RADIATION EDUCATION

放射線教育

付　放射線教育フォーラム 2012 年度活動報告

2012

VOL.16　NO.1

放射線教育フォーラム

Radiation Education Forum

放射線教育

Radiation Education

Vol. 16　No. 1

目　次

発行：2013 年 3 月 31 日, NPO 法人　放射線教育フォーラム
〒105-0003　東京都港区西新橋 3-23-6　白川ビル 5F
Tel: 03-3433-0308　FAX: 03-3433-4308
E-mail mt01-ref@kt.rim.or.jp, *HP*：http://www.ref.or.jp

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 16, No. 1, p. 1－2 (2012)

【巻頭言】

計算の独り歩きを戒め，実証を重んじたい

山寺秀雄
NPO法人 放射線教育フォーラム

近年，大型計算機システムの性能向上により大規模な科学技術計算が可能になった。原発関係も例外でない。福島第一原発事故の際，SPEEDI は放射性物質拡散の状況をかなり正確に予想した。このように大型計算機による計算は有用であるが，計算結果はその基礎になるデータや計算における種々の仮定の下で得られるものである。この点は忘れないようにしたい。計算結果を過剰に評価して，それを独り歩きさせることがないようにしたい。二つの例について考える。

原子力規制委員会の放射性物質拡散予測公表について

2012年10月24日，原子力規制委員会は，全国16カ所の原発で東京電力福島第一原発事故のような深刻な事故が起きた場合の放射性物質の拡散予測を公表した。このような公表をすることが適切であったかどうか，私は疑問に思う。

福島第一原発事故の際，SPEEDI による予測が活用されず，飯館村の人々の避難が遅れたという経験から，公表を急いだのかもしれない。福島の場合には事故が起こっており，一刻を争う緊急事態であった。また SPEEDI の計算は実際の風向に基づく正確度の高い予測であり，その結果は実際の汚染状況とほぼ一致した。今回，粗雑な予測を急いで公表しなければならない緊急性があったとは考えられない。放射性物質がどの方向に拡散するかは，事故が起こった時の風向きによる。統計的な平均の風向きによるものではない。規制委員会自身も認めているように，地形にも影響される。また福島の事故から学んでいるはずだから，事故が起こったとしても福島のように深刻になるとは考えにくい。

原子力災害対策特別措置法によれば，緊急事態応急対策の実施責任者は，地方公共団体の長など執行機関の長である。予測の結果を行政機関に示して，県や市町村が避難先，道路事情など，現地の事情を考え合わせ，地区ごとにきめ細かい対策をたてる参考に供するのが順序ではなかろうか。事故がおこった場合の伝達方法も，それへの対処に関する指示も勧告もなしに，不確実な予測だけを公表することは，住民の不安を煽るだけで，益よりも害の方が多いと思う。

原子力規制委員会の主要な役割は，事故の予測ではなく，事故の防止及び事故発生時の被害最小化である。1月 29 日に示された新しい安全基準の骨子案をもっと早くまとめる努力が必要であった。

東電福島第一原発1号機の原子炉損傷の時期について

原子力安全・保安院は「核燃料が溶け落ちるメルトダウンが起きて原子炉が損傷した時期について，1号機では地震発生からおよそ5時間後で、東京電力の解析よりも 10 時間早いとする見解」を公表した。この異なる結果について「原子炉に水を注入した量や解析の計算方法が違うためだが，メルトダウンに至る経緯はおおむね一致する」といっている（2011 年 6 月 6 日，NHK)。このように前提の違いにより何倍もの違いが出る計算結果を独り歩きさせるのではなく，実際に観察された事実をも勘案して推定すべきではなかろうか。(ただし計算結果の独り歩きを際立たせたのは，計算をした当事者ではなく，テレビや新聞であったように思われる。)

政府事故調は，最終報告の「過酷事故に伴う諸現象に関する解析」と題する節の中で，東電が公表した解析及び別の方法による原子力安全基盤機構の解析に言及している。事故調査・検証委員会が行った圧力容器や格納容器に関する検証結果はそれらの解析と一致しなかったといい，それらの解析は複雑な事象を単純化した計算モデルで扱っている上に，不確かな仮定条件等に基づいており，実態を正確に反映したものではないと考えられると述べている。(事故調査・検証委員会は，原子炉水位，原子炉圧力，格納容器圧力等の測定データに関して誤計測・誤表示が生じる要因について詳細に検討し，水位計に関しては数 m 高く表示する可能性があるが，圧力計の誤差は最大 90 kPa にとどまるとした。また 11 日 20 時 7 分以降 12 日 2 時 45 分までの間に溶融燃料落下による圧力容器の閉じ込め機能喪失が起こったと考えるのが自然であるといっている。）政府事故調のこのような検証態度を高く評価したい。

「理論は最終的に現実の自然と照らして正しくなければならない」（小林誠教授談，2013年2月5日 中日新聞より）

（名古屋大学名誉教授，大同大学名誉教授）

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 16, No. 1, p. 3 ― 12

放射線測定

学校教育における放射線実験に関する提言

森 千鶴夫
愛知工業大学
〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247
e-mail cmori@sc.starcat.ne.jp

(2013 年 2 月 4 日受理)

[要約] 中学・高校における指導要項が改訂され、放射線に関する事柄が授業に取り入れられるようになった。放射線実験もその中に入るが短い時間を割いて実験するのであるから、良い結果を確実に出す必要がある。よく行われる実験として、霧箱によるアルファ線の飛跡の観測と「はかるくん」による環境放射線の測定がある。これらを中心にして、筆者が経験上得たいくつか気付いた点を述べる。次いで、他の放射線実験や放射線実験のあり方について私見を述べる。

1. はじめに

原子力エネルギーや放射線の利用推進の立場から、3年ほど前に中学・高校の指導要項の中に30年ぶりに放射線・原子力エネルギーに関する項目が取り入れられた。しかし、3.11の福島原発事故が起き、急遽、原子力エネルギーに関する項目の削除や表現への手直しが行われた。現在、放射線に関する項目が入っている指導要項のもとで、現場の先生方にはいろんな対応がみられる。その原因の一つに、今の先生方は大学において放射線に関する教育を全くといってよいほど受けていないことがある。このような状況と指導要項とのはざまで現場の先生方の中には、放射線に関心を持たれない方々がおられる中で、放射線についてもっと知っておく必要があるとの考えの方々もおられ、放射線に関するセミナーを積極的に受けるという気運がある。こうしたセミナーにおいては、講義とともに放射線実験も同時に行われることが多い。また、すでに放射線教育を実際の授業に取り入れて、その中で放射線実験を実施しておられる先生方もおられる。

実験や体験は教育の柱の一つであるが、それだけに適切で効果的なものでなければならない。失敗も柱の一つであるかもしれないが、何しろ短い時間の中での実験・体験と言うことになれば、当然ながら失敗は回避したい。学校教育における放射線実験では、拡散霧箱によるアルファ線の飛跡の観察と「はかるくん」による環境放射線の測定は現在のところ二つの大きな柱である。前者は、霧箱の型などにいろんなバージョンがあり、必ずしもいつも納得のいく結果を出して生徒やセミナー受講の先生方に満足して頂いているとは限らない。これらに関して筆者の体験に基づくいくつかのポイントを述べる。後者は「はかるくん」という適切な測定器を開発し、それを学校現場に持ち込むシステムを構築し成果をあげている。しかし、「はかるくん」の使い方について、あるいは測定器の性能に関して気付いたことがあるのでこれらについて述べる。

最後に、上述の二つの実験以外の放射線実験についての提言、および放射線実験と他の実験との組合せを含めて、放射線実験のあり方について述べたい。

2. 霧箱

拡散霧箱は学校教育における放射線実験の花形である。それだけに、容易にそして確実に飛跡を見せることが極めて重要である。筆者が経験したいくつかのポイントらしき事柄を述べる。

2.1　拡散霧箱の原理の理解と説明

実験でよく使われる拡散霧箱の典型的な形状を図１に示す。上部の高い温度（約 20℃）の部分で飽和蒸気圧（0.058 気圧）に近い分圧で蒸発したエチルアルコールの蒸気は、底部の低い温度（約-20℃）の部分に向かって拡散して行くにしたがって過飽和状態になる（図２参照)。底部の約-20℃では飽和蒸気圧は 0.008 気圧程度なので過飽和度は７程度になる。

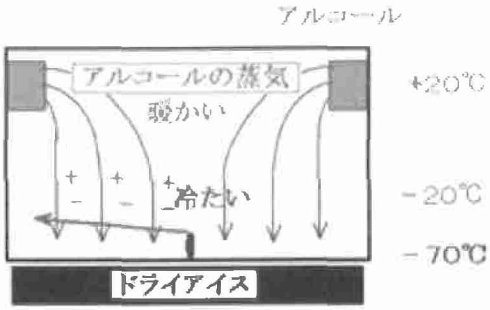


図１　拡散霧箱の例

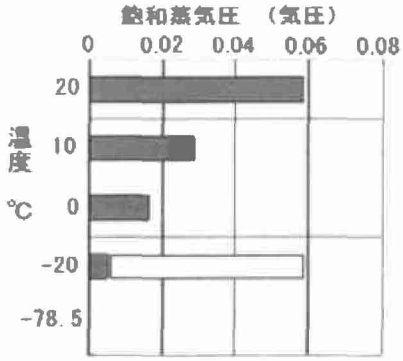


図２　エチルアルコールの各温度における飽和蒸気圧

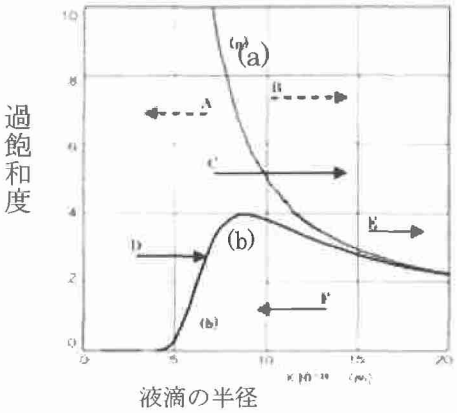


図３　エチルアルコールの液滴の成長に必要な過飽和度

図４　寒い外気で息が白くなる現象と霧箱の中の飛跡生成の比較

過飽和状態のエチルアルコールの蒸気がイオンを核として液滴になり、その直径が大きくなって行くには、図３に示すように実線(b)のピークを越えなければならないので、過飽和度は４以上でなければならない[1)]。このことからも底部の冷却が非常に大切であることが分かる。

授業においては、時間があれば図１や図２などを用いた説明があると好ましい。また日常の現象を例にして説明すれば一層理解を助ける。例えば、図４のように、寒い冬の朝、外で息を吐くと息が白くなる現象、図５の飛行機雲が現れる現象、図６の寒い冬にガラス

窓に水滴ができる現象などの説明が入ればなお望ましい。南極では核になるゴミが無いので息は白くならない、という説明を入れると興味深く聞いてもらえる。

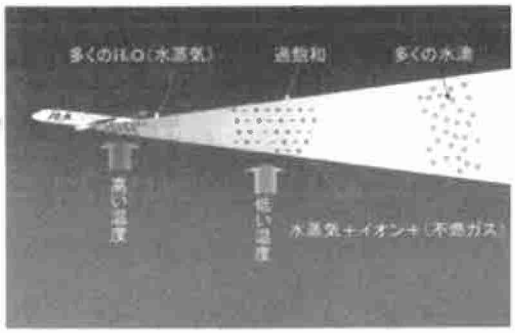


図５　炎の中のイオンと飛行機雲の生成

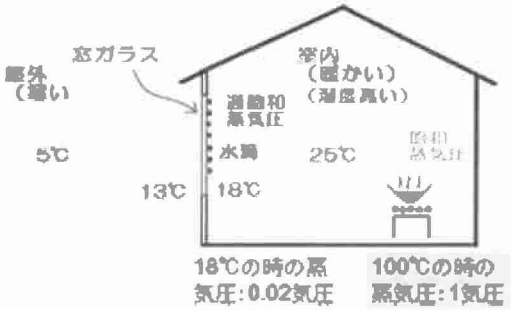


図６　寒い日の夜には窓ガラスに水滴ができる

2.2　霧箱の形状

多人数の前でデモンストレーション的に実験を行う場合には、かなり理想的な機能を持たせた霧箱を用意することができる[2)]。この場合には、アルファ線源などを使わなくても環境のガンマ線によって発生した電子やミュー粒子が観測できるので、環境には自然の放射線がこんなにも多く存在するのだということを理解してもらうのに好適である。しかし、やはり１人が、あるいは 2,3 人が１個の霧箱を自分で組み立てて飛跡を初めて見た時の感動はまた別物であり、より印象的であると思われる。その意味において、ここでは後者の実験に対するコメントを述べる。

よく使われるのは 100 円ショップなどで売られているポリエチレン製などの四角形または円形の容器である。蓋が透明なのが望ましいが、そうでなければ上部を食品用のラップで覆って周辺をゴム輪で止めればよい。容器の底に出っ張りが無いのが望ましい。しかし、出っ張りのない容器はまれで、ほとんどは隅に、あるいは周辺に出っ張りがある。出っ張りがあると、ドライアイスと容器の底面が密着せず、容器の底面の温度があまり低くならないので、過飽和度が足りず飛跡ができにくい。また、容器の側壁に短毛の植毛紙を張り付けて光の不要な反射を防ぐ方法は効果があるが、個人作製用の霧箱には不要である。

2.3　エチルアルコールの使い方、線源の位置

霧箱のタイプにもよるが、容器の底に黒い紙を敷いている場合には、黒い紙の上にアルコールを数滴垂らして、紙と容器の底面の密着をよくすれば熱伝導がよくなり冷却効果が高まる。その結果、黒い紙の上の空気が、早く、かつより低温に冷却される。このことは、黒い紙の半分にアルコールを垂らし、その部分の上部と垂らしていない部分の上部に飛跡が現れ始める時間や飛跡の太さを比べてみるとよく分かる。スポンジの部分にはアルコールをかなり浸ませることも大切である。

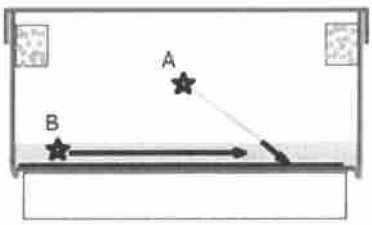


図７　線源の位置と飛跡の生成

容器が浅い場合には、スポンジの部分の温度が割合早く下がり、アルコールの蒸発が少なくなって、飛跡が観測しにくくなる。両手で容器の上部を押さえて温度を少し高めるだけでも効果がある。

一般に、容器の底において過飽和度が 4 以上になっている部分は、容器の大きさや冷却の仕方にもよるが、通常は底から 1cm 以下である。従って、図７に示すように線源がＡのような高い位置にあれば、線源から放射されたアルファ線の先端の部分しか飛跡ができない。しかし、Ｂのように底に近い位置にあれば、アルファ線の全飛程にわたって長い飛跡が観測できる。放射線源の入手については、インターネット[3)]を参照されたい。

2.4　ドライアイスの使い方

ドライアイスの使い方は重要である。ドライアイスを細かく砕いて使えば、底面との密着性がよく冷却効果が大きい。デモンストレーション的な実験ではこの方法は望ましい。しかし、細かく砕くのは労力と時間が要る。特に１人作製用の霧箱の場合には、一般に数が多いため、短い時間に細かく砕いたものを大量に用意することは困難であり板状のドライアイスで十分である。ただし、以下に述べるような注意が必要である。

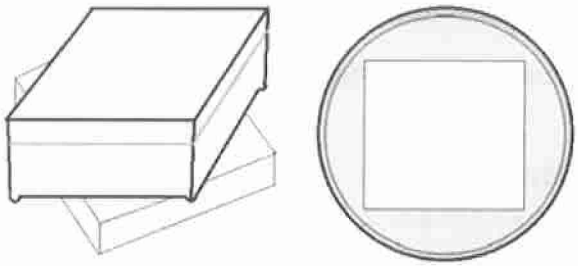


図８　容器の底の出っ張りを避けてドライアイスを置く。

図８の左に示すように、プラスチックの容器などは一般に底に小さな出っ張りがあり、底面がテーブルの面などに直接触れないようになっている。もし四角の容器の四隅に出っ張りがある場合には、板状のドライアイスを斜めに置いて、容器の底面がドライアイスに直接触れるようにする。また、図８の右に示すように底の周辺に出っ張りがある場合には、板状のドライアイスにマイナスのドライバーを当てて金槌などで軽く叩けば、出っ張りの中に入る適当な大きさに容易にカットできる。このように底の出っ張りを避けて、ドライアイスが底の面に直接触れるようにすることが、この実験の成否を左右すると言ってもよいほど重要である。実験の成否は全てこうした小さな事柄をおろそかにしないことの積み重ねである。

2.5.　飛跡形成の方向

アルファ線の飛跡は線源から遠くの方向へ向かって成長して行くのが観測される。しかし、計算してみると図９に示すように、6MeV のアルファ線は 1 気圧の空気中で約 50mm の飛程を飛行する時間はわずか５ナノ

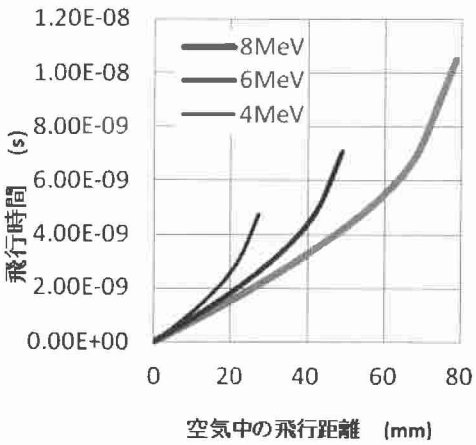


図９　アルファ線の飛行距離と飛行時間

秒である。従って飛跡の霧滴成長の核となるイオンは、どの場所でもほとんど同時に作られていることになる。それにもかかわらず、飛跡が方向を持って成長して行くのは不思議である。この理由に関しては文献[4]を参照されたい。なお、大型の性能の良い拡散霧箱[2]ではベータ線や電子の飛跡が観測できるが、これらの飛跡の成長の方向を見極めることは困難で、飛跡はどの位置でもほとんど同時にできていることが分かる。

小さな霧箱の中にも、まだ分からないこと、研究対象になり得る現象があると思われる。私たちの身の回りのありふれた現象をよく見ると、まだまだ面白い不可思議な現象があること、これらの現象は科学のいろんな分野に関連していることを実験と同時に話して聞かせれば、科学教育の一環として有効であると思われる。

3．「はかるくん」を用いた線量率(μSv/h)の測定

3.1　読み取りについて

「はかるくん」は電源を ON してから 60 秒間は 60 の数字をカウントダウンする数字を表示する。しかし、この間も内部ではすでに測定が始まっている。60 秒経過後は、その前の 60 秒における各 10 秒毎の測定結果を合計して平均値を表示している。いわゆる前 6 個の移動平均値である。図 10 に「はかるくん CP-100」のそばにカンテラのマントル線源を置いたり除いたりした場合の測定結果と計算結果を示す。点は各 10 秒毎の表示値（内部で前 6 個の移動平均値を計算して表示）である。実線は筆者が移動平均値を計算した値である。この場合に、各 10 秒毎の測定結果は分からないので、定常状態になってからの平均値を各 10 秒毎に測定しているものと仮定して計算している。当然のことながら、表示値と計算値とは一部の相違（測定値の統計的な揺らぎによる）を除きよく一致している。この図を見ると、線源を置いたり、取り除いたりした場合や、環境が変化した場合には、60 秒間経過してから表示される値を読まなければ誤った表示値を読み取ることになることがよく分かる。60 秒経過しない間の数値を何個読み取ってもほとんど意味がない。また、60 秒経過後も、各 10 毎に表示値は変化するが、それぞれには 1/6 しか新しい情報は入っていないので、独立性があまりなく、これもそれほど意味はない。測定環境が変化してから 60 秒後に一度読み取ったあとも、更に読み取るとすれば 60 秒経過後に再度読み取り、平均値を求めるのがよい。この再度読み取るための 60 秒間に何もしないで待つのは少しいらいらするので、

