりもわずかに水素が濃い部分には重力の影響が出始めてきた。水素（やヘリウム）原子が集合を始めるのである。これが星雲（銀河）をつくる。そのなかでさらに星が生まれ、星がさらに重力で収縮して中心部が高温度の状態になると、水素原子が陽子と電子に分解するのはもちろんのこと、さらには陽子と陽子が衝突合体して重水素核やもっと衝突してヘリウム原子核ができるようになる。この反応は核融合反応と呼ばれており、反応によってエネルギーが発生するので、星が重力で収縮しようとするのを内側から圧力で支えることになる。しかし星の内部からは熱が表面にまで伝わってきて、星表面から絶えずエネルギーが放出されるようになる。やがて星の中心部で水素が残り少なくなってくると、重量でさらに収縮し、より高温になってこんどはヘリウム核同士の核融合が進みベリリウムができてくる。そのつぎには、という具合で炭素、窒素、酸素などの原子核が、そのつぎにはケイ素、マグネシウム、鉄などが作られ、元素の種類はしだいに増えてくる。そして星の末期に、超新星爆発などで星をつくっていた物質の一部あるいは全部が空間に放出される。そして銀河系内の他の部分に移されて、またそこでガスとちりとなり、再び周囲よりも濃いところが重力で収縮をはじめて星雲ができて、そして星が生まれる。これが物質の循環である。

このような輪廻を繰り返して現在の宇宙のなかの元素組成ができていく。それは原子の数であらわして、H (93.7%), He (6.2%), 残りの 0.1 % のうちの 9 割が O, C, N, Ne であり、その残りのまた 9 割が Mg, Si, Fe, S, Ar である。さらにこれより 1 桁少ない元素として Al, Ca, Na が続く。

原爆と放射線影響研究・放射線教育

松浦辰男

放射線教育フォーラム

〒105-0001 東京都港区虎ノ門 1-7-6 升本ビル 2階

[要旨]

低レベル放射線影響を理解することは放射線や原子力を利用する上で極めて重要である。現在「しきい値なし直線的仮説」(LNT仮説)が放射線防護の基本原則となっているが、この考え方は原爆生存者の疫学的データにその根拠が置かれている。ところが、これまでの原爆生存者の疫学的データの集積と解析が多数の研究者により多年にわたり行われてきたにもかかわらず、生存者の被ばく線量評価に関しては、原爆炸裂時の直接的被曝線量のみが考慮され、いわゆる「黒い雨」によるフォールアウトなどによる慢性的被曝線量の考慮がほとんど無視されているので、これを適正に見積もって加算して、正しい被ばく線量を見積もり直し、それに基づいてより客観的な線量—効果関係を見出すことが必要である。それには、直接被爆者が被ばく後に市中にいた間の慢性被ばく線量をいかに見積るかが極めて重要である。これに関して、「入市被爆者」の致死までを含めた放射線障害に関する多くの事実が原爆記録・文学・手記からわかり、これから直接被爆者の慢性的被曝線量についても定性的にはかなり確かな知見が得られる可能性がある。このため、原爆生存者の疫学的データの現在の解析は、かなりの大きさがあると思われる慢性的被ばく線量の加算と、比較群に関する考察により根本的に見直す必要があり、最近の低レベル放射線影響に関するほかの種々の実験的成果をも考慮すると、結果として、現在の放射線防護の基本的パラダイムであるLNT仮説がもはや根本的に否定される可能性がある。また本論文では、原爆に関する科学的真実ならびに歴史的事実を偏見にとらわれず学校及び社会において正しく教育する必要性についても言及した。

1. はじめに

原子力の解放、すなわち原子核の持っているエネルギーを実際に実用に供するという画期的なできごとが、20世紀における世界的に最大の事件として多数の無辜の市民の残酷な殺戮に用いられたことは、人類にとり誠に不幸なことであった。われわれは、人道的見地から、原爆の犠牲者に哀悼の念をもち、被爆生存者の長年の肉体的・精神的苦痛に対し深く同情し、あらゆる援護の手を延べることに吝かではない。また、核兵器廃絶の考え方を強く支持する。原爆はたしかに戦争の終結を早めるのに役立ち、またその後の冷戦の時代にもその脅威の重大性を認識した世界の世論によりその後は実験はともかく兵器として実際に用いられることなく、現在までの何十年にわたる世界の平和に貢献したといえることは幸いであった。しかし、広島・長崎の市民に多数の犠牲者を生んだ原子爆弾による瞬間的に放出された大きなエネルギーは、爆弾としての高熱や衝撃力に比べて、実際には直接的にはその寄与が比較的には大きくなかった放射線・放射能の人体に対する効果に関し

て、社会心理学的に大きな影響を残し、その後の原子力平和利用に大きな障害となったことは事実である。

原爆の投下からすでに半世紀以上が経過した現代において、原爆投下に関する種々の歴史的ならびに科学的事実をできるだけ客観的に学び取り、それからの学問的事実や教訓を精神的遺産として将来の人類のために役立たせることは、現代の科学者や知識人の使命である。日本人が原爆被災によって受けた強烈なインパクトは十分に理解できるが、事実に対して偏見をもって接し偏見をもって事実を学ぼうとすることさえも拒否する態度は、人間の倫理、社会の正義に基づいて取るべきではない。放射線・放射能・原子力エネルギーは、これは他の進歩した科学技術と同様、倫理的英知を働かせながら人類の福祉のために平和利用の目的に利用すべきである。

このように、エネルギー源として役立つ原子力が兵器として実際に使用されたことは極めて遺憾なことであったが、最近のJCO事故のように、原子力の平和利用においても基本的知識を疎かにし注意を怠ると、あのような、突然に市民の居住地区に小さな原爆が出現したような異常事態が生じるのである。広島・長崎の原爆から学び得ることを市民の教養として身に着けることは、十分に意義があり、最近のJCO事故を含む多くの犠牲者の死を無駄の終わらせないためにも、日本人にとっての責務であるとさえ思う。

学校教育、それはこれからの社会を構成する市民の教養を育み、また社会に有用な人材を養成するための効率的な社会的システムである。学校教育では原爆はいわゆる「平和教育」という側面からの戦争否定といった取り上げが行なわれてきたようであるが、原爆は歴史的、科学的両面から、種々の事実を覆い隠すことなく、例えば「総合的な学習の時間」の題材として客観的に取り上げるべきである。原爆により1945年末で約20万人が死亡したが、1985年現在で被爆生存者が約36万人おられ、死者の死因や生存者の健康状態に関する調査が約10年毎にされている。原爆の犠牲者や生存者の健康影響のデータは、これらの方々の正確な被曝線量がわかれば放射線の人体影響に関する貴重な資料を与えるので、できる限り有効に活用しなければならない。本報告は、この考え方に沿ったものである。

2. 被爆者に関するデータ

昭和60年8月1日現在、被爆者保健手帳（「原子爆弾被爆者の医療等に関する法律」昭和32年法第41号による）所持者は366,957人である⁽¹⁾。この時点での調査によると、調査した361,672人から313,499人の回答（回収率86.7%）が得られ、そのうち、広島と長崎に在住の人が78.1%である。さらに、被爆時に広島及び長崎にいた人の割合は、それぞれ61.7%、38.3%である。そして、法的にいう1号から4号にわたる被爆者は表1の通りである。