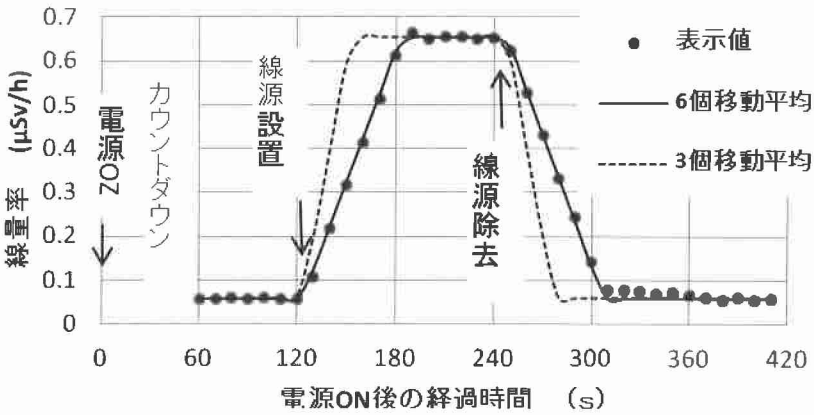


図 10　「はかるくん」の測定経過時間と表示値の関係

10秒毎に表示される数値を読み取って平均値を求めるようにする方法は、精度は60秒後に1回読み取る場合よりも若干良くなる程度でしかないが許容される手法ではある。

10秒間の環境放射線の線量率（上記の例では約0.06μSv/h）の測定中のカウント数を音で聞いてみると、約 40 カウントである（聞き取りの誤差が大きいが・・）。6 個の合計は240カウントなので、1標準偏差の誤差は6.5%である。これが自然放射線の各表示値の誤差である。図のようにマントル線源を置いた場合の表示値の誤差は1.9%になる。このことからも、60 秒経過しないで読み取る場合の誤差の方がはるかに大きく、誤った測定をしてしまうことになる。

図 10 の点線は、もし平均値として前 3 個の 30 秒間の移動平均値をとればどうなるかを計算した結果を示している。当然、計数の統計的な変動の誤差は前6個の60秒間の移動平均値の誤差の√2倍になるが、応答が速く得られるので、前6個の移動平均値の場合におけるような早く読み取ってしまうという過ちが少なくなる分、よいという考え方も成り立つ。

また、「はかるくん」の使い方として環境を移動しながら測定することが多いので、私見ではあるが、前6個の移動平均を表示する方法では60秒間待たなければならず、そうしなければ誤った測定をしてしまうので、前述のように30秒間の移動平均を表示するようにするか、あるいは思い切って、各 10 秒毎の測定値をそのまま表示するのがよいと思われる。この場合に誤差は、0.06μSv/h程度の場合には約16%になるが、誤った表示値を読み取るよりはよいと思われる。この場合に、誤差を少なくしたければ数回読み取って記録し平均値を求めればよい。

3.2　安価な測定器との比較

安価な測定器は、検出器が小さいか、あるいは検出効率が低いために計数率(cpm)が少ない。これは音を聞けば明らかで、「はかるくん CP-100」の 1/10 程度の計数率しか示さないものもある。したがって、表示はほぼ同じ値のμSv/h が表示されていても、統計的な誤差が大きい。計数率が1/10の場合には表示値の誤差は3.2倍にもなる。　また、計数率から線量率への換算の誤差も大きいようである。その上、ノイズとの分離のためのディスクリレベルを高く設定している場合が多く、エネルギー特性がよくなく、環境放射線のように散乱線などの低エネルギーのガンマ線が多い場合には、誤差が大きくなる。安価であることは魅力があるが、表示値の誤差を十分理解した上で測定結果を評価しないと誤った結論に導くことになり注意を要する。

4．プラスチックＣＲ-39を使ったアルファ線オートラジオグラフィーの提案

イメージングプレートを使って取得した身の回りの物品に含まれる自然放射能分布像は、小、中学生や一般の方々に自然放射線の認識を深めて頂くのに有用である。しかし、イメージングプレートの読み取り機は高価で、学校でこの手法による像を取得することは、大学や研究所、病院などとの連携なしには一般に困難である。しかし、固体飛跡検出器であるプラスチックの CR-39 を使えば、試料から放出されるアルファ線の分布像が比較的容易に得られる[4)]。CR-39 は市販されていて、（28cm×28cm×0.9mm　¥19,000　、15 枚に分割（5.6cm×9.3cm）すれば1枚¥1,300）、苛性ソーダ等があれば、高校や中学校でもできる実験で、クラブ活動などに適していると思われる。図 11(a)は御影石の写真で、(b)はこの

石をCR-39のプラスチック板の上に3月間置き、7.5規定、80℃の苛性ソーダ液に5時間浸けたあと水洗して、光を当てて反射光をデジカメで撮ったものである。(c)はイメージングプレートで1週間の露出で撮ったものである。イメージングプレートはK-40からのベータ線とトリウムなどからのアルファ線の両方に感度を有しているが、位置分解能が劣る。(d)は(b)の一部を拡大したものであるが、数ミクロンの位置分解能を有し、岩石の表面の成り立ちの細かな様子が分かる。スーパーサイエンスハイスクールのプロジェクトなどにも適していると思われる。

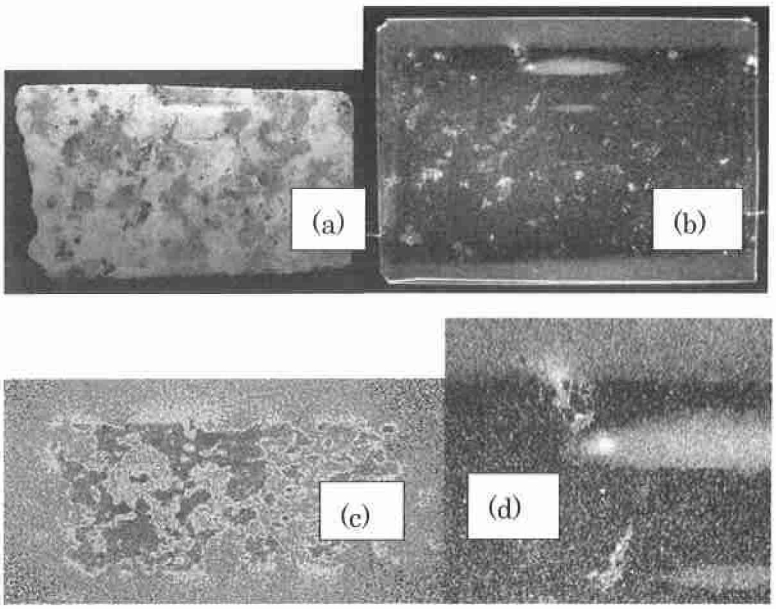


図 11　CR-39 によるアルファ線放出分布像の取得　(a)御影石の写真、(b)CR-39 で取得したアルファ線放出像、(c)イメージングプレートで取得したベータ線、アルファ線像、(d)は(b)の一部分の拡大像

5．放射線実験と他の実験との組合せ

学校教育のカリキュラムの中で、実験に割ける時間は少なく、霧箱や「はかるくん」実験に取り組むだけでも容易ではない。したがって、「他の実験と組み合わせ」れば余計に時間がかかり実質的に不可能である、という言い方も成り立つと思われる。しかし、放射線実験と同種の内容を持つ他の必要な実験を取り入れるのであるから、他の実験の時間が少なくて済むとも言えるし、また他の実験の時間の中に、同種の内容をもつ放射線実験を取り入れることによって他の実験の内容の理解を一層深めることができる、とも言える。一見異なるような物理現象でも本質は同じであるということが多い。広い視野を養うことが大切である。どんな実験でもよく見るとただ一種の物理原理を教えるには勿体ない内容であり、一寸した他の実験を加えることによって物理原理の本質の理解に大いに役立つ、また、少し隣り合った物理原理の理解につながると思われる。こうした、広域連携物理実験のようなものの価値は高いのではないかと思われる。放射線実験とのこうした組合せはいくつか考えられる。

5.1　液体の蒸発、飽和蒸気圧、過飽和状態の理解のための実験と霧箱実験

2.1で述べたように、霧箱は気体の状態を理解するのに好適な実験である。蒸発や飽和蒸気圧、過飽和状態などの現象は、雲や飛行機雲の発生、冬の寒い日に息が白くなる現象、車や家の窓が曇る現象などの身近な現象をもたらすが、意外と納得のいく理解がなされて

いないように思われる。身近な現象とつなげることによって、生徒に考えさせる契機を与え、なるほどと思わせることができるように思われる。きれいな表面の金属板などをドライアイスにくっつけると表面がすぐに曇ることなどを実際に見れば、一層理解の助けになる。また、銅板やステンレス板、プラスチック板などを使えば、熱伝導の相違の理解の助けにもなる。この現象は露点の測定法の一つとして現在も使われている。

5.2　フレミングの左手の法則の理解

地球上で放射線の存在をそれなりに実感できるのはオーロラである。地球上で南極から北極に向かう地磁気の磁力線に対して赤道上ではほぼ直角に宇宙線（ほとんど太陽からの陽子）が入ってくるので、フレミングの左手の法則によって力が生じ、反発されて地球表面には到達しにくい（図 12）。しかし、北極や南極の上空から地球に向かう宇宙線は地磁気の磁力線とほぼ並行であるために、力が生じないで地球に降り注ぎやすくなる。その結果、地球上の空気が宇宙線で電離され、励起されていろんな光が発生する。これがオーロラである。南極上に強く発生している時には、北極上でも強く発生している（図 13）。宇宙線の強さや地磁気の磁力線は磁気嵐の時には時々刻々変化するので、オーロラも時々刻々変化する。

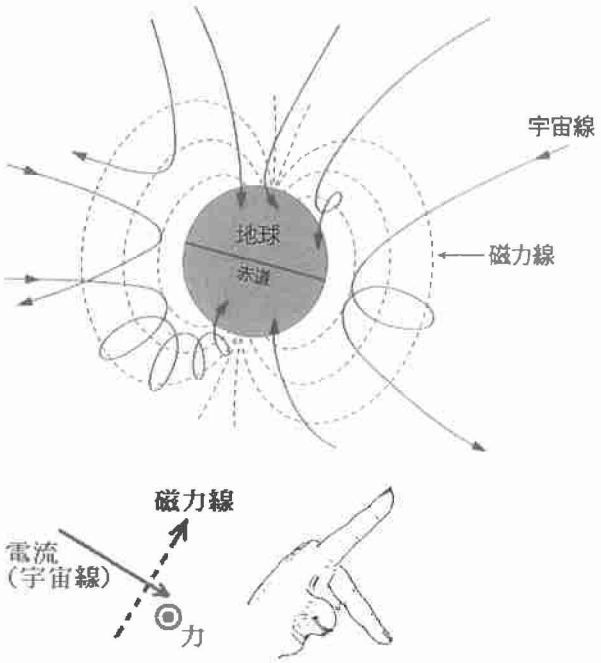


図 12　地球磁場に入射した荷電粒子宇宙線が赤道の近くではねね返され、北極や南極では磁力線と宇宙線の入射方向が同じであるため、地球上にはより多く入射してくる。

図 13　人工衛星から見た南極大陸上空のオーロラ。北極にも同時にできている。

5.3　炎の中にはイオン（電気）があること（プラズマ）の理解

図 5 で述べた飛行機雲の形成には空気中の小さなごみの存在があるが、排気中のイオンの存在も関与している。このことを示すには、飛行機の高温の排気にイオン（電気）が存在することを示すと分かりやすい。

箔検電器に帯電させて箔を開かせる。ライターやローソクの火を近付けるとすぐに箔が閉じる。箔検電器はほとんどの学校の理科実験室にあり、

摩擦静電気の実験によく用いられるが、このような実験の時に、ローソクの火で閉じることを示すことは数秒でできる。この時に、飛行機雲の発生などにも触れて視点を広く持たせることは重要であると思う。図 14 の箔検電器は手作りしたものであるが、手作り的な実験は立派な実験装置による実験とは異なる効果がある。箔検電器の中にあるいはそばに、カンテラのマントル線源を置き、箔が閉じる時間を測定すれば、線源から発生している放射線が空気を電離して箔の電荷を中和していることが分かる。

図 14　箔検電器の開いた箔は炎を近付ければすぐに閉じる。

5.4　地磁気の実験や摩擦電気の実験

図 15 の左側に手作りの磁針を示す。鉄の針金をヤジロベエ状に曲げ、中央の下側にやや硬いプラスチックの小さな板を接着する。鉄の針金の一端に磁石をくっつけて磁化する。摩擦を少なくするために、縫い針を割り箸などの先端にテープで張り付けこれを支柱とし、その上にヤジロベエを乗せる。ゆっくりと振動しながら南北を向く。教室の中で地磁気がどの方向に走っているかが実感できる。アルミニウムの板（クッキングフォイルを折ればすぐにできる）や紙を乗せても地磁気の方向には無関係である。これで強磁性体のことが分かる。次に塩ビの棒などを摩擦して静電気を起こし、磁針などに近づける。針金やアルミニウムの板は、金属中の電子が移動して、摩擦電気と反対の符号の電気が一端に現れて金属板などが強く引き付けられる。では、図 15 の右の図のように A4 の紙を折って板状にして乗せた場合にはどうであろうか？引き付けられるかどうかを生徒に手を挙げて答えさせる。読者はどのようにお考えでしょうか？　分子分極や原子分極の結果、強く引き付けられることが分かる。プラスチック板なども同様である。ただし、同種のプラスチック板を使えば、反撥させることもできる。地磁気とオーロラの説明の時に、このような実験を加えて、静電気のことにも触れれば、単独の実験よりも印象に残るように思われる。

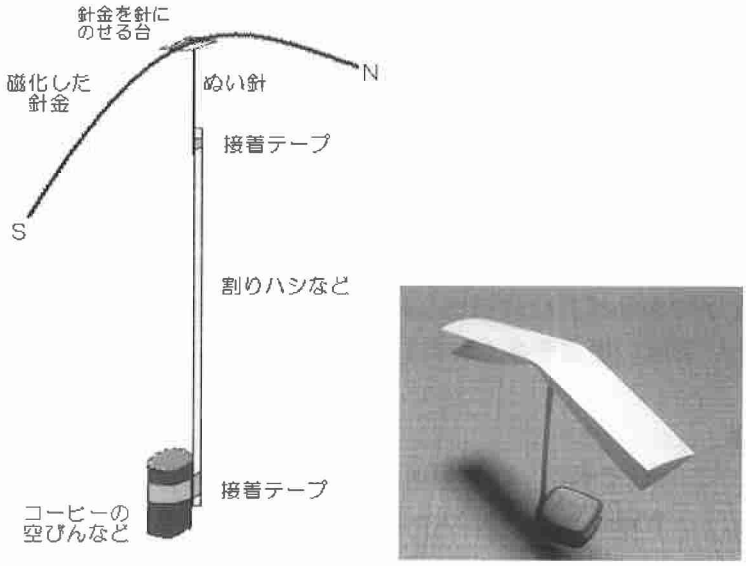


図 15　手作りの磁針といろんなデモンストレーション実験

5.5　放電管によるX線透過像の撮影

放電管の実験が行われる場合があるかもしれない。あるいは真空度の測定にガイスラー管を使われる機会があるかもしれない。そのようなときには、図 16 に示すようなX線写真を撮ることができる場合がある。ガイスラー管の場合にはほとんど確実に撮れる[5)]。図 16 はイメージングプレートで撮ったものであるが、X線フィルムでも撮れる。まさにレントゲンのX線の発見を体験していることになる。

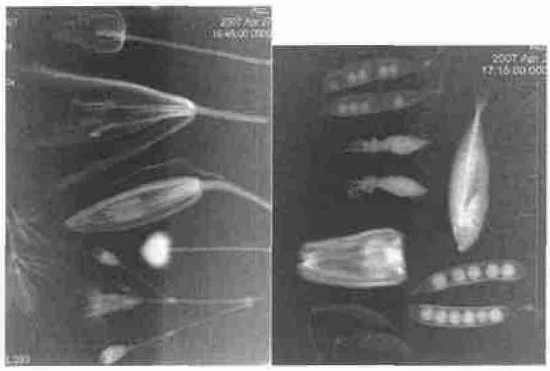


図 16　ガイスラー放電管から発生したX線による透過像（イメージングプレートによって撮影したが、X線フィルムでも撮影できる）

6．まとめ

3.11 の事故以来、放射線教育の依って立つ位置がやや揺らいでいるように思われる。しかし、放射線は今や先端科学技術の一つである。産業や医療の分野においてなくてはならない科学技術であり、今後も一層の利用、発展が望まれる。こうした状況において、いたずらに放射線を忌避し、事実や真実から目をそらすことは、危険であり、また真の科学技術の発展を阻害する。こうした考え方から、放射線実験も、放射線が持つ自然科学としての魅力、放射線がいろんな科学分野に関連した魅力的な分野であることを知ってもらうことが大切であると思い、筆者が体験したいくつかの事柄を述べ、提言させて頂いた。放射線の不思議な姿、自然の複合的な現象の魅力などを伝えることができる放射線実験であることを目指したい。また、実験の一寸した工夫の面白さなどを実験を通じて生徒に伝えることができれば、なお望ましい。ここで述べた事柄以外にも多くの先生方が実験の改良、新しい実験の提言を多くお持ちであると思われる。御提言を望みたい。

文献

1）　森 千鶴夫、白川芳幸、藤浪眞紀：ISOTOPE NEWS, No.627(2006)p25

2）　有限会社 ラドのホームページ　や
http://flab.phys.nagoya-u.ac.jp/2011/introduction/contact/ など

3）　インターネット　放射線学習指導資料-放射線教育フォーラム　の第二部　放射線実験の手引書

4）　インターネット　放計協ニュース　No.50(2012)p2 森 千鶴夫、“趣味の放射線実験”

5）　森 千鶴夫、緒方良至、佐久間洋一：ISOTOPE NEWS, No.651(2008)p25

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 16, No. 1, p. 13 − 20 (2012)

放射線測定

簡易放射線測定器による オンラインモニタリングシステムの構築 —福島第一原発事故による緊急時の対応—

布施雅彦
福島工業高等専門学校
970-8034 いわき市平上荒川字長尾 30
mfuse@fukushima-nct.ac.jp

前嶋美紀
㈱まえちゃんねっと
262-0048 千葉県千葉市花見川区柏井 4-50-7-306
maejima@maechan.net

松澤孝男
元茨城工業高等専門学校
/現放医研(非常勤)
312-0032 ひたちなか市津田 2589
matsuzawa_2000@yahoo.co.jp

(2013 年 2 月 4 日受理)

[要約]東電福島第一原発事故の為，簡易放射線測定器を利用して全国 31 カ所，福島県内 10 カ所に事故直後から数ヶ月以内にオンラインモニタリングポスト網を構築した． 簡易な測定器ではあるが、雨や積雪など環境放射線の影響などを捉えることができた。また、安定して運用・稼働させることができた。安価なため今後地域のモニタリングポストの教材として活用可能ではないかと考える．

1．はじめに

平成 23 年 3 月に福島第一原発の事故がおき，平成 23 年 4 月は「予断は許さない」状況で，多くの県民が不安を抱きつつ学校や職場が再開した．筆者の一人が住むいわき市は，福島第一原発から 25-60km に位置し，約 30 万人以上の人が住む大都市である．そのような中で，学校では避難マニュアルが作成され，余震や発電所の再爆発等の事態に備えた．平成 23 年 4 月時点では，原発周辺のモニタリングポストは故障したままで，状況を確認する方法は，東電のライブカメラ見る，TV やラジオを視聴する，役所の 1 時間前の放射線の数値を毎時 WEB に掲載される PDF を開いてみる，原子力保安院サイトの携帯メール連絡の登録などの方法しか，具体的な方法はなかった．再度事故が起きた場合について，行政からどのように連絡があるかなどアナウンスは無い状態で，市民は常にガソリンを満タンにし，必要最低限の荷物などを準備して，何時でも避難ができるようにして生活していた方も少なくない状態であった．

そこで，安価な機器でも組み合わせて，草の根活動による簡易放射線測定器によるオンラインモニタリングポストを構築できないか検討した．

2．簡易放射線測定器によるモニタリングポストの構築

2．1 簡易放射線測定器と測定

簡易放射線測定器は，図 1 の米国 LND 社製の LND-712 マイカ窓 ガイガー・ミュラー計数管を利用したストロベリーリナックス社製 USB-Geiger[1)]を利用し，価格は約 2 万である．この製品は，USB 接

図 1 USB-Geiger

図 2 Bservation Image Server

続で，PCから電源を供給しまたデータをPCに転送できる．そして，測定したデータをPCへ取り込みインターネットで公開するためにシステムに，㈱まえちゃんねっと[2]が開発した2種類の製品を利用した．一つ目はWindows用PCを利用して測定データを受信し，サーバーに転送するソフトウェアのUSB-Geigerを利用する方法と，二つ目はLinux BoxのUSB-Geiger専用のOBIS(OBservation Image Server)[3]（図2）を利用する方法である．このOBISは，機器の故障やトラブルの対応が難しい計画的避難地域や距離が遠く，簡単に行って対応が出来ない設置場所にはとても有効であると思われる．また，OBISにはSDメモリーを利用して，測定データのバックアップを取ることが可能で，何らかの原因で通信が途絶えても，単独でデータを保存することも可能である．これらの機器を利用して，基本的には5分ごとの放射線数を測定し，㈱まえちゃんねっとのサーバーへ転送する．

2．2　測定器の設置

特に福島県における機器の設置は，筆者の一人で福島県の布施が担当し，とても慎重に行った．まずは福島県のホームページに掲載される「福島県内各地方環境放射能測定値（暫定値）」[4]の毎日毎時間の各支所で公開される放射線量の値を参考に可能なかぎりその値に近く，地域を代表する場所を探した．同様にその地区を代表する放射線の数値を計測可能なことが大切だと考え，実際に，NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータで，数時間かけ設置予定の住宅の町内を測定し，誰がみても，この地域であれば，この程度の放射線量率であるということ確認した．そして，設置予定の住宅の壁周りと窓際を全て測定して，地域の値に近い状態かどうか？そして，屋内で設置可能な窓際にネットワークが構築できるか検討した．なぜならインターネットでは数値だけしか見えないので，誤解を招いては行けないという判断からである．図3-4のように屋内外に設置し，特に屋外の駐車している車の影響や木々の受けにくい場所を選んだ．

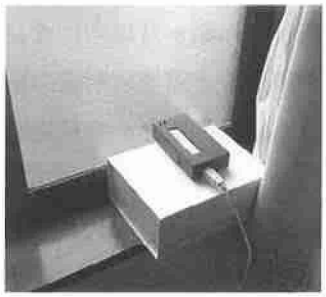


図3　屋内設置の例

図4　屋外設置の例

2．3　ガイガーカウンターリアルタイム観測網

ガイガーカウンターリアルタイム観測網[5][6]は、H24年3月で設置した市町村は国内の31箇所で，以下のとおりである．【北海道帯広市・岩手県岩手郡滝沢村・新潟県新潟市西区・山形県山形市小白川町・宮城県角田市小坂・宮城県大崎市古川・宮城県仙台市青葉区・福島県白河市・福島県二本松市竹田・福島県福島市南向台・福島県双葉郡広野町・福島県郡山市あぶくま台・福島県郡山市菜根1丁目・福島県いわき市中央台高久・福島県いわき市平上荒川・福島県南相馬市原町区北町・福島県飯舘村深谷・群馬県吾妻郡長野原町・群馬県前橋市・栃木県河内郡上三川町・茨城県ひたちなか市・茨城県つくば市・静岡県静岡市駿河区大谷・埼玉県和光市・神奈川県厚木市・神奈川県横浜市青葉区・東京都新宿区西新宿・東京都港区三田・千葉県流山市向小金・千葉県市川市大野町・千葉県千葉市花見川区】

図5は北海道と岩手県を除く測定地点を表示した様子で，図6は福島県を拡大した様子である．

図5　簡易モニタリングポスト

図6　福島県内の簡易モニタリングポスト

USB-Geiger で測定されたデータは、㈱まえちゃんねっとのサーバー側で受信，データの保管，マッピング，グラフ化，WEB の公開を行っている．特に，福島県内の設置場所は，福島第一原子力発電所を中心に８方位 10 地点に設置した．その結果，どの方向に今度，放射性物質が流されても捉えることができると考えた．また，県内の主要な市町村に取り付けることができた．

２．４　測定データの表示

図７－８のようにグラフで表示が可能で，１日表示・２日間表示・３日間表示・５日間表示・７日間表示・１ヶ月表示・２ヶ月表示・３ヶ月表示・４ヶ月表示・８ヶ月表示・１年表示・１年表示・２年表示が可能である．７日間表示までは，５分毎数値を詳細なまま表示している．１ヶ月表示以降は，１日のデータを平均化して表示している．また，図５の右下にある「※各計測点のグラフ一覧はこちら」で，すべての測定地点のデータを１ページで表示することが可能になっている．

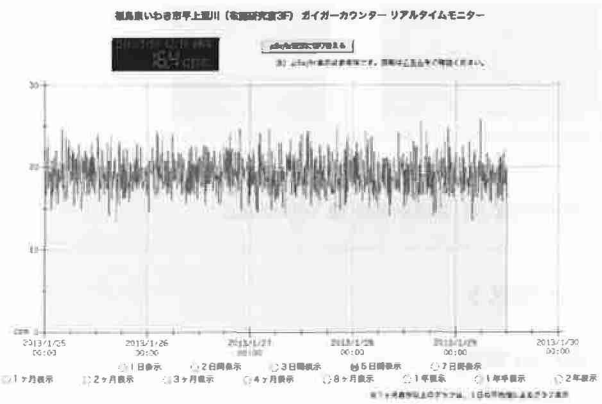


図７　５日間表示

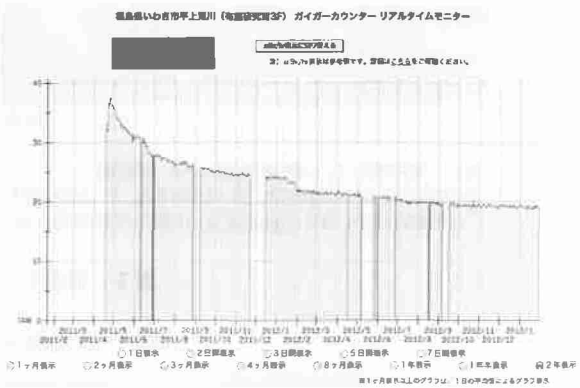


図８　２年間表示

表１ 文部科学省と簡易放射線測定器のモニタリングポストの比較

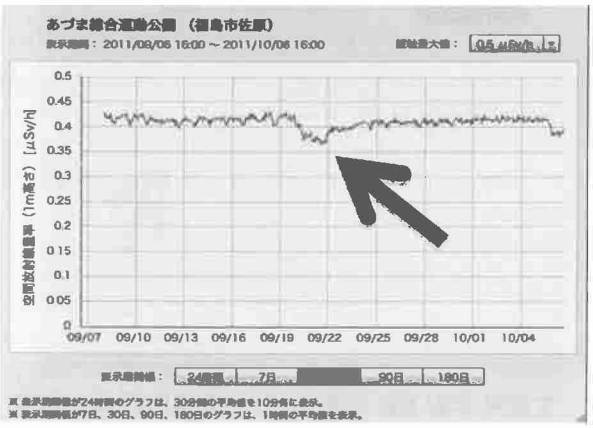
比較項目	市町村	文部科学省の計測地点 	設置間の距離	簡易モニタリングの計測地点 
3-1-1 大雨	福島市	あづま総合運動公園（屋外） 福島県福島市佐原神事場	約 12km	一般家庭住宅（屋内） 福島県福島市渡利絵馬平
3-1-2 大雨	広野町	広野町役場 福島県双葉郡広野町下北迫苗代替３５	約 2km	一般家庭住宅（屋内） 福島県双葉郡広野町広洋台１丁目１－９２
3-2-1 積雪	白河市	白河市総合運動公園（屋外） 福島県白河市北中川原３０	約 3km	一般家庭住宅（屋内） 福島県白河市北中川原
3-2-3 積雪	福島市	あづま総合運動公園（屋外） 福島県福島市佐原神事場	約 40km	一般家庭住宅（屋内） 福島県相馬郡飯舘村深谷大森

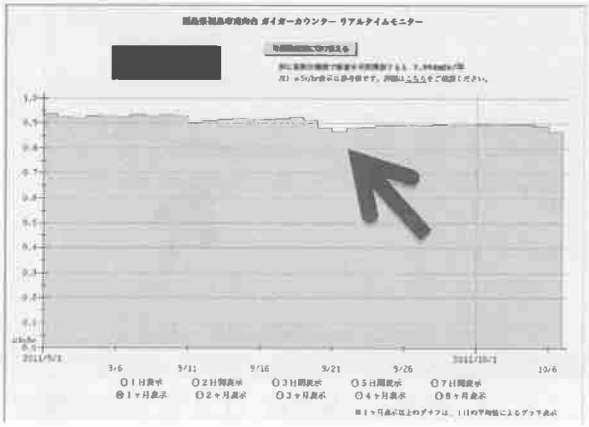
３．観測データの分析と評価

計測器を設置してから，新たな福島原発から大きな爆発や放射性物質が拡散するようなことがなかった．そこで，簡易放射線測定器で，どこまで，大雨や積雪などによる影響の変化を捉えることができたかを、文部科学省が昨年９月に設置したモニタリングポスト[7] と比較し検証してみた．比較地点については，表１の通りである．

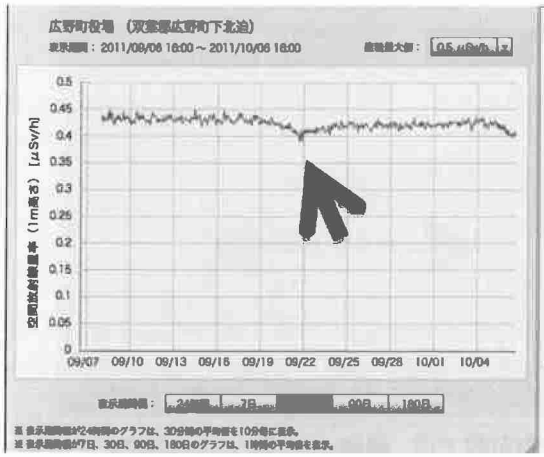
３．１　台風による降水量の影響

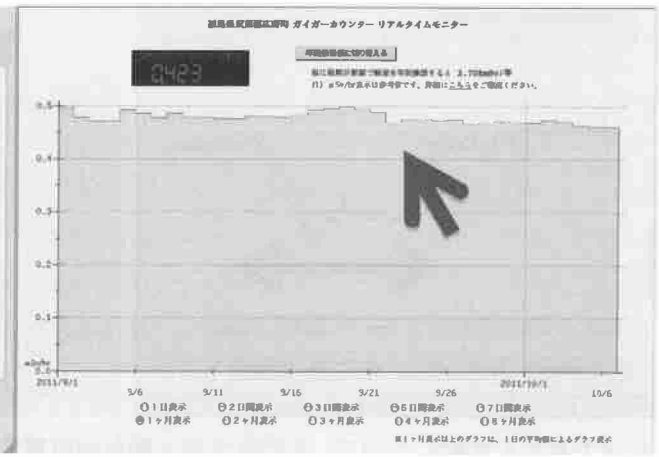
３．１．１　福島市（台風 15 号による降水量の影響　左：文部科学省　右：簡易放射線測定器）





３．１．２　広野町（台風 15 号による降水量の影響　左：文部科学省 右：簡易放射線測定器）

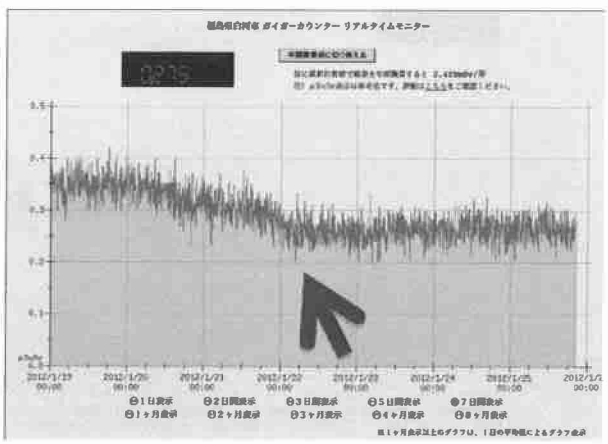




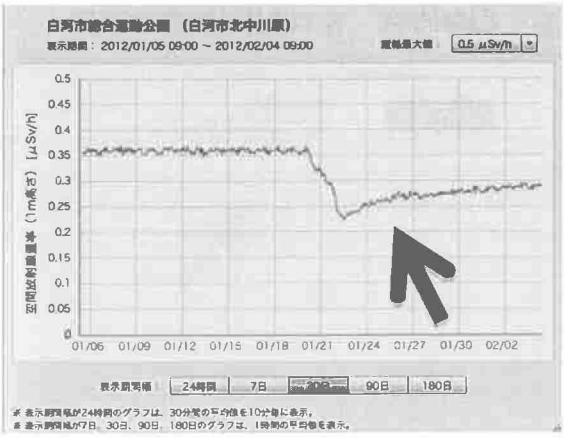
簡易放射線測定器でも，台風の大雨の微かな影響を捉えることができている．

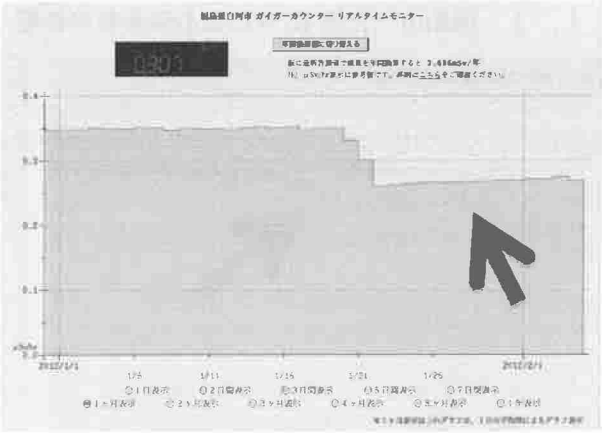
３．２　積雪による影響

３．２．１　白河市（1 月 20 日から積雪　7 日表示　左：文部科学省 右：簡易放射線測定器）

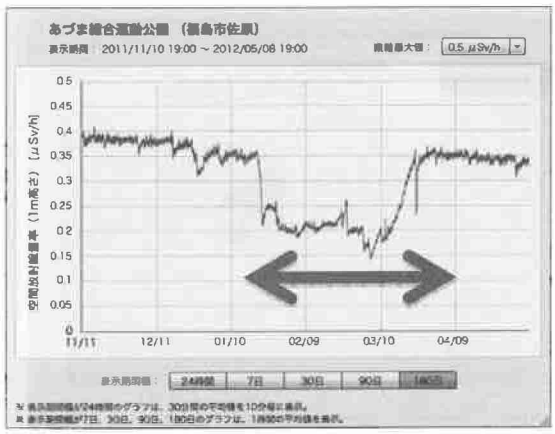


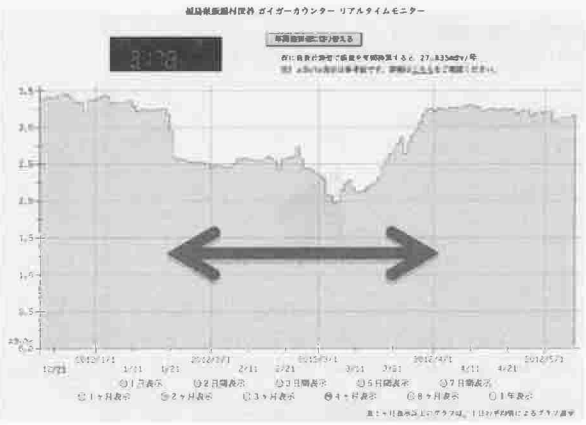
３．２．２　白河市（1 月 20 日から積雪　1ヶ月表示　左：文部科学省 右：簡易放射線測定器）





３．２．３　福島市と飯舘村（1 月 20 日から積雪 左：文部科学省 180 日表示 右：簡易放射線測定器 120 日表示）





トレンド表示を比較してみて，文部科学省と簡易放射線測定器では，精細さは違ってもおおよその傾向等については，捉えることができた．

３．３　除染による影響

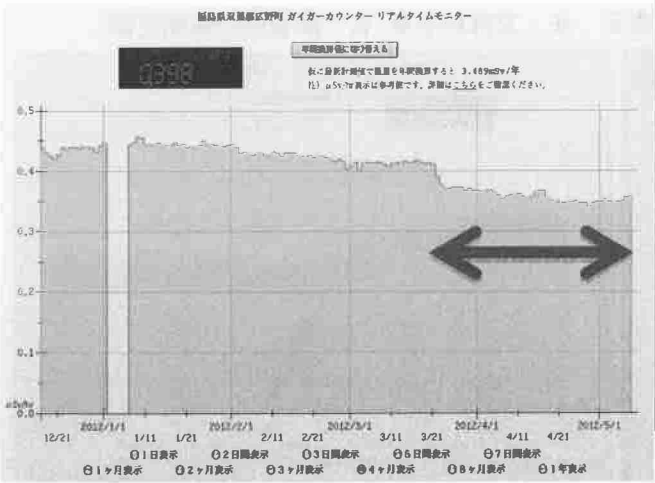


図９　除染による環境放射線の減少

図 10 除染による芝生と表土を除去後の様子

問題点として，一般家庭に取り付けている為，家庭の除染活動により数値に影響があった．あきらかに図９のように不自然な減少がみられ，そのつど設置者と連絡をとり，状況を教えてもらい図 10 のように，写真などを提供してもらい値の変化の理由がわかるように WEB サイト[8] に掲載した．

４．システムの評価

震災後からの取組の為，完璧なものでなく改良しながら運用を行なった．障害が起きても，素早く対応可能な場所には PC 接続タイプを配置し，遠隔地ですぐに対応が出来ない地域には，より安定していると思われる OBIS を利用することにした．GM 管検出器の故障は，布施が運用している福島県内 10 地点では，屋外設置の１台が故障した．それは，導入初期に選定した設置用ケースに問題があり，隙間から湿気が入り込み，腐食が進んだ可能性がある．その他は現時点で１年間運用して，その他で検出器が故障したものはない．他の９地点は全て住宅内の窓際の屋内設置である．福島県内の 10 地点について，設置状況と稼働率を表２にまとめた．

表２ 簡易モニタリングポストの設置状況と稼働率

番号	計測地点	制御機器	ネットワーク	回線	開始日時	最終日時	稼働時間（分）	想定時間（分）	稼働率
1	双葉郡 広野町	PC	有線 LAN	ADSL	2011/6/3(金) 07:35	2012/12/31(火) 23:55	798395	831865	95.98%
2	いわき市 上荒川	PC	内蔵無線 LAN	光	2011/4/19(火) 12:20	2012/12/31(火) 23:55	776945	896380	86.68%
3	いわき市 中央台	PC	内蔵無線 LAN	光	2011/5/24(火) 22:45	2012/12/31(火) 23:55	828205	845355	97.97%
4	白河市 上ノ原	PC	内蔵無線 LAN	光	2011/6/20(月) 15:10	2012/12/31(火) 23:55	733440	806930	90.89%
5	郡山市 あぶくま台	OBIS	有線 LAN	ADSL	2011/5/29(日) 12:00	2012/12/31(火) 23:55	796430	838800	94.95%
6	郡山市 菜根	OBIS	WIFI コンバーター	光	2011/7/16(土) 13:50	2012/12/31(火) 23:55	736515	769570	95.70%
7	二本松市 竹田	PC	内蔵無線 LAN	光	2011/7/10(日) 11:20	2012/12/31(火) 23:55	777740	778360	99.92%
8	福島市 南向台	OBIS	WIFI コンバーター	光	2011/6/7(火) 21:10	2012/12/31(火) 23:55	786635	825290	95.32%
9	相馬郡 飯舘村深谷	OBIS	WIFI コンバーター	光	2011/6/12(日) 12:35	2012/12/31(火) 23:55	780800	818605	95.38%
10	南相馬市 原町区北町	OBIS	有線 LAN	光	2011/6/12(日) 10:00	2012/12/31(火) 23:55	800615	818760	97.78%