表1

1号被爆者（直接被爆者）	197,521人（63.0%）
2号被爆者（2週間以内に約2km以内に立ち込んだ人）	86,274人（27.3%）
3号被爆者（救護にあたった人）	24,766人（7.9%）
4号被爆者（胎児であった人）	5,015人（1.6%）
	（このうち、14名が小頭症）

3. 低レベル放射線の人体影響と原爆生存者の疫学的研究について

3. 1 原爆生存者の被ばく放射線の種類について

表2 原爆被爆者の線量評価に寄与する諸因子

A. 急性被曝

(外部被曝) A 1. γ 線 — 瞬時的 (距離・遮蔽物の有無・着衣の状況)

A 2. 中性子線 — 瞬時的 (同)

B. 亜急性・慢性被曝

(内部被曝) B 1. 中性子誘導放射性核種 (^{24}Na , ^{32}P など) (少なくとも数日間継続)

(外部被曝) B 2. 「黒い雨」などのフォールアウト (FPからの γ 線、 β 線)

(直後から数週間継続、方向性あり)

B 3. 土地などの誘導放射能核種 (^{28}Al , ^{56}Mn など) (~約3週間くらい、
汚染地の継続的在住による)

B 4. 高汚染地域への立ち入り (立ち入りの期日、期間、場所に依存)

(内部被曝) B 5. フォールアウト・塵埃・汚染した水・食物などの経口的摂取

[遠距離被爆者の場合：B 2、B 4が主，入市被爆者の場合：B 4が主]

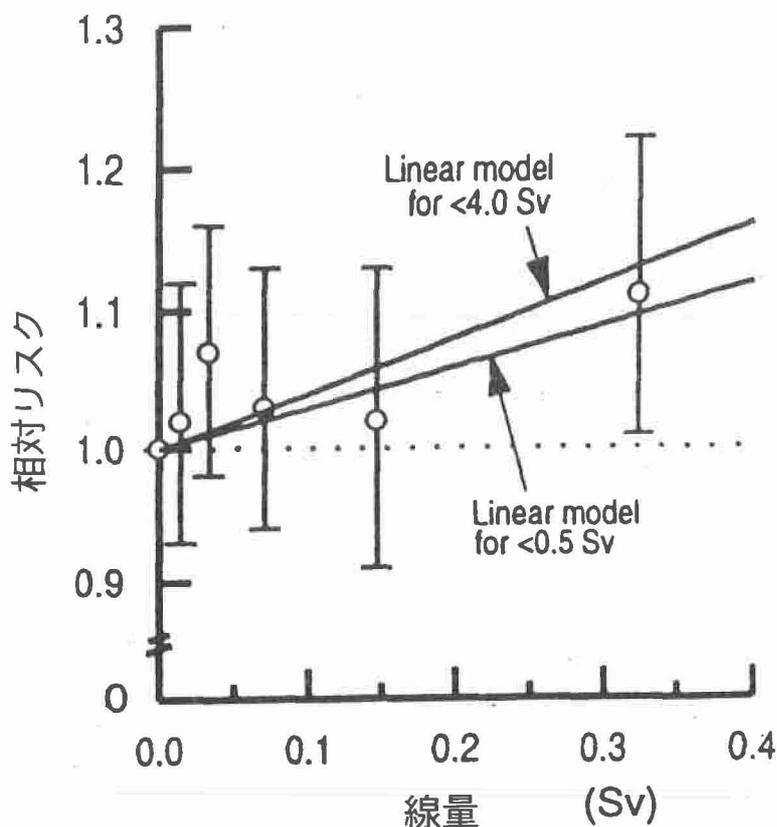


図1. 原爆生存者に対する低線量域における固形がんの線量-効果関係 (清水ら、(文献 7))

現在、低レベルの放射線 (その定義は 0.2 Sv 以下とされている⁽²⁾) の人体への影響に関する線量-効果関係において、もっとも重要な論点は低線量域における発がんのリスクすなわち被ばく線量とがん発生リスクとの「線量-効果関係」において「直線しきい値なしモ

表 3 寿命調査集団対象者数と固形がん，白血病死亡数，1950-90

線量 (Sv)	対象者数	固形がん		白血病	
		観察数	過剰死亡数	観察数	過剰死亡数
0 (< 0.005)	36,459	3,013	-42	73	9
0.005-0.1	32,849	2,795	85	59	-3
0.1-0.2	5,467	504	18	11	0
0.2-0.5	6,308	632	77	27	15
0.5-1.0	3,202	336	73	23	16
1.0-2.0	1,608	215	84	26	22
> 2.0	679	83	39	30	28
Total	86,572	7,578	334	249	87

デル」(LNTモデル)が正当かどうかの問題である⁽³⁾。動物実験などの最近の研究によれば、「適応応答」とか「放射線ホルミシス」といわれる現象が見出され^(4,5)，LNTモデルに対する批判は最近非常に盛んになっている⁽⁶⁾。しかしこれを固執する保守的な論者は広島・長崎の原爆生存者の疫学的データ(例えば図1⁽⁷⁾)を拠り所とし，これが最も信頼性が高い直線的モデルの裏付けであるとしている。ところがこのデータの取扱に関して二つの重要な問題点がある。一つは生存者の実際に受けた放射線量⁽⁸⁾であり，もう一つは対照群の取扱である⁽⁹⁾。(なお，遺伝的影響については，約11,000人の被ばく二世に影響が認めら

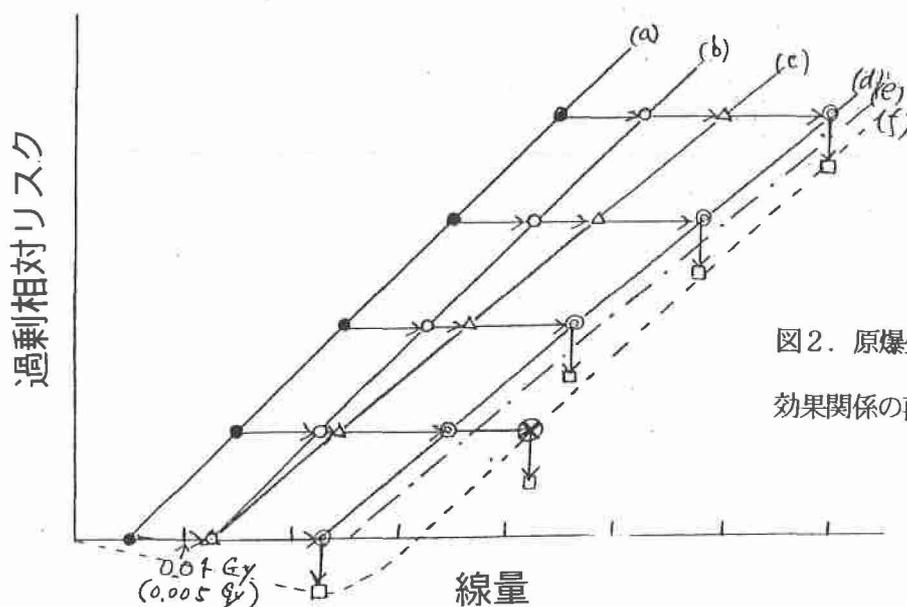


図2. 原爆生存者に対する線量-効果関係の再評価に関する模式図 (文献8)

- (a) はじめの形
- (b) 「市内歩き回り」線量を加算したとき
- (c) 上記に「誘導放射能」線量を加算したとき
- (d) さらに「フォールアウト」線量を加算したとき
- (e) フォールアウトに「ホット・スポット」がある場合
- (f) 「ホルミシス効果」を考慮したとき

れないことが判明していることは周知である。)

原爆被爆者は、表2に示すように、種々の原因による急性及び慢性被ばく、また外部および内部被ばくをうけている。それゆえ線量—効果関係を考察するに当たり、その横軸の値としては瞬時的被曝線量に慢性的被曝線量を加えた値を用いなければならないのである。ところが、これまで生存者の線量評価は、DS86⁽¹⁰⁾でも原爆投下時の瞬時的被曝線量のみが考慮されている。そして、その最も典型的なデータは図1⁽⁷⁾に示すようなものであり、これにより、かなり低線量までほぼ線量—効果関係が直線的であると見なせるとしている。しかし、最近発表された寿命調査集団の固形がんによる死亡数は表3⁽¹¹⁾のように、低線量では必ずしも直線的とはいえず、果たしてこれを有意と見なせるかどうか議論があるとしても、最も被ばく線量の少なかったグループの過剰死亡数がゼロよりも少ない、という注目すべきデータがある。同じ表で、複数の低線量域の白血病に関する過剰死亡数がほとんどゼロに近いという事実とともに注目に値する。(しかも、この線量は、上述の慢性的被ばく線量が考慮されていない、直接的被ばく線量のみである。)

今となってみると、個人個人の生存者について当時の行動を調査して慢性的被曝線量を推定することは極めて困難であるが、この因子を全く無視して議論を進めることは重大な誤りを導く可能性がある。遅きに失した感があるが、利用可能なあらゆる資料をもとに、何とかしてすべての被爆者の平均値でよいから慢性的被曝線量の値を推定する必要がある。

表2から明らかなように、今回、従来線量評価に追加して考察すべき慢性的被ばくは、表2のB2のフォールアウト、B3の大地の中性子誘導放射能核種によるもの、およびB4の高汚染地区への立ち入りによるもの、の3種である。このうち、前者の2つについては、DS86でも多少は考慮されているがその寄与はあまり大きくないとしている。便宜上、ここではB4、B3、B2の順序で考察する。考察した結果は図2⁽⁸⁾に示してある。

B4については、直接被爆者が、爆発中心部に近い高汚染地区に何らかの目的(親戚・友人の安否・見舞い、救護など)で比較的長時間立ち入ったことによる追加的被ばく線量である。この量を見積もることは極めて困難であるが、これを何とかして、そのおよその値を見積もる必要がある。

このとき参考になるのは、「入市被爆者」のデータである。「入市被爆者」の中でも原爆炸裂後数日のうちに市中に救援などの目的で立ち入った人が大勢いるが、注目すべきことは、これらの「早期入市被爆者」に関する資料から、原爆投下後数日のうちに被爆地に入った人々の中に、放射線被曝による症状(脱毛、貧血、下痢、皮膚に斑点など)を発症したり死亡した例が少なくなかったことがわかる。この事実は、学会誌や公式の報告書のほか、被爆者の手記(これに関しては、宇吹 暁氏による膨大なリスト⁽¹²⁾がある)や、関係者の証言に基づく信憑性があると思われる文学作品から多数の例が記述されている(後付録参照)。現在生存しておられる直接被爆者も、かなりの割合の方々が入市被爆者に類似のケースはあったであろうと十分に想像できる。すなわち、かなりの慢性被ばく線量を加えないと正確な被ばく線量とはならない。結果として、この補正項は図2の(b)のように、直接被ばく線量のみによる線量—効果関係を右方にほぼ平行移動させることになる。

次に、B3の誘導放射能についていうと、これは、爆心地に近いほど放射能は強く、遠方になると急激に減少する。原爆被ばく者が被ばく後も以前の全く同じ被災地に居住して

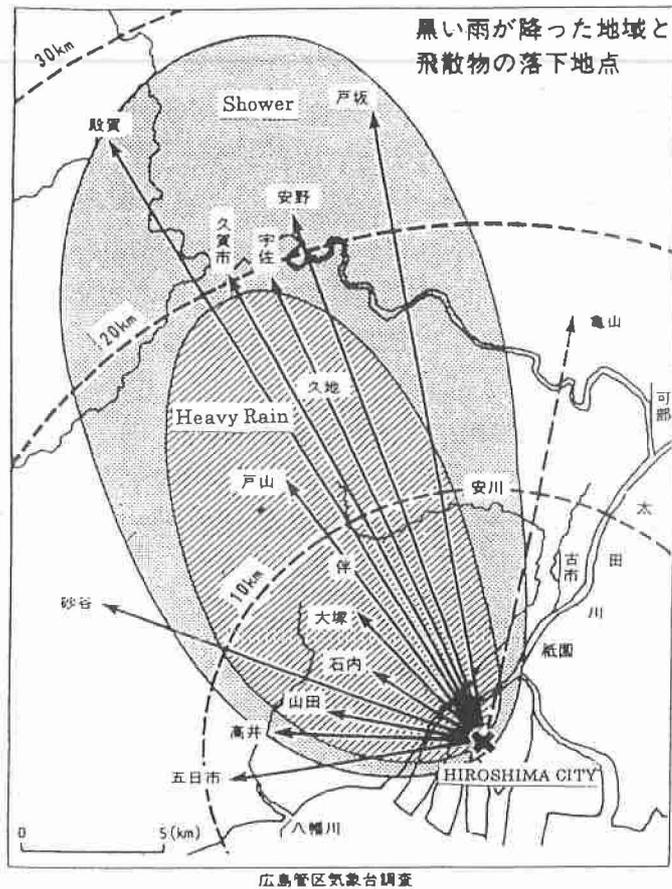


図3. 広島で「黒い雨」が降った
地域と飛散物の落下地点
(文献 13, 14)