４．１　通信障害の原因または原因と思われる要因

運用時に実際に起きたトラブルは次の通りである．

- Windows の設定ミス（ノート PC の画面を閉じたり，WindowsUpdate が起動したり）
- 電源コンセントが抜ける（いわき市上荒川）
- 無線 LAN の変更に伴う設定ミス（いわき市上荒川）
- インターネットのルーターの故障（郡山市）
- 無線 LAN の電波の状況（白河市）
- 機器と機器の相性（福島市）

・原因不明で，再起動で稼働

稼働率90%以下は，いわき市上荒川の布施研究室の機器で，測定の実験や準備時に一時的に停止したり，研究室のネット配線変更時に切り替えに気づかなかったり，コンセントを間違えて抜いたりと，人為的な原因であった．その他の一般協力者の測定器では，すべて稼働率90%を超えた．

5．まとめ

多くの市民から，各モニタリングポストにアクセスがあり，最大アクセスポイントで10万件近いアクセスがあった．事故直後の緊急時には，高性能機器でなく安価な簡易型のものであっても，ある程度の環境放射線の計測が可能なことがわかった．また，1地点を除き，実際に9地点を90%以上の稼働率で運用することができた．そして，震災後の設置直後には，市民から下記の様なコメントが寄せられた．

- 幼い子供がいるのでいつも線量を見てから外出しています．
- 毎日子供達を学校に送っていく前にサイトをチェックしています．
- 毎日生活を送るうえで参考にしています．
- 放射線量マップの中で一番参考になりました．
- 今，国や県や市が出している数字をまったく信じることが出来ません．
- リアルタイムだからこそ信じられる．
- 公の測定ではリアルタイムで見られるものが殆んど有りません．大変有為かと思われます．

また，取り付けてから数ヶ月は余震時にアクセス数が増える傾向があり，また，H24年1月頃は，福島市の定時降下物の値が大きくなり，ネットで話題に登った時は，アクセスの増加が見られた．精度について課題などはあるが，安価で緊急時に素早く設置できたことは評価でき，市民へ放射線の変化を伝えることができ役割を果たした．今後は，安価な学習用機器としての利用も検討できる．

参考資料・URL

1）ストロベリーリナックス社 http://strawberry-linux.com/
2） ㈱まえちゃんねっと http://maechan.net/
3） OBIS http://obis.sc/
4）福島県原子力災害情報モニタリング結果一覧 http://wwwcms.pref.fukushima.jp/
5）ガイガーカウンター リアルタイム観測網 http://bousai.maechan.net/nuclear/
6）ガイガーカウンター リアルタイム GPSマッピング http://bousai.maechan.net/nuclear/gps/
7）放射線量測定マップ（文部科学省） http://radioactivity.mext.go.jp/map/ja/
8）福島/いわき市放射能情報 http://iwakicity.org/

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 16, No. 1, p. 21－30 (2012)

実践報告

生徒が主役の放射線教育２年間の歩み

佐々木　清
福島県郡山市立明健中学校教諭
〒963-8051　福島県郡山市富久山町八山田字大森新田 70 番地
（受理月日：2013.2.18　修正：2013.3 .14 ）

［要旨］東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所の事故により，福島県全体に高濃度の放射性物質が拡散した。そのため，10 万人を超える福島県民が，今もなお放射能汚染のために避難生活を続け，約６万人が県外に避難している。このような状況の中で，福島県の未来を築く目の前の子ども達にとって，正しく放射線を理解し，正しく怖がる教育を実践することが急務となっている。そこで，原発事故があった 2011 年を「放射線教育元年」と位置づけ，生徒が主役の放射線教育を展開してきた。そして今年度２年目には，郡山市中学校教育研究会理科部会において放射線教育推進委員会を立ち上げ，仲間と共に，手を取り合って放射線授業を推進してきたので，その教育実践の概要を報告する。

１．はじめに　－　「めざす福島の生徒像」と「生徒が主役の授業」をめざして

放射線に関する授業を構築する際，知識だけの伝達では，今回の甚大な原発事故による外部被ばくを受け，ただ国や地方公共団体からの情報や判断を待つだけに終わってしまう。放射能の拡散状況を把握し，「自ら考えて行動する福島県民」に育てることができない。そこで，実践にあたり，放射線教育を通して**めざす福島の生徒像**を以下のように設定した。

> **自ら放射線量を測定し，自らデータを分析して判断し，**
> **互いに助け合って行動できる生徒**

学習指導要領では，中学３年理科で放射線の内容は触れる程度にしか扱われておらず，これでは**めざす福島の生徒像**にたどり着けない。そこで最初は各地に赴いて研修を積み重ね，または目の前の子ども達が目を輝かす教材を集め，授業プランを練り上げてきた。

さて，授業を展開する際最も大切にしなければならないのは**生徒が主役の授業**である。私が放射線授業を通して子ども達に教えるよりも子ども達から学ぶことが多い。まずは子ども達が何を考えているか「**見取る**」こと。次に子どもの良さを見つけ「**褒める**」こと。そして子ども一人一人の心をケアし「**思いやる**」ことが基本で，子ども達に教えながら「**子どもから学ぶ**」ことがとても重要である。これが教師にとっても子ども達にとっても**自己達成感**を味わい，互いに優しさ・温かさを共有し合える人間関係を育くむ。まさしく，「**生徒が主役の授業**」こそが**教育の原点**であり，今後震災が発生して私たちがそばにいないとき，生徒たちは「**自ら考え行動する福島県民**」となって，困難を乗り越えることができる。

２.福島発信！『放射線教育元年』 ～放射線に向き合う力を育てるために～

2.1 「忘れてならない！」東京電力福島第一原子力発電所事故

平成 23 年３月 11 日午後２時 46 分，マグニチュード９の東北地方太平洋沖巨大地震が発生。建築物倒壊・道路寸断・火災など東日本を中心に各地で甚大な災害が次々と起きた。本校の校舎が大きく揺れた。校庭も波打ち，土にしみこんだ雪解け水が噴き出して液状化現象も起きた。校舎から体育館への渡り廊下に亀裂が走った。ほんのわずかに揺れが収まった瞬間，「今だ!すぐに校庭へ逃げろ」教室で待機していた生徒達が大急ぎで校庭に避難した。ゴォーッ！と幾度も不気味な地鳴りとともに，震度６弱の余震が押し寄せてきた。

写真１　体育館通路に亀裂が走る

写真２　校庭でうずくまる生徒たち

巨大地震発生 56 分後，大津波が大熊町にある東京電力福島第一原子力発電所を襲った。原子炉では炉心溶融が進み，ついにあってはならぬ事態が起きてしまった。12 日午後３時 36 分第１号機が水素爆発し，白煙が立ちのぼった。そして 14 日午前 11 時 01 分，第３号機でも水素爆発が起きて黒煙が立ちのぼった。深刻とも言うべき大量の高濃度放射能を帯びた空気のかたまりが，ゆっくりと北西へ向けて福島県内陸部へ流れ込んできた。しかし，放射能を浴びた空気の動きは福島県民の誰にも知らされていない。ましてや，津波で家を失い，放射能危険区域から必死に避難している人々にも…。これが，福島県の青い空を，清らかな川や湖沼を，そして豊かな恵みを与えてくれる土壌を高濃度の放射能で汚染し，２年余りを過ぎた今もなお福島県民を苦しめている。「高濃度放射能漏れ」と地元新聞で報じられたのは３月 16 日で巨大地震発生の４日後である。報道があまりにも遅い。なぜすぐに SPEEDI の情報を流してくれなかったのか，悔しさと憤りがわき出てくる。

図１　３月１２日第一号機水素爆発

図２　３月１６日放射能漏れを報道

2.2 『放射線教育元年』の研究実践の動機

福島第一原子力発電所の事故による放射性物質の影響は甚大でありながら，３月を過ぎ

てもリアルタイムの空間線量率が正確に報道されない。仕方なく自治体ごとに放射線量の測定や除染活動などが実施され，放射線防護活動に踏み切つた。この劣悪な東日本大震災の中「今自分にできることは何か。それは未来の福島県を担う子ども達のために放射線教育の指導計画を立案し，一刻も早く放射線教育の授業を実践することにある」と考えた。そこで2011年９月から**『放射線教育元年』**と名付け，放射線教育活動をスタートさせた。

2.3 『放射線教育元年』の実践

【実践１】　放射線量の測定技能・データ分析力・科学的な判断力を身に付ける中学校理科放射線教育指導計画の作成

（１）放射線教育で身に付けたい力

① **環境モニタリング力**　→　自ら放射線量を正確に測定する力

② **データ分析力**　→　放射線量の変化に気づき，放射線量のデータを分析する力

③ **科学的な判断力**　→　科学的な根拠に基づく情報を選択し，判断する力

④ **リスクコミュニケーション力**　→　放射線被ばくを少なくするため，科学的事実に基づいて本音で話し合い，互いに理解し合う態度

（２）放射線教育指導計画の特徴

① 中学校３年単元「自然と人間」以前に**１年から**関連ある単元で**放射線教育**を行う。

② 毎日測定している放射線量データを活用し，**科学的な分析力**を身に付ける。

③ 知識の伝達ばかりでなく，**実験や放射線量計測，モデル製作**，原発事故などの検証を行う。

④ **総合的な学習の時間**（放射線の人体への影響・放射線防護対策など）とリンクさせて実施する。

⑤ 放射線教育に貢献した科学者の実績を紹介するなど，**科学史的な取り扱い**を行う。

⑥ 放射線授業は、**「知識」＋「観察・実験」＋「事実」**の**３本柱**で構築する。

【実践２】　生徒の科学的な表現力を高め，放射線に対する生徒の関心と保護者の期待度合いの把握できる環境レポートの点検活動

（１）夏休み・冬休み環境レポートの作成手順

① 環境に関する新聞記事やインターネット情報を環境レポート用紙に貼り付ける。

② 記事や資料を読んで，重要と思われる文章の部分にサイドラインを引く。

③ サイドラインの文章をまとめる。

④ キーワードについて自分なりに調べる。

⑤ 環境レポートを作成しての感想を書く。

なお，①～⑤を基本とし，さらに時間をかけて内容を充実させたい場合は，インターネット情報の追加やキーワードの詳細な説明，主張，図表の作成やカラーペンの活用などによるレイアウトの工夫など，表現の観点を環境レポートの上部に掲げ，推奨している。

（2）放射線教育への期待が読み取れる環境レポートが多数提出

２学期になってすぐに環境レポートを集めた。放射線は中学１年生にとってとても難しい学習内容である。しかし，「放射線」というキーワードの書いてあるテーマを掲げ，環境レポートをまとめてきた生徒が，１年生全体の **62%**に達しており，**150** 数枚集まった。さらに１年生ながら，キーワードをカラーペンで書いて見やすくするなど，とてもわかりやすい力作の環境レポートも多く見られた。中には家庭で線量測定器を購入し，新聞で公表されたデータと比較しながらグラフに表している生徒もおり、放射線教育に対する保護者の期待とともに、いっしょになって放射線に関する内容を学びたいという気持ちが伝わってきた。

図３　夏休みに生徒がまとめた環境レポート例

【実践３】　思考の練り上げ（Oneself→Pair→Group →Team →All ）と「学びのノート」によって，自ら考え，放射線に向き合う力を育成する授業

（1）思考の練り上げで放射線に向き合う力（科学的な思考力・判断力・表現力）を育成

① Oneself：まず，自分なりの考えを「学びのノート」に書き込む。

② Pair：次に隣の人と共に二人で考えを聞き合い取り入れ，互いに赤ペンで修正する。

③**Group**：２つの **Pair** が合体し，四人で考えを出し合い青ペンで修正する。そしてホワイトボードに班としての考えをまとめる。

④**Team**：同じ考えのホワイトボードを黒板に貼り付け互いに考えを確認し反論し合う。

⑤**All**：発表を聞き合いながら，どの考えが科学的な根拠に基づいているか，どの班の表現が分かりやすいかを自分で判断する。

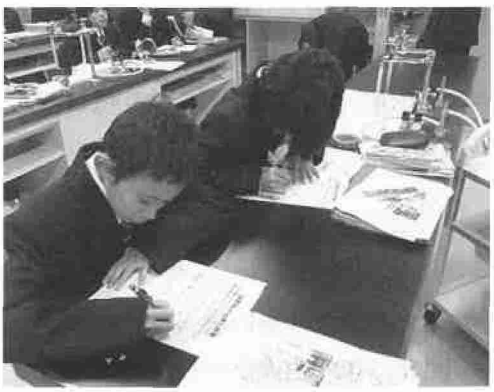


写真３　Oneself：まず，自分の考えを書く


写真４　Pair：次に相手の考えを取り入れる

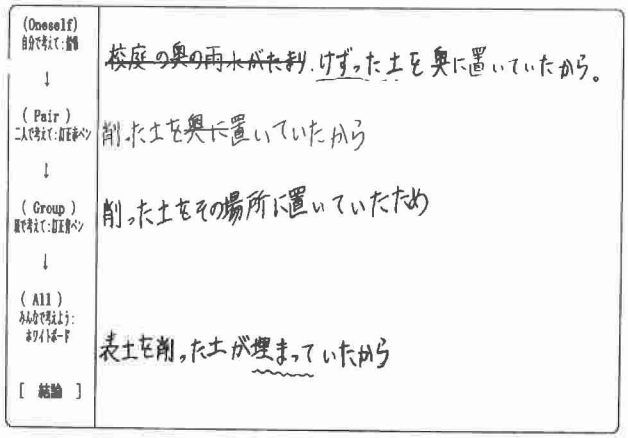
写真５　Group：互いの考えを出し合う

写真６　All：ホワイトボードにまとめる

（２）「学びのノート」で生徒一人一人の科学的な思考力・判断力・表現力を評価

生徒一人一人が思考の練り上げを行った経過を上記の①～⑤に沿って「**学びのノート**」に書き留めている。

授業後にじっくり目を通しながら生徒の思考の履歴を見取り，授業のねらいの達成状況を確認し，コメントを書き込んで返却している。さらに，「**科学的概念を形成するための探究活動の評価基準**」を基に，生徒一人一人の「科学的な思考・判断・表現」の状況を評価している。



(Oneself) 自分で考えて：鉛筆 ↓	~~校庭の奥の雨水が流れ~~ けずった土を奥に置いていたから。
(Pair) 二人で考えて：赤ボールペン ↓	削った土を奥に置いていたから
(Group) 班で考えて：青ボールペン ↓	削った土をその場所に置いていたため
(All) みんなで考えよう：ホワイトボード	表土を削った土が埋まっていたから
[結論]	

図４　「学びのノート」への記載例

授業終了後生徒に感想を聞くと，「私たちは長い間，放射線と向き合わなければなりません。福島から離れることを考えている人もいると思います。でも福島県はとてもいいところです。福島を復興させるのは私達です。」と真剣なまなざしで訴える生徒がいた。

なお，公開研究授業の様子は，「中学理科放射線教育らでぃ」の教材コンテンツで動画配信されているので，ご参考にして頂ければありがたい。

2.4 生徒の意識変容および生徒が学びたい放射線の学習内容

研究授業前後において，１年生全体の認知面の変容調査の結果を見ると，５段階総合評価で各項目とも飛躍的に伸びているとともに５項目全てが**4.5 以上**を示した。また情意面の変容調査の結果を見ると，「学習意欲」と「実験・計測意欲」は**4.2 以上**を示した。今後生徒が学びたがっている放射線の学習内容をアンケートした結果，「放射線の人体への影響」や「原発事故による放射能汚染状況」が最も多く，生徒達の日常生活において放射能汚染に対する不安を隠せないことがわかった。

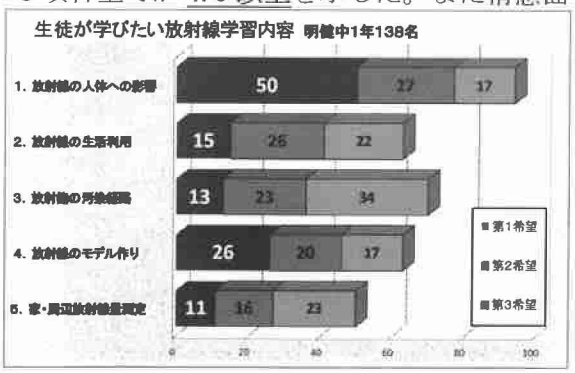


図５　生徒が学びたい放射線学習内容の調査集計グラフ

2.5 『放射線教育元年』研究実践の成果

視点１　放射線教育指導計画を作成した成果

中学校理科として各学年にどのような内容で放射線教育の授業を進めていけばよいのか，また，文部科学省で発行された放射能に関する副読本を含め，どのような教材を使用すればよいかが明確となり，一覧表でとてもわかりやすく表示できた。

視点２　「環境レポート」を作成させた成果

生徒一人一人が時間をかけ，分かりやすく書いている環境レポートが数多く提出され，科学的な表現力を高めることができた。また，環境レポートから放射線への関心の度合いが把握でき，放射線教育を進める原動力になった。

視点３　思考の練り上げによる成果

放射線の授業において，放射線に関する知識の伝達ばかりでなく，観察・実験・計測を取り入れることによって，生徒の学習意欲が高まった。また，課題解決の場において思考の練り上げの場を保障し，自分の考えを学びのノートに記入させることにより，思考過程がわかり，生徒一人一人の科学的な思考力・判断力・表現力を育てることができた。

３．福島発信！『放射線教育２年目』への挑戦！ ～仲間と共に，手を取り合って～

3.1 「東日本大震災復興」に向けて

甚大な被害を及ぼした福島第一原子力発電所の事故から約２年が経とうとしている。その間，**東日本大震災からの復興**をめざして莫大な国費が投入され，また，日本全国から心温まるボランティア活動など，支援の手が差し伸べられ，放射能汚染の被害を受けた福島県民の暗闇の心に，ひと筋の希望の明かりを点して頂いた。

さらには郡山市をはじめ，福島市や伊達市そして福島県外の青森市や仙台市，東京都などにおいて**「福島発信！放射線教育実践の歩み」**と題して講演をさせて頂くと，必ずと言っていいほど「何かお手伝いできることがあれば遠慮なく申し出て下さい」と励ましのメッセージやアイディアを頂いてきた。これが遅々として進まない放射線教育であっても，次のステップへ向けての大きな励みになり，そして目の前の子ども達のために実のある放射線授業を展開しようと奮い立たせてくれた。これが仲間との**「繋がり」**の第一歩であり，念願の中学校教育研究会理科部会が再開され，共に手を取り合って放射線教育を推進する原動力となってきた。とてもありがたいことである。心より感謝申し上げたい。

写真７　除染モデル実験に取り組む生徒達

写真８　福島県中教研主催放射線教育研修会

3.2 廃炉作業・除染活動が進まない！

巨大地震によって倒壊した建物や寸断された道路などはだいぶ復旧し，ライフラインも確保され，以前の生活が戻りつつある。しかし，福島第一原子力発電所の事故により，高濃度の放射能を排出し続ける中，原子力発電所の廃炉作業は思うように進展していない。また，福島県土を汚染した放射性物質の除染活動は，中間貯蔵施設が決まらないこともあって難航している。さらには放射線による人体への影響が懸念され，原発事故の影響で引き裂かれた家族は数々の悲劇に遭遇しているなど復興の道筋はいまだ五里霧中である。

このような状況の中で，今年，福島県教育委員会は，小・中学校の児童・生徒に対して２～６時間程度の放射線教育を進めるように通達した。放射線教育の適切な教材が不足している中，放射線の何をどのように教えるか，教師達も悩み続けている。