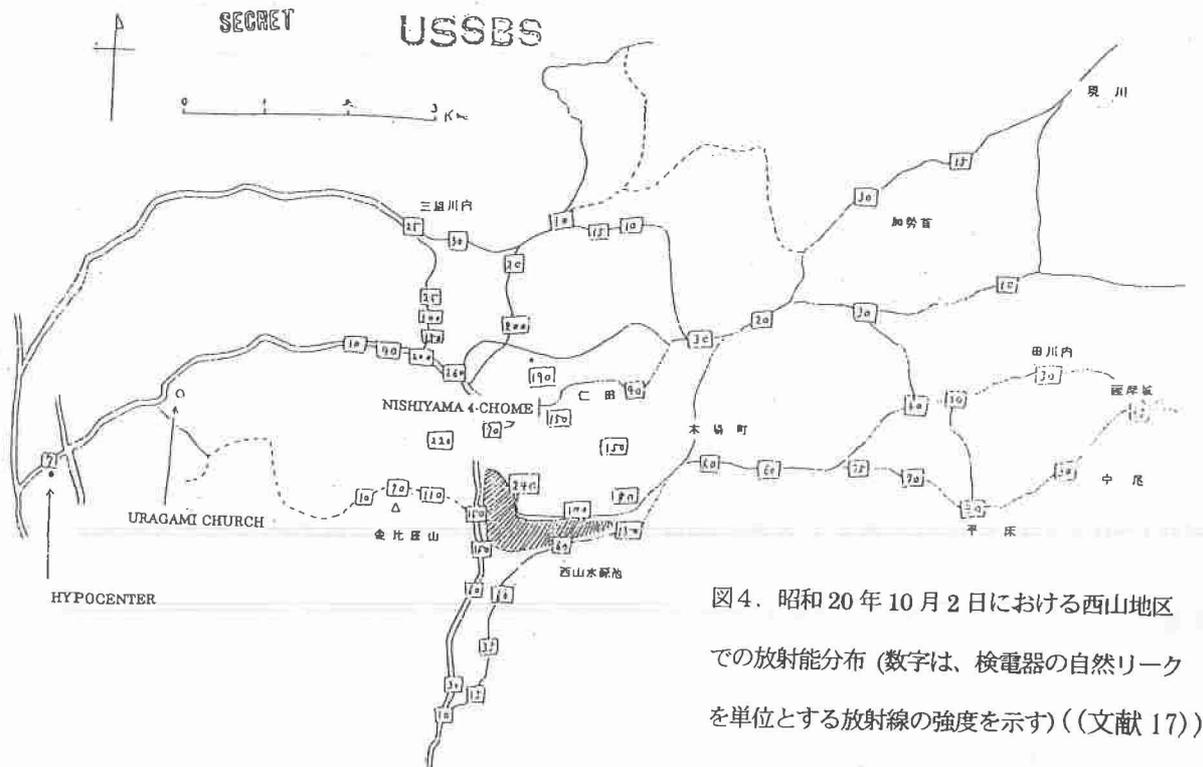


図4. 昭和20年10月2日における西山地区
での放射能分布 (数字は、検電器の自然リーク
を単位とする放射線の強度を示す) (文献 17)

いたとしてこの寄与を加えると、図2の(c)のようになるであろう。しかし、この寄与はほかのB2、B4に比べて小さいであろうと考えられる。

次に、B4のフォールアウトによる寄与である。原爆投下直後に（広島では図3^(13,14)に示すように西北部に向けて、長崎では東の方向）かなり長時間強い放射性核種を含んだ「黒い雨」が降ったが、これについて数値のある論文を含め多くの記録がある。最も典型的な"話"は当時の気象技師宇田道隆氏の子息の例である。この小学6年生は山奥の学童疎開から戦後広島に帰宅したが、黒い雨の残留物の付着していた雨戸の傍らで寝ていたので髪の毛が脱毛し始め、調査の結果放射性の泥分のためであることが判明したのである^(13,15)。この寄与は、爆心地に関して方向性があるが、直接被ばく者の各集団に関しては、B2の寄与同様、平均として全集団に対して等しい一定量の追加線量と考えるべきであり、図2の(d)のように、線量-効果関係を右に平行移動させることになる。なお、長崎の場合は図4に示すように「西山地区」の残留放射能値の高かったことは有名で、そこは山に遮られて直接被ばくしなかったにも拘らず住民に白血球の異常が現われた⁽¹⁶⁾。そして10月になっても爆心地よりも30倍以上もの放射能が測定され、⁽¹⁷⁾その累積被曝線量は0.7 Gyにも達する⁽¹⁰⁾とされている。広島での土壌への誘導放射能による線量については爆心地での積算線量は0.8 Gyであるとのデータもある⁽¹⁸⁾。このような"hot spot"を考慮すると、図2の(e)のパターンのようにになると考えるべきであろう。

これらすべての追加的線量を考慮すると、しきい値の存在に対して当然ポジティブなデータとなる。

3. 2 対照群についての考察⁽⁹⁾

さらに、この疫学的データで「コントロール群（ゼロ被ばくグループ）」としているのは、実際は0から0.01 Sv（最近では0.005 Sv）の間の量を被ばくしたグループである。もしも、0～0.01 Sv（0.005 Sv）の間で「ホルミシス」現象が（表3からその可能性が示唆されるが）起こったとすると、これより高い被ばくしたグループはすべて（見掛け上）プラスの値を示すことになるのは当然である。図2でいうと、この効果を考慮すると、線量-効果関係は(f)のようになりさらにしきい値を明確に示すようになる。

4. 結論

原爆生存者の被ばく線量について、原爆炸裂時の直接的被ばく線量に加えて、種々の原因によるその後の慢性的被ばく線量をも妥当な量に見積もって加えて評価しなおすことにより、線量-効果関係は必然的に現在正しいとされている関係から右方向に移動する形になる。従って、低レベルの放射線影響についてあきらかに閾値が存在すると結論できる。今後の最大の問題はその値がどのくらいであるか、ということであるが、筆者は少なくとも0.1～0.2 Gy ぐらいと考えて大きく間違っていないであろう、と直感的に考えている。

謝辞 本研究に関し、種々の貴重なご意見と励ましを賜った、財団法人体質研究会理事長菅原 努先生に深く感謝する。また、ご関心をいただき討論に参加して下さった理論放射線研究所長大野新一博士、大阪府立大学先端科学研究所朝野武美博士、神奈川大学教授高木伸司博士、静岡大学名誉教授長谷川圀彦博士の各氏に感謝する。

付録 記録文学等における「入市被爆者」の放射線障害に関する記述例

- 「原爆は直接うけなくとも、二、三日後いや数日後市街に入った救援隊の者もたくさん死んでいる。」「あの時、県内の1つの村から、20人くらいの救援隊を広島へ送ったんだが、今でも残っている人は、1村に一人くらい。」「消防隊で出ていった人たちで、死の灰の中を探しまわった人たちはみんな死んでしまった。」「帰郷後の保健婦たちは、中には被爆患者と同じように下痢をしたり、少しは頭髮が抜けたりするようになる者がいた。」(以上、井伏鱒二「黒い雨」⁽²⁰⁾)
- 「9月になって、私みたいに後から来た人がどんどん死にはじめたんです。鼻血が出始めたとき、髪の毛がひと握りくらい抜けたり、それからあのときみたいに血が出たり、足のどこかがコブみたいに脹れ上がったり、斑点ができたりして。」(丸木位里ほか、「鎮魂の道」⁽²¹⁾)
- 「後になって入市し、遺骨整理に精勤した兵士や士官の中で、以後一ヶ月間に次々と突然にたおれ、髪の毛が抜け落ち、体に紫斑ができ、高熱に冒され、最後は吐血して、その間僅か3、4日で死を迎えるものが多かった。」「自分も入市被爆者であるが、(当時27才)一緒に作業した人はすでに死亡した。」「8月6日午後9時に広島に入市、身体がだんだん弱り、髪の毛がどんどん抜けた。」「8月7日入市、身体に斑点ができるなどの異常があった。」「落下時広島郊外にいたが、入市して帰宅後原因不明の下痢が一ヶ月続いた。」(以上「きのこぐも一原爆の軌跡」⁽²²⁾)
- 「あとから来た他の地区の人達が、広島市内を救援や肉親探しに歩き回った。そのほとんどの人達が、広島で被曝した人と同じ状態になって、一命を失った犠牲者が続出した。」(文沢隆一、「ヒロシマの歩んだ道」⁽²³⁾)
- 「後になって広島に出かけた人たちが、間もなく原子爆弾病に侵され、しばしばたおれた。8月20日、市外居住者が広島市へ行き、半日かかりで墓場(焼け跡)を掘り返したが、帰宅後間もなく原子爆弾症に罹った。当時、爆心圏外3キロの地点にいた人が、無傷にも拘らず間もなく死んだ。」(大田洋子、「屍の町」⁽²⁴⁾)
- 「あの日、直接には全く被爆しなかった人でも、炸裂から100時間以内に、爆心からおおよそ1キロメートル圏内に入った人は、最大で約120ラドもの放射線を浴びている可能性がある。(庄野直美、飯島宗一『核放射線と原爆症』。事実、救援のため、あるいは家族の安否を確かめるために爆心地やその周辺に近づいた人々は、急性障害に襲われ、中には、そのことだけで命を落とした例も少なくない。)(「ヒロシマ爆心地、生と死の40年」⁽²⁵⁾)
- 「他の地区からも救援隊が応援に駆けつけて来た。肉親の安否を気遣って地方からも沢山の親戚縁者が集まって広島市内を捜し廻った。・・あとから来た他の地区の兵隊も地方人たちも、その放射能を身体に受けて、殆どの人たちが、広島で被爆した人と同じ状態になって、一命を失った犠牲者が続出した。(江戸屋猫八、「キノコ雲から這い出した猫」⁽²⁶⁾)
- 「帰ってこない子供を、父を母を探しもとめて、火がおさまるや否や市の中心部に入ったため、自分自身も放射能を浴びて数日後に亡くなった人もまた、数多いと聞かされた。」(小笠邦久「ヒロシマ五十年、或る少年兵の回想」⁽²⁷⁾)

- 「親許を離れて疎開していた（気象技師宇田道隆氏の次男の）小学校六年生が、十月になって疎開先から帰って来た。その次男が、広島に帰って間もなく髪の毛が抜ける脱毛症状を起こした。次男が傍に寝床を取っていた雨戸にこびりついていた泥から非常に強い放射能がでていたことが発見された。」「初期の降雨量が多かった広島市西部の己斐、高須方面はとくに雨の泥が高い放射能を示し、爆発後三ヶ月にわたって下痢や脱毛を起こす住民が多かった。」（柳田邦男、「空白の天気図」⁽¹⁵⁾、その他）

文献

- 1) 厚生省保健医療局「昭和60年度原子爆弾被爆者実態調査（生存者調査）報告」, 1987年6月
- 2) 日本原子力学会：低線量放射線の影響と安全評価研究専門委員会，原子力技術者のための放射線の健康影響用語集，1992年6月
- 3) 原子力安全研究協会：放射線発がんに関する閾値問題の検討，（委員長：佐渡敏彦）平成9年3月）
- 4) 松平寛通ほか訳：「放射線ホルミシス」，ソフトサイエンス社，1990
- 5) 山田 武：放射線ホルミシス，Isotope News, 1991年3月号，2-5
- 6) 放射線と健康を考える会：セミナー「低レベル放射線の健康影響——直線仮説に対する疑問——」，平成12年5月19日，ダイヤモンドホテル・エメラルドルーム
- 7) Shimizu, Y., et al: "Dose-Response Analysis among Atomic-Bomb Survivors Exposed to Low-Level Radiations", in "Low Dose Radiation and Biological Defence Mechanisms, T. Sugahara et al, eds., Elsevier Science Pub., Amsterdam, 1992, p.71
- 8) Matsuura, T. : "Comment on the Treatment of Dose-Response Relationship for the Epidemiological Data of Atomic Bomb Survivors", Proceedings of IRPA-10, Hiroshima, May 14-19, 2000
- 9) 菅原 努：私信
- 10) 放射線影響研究所「原爆線量再評価 広島および長崎における原子爆弾放射線の日米共同再評価」DS86 翻訳事業会監訳，1989年
- 11) Piece, D.A., et al: Studies of the mortality of atomic bomb survivors. Report 12, Part 1. Cancer: 1950-1990. Radiat. Res., 146, 1-27, 1996; 稲葉次郎：「放射線被ばくのデトリメント:概念と評価」放射線科学臨時増刊号、第42巻第6号(1999年6月)
- 12) 宇吹 暁：「原爆手記掲載図書・雑誌総目録 1945-1995」日外アソシエーツ，1999年7月
- 13) 宇田道隆・菅原芳生・北 勲：「気象関係の広島原子爆弾被害調査報告，日本学術会議「原子爆弾災害調査報告書」 p98，日本学術振興会，1953年
- 14) 豊田清史：「『黒い雨』と「重松日記」」風媒社，1993年
- 15) 柳田邦男：「空白の天気図」新潮文庫，や-8-1，1975年9月
- 16) 中島良貞ほか23名：長崎市における原子爆弾による人体被害の調査，原子爆弾災害調査報告集，日本学術会議原子爆弾災害調査報告書刊行委員会編，日本学術振興会，1953年，p.949

- 17) 篠原健一ほか：「長崎市およびその近傍における土地の放射能」，日本学術会議「原子爆弾災害調査報告書」 p45，日本学術振興会，1953年：「米国戦略爆撃報告書」"The Reports of United States Strategic Bombing Survey"，長崎市（訳），1996年
- 18) 放射線被爆者医療国際協力推進協議会編：「原爆放射線の人体影響」文光堂，1992年
- 19) 井伏鱒二：「黒い雨」新潮文庫，い-4-6，昭和45年6月
- 20) 丸木位里・丸木俊共著，水上勉解説：「鎮魂の道」（岩波グラフィックス26）岩波書店，1984年7月
- 21) 東城町原爆被爆者の会きのこぐも編集委員会編：「きのこぐも—原爆の軌跡」1984年8月
- 22) 文沢隆一：「ヒロシマの歩んだ道」風媒社，1986年8月
- 23) 大田洋子：「屍の町」
- 24) NHKヒロシマ局原爆プロジェクトチーム：「ヒロシマ爆心地・生と死の40年」，昭和61年7月20日
- 25) 沢田昭二ほか：「広島・長崎の原爆被害の実相」新日本出版社，1999年7月
- 26) 江戸屋猫八：「キノコ雲から這い出した猫」中央公論社，1995年8月
- 27) 小笠邦久：「ヒロシマ五十年、或る少年兵の回想」蝸牛社，1995年8月