3.3 このようなときこそ，手を取り合って

「放射線教育２年目」を迎え，放射線授業を推進するのに課題が山積する中「仲間と共に手を取り合いながら，今何ができるのか」「福島の未来を築く目の前の子ども達のために，どのような放射線授業を進めなければならないのか」と真剣に考えなければならない。そこで，今年再開された郡山市中教研理科部会を軸に少しずつ課題を克服し，福島県中学校教育研究会理科部会と連携強化を図り，さらには全国中学校理科教育研究会と**両輪**で放射線教育を推進していく必要があると考えた。また放射線教育２年目になって，**仲間と共に手を取り合って**，次のような放射線教育を推進してきたので，その実践を報告する。

3.4 『放射線教育２年目』の実践

【実践１】　空間線量率変化の予測についての思考の練り上げと，土壌の遮へい効果を確かめる除染モデル実験を行い，言語活動の充実を図った授業

（１）放射線教育を通しての「めざす福島の生徒像」　→　放射線教育元年と同様
（２）放射線教育で身に付けたい力　→　放射線教育元年と同様
（３）思考の練り上げによって，言語活動の充実を図る授業　→　放射線教育元年と同様
（４）土壌による遮へい効果を確かめる除染モデル実験

2011 年３月に福島第一原発で水素爆発を起こし，高濃度の放射性物質が福島全体に拡散した結果本校でも当時セシウム 137，および 134 から３～５μSv/h のγ線が計測された。およそ３カ月後，生徒たちの健康を考え，校庭の表土を約 10cm ほど削り取り，ピラミッド型に積み上げた。しかし，中間貯蔵施設がないために運び出せず，応急処置として校庭に穴を掘って削り取った表土を埋め，その上に約 50cm ほど，線量の低い土壌をかぶせた。この結果空間線量率が 0.2～0.3μSv/h と低くなり，周囲とほ

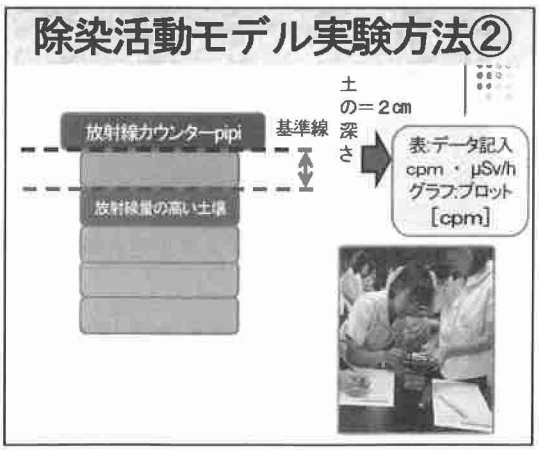


図６　除染モデル実験方法と計測している様子

とんど変わらない状態となった。

しかし校庭の表土が埋めてあることに対する不安は隠せず，土壌による遮へい効果を調べるために，**除染モデル実験**を考案した。厚さ約２cmになるようにビニール袋に土を詰め込み，やや放射線量率が高い土壌の袋を１段ずつ下げていき表面の放射線量を測定した。その結果，**図７**のような減衰曲線が得られ，放射線の計数率が深さ３cmで半分に，８cmで４分の１まで下がった。ゆえに校庭には，表土の上に線量の低い土壌が約50cmほどかぶせてあるので，安全であることを確かめることができた。

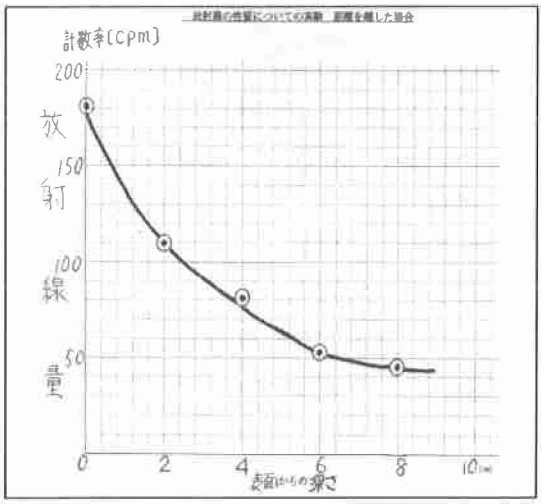


図７　除染モデル実験で得られた減衰曲線

【実践２】　養護教諭とのＴＴ授業を展開して，放射線による人体への影響と防御について理解を深めた授業

生徒達が放射線授業で最も学びたい内容は**放射線による人体への影響と防御法**についてである。そこで，保健だよりなどで生徒の健康管理の啓発活動を行い，より専門的な研修を受けている養護教諭とＴＴ授業を行った。最初は理科教諭から，放射線による細胞のＤＮＡ損傷および修復・細胞死また変異細胞・がん細胞の発生過程について説明した。次に養護教諭より，変異細胞を除去するためには「免疫力」を高めることが最も大切であることを，とてもわかりやすい掲示物を駆使し，生徒達にとっても納得できる説明をして頂いので，真剣になって「免疫力」を高める方法について聞いていた。また，放射線から自分の体を防御する方法として，「バランスの良い食事・十分な睡眠と休養・適度な運動」がとても重要であることを認識し，これが自分の日常生活を見直すきっかけとなった。

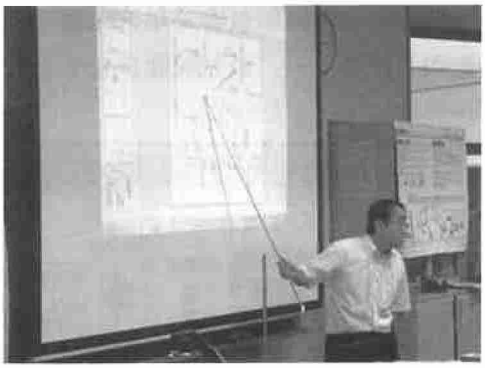


写真９　理科教諭が放射線によるＤＮＡ損傷を説明

写真10 養護教諭が免疫力を高める方法を説明

【実践３】　放射線推進委員会によって，共に手を取り合いながら放射線授業内容を深め，推進してきた経過

（1）放射線推進委員会による放射線授業の推進と公開授業

福島第一原発事故の年に福島県の小中学校では，正常な授業再開へ向け，校舎修復など県民一丸となって力を尽くしてきた。そのため，中学校教育研究会を開催できなかった。次の年の2012年度になってようやく再開され，放射線教育の実践が重要課題となった。そこで，放射線教育推進委員を公募したところ，郡山第四中学校・湖南中学校・福島大学附属中学校の先生が名乗りを挙げ，私も含めて４人で，放射線授業の推進に当たり，それぞれ公開授業も行った。また郡山市中教研理科部会では，放射線教育の重要性から**放射線教育推進委員会**を立ち上げ，会員全員が共に手を取り合って放射線教育の研修や放射線授業に関する情報を互いに交換する場となった。

写真 11 郡山第四中学校放射線授業研究公開

（2）福島県中教研理科部会主催の「放射線に関する研修会」を開催

放射線に関する知識をほとんど理解していない状況を受け，福島県各地で大学教授などの研究専門家を招へいして放射線に関する研修会が行われた。しかし，放射線の専門的な知識を，目の前の子ども達にどのようにわかりやすく教えていけばよいのか悩んでいる。そこで，本校にて福島県中教研理科部主催で**「放射線に関する研修会」**を開催し，放射線の知識とともに，放射線授業実践の発表やポスターセッション，霧箱による簡易放射線の飛跡観察を行った。お陰様で福島県各地から78名もの参加者があり，大盛況を博した。

写真 12　放射線授業実践の発表の様子

写真 13　先生方のポスターセッションの様子

（3）ウクライナ・ロシア視察報告から「きずなスクエア」構想へ

2012年7月15日から21日の１週間元文部大臣有馬朗人を団長に**「ウクライナ・ロシア視察」**に同行する機会を得た。最大の目的は，事故から26年を経たチェルノブイリ原発の現状とこれまでの取り組みを学び，福島原発事故により生じている不安や動揺などに対応した学校教育としての放射線教育への取り組みに生かすことである。視察前後特に興味抱いた施設は，子どもを含めた地域住民の心のケアを行っているイワンキフ地区の**「社会心理リハビリセンター」**でこの施設をモデルに**「きずなスクエア」構想**を立ち上げた。

図８　「きずなスクエア構想」原産協連携

3.5 『放射線教育２年目』研究実践の成果

視点１　思考の練り上げおよび除染モデル実験による成果

思考の練り上げによって，自分なりの考えを持ち，他者に的確に分かりやすく伝え合うことによって，自分の考えや実験班の考えを深めることができた。また言語活動の充実を図りながら，生徒の科学的な思考力・判断力・表現力を高めることができた。さらに除染モデル実験によって，土壌による放射線の遮へい効果を明らかにすることができた。

視点２　養護教諭とのＴＴ授業を行った成果

放射線による人体への影響と防御の学習を養護教諭と共にＴＴ授業を行うことによって「免疫力」を高めるためにバランスの良い食事や睡眠，適度の運動が必要であることを認識し，自分の日常生活を見直すきっかけとなった。

視点３　仲間と共に，手を取り合って放射線授業を進めた成果

放射線教育推進委員会を設立され，主体的に放射線授業が実践されたことによって，広く放射線教育実践の情報が伝達され，放射線被ばくを受けた福島県の実情に応じた深まりのある授業が展開されることになった。

４．おわりに　－　『放射線教育３年目』の授業実践に向けて

中学校教育研究会理科部会が再開されると同時に「**放射線教育推進委員会**」が設立され，一人一人の放射線授業の実践が，二人へ三人へと手を取り合ってネットワーク化された。さらに研修会や講演会を通して，福島県内外の先生方や大学，関係諸機関とも連携も図ることができ，まさしく放射線教育を推進する中で「**放射線教育２年目**」は，大きく飛躍した年であった。これまでにご助言・ご支援頂いた方々に心より感謝申し上げたい。また，試行錯誤しながら放射線授業を実践させてくれた本校の生徒たちにも感謝を述べたい。

今後も，全国の方々にご指導を頂きながら，放射線教育の教材開発を進め，原発事故被災県の現状および放射線教育の実践を全国に向けて発信していきたいと考えている。

そこで「**放射線教育３年目**」へ向け，次のような放射線教育の取り組みを考えている。

（１）「福島発信！科学的に放射線を探究する教育課程」の提案(全中理東京大会発表)
（２）中学校３年放射線授業の考案および関係資料の収集・教材開発
（３）中学３年放射線教育の研究授業公開
（４）全国理科研究会主催「放射線・エネルギー環境教育研修会」の企画および運営
（５）福島県版放射線に関する学習指導案・関係資料等のＤＶＤ化および配付
（６）「きずなスクエア」の具現化（設立プラン・地域放射線教育推進計画・支援策）

参考文献

1) 文部科学省『中学校学習指導要領解説理科編』（2008 年９月発行）
2) 文部科学省『知るところから始めよう放射線のいろいろ-中学生のための放射線副読本-』（2011 年）
3) 文部科学省『言語活動の充実に関する指導事例集中学校編』（2012 年６月発行）
4) 全国中学校理科教育研究会『ウクライナ・ロシア教育状況視察報告書』（2012 年発行）
5) 日本再建イニシアティブ『福島原発事故独立検証委員会調査・検証報告書』(2012 年)
6) 日本原子力文化振興財団『いま知りたい　からだと放射線』（2012 年発行）

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 16, No. 1, p. 31 — 36 (2012)

実践報告

高校生のための ^{14}C 年代測定と土器の編年による寄島遺跡の年代決定の一方法

大津浩一
愛知県立熱田高等学校
〒456-0054　名古屋市熱田区千年 1-17-71
2013 年 2 月 2 日受理

[要旨]熱田高校の希望生徒を対象に、放射線の科学的な理解と先入観としての嫌悪感の軽減を目指す講座を行った。『遺跡の年代決定 Now!』と銘打ち、生徒の参加意欲を高め、かつ、他の教員の理解・協力を得やすいように、放射線教育とは違った観点でも魅力的な、体験的な活動を含む総合的な学習活動とした。事後アンケートにより、放射線に対する意識変化と、総合的な思考能力および学習へのモチベーションの向上を確認した。

1. 目的

放射線教育以外の視点を含み、以下のように設定した。

①放射線への科学的な理解を増進し、**先入観としての嫌悪感**の軽減を目指す。放射線への好奇心を喚起する。

②課題に対して、先入観のない総合的な視座で考えることの重要性を感じさせ、また、その能力を涵養する。

③歴史に対しての好奇心を喚起し、文系理系の境界を越えた学習へのモチベーションを獲得させる。

2. 方法

2.1　日程

表 1　講座のスケジュール

(2011) 7.21	ミッキーマウスのスタイルと編年（城ヶ谷和広教頭） 遺跡の年代決定 Now！（愛知県埋蔵文化財センター　鬼頭剛氏） 放射性炭素年代測定法の種明かしとラドンでの半減期の実験（大津浩一教諭） 世界から見た日本（加藤健司教諭）	熱田高校物理室
8.18	遺跡での地下の観察および発掘実習，年代測定試料の採取 （愛知県埋蔵文化財センター　永井邦仁氏　他） 姫小川古墳巡見（愛知県埋蔵文化財センター　赤塚次郎氏）	安城市寄島遺跡 安城市姫小川古墳
8.22	地下 100m と 300m の巡見（研究坑道） ペレトロン年代測定装置研修（日本原子力研究開発機構　國分陽子氏他）	瑞浪超深地層研究所研究坑道 東濃地科学センター本部ペレトロン年代測定装置
(2012) 2.22	よみがえる寄島遺跡の姿（愛知県埋蔵文化財センター　永井邦仁氏） 自分たちで発掘した木片試料の ^{14}C 年代測定結果　（大津浩一教諭）	熱田高校物理室

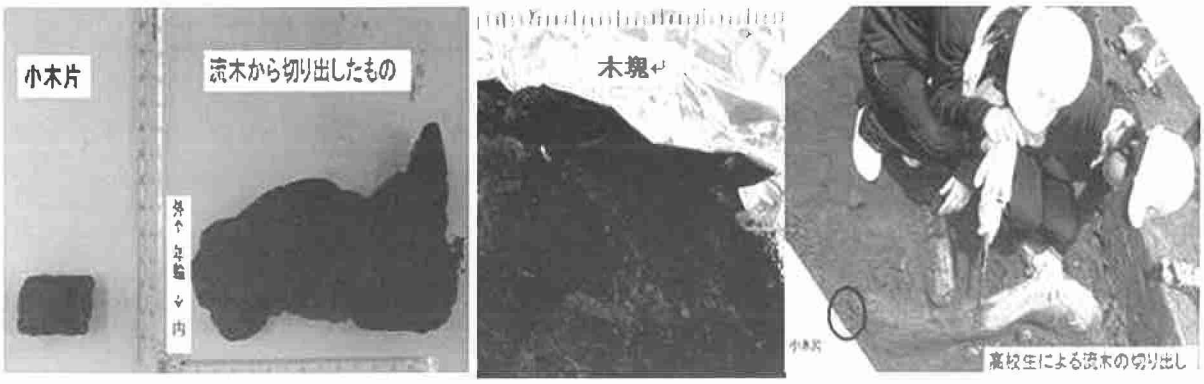


図１ 測定試料の写真

表１のような講座を開催し、最終日の参加者にアンケートを行った。

第１日は、考古学を概観し、層序・編年による年代測定と、^{14}C 年代測定[1)]を解説した。

第２日は遺跡での発掘実習を行い、^{14}C 年代測定の試料を採取した。

第３日は、午前に、東濃地科学センター瑞浪超深地層研究所の研究坑道の巡見を行い、深地層の様子を学んだ。午後に、ペレトロン年代測定装置（補遺参照）研修を行ったが、特に、生徒たちに試料調製の大変さを実感させることができた。

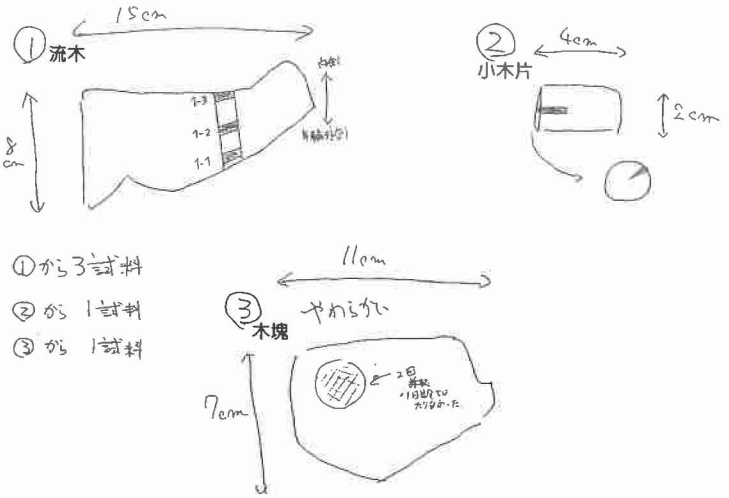


図２ 試料採取メモ

第４日は、発掘した遺跡の年代について、編年を基にした年代と、^{14}C 測定のデータの年代の整合性の講義を行った。

2.2 仮説

高校生に対して、^{14}C 年代測定の妥当性を認識させるため、以下の確認を目指した。

①同じ所から出土したすべての個別の試料が同じような年代を示す。

②ひとつの塊からならば試料をどの場所からとっても同じ年代を示す。

2.3 試料採取

^{14}C 年代測定試料として、近傍から発掘され、同じ堆積層に属していると思われるものを高校生が３点採取し、図１，２のように６試料を測定にかけた。流木から年輪が視認できる木片を切り出したもの（以下、流木と呼ぶ）からは、年輪の外側・中・内側の３試料を測定にかけた。柔らかな木塊は、全体が黒色だが、茶色の物質が混ざっているように見えた。それぞれに分けて２試料測定した。小木片は円柱状の枝または根と思われ、１試料を測定にかけた。

3.結果および考察

3.1 測定結果および考察

表２　測定結果（^{14}C のみを表示）

	^{14}C Libby Age（補遺参照）	試料 ID
流木 1-1	1,970 ± 80	8893
流木 1-2	1,830 ± 90	8894
流木 1-3	1,750 ± 90	8895
木塊（黒色）	1,920 ± 80	8896
木塊（茶色）	1,800 ± 90	8898
小木片	1,950 ± 80	8897

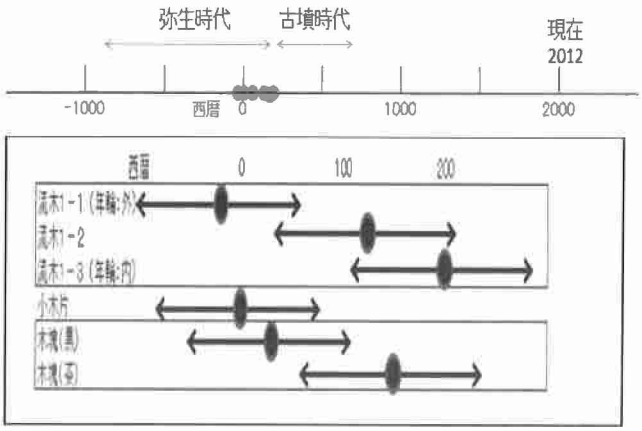


図３　測定結果のばらつき

東濃地科学センター付近で土砂崩れや停電を起こした台風のためにペレトロン年代測定装置が故障した。完全な調整を待たずに測定を行ったが、それでも 10 月が予定の最終講義が２月となった。装置本来の誤差程度であれば、他のデータも有意に差が出たものと考えられる。残念ではあった。

2.2－①について

図３上より、すべての試料が同じような年代を示しているとは言える。しかし、図３下より誤差棒（±１σ）まで考慮した場合、同じ年代を示しているとは言えない。これらのデータから、それぞれの炭素年代が正しいと仮定した場合に、同じような場所から出土しても、地層の撹乱等を考慮する必要が理解できる。そもそも測定試料が、出土した遺跡と同じ時のものである保証がない。土器に付着した焦げ、あるいは、明らかに使用されていた柱等そのものを分析するのでなければ、慎重な試料選択、ないしは多数の試料の測定が重要であることを示すことができた。