「放射線教育」投稿規定

2001.3.30

(1) 掲載論文の種類

- ①投稿論文 会員（または非会員）からの投稿論文
- ②依頼論文 編集委員会が執筆を依頼した論文
- ③転載論文 他誌からの転載で、編集委員会が必要な手続きをとるもの

(2) 掲載する論文の内容

- ①放射線・放射能、およびこれに関連の深い事項(エネルギー、環境、リスクなど)に関するわかりやすい論説、解説
- 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で作成する
- ②用紙はA4、1ページに40字×40行、上下左右それぞれ30mmを空ける
- ③フォントは表題のみ16ポイント太字、その他(本文)10.5ポイント標準とする
- ④1ページ目の第1行目に表題、2行目を空けて、3行目に氏名、4行目に所属、5行目にカッコ内に住所を書く。ここまでは各行の中央にそれぞれ記載する
- ⑤6行目を空けて、7行目から[要約](150-200字程度)をつける
- ⑥原稿は原則として10ページ以内にまとめる
- 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、査読者に査読を依頼し、著者に修正を求めたり、掲載を断ることもする

(5) 論文の著作権

掲載された論文の著作権は放射線教育フォーラムに属するが、論文内容についての責任は著者にあるものとする

(6) 原稿の送付

そのまま印刷される図表つきの原稿本文を下記あて送付する。またフロッピーの同封、もしくは編集委員あてE-mailによる本文の送付を歓迎する

(送付先) 〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-7-6 升本ビル2F

放射線教育フォーラム編集委員会

(封筒に「放射線教育投稿原稿」と朱書する)

【編集後記】

私が好きな詩の一節に「山を登るは恰も書生の業に似たり。一步步高くして光景ひらく」というものがあります。読んでの通り、「山を登ることは書生の学問と似ている。進めば進む程、目の前が開けてくる」ということです。放射線を自分の守備範囲から違う観点から見ることを知ることはそれだけ世界が広がることでもあり、自分の意見を何故理解していただけないのかを理解したり、意見を異にする方に対する接し方を知ることができるのではないかと思います。

今回も、会員の皆様の御協力、御支援を得て、この「放射線教育」という会誌を幅広い内容で出すことができました。幅が広すぎて、直接講義や授業に活かすことができないのではという意見があるかも知れません。もし、そうでいらっしゃれば、上記のように考えていただけたらありがたく思います。来年度、再来年度とこの会誌は続いていきますが、この会誌が便利な情報源の一つとしてのお役に立てればと思う次第です。

—— 坂内忠明

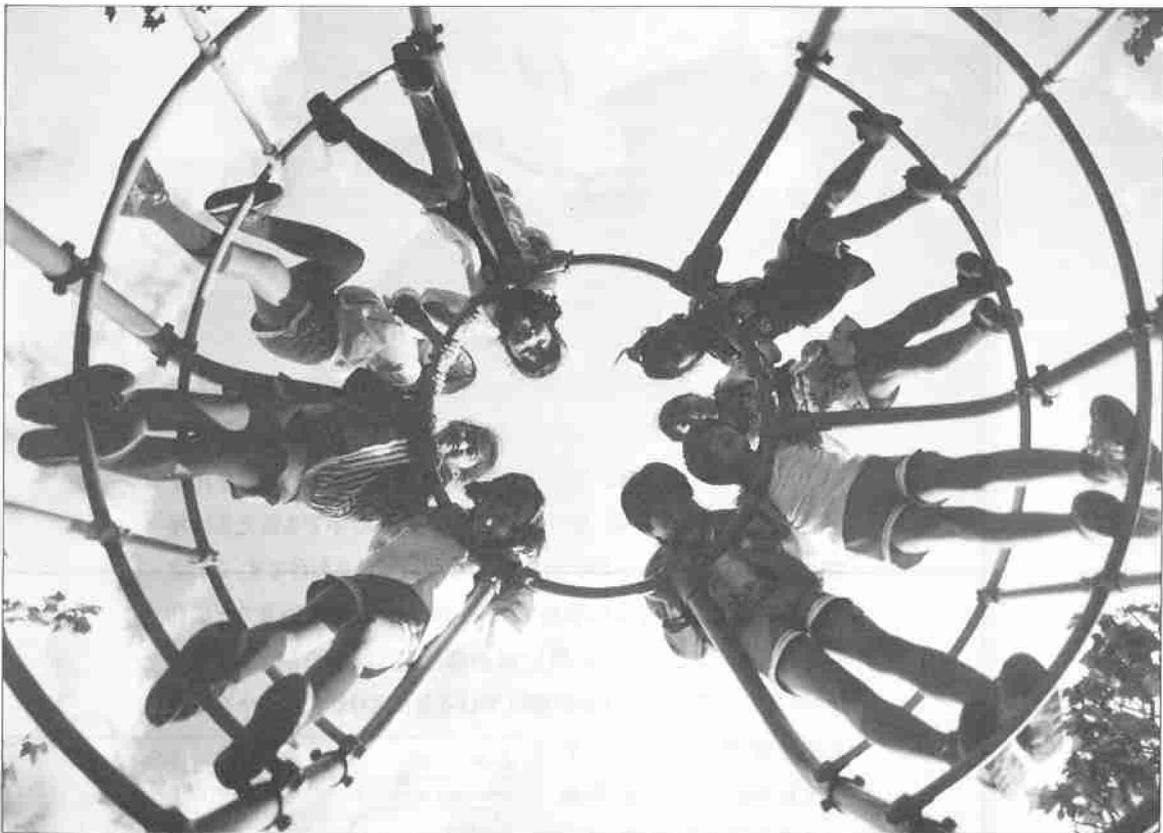
放射線教育 Vol. 4, No. 1 (2000)

発行日	2001年3月
発行者	NPO法人 放射線教育フォーラム (会長 有馬朗人)
	URL: http://www.ref.or.jp
編集者	放射線教育フォーラム編集委員会 大野新一 (委員長), 菊池文誠, 小高正敬, 中村佳代子, 坂内忠明, 村主 進, 村石幸正, 渡利一夫, 今村 昌 (顧問)
事務局	〒105-0001 東京都港区虎ノ門 1-7-6 升本ビル 2F 放射線教育フォーラム Tel/Fax: 03-3591-5366, E-mail: mt01-ref@kt.rim.or.jp (編集委員長直通 E-mail: ohno-trl@01.246.ne.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>

放射線って
何だかよくわからなくて、
とても怖い気が
するんですが…

大阪府豊中市 H.G(30歳主婦)



Back



Next



Home



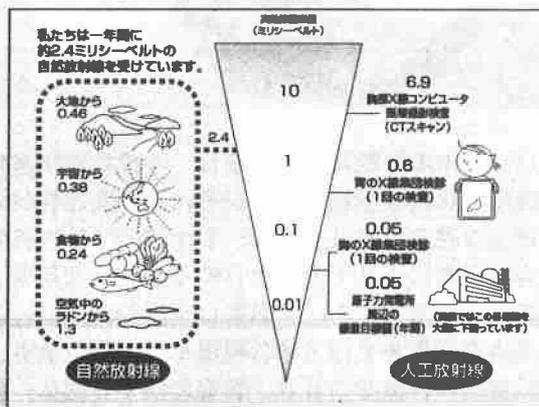
Search



Bookmark

<http://www.fepc.or.jp/access/>

放射線は太陽の光や空気のように、自然の一部として太古から地球に存在しています。私たちの身体の中や土壌の中、日ごろ口にしてる食べ物など、自然界にはさまざまな放射線や放射線を出す放射性物質があります。何げない日常の生活の中でも私たちは年間約2.4ミリシーベルトの自然放射線を受けているわけです。このように自然界に存在するものは「自然放射線」。医療や検査などに利用されるものは「人工放射線」。放射線としてはどちらも同じ性質をもっており、身体に与える影響は受ける量によります。レントゲンがX線を発見してからおよそ1世紀のあいだに、放射線はX線集団検診やガンの治療などの医学分野をはじめ、各種測定などの工業分野、また品種改良といった農業分野など、さまざまな分野で利用され、私たちの暮らしを支えています。



全国10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



Reload



Stop

info by FEPC

Radiation

人類が誕生するずっと以前から、
放射線は自然の一部として
地球上に存在し、
いろんな分野に利用されています。

(Energyに
もっともってアクセス)

原子力百科事典ATOMICA

..... <http://atomica.rist.or.jp/>

(財)日本原子力文化振興財団

..... <http://www.jaero.or.jp/>

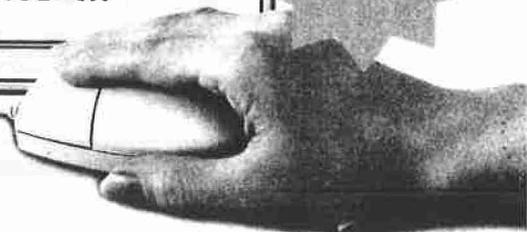
放射線医学総合研究所

..... <http://www.nirs.go.jp/>

知っ得用語 放射線

放射線とは、ウランやラジウムのような放射性物質などから放出されるエネルギーのことです。さまざまな種類があり、物を通り抜ける力の強いX線もそのひとつです。

Click!



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

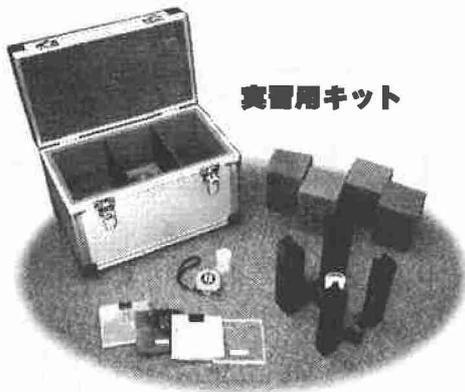
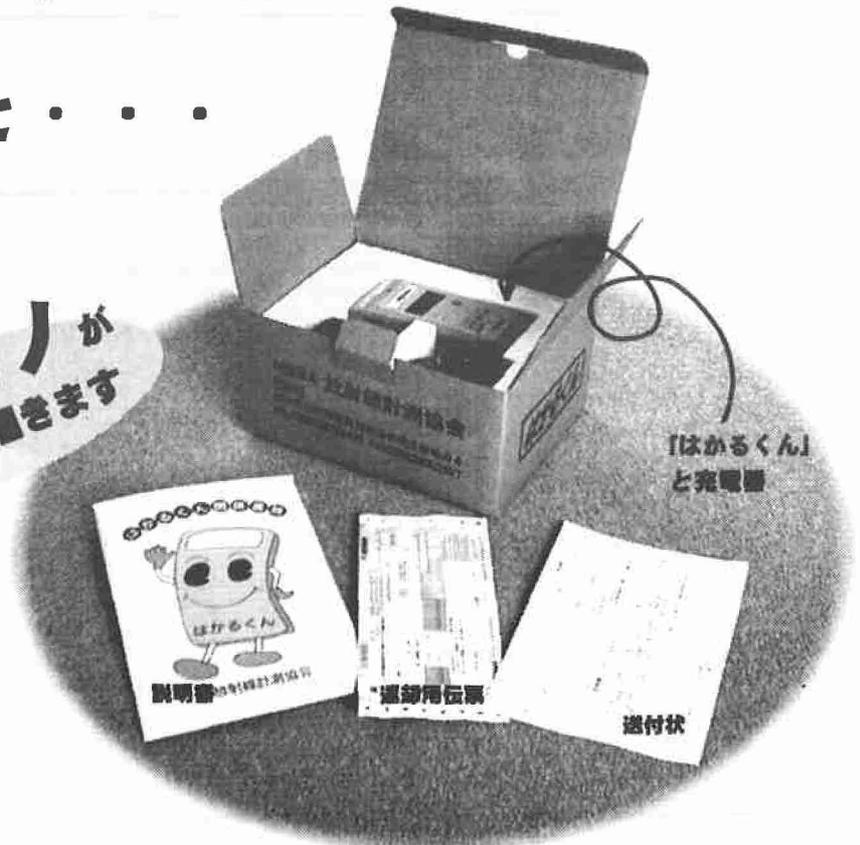
(財) 放射線利用振興協会

<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

「はかるくん」

を、申し込むと・・・



※「はかるくん」は
身の回りの自然放射線(ガンマ線)を簡単
に測定できる簡易放射線測定器です。

この実習用キットを使うと・・・

- 距離の違いによる、減衰
- 遮へい材の厚みの違いによる、減衰
- 遮へい材の材質の違いによる、遮へい効果
等の実験ができます。

お申し込みは



または



で

◆以下の項目を必ず明記してください◆

- | | |
|-----------|--------------|
| ①名前(ふりがな) | ⑤職業 |
| ②性別・年齢 | ⑥貸出希望台数 |
| ③〒住所 | ⑦使用期間(最長2ヶ月) |
| ④電話、FAX番号 | |

詳しくは



してね!

電話 029-282-0421

FAX 029-283-2157

財団法人 放射線計測協会・業務課

<http://www.irm.or.jp/>

メンテナ
ンス。



厳しく、

社会と産業を支えるクリーンエネルギー原子力。
アトックスは、その安全と安定した運転に欠かせない
さまざまなメンテナンス事業を展開しています。
原子力発電所、原子燃料サイクル施設
ラジオアイソトープ (RI) 事業所などを対象に
放射性汚染除去、廃棄物処理、放射線管理
施設の保守・補修業務をはじめ
質の高いトータルメンテナンスを提供しています。
アトックスはこれからも、人と地球を見つめ
安全・清潔・便利さを追求し続けます。



株式会社 アトックス

本社 / 〒104-0041 東京都中央区新富2-3-4 TEL (03)5540-7950 FAX (03)5541-2801
技術開発センター / 〒277-0861 千葉県柏市高田1408 TEL (0471)45-3330 FAX (0471)45-3649

三菱重工

地球の熱さまし。
温暖化による“発熱”によく効きます。



いま、地球が“温暖化”という病気にかかりかけています。早めに治すには、省エネルギーや新エネルギーとともに、CO₂を排出しない原子力がよく効きます。美しい地球を健康のまま21世紀にのこすために、私たちは、これからも安全で信頼できる原子力発電プラントを提供してまいります。