図３下より、木塊については、同じ年代であるともないとも有意に言えない。

2.2－②について

流木では、年輪ができた時間の差だけ、細胞分裂をする表面側（年輪の外側）が新しいはずだが、測定結果は有意にその逆を示している。測定担当者もそれに気付き、試料の取り違えなどがないことを再確認した。図４のように、試料の一部分のカーブだけからの判断で、外側を取り違えているかもしれない。それを確認するには、年輪の成長のグラデーションの様子を顕微鏡で調べればよいことがわかった。試料を観察したところ、図５のように、新しい木片ではグラデーションは明快にわかるが、古いものはいろいろなものが結晶化して付着していて、判断できなかった。逆にこれを観察することで、年代測定の準備の、酸・アルカリ・酸処理の必要性を理解することができた。

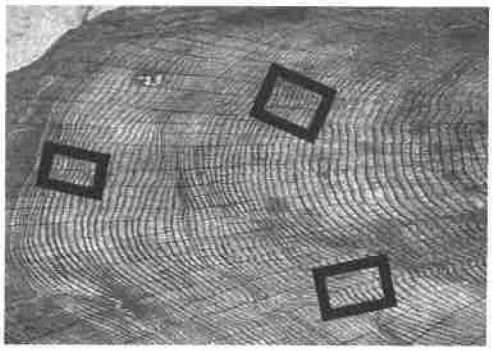


図４　部分的にはカーブが逆向きになる

ちなみに、年輪の濃色部（ともに黄土色）の幅は、ともに１ｍｍ程度である。

流木の年輪の外側を取り違えていると仮定すれば、３試料が年輪分だけずれている、つ

図５　年輪のグラデーションの写真

まり、同一試料は同一年代を示していると言える。試料を流木から切り出すときに注意を払うべきであった。

ペレトロン年代測定装置研修を行ったことで、試料作製に関してのサイエンスと、また、その手順の重要性と大変さを実感させることができた。

講座最終日の永井邦仁氏の講義で、この遺跡は弥生時代末から古墳時代初めのものと考えられると解説をいただいた。^{14}C 試料の測定値のちらばりと同じ範囲である。測定にかけた試料は、寄島遺跡の端の川跡から出土したが、川であるがゆえに、地層の上下の入れ替わり等も考えられるとのことだった。また、川跡から出土した柱や土器などは、主に川の寄島側と反対側からだったので、同時代に川を境界として隣接した下懸遺跡[2)]の集落が不要物を川岸から捨てたものと考えられるとのことだった。

今回は、たくさんの出土品と測定試料があったが、それぞれ相補う存在だった。どちらか一方のデータだけの場合もあるが、どちらも重要な遺跡の年代決定の手段であるし、どちらもサンプリング次第で間違った判断になる可能性があるとの指摘があった。

3.2 アンケート結果および考察

参加者は、希望者14名で始まったが、ペレトロン年代測定装置の故障により、当初の最終講義予定の10月が、年が明けての2月になり、入試などのために参加者が9名になったのは残念であった。アンケート記入者（最終日の参加者）は2名が3年生の文系生徒。7名は理系または理系に進もうと決めている物理部の生徒であり、バイアスがかかったアンケートであることは注意が必要である。

表3　個々の生徒の講座前後の意識変化

質問	受講	Yes←1, 2, 3, 4, 5→No									平均
1	前	2	2	1	2	1	2	1	1	4	1.8
放射線　興味深い	後	1	2	1	2	1	1	1	1	2	1.3
2	前	4	5	1	2	1	1	3	1	4	2.4
放射線　ベネフィット感じる	後	2	2	1	2	1	1	2	1	3	1.7
3	前	1	1	1	3	1	2	2	2	5	2.0
放射線　リスク感じる	後	2	1	1	3	1	2	2	2	2	1.8
4	前	3	1	4	5	2	5	4	1	3	3.1
歴史　興味深い	後	2	1	2	3	2	5	3	1	2	2.3
5	前	3	4	4	3	2	4	3	2	5	3.3
理系と文系の繋がり　感じる	後	1	2	1	2	2	4	2	1	3	2.0
6	前	3	4	3	1	4	3	4	3	3	3.1
文理ともに理解する必要性　感じる	後	1	1	1	1	2	3	2	2	2	1.7
7	前	4	2	4	3	3	5	4	3	2	3.3
文理とも学習のモチベーションあり	後	2	2	2	2	2	5	3	3	2	2.6
8	前	3	2	2	5	3	2	3	2	5	3.0
答えの出にくい問題を多面的に考えることができる	後	2	1	1	4	2	2	2	1	3	2.0
9	前	2	1	1	3	3	2	3	1	2	2.0
答えの出にくい問題でも自分で答えを出すのは重要	後	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1.2
10	前	2	1	1	1	2	2	3	2	4	2.0
自由参加型のセミナーに積極的に参加したい	後	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1.4
学年		3	3	2	2	2	1	1	1	1	

目的①について、質問１～３で目的を達したと考えられる。特に、当然とは言えベネフィットへの理解が進んだ。

目的②について、質問８，９，１０で目的を達したと考えられる。特に質問９，１０への回答は今回の講座の有効性を感じさせた。

目的③について、質問４～７で目的を達したと考えられる。

アンケート結果は、体験活動を含む放射線理解の講座が、放射線理解以外にも大きな効果があることを示した。また、そのことが予想できたために、文系教科の教員を含むたくさんの方の協力が得られたものと考えられる。考古学で ^{14}C 測定を扱った授業を行っている事例[3]はあるが、人数を制限して課外に位置付けることで、体験的な活動として遺跡での実際の発掘などまで行うことができた。

4. 結語

適当な目的を設定することで、人的・予算的協力を得ることができ、また、総合的な視座で論理的に思考する生徒を育てることができる。放射線が関係するアクティビティーを含む活動を設定する意義は大きい。産業で利用されているもの（脱臭剤や改質）を扱ってみたい。

一方、教育現場が多忙を極めているなかで、こういう企画を作る労力を厭わないほどのモチベーションをいかに教育職員に獲得してもらうかが次の問題である。その解のひとつは、教員が、また、将来の教員である高校生が放射線科学を面白いと感じる機会を作ることであり、倦まず弛まずアピールを続けていきたい。

補遺　ペレトロン年代測定装置について

1　装置の概要

今回 ^{14}C 測定に使用した装置は、日本原子力研究開発機構東濃地科学センター（岐阜県瑞浪市）にあるペレトロン年代測定装置[4]で、タンデム型加速器質量分析装置（AMS:Accelerator Mass Spectrometry）である。試料に含まれる炭素をイオン化して加速し、磁場をかけることで質量ごと（分子量ごと）の回転半径で曲がることを利用している。加速器はファン・デ・グラーフ型である。電荷を運ぶ部分が、ゴムベルトの代わりに、プラスチックと金属が交互に連結したペレットチェーンを使っていることが名前の由来になっている。^{14}C だけでなく、^{10}Be の測定も行っている。^{14}C の測定では、試料が数 mg で測定が可能である。よって、試料の少量の汚染が結果に影響を与えるので、測定前の試料の調製は重要で、高校生にさせられなかった。さらに、図 1,2 で示したように採取物からの試料の取り方によっては試料そのものが複数年の年輪にまたがるものになる可能性がある。

2　年代測定の原理

ペレトロン年代測定装置では、^{14}C /^{12}C と ^{14}C /^{13}C のクロスチェックで年代を測定する。^{14}C は半減期 5730 年の放射性同位体であり、^{12}C と ^{13}C は安定同位体である。ただし、国際的な取り決めによって、1951 年から始まった ^{14}C 年代測定の多数の年代値との比較に不都合が生じないように Libby が使用した 5568 年を半減期として使い続けていて、現在の値から求めると、約 3%古い年代となる。また、Libby Age は BP（Before Present または Before Physics）とも表現し、1950 年を基準として何年前のものかを表現している。

対流圏の上部から成層圏で、2 次宇宙線である中性子が ^{14}N と反応して ^{14}C が生じる。^{14}C は、^{12}C や ^{13}C と同様に CO_2 として空気中を漂い、一方、放射性崩壊して、^{14}N に変わる。生成量と崩壊量はつりあっているので、気体中の ^{14}C /^{12}C と ^{14}C /^{13}C は一定である。CO_2 は光合成で植物に取り込まれ、それを食することで動物にも取り込まれる。よって生体の中での同位体比も同じである。個体が死ぬと、一方的に ^{14}C が減少する。その比がどれだけ減少しているかで何年前のものかがわかる。

ただし、これは空気中の存在比が昔から常に一定で、かつ地域差がないことを前提としている。そして、その前提が正しいから年代測定に使われているのだが、存在比は、太陽活動などである程度は増減する。核実験も影響を与えている。その増減量を微化石や木材の成長量などから分析して校正曲線が提示されているが、現在も分析は続いている。

3　ペレトロン年代測定装置を使うことになった経緯

平成17年、転勤を機に放射線のセミナーに参加した。大学時代を含め、特に放射線とは関係ない経歴を持っているが、チェレンコフ光を見たいという素朴な理由から参加した。原子力・放射線は必要と思っていたが、排他的な感情も持っていた。それが、セミナーを通して、放射線もサイエンスとして興味深いものとの認識に変わった。技術として安全か安心かの判断は、情緒的・論理的な思考によるべきと考えているが、私自身も排他的な感情を持っていたことを鑑み、授業や実験教室を通して、他の科学・技術と同様に興味・関心を喚起し、理解増進を図るのが大げさでなく、世界のため、未来のためと考えた。それ以来、ESD（Education for Sustainable Development:持続可能な発展のための教育）を意識した授業や実験教室を行っている。

面白いと思ったいろいろなことを生徒たちと行った。東濃地科学センターの研究坑道を何回も見学した。坑道内の放射線量を、それも測定器まで持参して測定したのは、私たちのグループが初めてと聞いた。また、素朴な仕掛けを作り、穂高岳や乗鞍岳へ宇宙線の方向依存性を測定に行ったこともある。効率を考えれば講義の方が良いが、研究のステージを用意すれば、生徒たちは活動を通して知的に楽しみ、より楽しく理解し、認知も変化するはず。それを数量化したかったのも今回の講座を行う動機になった。

小学生などを対象にした実験教室を毎年数回行っているが、放射線がテーマに含まれるときにはウラン鉱石をお借りするなど、東濃地科学センターには、長きにわたってお世話になってきた。平成21年度には文部科学省の支援事業であるサイエンス・パートナーシップ・プロジェクト（SPP）でもご指導をいただいている。その際に、ペレトロン年代測定装置の施設供用制度をご紹介いただき、愛知県埋蔵文化財センターのご協力もいただくことができたので、今回の講座が成立した。

供用制度申請の際は、SPPが採択されることを前提としていたが、不採択だったために非常に困ったが、文部科学省の『放射線等に関する課題研究活動の支援』に採択され、実施することができた。

引用（参照）文献等

１）吉田邦夫，炭の粒で年代を測る，阿部芳郎，「考古学の挑戦」，17-47，岩波，東京（2010）
２）永井邦仁，下懸遺跡，愛知県埋蔵文化財センター，年報　平成21年度　44-45（2010）
３）石川久美，近藤和雅，佐藤俊樹，渡辺武志，竹内史央，曽我雄司，サイエンスリテラシープロジェクトⅡ，名古屋大学教育学部付属中・高等学校紀要，56，35-45（2012）
４）http://www.jaea.go.jp/04/tono/shisetsu/pere/pelletron4.html

日本原子力研究開発機構の施設供用制度にて ^{14}C 年代測定を行いました。測定試料数を教育目的として東濃地科学センターにご配慮いただきました。測定費用については、文部科学省の高校生のための『放射線等に関する課題研究活動の支援』によりました。お礼申し上げます。

講座の様子については、愛知県立熱田高等学校のホームページで公開しています。
http://www.atsuta-h.aichi-c.ed.jp/renkei/renkei_index.html

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 16, No. 1, p. 37 ― 46 (2012)

研究報告

主要放射性核種の生体内挙動と除去法

西村義一[1]、渡利一夫[2]
1）（公益財団法人）原子力安全技術センター
2）（独立行政法人）放射線医学総合研究所名誉研究員
（2013年　3月　7日受理）

【要旨】
生体に取り込まれた放射性核種（物質）の挙動を知ることは人体への放射線影響を理解する上で最も基本となる。また緊急時に体内に取り込まれた放射性核種を速やかに除去することは、被ばくを低減する上で重要である。ここでは放射線影響を考える上で重要な放射性核種が体内に摂取されたときの挙動と除去法（排泄促進法）について過去の事例をもとに概説した。

【はじめに】
1960年代前後、米、英、旧ソ、仏、中による大気圏核実験が頻繁に行われ、地球規模で環境が放射性物質により汚染された。とくに1954年、アメリカがビキニ環礁で行った水爆実験に巻き込まれた「第五福竜丸事件」は大きな社会問題となった。これを機に多くの大学や研究機関で放射性核種の環境試料の分析、生体内挙動や除去法などについての調査、研究が活発に行われることになった。

1963年に部分的核実験禁止条約が締結されたが、大気圏内の核実験は引き続き行われ、地球規模での放射能汚染が広がっていった。1996年に包括的核実験禁止条約が締結され、ようやく環境汚染は減少したものの、この間、飲食物を介して放射性核種が人体内にも摂取されることになった。一方、1986年、旧ソビエト連邦で起きたチェルノブイリ事故はヨーロッパに深刻な環境汚染を引き起こし、いまだにその影響が問題となっている。

さらに、2011年、東日本大地震に伴う福島第一原子力発電所事故では、大量の放射性物質が大気中や海洋に放出され、東日本全体を汚染させた。これにより、ヒトのみならず動植物への放射線影響も危惧されている。

本稿では、これまでに行われてきた主要な放射性核種の生体内における動態及び被ばくの低減をはかるための研究を掘り起すとともに、今般の福島原子力電所事故に関する最近の情報を加えてまとめた。

1　放射性ヨウ素

1-1　放射性ヨウ素（^{131}I）の体内代謝

放射性ヨウ素は核分裂によって大量に生成され、核実験や原子力事故の際には環境中に容易に出現する。原子力事故等によって大気中に放出された放射性ヨウ素が人体に入り込

む経路としては事故後初期には吸入で、後には飲食物を通して体内に入る。体内に入ったヨウ素は化学形の如何に係わらずI^-の形をとるものと考えられている。ヨウ素は胃腸管から完全に吸収され、10～30%が摂取後 24 時間以内に甲状腺に集積する。残りは全身に移行し、一部は唾液腺、胃粘膜、乳房などから分泌され、腎臓からも尿中に排泄される。また、肝臓から胆汁に移行し、糞中に排泄されるものもあるが、その割合は少ない。ヨウ素の代謝はもとから天然に存在する安定ヨウ素の摂取量に依存しているが、地域性や食生活の違いなどによって、大きく異なっている。

日本人は欧米人に比べて 5～10 倍、海藻類を多く摂取していると考えられ、甲状腺への放射性ヨウ素の取り込み率も国際放射線防護委員会（ICRP ; publ.30 part 1）が述べている 0.3（30 %）[1]よりも小さくなると考えられている。また、生物学的半減期も日本人の場合は 40 日と推定されており [2]、ICRP の代謝パラメータをそのまま日本人に適用して線量評価を行うと、過大評価になる可能性がある。

放射性ヨウ素は乳幼児期や胎児期における被ばくがとくに重要である。これは放射線による乳幼児の甲状腺がん発生における感受性が成人よりも高いと考えられていること、および甲状腺の大きさとヨウ素取り込み率の比が成人とは異なるためである。

生後 1～3 日目の新生児に ^{131}I を筋肉注射し、24 時間後の甲状腺への取り込みを調べたところ、61～94%であった。この他、53 人の新生児に ^{131}I を経口投与した例があるが甲状腺への取り込み率は 36%～82%と変動幅が大きい。この他にも同様の実験がいくつか行われており、出生直後に高い取り込み率を示すことはあるが、それ以外では成人と大きく違わないことが報告されている。しかし、甲状腺の大きさは年齢によって大きく異なり、0～2 歳で 1～2 g、3～9 歳で 3～5 g、10～20 歳で 10～14 g、成人で 15～20 g と言われている [3)-5)]。このため、乳幼児の甲状腺にヨウ素が取り込まれた場合、甲状腺への濃度は成人よりも高くなるが、これらを考慮して ICRP は年齢群別線量係数（1 Bq を摂取したときの線量）を設定している [6)]。

1-2　放射性ヨウ素による甲状腺がん

チェルノブイリ事故では 3×10^{17} Bq の ^{131}I が放出されたと報告されているチェルノブイリ事故後 25 年が経過したが、IAEA/EC/WHO の調査報告書によると、チェルノブイリ周辺では小児甲状腺がんが増加していることが示されている。小児甲状腺がんの発生率は通常百万人に 1～2 人／年と推定されているが、チェルノブイリ事故で内部被ばくを受けたと考えられるベラルーシ、ロシア、ウクライナ三ヶ国の事故当時 17 歳以下の人々のうち、1986 年から 2002 年の間に数千人が甲状腺がんと診断されている。とくに事故当時の年齢が 15 歳未満の子供が多く、現在では 20 歳以降の青年層にそのピークが移行しつつある。これら小児甲状腺がんの増加は、事故直後に大量の放射性ヨウ素を含んだ食品を摂取しつづけたことによる甲状腺への過剰被ばくが一つの要因であると考えられている。なお、チェルノブイリ周辺はヨウ素不足による甲状腺腫の多発地域であり、慢性的なヨウ素欠乏が被害を

増大させた可能性がある。1987年以降に生まれた子供には放射性ヨウ素への被ばくがないことから、事故以前と同じ状態に戻っているが[3]（図－1）、現在遺伝子レベルにおける放射線誘発がんの検証等が進められている。

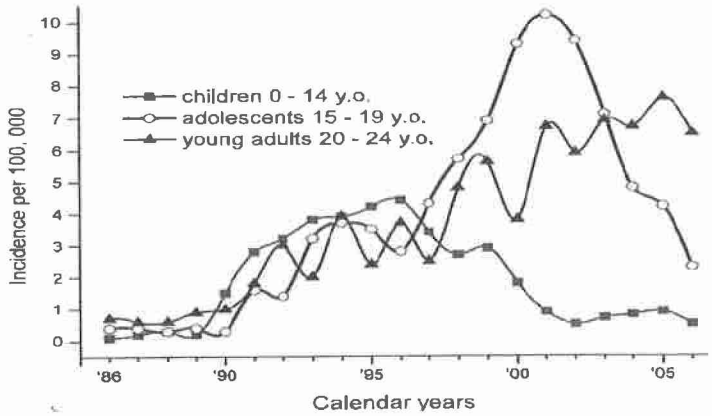


図-1　ベラルーシにおける年齢別甲状腺がん発生率の年次推移[3]

一方、今回の福島第一原子力発電所事故では 1.5×10^{17} Bq の ^{131}I が放出され、2012年3月26日～30日まで福島県における小児、1,080人に実施した甲状腺被ばく線量調査では甲状腺の体外計測において0.2μSv/hを超えるものはなかった、としている[4]。チェルノブイリ事故では放射性ヨウ素で高濃度に汚染されたミルクを乳幼児が摂取し続けたために甲状腺の内部被ばくを引き起こし、甲状腺がんの増加につながったと考えられているが、福島事故では早くから放射性物質で汚染されたミルク等、食品の流通制限措置がとられたため、チェルノブイリ事故のように甲状腺がんが増加する可能性は少ないものと推測されている。福島県では18歳までの子供、約36万人を対照にした甲状腺検査が行われており、2014年全ての子供の検査を終わらせ、その後も定期的な検査を生涯にわたって続けることになっている[5]。

1-3　ヨウ素剤による甲状腺被ばくの低減

安定ヨウ素剤服用による甲状腺の内部被ばく低減効果は、ヨウ素剤の投与時期に依存している（表－1）[6]。

表—1　安定ヨウ素剤の投与時期と効果

安定ヨウ素剤の投与時期	効 果
放射性ヨウ素が摂取される24時間以内	90%以上の抑制効果
放射性ヨウ素を摂取した8時間以内	約40%の抑制効果
放射性ヨウ素を摂取した24時間以降	7%以下の抑制効果