三菱PWR原子力発電プラント

三菱重工業株式会社

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

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できます。



※Aktiv Labを使って次の実験を行うことができます。

- 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 営業部
〒113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル
TEL03 (3816) 1163 FAX03 (5803) 1938


luxel®

The Next Generation Is Now



(ルクセルバッジサービス)
長瀬ランドアウ株式会社

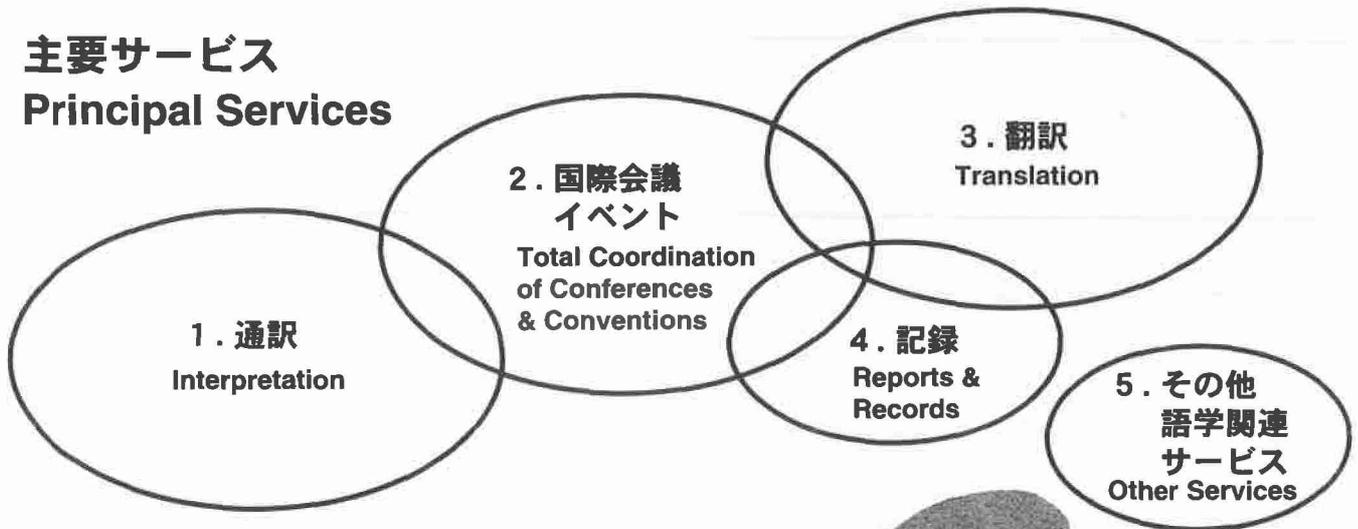
本社 / 〒103-8487 東京都中央区日本橋久松町11-6
TEL 03-3666-4300 FAX 03-3662-9518
大阪営業所 / 〒550-0013 大阪市西区新町1-10-2
TEL 06-6535-2675 FAX 06-6541-0931

ホームページアドレス / <http://www.nagase-landauer.co.jp>

BILINGUAL GROUP

<http://www.bilingualgroup.co.jp/>

主要サービス Principal Services



株式会社 バイリンガル・グループ Bilingual Group Ltd.

〒102-0074 東京都千代田区九段南4-7-22-2F
4-7-22-2F, Kudan-Minami, Chiyoda-ku, Tokyo 102-0074

TEL: (03) 3263-1261 (代) FAX: (03) 3263-1264 (代)
e-mail: bgcondiv@ce.mbn.or.jp (会議部)
bgtrans@cd.mbn.or.jp (翻訳部)

Bilingual
commu
around
and co
numb
Over
scri
en

2004年

長崎での
フォーラム開催
有がとろごさい
ます。
郷農林



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

文部科学省等の情報

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、科学者が語る自伝

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! 文部科学省・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(代) FAX 03-3434-3745
<http://www.sci-news.co.jp>

月刊 エネルギー



フジサンケイグループ

今年1月から中学・高校における

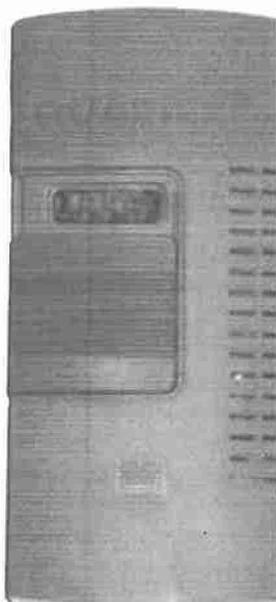
エネルギー教育の実践事例を連載!

日本工業新聞社 ☎03-3292-6131 (月刊エネルギー編集)

〈お願い〉

エネルギー、原子力、放射線教育でのユニークな指導案をお寄せください。

yamana@nk-forum.co.jp



超低価格で
高性能
簡単な操作で高性能な測定器を
実現しました。

携帯型デジタルβ&γ放射線測定器

QUARTEX[®]

クアルテックス

実績が証明書。

測定性能の高さに大好評!

貴方の周囲の放射線のどのくらいの量が知っていますか、と聞かれて答えられますか? 目に見えない、触れることもできない、音も聞こえない。私たちに備わった五感のどれにも感じることはできないのが放射線です。分からないから不安になる、見えないから必要以上に恐いと思うのは人間の本能です。それなら、見えたり感じたり、探ることができれば良いのではないのでしょうか。それには簡単な操作で誰でもが使い、大学や企業の研究所でも使用されるほどの高性能で、しかも何時でもどこへでも気軽に持ち歩いて、しかも低価格の放射線測定器があれば良いのです。そこで、注目されたデジタルβ&γ放射線測定器“QUARTEX”は、放射線を知り尽くしたロシアの放射線技術者達が開発し、チェルノブイリ原発事故で大活躍した実績のある名器です。弊社では、高度な計測施設で精細に確認・調整し、国産同性能程度の機種種の1/3程と空からの自然放射線、食品から発生する放射線、住環境からの放射線など貴方の身の回りの放射線を、QUARTEXを通して、目で感じて下さい。きっと、貴方のまわりの放射線の多さに驚くことでしょう。さらに、万一の原子力施設の事故の際この“QUARTEX”が貴方を守ります。

仕様

検出器……………ガイガー・ミュラー計数管
表示……………3桁+1桁補助表示(発光ダイオード)
電気的制御……………LSI
測定範囲……………0~999μR/時(0~17μSv/時)
エネルギー感度……………0.1~1.25MeV

電源……………9V電池(連続測定100時間可能)
動作環境……………45°C~+55°C
外寸……………146×60×25mm
重量……………120g(電池未装着時)

国産品の1/3程の価格 希望小売価格 **¥30,000** <税別・送料500円ご負担願います>

株式会社国際広報企画

〒105-0004 東京都港区新橋4-28-4 芝庄ビル3F

TEL 03-5405-1844(代) FAX 03-5405-1846 E-mail: keisoku@iips.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」講座では、学校の先生方に最新の情報を提供しています。
- ②10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。
- ③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。
- ④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。
- ⑤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、または手紙をお願いします。



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

☎03-3504-1381 ㊚03-3580-8188