（文献6を参考にした）

わが国においては、性別、年齢に係わらず、放射性ヨウ素による小児甲状腺等価線量が

100 mSv を超えると予測された場合にヨウ素剤の予防服用を考慮するように定めている。ただし 40 歳以上では、放射線被ばくにより誘発される甲状腺発がんのリスクがほとんど認められないことから、特に新生児、乳幼児や妊婦の服用を優先させる。

乳幼児は、甲状腺濾胞細胞の分裂が成人に比べて活発であり、ヨウ素剤予防服用の効果もより大きいと考えられている。ヨウ素剤は大きな副作用はないが、ヨウ素過敏症の人には投与できない。また、甲状腺機能亢進症あるいは低下症、腎機能障害、高カリウム血症の場合は慎重に投与する。発疹、甲状腺腫などを生じることがある。妊娠中期および後期の妊婦への投与は胎児の甲状腺腫や機能異常を起こすことがあるので危険性と有益性を考慮する必要がある[7]。

チェルノブイリ事故後、ポーランドでは甲状腺被ばくの予防措置として 1,000 万人以上の子ども（国内在住の 90%以上）にヨウ素剤が投与されている。ポーランドは低ヨウ素地帯ではないこともあって、現在まで有意な甲状腺がんの増加は報告されていない。

今般の福島第一原子力発電所事故では、安定ヨウ素剤の配布はなされたが、一部地域を除いて実際の服用には致らなかった。原発事故発生時の被ばく対策見直しを行い、原子力規制委員会は平成 24 年 12 月、原発周辺の住民に安定ヨウ素剤を配布する方針を決めた。そして 40 歳以上の希望者も服用できるようにした。

2. 放射性セシウム

2-1　放射性セシウムの体内代謝

セシウムはナトリウム、カリウムなどと同じアルカリ金属元素に属し化学的性質は類似している。これら元素はふつう 1 価の陽イオンとして存在する。経口摂取されると消化管からほぼ 100%吸収され、きわめて迅速に全身に分布する。アルカリ金属元素の中でも人体

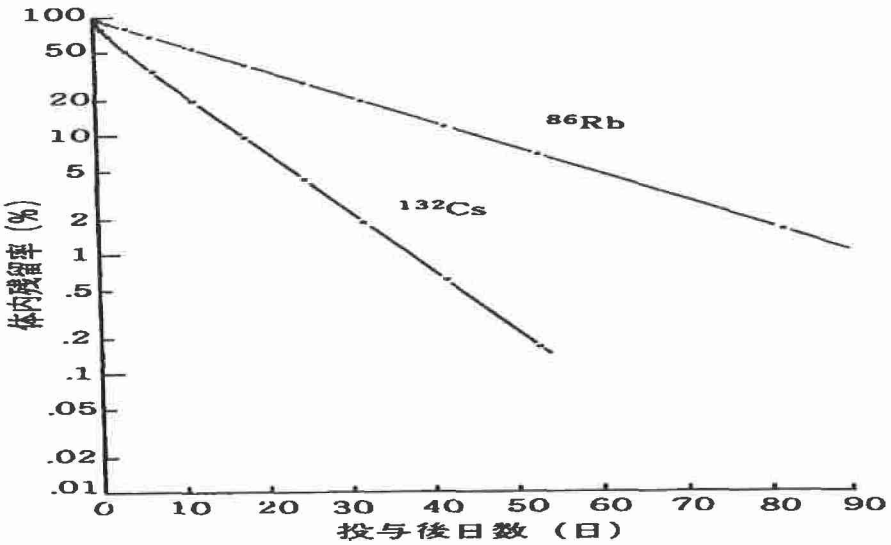


図-2　^{86}Rb および ^{132}Cs の体内残留率（ヒト）[9]

内ではナトリウムとカリウムの挙動には著しい違いがある。ナトリウムは赤血球に少なく血漿に多いのに比べ、カリウムはほとんどが赤血球に含まれる。このようにナトリウムは細胞外液に、カリウムは細胞内液に多く分布する。セシウムは両者の中間の分布をしているが血液中の 75%が赤血球に含まれている。血液中の存在や挙動の違いは、細胞のイオン選択性、あるいはイオンの移動速度の違いなどと関連があるものと思われる[8]。

これらアルカリ金属元素の人体内挙動の違いはトレーサーとして ^{42}K（半減期 12.36 時間）、^{86}Rb(半減期 18.66 日)、^{132}Cs(半減期 6.48 日)を用いて調べられ、セシウムの血液中から身体組織への移行はカリウムやルビジウムに比べて遅いことが明らかにされている。

セシウムとルビジウムの時間経過と体内残留との関係は図 2 に示すように大きな違いがある[9]。

人体への放射線影響を考える場合、放射性セシウムの中で注目されるのは ^{137}Cs である。^{137}Cs はウランやプルトニウムの核分裂の際に高い収率で得られ、半減期は 30 年で 0.512MeV の β 線を放出して ^{137m}Ba に、わずかな部分は 1.17 MeV の β 線を放出して安定な ^{137}Ba になる。^{137m}Ba は半減期 2.55 分で核異性体転移により 0.662 MeV の γ 線を放出して安定な ^{137}Ba になる。体内に入ったセシウムは主に尿に、一部は糞便に、さらにごくわずかな部分は汗として排泄される。ストロンチウムが骨に濃縮されるとほとんど排泄できないのと異なり比較的速く排泄される。とくに蓄積する特定の組織や器官はないが筋肉部分に集まることが知られている。

図 3 は 7,400Bq(200nCi)の ^{137}Cs を経口投与した後の全身分布をホールボデイカウンターで調べたものである[5]。横軸はチャンネル数で、各チャンネルは各身体部位に相当する。縦軸は各チャンネルあたりの放射能で、それぞれ 12.4 秒間のカウント数である。この図から、投与後 30 分では主として胃の周辺に分布していたものが、時間の経過とともに肝臓、心臓、腎臓およびふくらはぎと、胃から離れた臓器・組織に移行していくことが分かる。

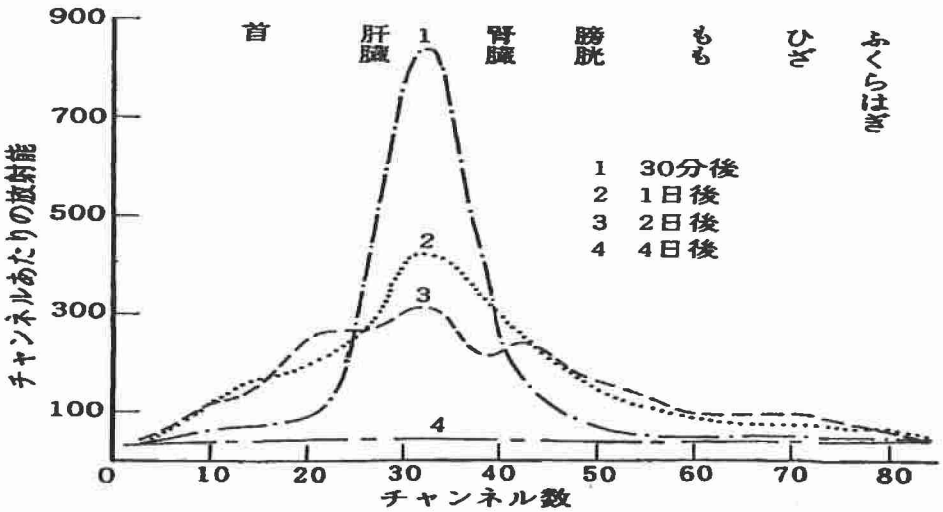


図-3　^{137}Cs 経口投与後の全身分布の時間変化[10]

ICRP Publ.30 part 2 では生物的半減期を 110 日としている[11]。 日本人成人男子の場合は、約 50 日から 160 日、平均 85 日である。9 歳から 15 歳では 40 日から 60 日程度で、成長するにつれて次第に成人の約 110 日に近づいていく。

大気圏核実験が盛んに行われていた 1960 年代、母乳だけで育った幼児に比べて人工栄養児の ^{137}Cs 濃度が高いことがホールボデイカウンターの測定から明らかにされている。^{137}Cs に汚染した牧草を牛がそのまま食べるために牛乳中の ^{137}Cs 濃度が母乳に比べて高かったためである[12]（図-4）。

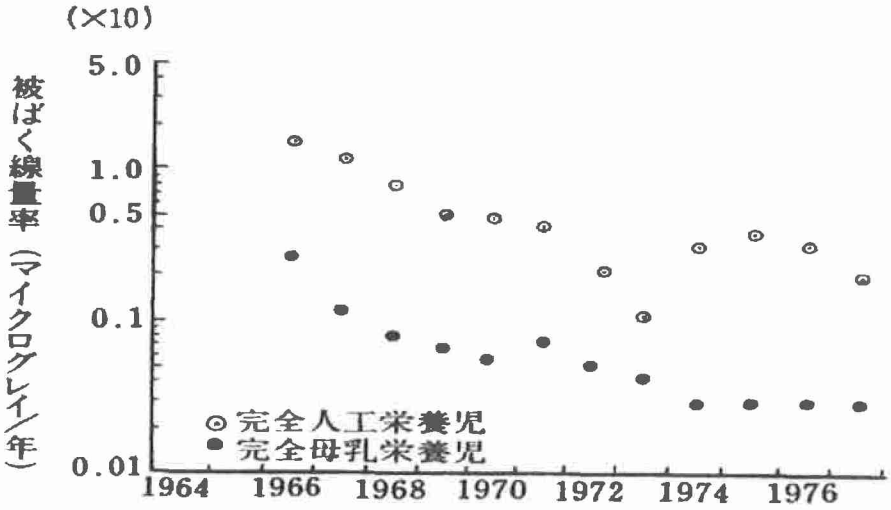


図-4　^{137}Cs による内部被ばく線量の経年変化[15]

また、チェルノブイリ事故後、ギリシャで 102 人の授乳婦から採取した母乳の測定から ^{137}Cs が飲食物を通して母乳にも移行することも確認されている。子どもは生物的半減期が成人より短いが、発育の途上にあるため被ばくの影響は成人より大きいことが指摘されている。

2-2　放射性セシウムの排泄促進

放射性核種の排泄促進には、メカニズムの面から、希釈による方法、吸着による方法、錯体の生成による方法、あるいは代謝の撹乱による方法などに分類される。

放射性セシウムの場合、セシウムの同族元素のカリウム化合物で希釈することで排泄促進に効果のあることが動物実験で認められている。しかし、生活環境の違いや副作用の点からヒトには適用できない。最も効果があるのは、鉄、銅、コバルト、ニッケルなどのフェロシアン化金属への吸着による方法である。これら金属のフェロシアン化物は無機イオン交換体の一つでありアルカリ金属の中でセシウムを選択的に吸着することから水道水、海水などの除染に利用することが期待される。なかでも鉄のフェロシアン化物はプルシア

ンブルーと呼ばれ、動物や人体中の放射性セシウムに対しても吸着効果に優れていることが明らかにされている[13)-15)]。

プルシアンブルーは古くから青色顔料として知られ、ベルリンブルー、紺青と呼ばれ、鮮やかな青色、難溶性化合物である。一般式は $MFe(III)_4[Fe(II)(CN)_6]_3$ で示される。ここでM は1価の陽イオンである。事故時に放射性セシウムを体内に取り込んだ場合の排泄促進剤として国際原子力機関（IAEA）などでも緊急時対策の指針として認められている。また、実際にブラジルのゴイアニアで起こった医療用セシウム線源盗難による被ばく事故の際に使用されている。

プルシアンブルーは特別な副作用はないが、青色便となり、多量に投与すると便秘、胃炎、下痢などの症状が出ることがある。わが国でも2010年に厚生労働省より医薬品（ラジオガルターゼ）として認可されたが、^{137}Cs を多量に摂取した場合の緊急時に使用するもので専門の医師の指示に従って服用することとなっている。

2-3　福島原発事故に関連して

1986年4月、旧ソ連チェルノブイリ原発事故はヨーロッパ各地にまで深刻な環境汚染をひきおこし、生態系にも影響を与えた。同じレベル7の福島原発事故でも福島県はもとより東日本各地を汚染したが生物への放射線影響についてはチェルノブイリの結果や経験を参考にしなくてはならない[16)]。

福島県で8月下旬から11月にかけて殺処分された47頭の牛について調べた結果、血液1Kgあたり60Bq、もも肉には1,800Bqの放射性セシウムが検出され ^{137}Cs の量と血液中の量とに相関関係がみられとの報告がある。また福島の一部の住人の尿中に極微量の ^{137}Cs が検出されていることも明らかにされている。

大気圏核実験当時、日本各地の数千名の中学生の尿中 ^{137}Cs 量が数年間にわたって調べられたが、 福島の場合も今後数十年も内部被ばくの検査が続けるという。放射性セシウムが問題視されるのは飲食物を通じて人体に入り易く、β線やγ線による内部ひばく、とくに生殖器被ばくによる遺伝的影響が心配されるからである。放射線影響についての正しい科学的知識が要求される所以である。

3．放射性ストロンチウム

3-1　放射性ストロンチウムの体内代謝

^{235}U や ^{239}Pu の核分裂によって生成する放射性ストロンチウム（Sr）、中でも ^{90}Sr は核分裂収率が大きく、半減期が約30年と長い。加えて、娘核種であるイットリウム-90（^{90}Y）が2.28 MeVの強いβ線を放出することから、人体への放射線影響を考える時、放射性セシウム(^{137}Cs)と並んで重要な放射性核種の一つである[17)]。

放射性ストロンチウムは体内に摂取されるとカルシウムの多い骨に集まりやすい。いったん骨に取り込まれるとなかなか排出されず、生物学的半減期は約50年とも言われている。

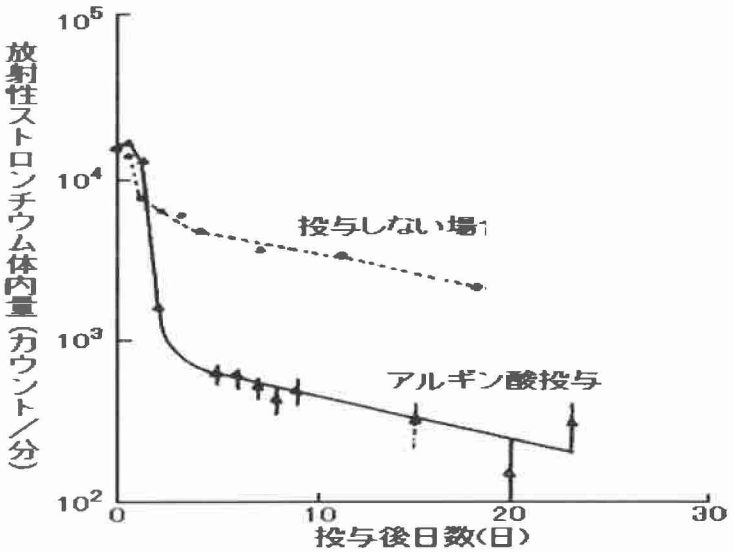
したがって、とくに、成長過程にあってカルシウムを多く必要とする乳幼児や青少年がこれを取り込んだ場合は大きな問題となる。

1948年、ソ連は南ウラル地方にあるマヤーク核施設でプルトニウムの製造を始め、1949年から1956年まで放射性ストロンチウムを含む大量の放射性物質をテチャ川に放出した。Tolstykhら[18]はテチャ川周辺地域住民の健康調査を行い、放射性ストロンチウムの生物学的半減期が男性28年、女性16年であったことや、線量が高くなると発がんリスクが増加することなどを報告している。胃腸管から吸収された放射性Srの大半は骨に分布し、年齢が若いほど吸収率が高くなる、という年齢依存性が認められている。

3-2　放射性ストロンチウムの排泄促進法

3-2-1　吸着による方法

米国原子力委員会（NRC）や国際放射線防護委員会（ICRP）では大量に放射性ストロンチウムを取り込んだ場合、リン酸アルミニウム、硫酸マグネシウムや褐藻類の主成分である粘質多糖のアルギン酸ナトリウムなどの投与を考慮するように勧告している。HespとRamsbottom[19]は、ヒトにアルギン酸ナトリウム10gを飲用させ、20分後に^{85}Sr(γ線放出核種)を投与すると、体内残留率が1/8になることを報告している（図-5）。



図－5 アルギン酸を投与し、20分後に^{85}Srを投与したときのSr体内量の変化[21]

アルギン酸はマンヌロン酸（M）とグルロン酸（G）という2種類のウロン酸が直鎖重合した構造を持つ多糖類で、MとGの量的比率（M/G比）により排泄促進効果が異なるものと考えられている。動物性食物繊維であるキトサンも同様の効果があり、動物実験では事前摂取で被ばく低減化が図れることが確かめられている[20]。

3-2-2　希釈による方法

安定ストロンチウムやカルシウムを投与すると骨への放射性ストロンチウムの沈着が押さえられることが示されている。健康な男子に 2 g の乳酸ストロンチウムを含む食事を 15 日間与え、その後放射性ストロンチウムを静脈内投与したところ、体内残留率は通常食をとったときの約 1/2 に減少した、という報告がある[21]。また、高カルシウム食で飼育したラットに放射性ストロンチウムを経口投与すると、体内残留量は 15 日間飼育したラットで対照群の 1/2、30 日間飼育したラットでは 1/5 にまで低下した。この他、動物実験ではグルコン酸ストロンチウムや炭酸カルシウムの摂取も放射性ストロンチウムの除去効果があるが、投与量、投与経路、投与時期、あるいは共存するリン酸などによって効果には差が見られる。

この他、副腎皮質ホルモンやビタミン D の投与や低リン食を与えて代謝バランスを崩す方法なども動物実験では一定の効果が認められている。しかし、人体への適用は現実的とはいえない。

3-3　福島第一原子力発電所事故の影響

放射性ストロンチウムは骨指向性核種（bone seeker）であることから、これを大量に取り込んだ場合、骨がんや白血病を引き起こす可能性がある。土壌など環境試料のモニタリングなどから福島第一原子力発電所事故に起因すると思われる放射性ストロンチウムが検出されているが[22)~24)]、放射性ストロンチウムの放出量は放射性セシウムの 1/2,000-4,000 程度と推定されており、現在のところ放射性ストロンチウムによる内部被ばくは、ほとんどないか、あっても極々小さいと考えられる。しかしながら、今回の事故は海洋に大量の放射性物質が放出された初めてのケースで、放射性ストロンチウムによる海産生物汚染が拡大することが懸念されている。β放出核種である ^{90}Sr の定量は化学分析による分離精製が必要なため放射性セシウムなどと比べると測定結果が出るまで長時間を要するが、今後とも環境試料や食品のモニタリングを強化し、推移を注意深く見守っていく必要がある。

【終わりに】

放射性核種を取り扱う医師、研究者、技術者などが誤って放射性精物質を体内に取り込む場合のほか、事故等によって一般の人たちも放射性物質を体内に摂取することがある。今回述べた放射性核種以外の核種を大量に取り込んだ場合の処置法についても NRC などが既に指針を示しているので、関心のある向きはご覧になっていただきたい[25)]。今回の福島事故以来、放射線の影響に対する関心が高まっており、本稿が放射線影響を正しく理解するための一助となれば幸いである。

なお、本稿は放射線教育フォーラム、ニュースレターに連載したものを取りまとめたものである。

参考文献

1)　ICRP Publ.30 Part 1 (1979)
2)　長瀧重信：正常日本人の甲状腺機能―特にヨード摂取量との関係について；医学のあゆみ、72：621 (1970)
3)　柴田義貞：チェルノブイリ事故の健康影響調査のレビュー：甲状腺疾患；チェルノブイリ事故の健康影響調査 20 年、放影協シンポジウム 2008 報告書(2009)
4)　原子力安全委員会：福島第一原子力発電所から大気中への放射性核種（ヨウ素 131、セシウム 137）の放出総量の推定的試算値について（2011）（http://www.nsc.go.jp/info/20110412.pdf)
5)　原子力安全委員会：福島県における小児甲状腺被ばく調査結果について第 31 回原子力安全委員会資

料第 4-3 号（2011)(http://www.nsc.go.jp/anzen/shidai/genan2011/genan031/siryo4-3.pdf)
6) ICRP Publ. 67 Part 2 (1993)
7) 原子力安全委員会：原子力災害時における安定ヨウ素剤予防服用考え方について、原子力安全委員会原子力施設等防災専門部会（2002）(http://www.u-tokyo-rad.jp/data/ninpuyouso.pdf)
8) 青木芳朗、渡利一夫編著：人体内放射能の除去技術、講談社サイエンテフィク(2011)
9) Iinuma T 他：J.Radiat.Res.,8,115(1967)
10) Iinuma TA 他：Health.Phys.,20,11(1971)
11) ICRP Publ.30 part2 (1980)
12) 内山正史：Radioactivity Survey Data, 放射線医学総合研究所（1966）他
13) 大井健太：無機イオン交換体、選択的分離機能の発現と応用、丸善(2010)
14) 齋藤恭一：吸着繊維を使う水中からのセシウムの除去、日本海水学会誌、65,280(2011)
15) 渡利一夫、佐藤宏：プルシアンブルー、ISOTOPENEWS,No.69,2(2011)
16) 村松康行、土居雅弘、吉田聡編：放射線と地球環境、研成社(2003)
17) 渡利一夫、稲葉次郎編：放射能と人体―くらしの中の放射線―、研成社(2011)
18) Tolstykh EL 他,: Radiat. Environ. Biophys., 36, 29 (1997)
19) Hesp R and Ramsbottom B : Nature, 1341 (1965)
20) 西村義一他：Rdioisotopes, 40, 244 (1991)
21) Depczyk D 他：Strontium metabolism, p292 Academic Press (1967)
22) 稲葉次郎：福島第一原発事故で放出された放射性核種による内部被ばくを考える、Isotope News, No.687, 21 (2011)
23) ICRP（国際放射線防護委員会）国内メンバー，放射性物質による内部被ばくについて，Isotope News,No.690, 33 (2011)
24) 文部科学省による①ガンマ線放出核種の分析結果、及び②ストロンチウム 89,90 の分析結果について(平成 24 年 9 月 12 日)
25) NRC Report No.65 (1980)

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 16, No. 1, p. 47 – 56 (2012)

原著論文

福島第一原発事故から考える学校理科教育のあり方

(2) シーベルトが解るような理科教育：内容の検討と提案

大野新一、大野　玲
理論放射線研究所
227-0054 横浜市青葉区しらとり台12－5
E-mail: ohno-trl@01.246.ne.jp
(受理月日:2013.03.08)

[要旨] 福島原発の事故原因を整理した前報の議論をうけて、これからの学校教育のあり方を考え、その例として従来の放射線教育のなかで疎かにされてきたシーベルト単位の理解に関する問題点をしらべ、必要と思われる内容を検討した。

1．はじめに

前報[1)]では、2011年3月11日の東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故の経緯を振り返り、原子炉事故に備えて事前に準備されるべき安全システム（原子炉の設置場所・設置条件、非常用発電機の設置の仕方、非常用復水器・ベント（排気）装置の運転未習熟、放射性物質フィルター機能の準備状況）が不備であったことが事故原因であるとした。すなわち技術者たちは、地震･津波対策の不備がわかっていながら、「まさか」ですませ、想定範囲内だけを考えてきた。つぎに他国の研究者・技術者たちが開発した（地震・津波の少ない米国東部向けの）原発をそのまま輸入し、その後の安全性研究によって明らかにされた電源喪失事故の対策（非常用電源の設置、ベント装置・フィルター機能など）などの事前の準備が不充分な状態をそのままにしておくことが出来たのは何故か、それは技術輸入から始める日本の科学技術の取り組み方の後進性によるのか、あるいは日本の研究者・技術者は自らが所属する組織・機関の一員として活躍し、その組織・機関の不利益を避けることを最優先するように教育されているためか、今回の原発事故からわれわれは何を学ぶべきであろうか。

われわれは、① 科学技術の導入における日本の後進性を再認識すること、② 教育内容・人材育成のあり方を検討することを提案したい。①については、明治維新以後の日本の学校教育では、天下り式に手っ取り早く既成概念を会得させ、実理（技術の習得）を第一としてきたことがある。広く社会の動きを見渡せる少数のエリート育成はあったかもしれないが、大多数の国民は専門職・研究・技術員になるよりも総合職・管理職になって肩書きを得て尊敬されることを人生の目標とする。このような教育では、国・政府関係機関、企業トップの方針なり考え方が与えられると、技術者・科学者はその範囲内で想定される物事だけを研究し、また検討をすすめる。このように教育あるいは指導されていると言えるのではないか。その枠にとらわれないで問題を自分で見つけて行くような人材を育てることが、これからの日本の科学技術にとって重要なのではなかろうか。その体質作りに学校教育が大きく関わっていると考えられる。

②に関連して、ここでは放射線教育に関したことを中心に検討したい。これまでの放射線教育の内容は、「地球誕生から放射線は地球上の至る所で存在し、生物はその中で進化した。放射線の種類はアルファ、ベータ、ガンマ線の３種で、それぞれ紙 1 枚、薄いアルミ板、厚いコンクリートで遮蔽できる。他に中性子線も、また宇宙線もある。100 ミリシーベルト（＝0.1 J/kgのエネルギー吸収）以下は健康に影響がないとかあるとか、いや 20 ミリシーベルトだとか」。これらは手っ取り早く教える典型例の一つである。試みに、どれかについて生徒から「なぜか」と質問を受けるときを想像してみるとよい。講師はどのように説明するのだろうか。自然に親しみ、自然の仕組みを理解することを目標とするためには、星の中の反応、超新星爆発、地球の生成、原子核の構造と安定性、放射線の運動エネルギーが生物の分子に伝わる仕組みなどの自然現象を真に理解し、自分で考え、考え抜いて納得し、客観的に判断する必要がある。

２．ミリシーベルトの理解（概略）

福島県内の広い地域で、住民に対する被ばく線量が年間 1 ミリシーベルト以下になるように除染する活動が続けられている。100 ミリシーベルト以下ということでもいいのではないかとの声も大きかった。1 ミリシーベルトによる健康への影響は 100 ミリシーベルトの場合の 100分の1 であろうことは容易に想像できても、そもそも 1 ミリシーベルトによって人体にどのような現象がどれだけおこるのかを具体的に知る必要がある。ここではまず水を例に取り上げ、放射線から受け取るエネルギーが物質の中でどのような変化を起こすかを検討する。つぎにその結果から類推して細胞内の遺伝子（DNA分子）の場合を検討する。

ここでの結論は、われわれの身体をつくる物質は室温ですでに 1 kg あたり数万ジュールの熱エネルギーをもっていること、ここで放射線からその運動エネルギーの一部を受け取って 0.001 ジュール（1 ミリシーベルトの被ばくの場合）、あるいは 0.1 ジュール（100 ミリシーベルトの被ばくの場合）を吸収することが人体の細胞内の何個の分子を壊すことに相当するかを納得し、それが重大なことか重大なことでないかを各自が考えることが大切であろうということである。さらにここで話を終わらせないで、物質に対する放射線作用とは何かを理解するために必要な予備的な基礎事項の解説を試みる。その内容は、①放射線がエネルギーをもつこと、なぜエネルギーをもっているかも含む。②放射線と物質内の電子との衝突によってエネルギーが移行すること、ここでは放射線が原子や分子そのものとまるごとと衝突しないで原子・分子内の電子と衝突することが重要である。③電子を飛ばされた分子（イオン）がどうなるかの問題、④電子的に励起状態になった分子がどのようにしてその余分のエネルギーを周囲の物質に分け与えて熱エネルギーにまで分散するか。そのために分子内電子のエネルギー状態、分子の振動エネルギー、回転エネルギー、分子の運動エネルギー、熱エネルギーなどのあらましを理解する。

1 ミリシーベルトの線量は 1 mJ/kg とされている。エネルギー単位については 1 eV (= 1.6×10^{-19} J) が原子･分子などの場合でよく使われる。また後述（５.）するように、放射線によって水分子などから電子が 1 個放出されるときに平均で 30 eV のエネルギーが放射線から系に移行することが知られている。そこでいまの場合、水 1 kg はおよそ 10^{25} 個の水分子が凝集したものなので、10^{25} 個の水分子のうちの 2×10^{13} 個がイオン化を起こす

と30 eV × 2 × 10^{13}＝0.1 mJ/kg のエネルギーが 1 kg の水に与えられたことである。イオン化によって生成した H_2O^+ および e^- は（$H_2O^+ + H_2O \rightarrow H_3O^+ + OH$）および（$e^- + nH_2O \rightarrow$ 水和電子）の反応を経て OH や水和電子となり、周囲の溶存物質と化学反応する。溶存物質がなければ元の水に戻り、分子の回転・振動・併進などのエネルギー、すなわち熱エネルギーに変換する。

DNA (質量 6×10^{-15} kg とする）分子もH、C、O、N 原子などから構成され、分子からの電子放出（イオン化）については水の場合とそれほど違いはないものと類推できる。1 mJ/kg の被ばくによる 1 個の DNA 分子のエネルギー吸収は $6 \times 10^{-15} \times 1$ mJ ＝37.5 eV、あるいは 37.5/30＝1.2 個のイオン化を起こす。さらにDNAの長さのうちの１％の部分だけが有効な遺伝子であるとして、遺伝子に関係する部分だけを対象とすれば 1 mSv によって 0.01 個の化学反応が起きる（あくまでも平均値として）と考えることも可能かもしれない。また DNA の修復効果を考慮することも出来よう。

以下においては、この節（概略）で述べたことを確認するために、いくつかの内容についてそれぞれを詳細に検討する。

３．放射線と物質

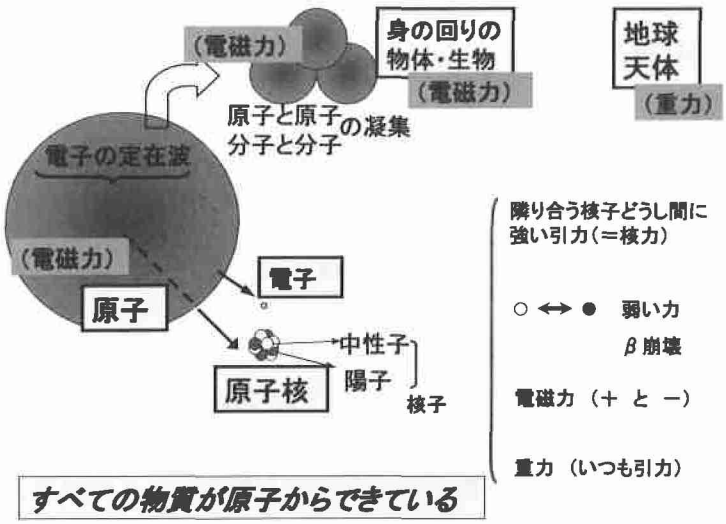
放射線も物質も宇宙に広く存在するものであるが、目に見えないものをいきなり放射線としてX 線、ガンマ線、ベータ線、アルファ線というように話を進めるのは唐突に過ぎるであろう。身のまわりの物質、そして天体の物質がなじみ深い。そして光も幼少時からなじみ深いものである。宇宙に存在し、そしてわれわれが知るすべての物質は、ハドロン（強い力が作用するクォークから構成されており、陽子、中性子、パイオンなど）とレプトン（強い力が作用しない、電子やニュートリノなど）から成り立っている。陽子と中性子はそれぞれ複数個が集って原子核（陽電荷）をつくり、その周囲に電子（負電荷）を束縛して原子やイオン（合成された粒子が電気的に中性のときに原子と呼ばれ、中性でない場合にイオンと呼ばれることが多い）として存在することが多いが、さらに複数の原子核にまたがって電子が束縛される分子の存在、また原子やイオンが規則的に配列する結晶状態も普遍的な存在である。そして原子核を作る強い力は到達距離が短く遠距離までにはその影響がおよばないこと、またクーロン力の到達距離は大きいが同数の正負の電荷で中和されることが多く結果的にやはり遠距離までその影響がおよばないが、ここで（と言っても、場合によって１原子のオーダーの距離から天体に至るまでの距離で）影響を現わすのが質量をもつすべての物質に働く重力である。こうして物質世界は、様々な粒子のそれぞれに応じて強い力、クーロン力、重力の３つの力が作用して互いに集合状態をつくる。言葉を変えて表現すれば、ギリシャ時代からの「すべての物質は原子からできている」であるが、ここで粒子間に働く３種の力（強い力、クーロン力、重力）を認識することは大切である。なお自然界に存在するもう一つの力（弱い力）は、クォークの種類を変えること（あるいは中性子と陽子の転換）に関わる力であり、物質をつくることではないのでここでは考えない。図－１ に粒子の集合状態と力の関係を示す。

いま２つの粒子として陽子と電子から水素原子が形成される場合を考える：

陽子と無限大の位置で静止している電子 → 水素原子＋エネルギー (1)

左辺の状態ではエネルギー E ＝ 0（静止電子の運動エネルギー ＝ $(1/2)\, m_e V^2$ は 0、位置

のエネルギーも 0 とおく)であるが、陽子と電子はクーロン力により自然に接近するとともに加速されつつ運動エネルギーがあらわれて来る。電子と陽子は接近してもぶつかることがない限り通り過ぎて反対方向に飛び去り速度が 0 になって再び静止する。行ったり来たりは原理的にはいつまでも続くが、もし途中で少しでもエネルギーを失うことがあれば電子は陽子の束縛下に入り、水素原子が形成される。またこの際の行ったり来たりの周波数はおよそ 10^{16} Hz であることも後の議論で重要になる。現実の水素原子では、電子は陽子から 0.053 nm （ボーア軌道）の範囲内で運動していると考えられ、しかも電子のような微細な粒子のもつ波としての性格が発揮されて定在波として一定の形を保つ。すなわち s 波、p 波、d 波などである[脚注A)]。このときの電子の運動エネルギーは s 波の場合で 13.6 eV, また位置のエネルギーは－13.6×2＝27.2 eV である。したがってこの電子はさらに運動エネルギー 13.6 eV が与えられると陽子の束縛から抜け出すことが可能となる。



図－1　物質をつくる粒子と 3 つの力

微細な粒子が集まって物質ができるためには互いに引き合う力が必要である。力をつかさどる粒子によって，3 種類の力，すなわち強い力（グルーオンによる），電磁力（光子による），重力（重力子による）が知られている。この他にクォーク同士の変化（したがって中性子と陽子の間の変換でもある）にかかわる弱い力が存在するので、自然界に 4 種類の力が存在することになる。

つぎに (1) 式の右辺から出発することを考える。するとこの式は水素原子にあるエネルギーを与えると左辺に変わることを意味する。上の議論からそのエネルギーは 13.6 eV であるが、このエネルギーは水素原子中の陽子にではなくすべて電子に（しかも運動エネルギーとして）与えられなければならない。これを可能にするのが放射線であり、さらに詳

脚注 A) 両端を固定したヒモに振動を与えるときの定在波は一次元でその形も(倍波) よく知られている。水素原子内の電子のつくる定在波は三次元でその形が s、p、d、・・である。原子核が複数個の分子では複雑になるが、ここでいう定在波は分子軌道とよばれる。

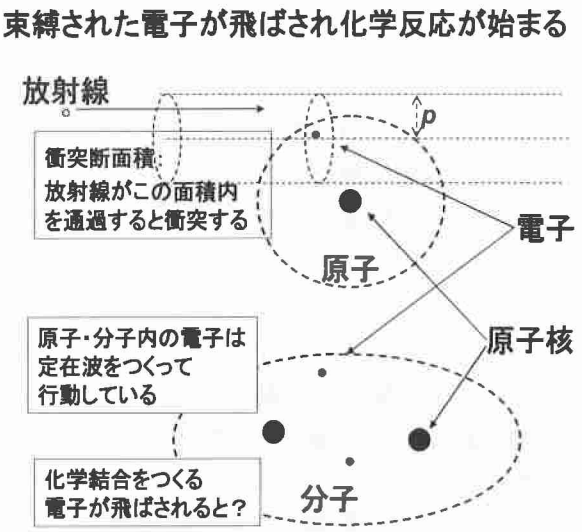
しく言えば高速の荷電粒子もしくは周波数の高い電磁波である。そして与えられるエネルギー量はちょうど 13.6 eV というよりはそれ以上つまり 13.6 eV 以上であることは説明を要しないであろう。他のエネルギー、例えば熱エネルギー、電流からのエネルギー、日常的な力学エネルギーではいくら大量のエネルギーを積み重ねても不可能なのである。

水素原子の説明から離れて、次は炭素、窒素、酸素、フッ素原子というように原子番号が増加するにつれて原子核のもつ電荷が大きくなり、その電荷を中和する電子の数も増加する。波の性質を発揮する電子は定在波として存在するが１つの定在波の中には２個の電子が存在し、それ以上の電子は他の定在波に存在しなければならない（パウリの原理）。すると束縛状態から抜け出すに必要なエネルギーもそれぞれの電子に応じて幾種類も存在することになる。さらに複数の原子核にまたがって電子が束縛される、すなわち複数の原子核にまたがる定在波（分子軌道とよばれる）が存在し、原子から分子ができることが理解される[2)]。

これまで微細な粒子が３種の力の作用で集合して物質をつくることを説明してきたが、ここで微細な粒子が集団をつくらずに独立して空間を走っている状態が考えられる。これが放射線と呼ばれるものである。放射線になり得るためにはその粒子がエネルギーをもち物質をつくる力（特にクーロン力）によって原子核の束縛範囲内におさまらないことである。電荷をもつ粒子としては電子、陽子、そして原子核がある。さらに原子核の構成成分でもある中性子を挙げることもできる。またこれらの荷電粒子が急速に加速運動するとき、はなれた場所の観測者からみてその動きが（観測者に対して垂直方向でなく横方向に）見えるとき電磁波として観測される。その横方向の動きの周波数によって電磁波のエネルギー（光子１個としてのエネルギーは $h\nu$ であらわされる。h はプランク定数、ν は周波数）が決まる。これらの放射線となり得る荷電粒子や電磁波がどこでどのようにして発生したかを考えると、どの程度のエネルギーをもつのかについての知見が得られる。希望する荷電粒子を取り出すことができれば、つぎにそれを電場で任意のエネルギーにまで加速することは容易である。加速された荷電粒子を急に止める、磁場により進行方向を変えるなどすると特定の方向に電磁波が放出される。また電荷を有する粒子を含む物体の温度を上げると電子などが様々な方向で温度に応じた激しさで熱運動を行う。これにより電波、赤外線、可視光線などが周辺に放出される。熱運動の揺れの周波数がエネルギーに対応する。電荷の分布が偏っている分子の回転や振動でも電磁波（マイクロ波や赤外線など）は放出され、また原子や分子内の電子がある定在波から別の定在波に移る（遷移）ときに紫外線やX線領域の電磁波がでる。さらに励起状態にある原子核内の陽電荷の動きによってガンマ線が放出される。さらに自然界では星の内部や表面で激しい活動が生じ、広い範囲の電磁波の放出から荷電粒子の放出がおこる。とくに際立つことは超新星爆発における元素合成とその放出である。放出後も宇宙空間に存在する電場や磁場で加速されて高エネルギーになる。また星の内部、特に超新星爆発に際して合成された原子核では中性子と陽子の数の組み合わせにより不安定の核が多く、原子核内での組み替え、放出、弱い力による中性子と陽子の入れ代わりなどが起こる。このときに放出される粒子（α線、ベータ線、ガンマ線が自然放射線と呼ばれるものである。こうしたものを素材としてまた星の生成が繰り返される。太陽系に含まれる惑星も当然のことながらこうした原子（自然放射性元素）を含んでいる。

しかし高エネルギーの放射線も物質中の数多の粒子と出会いエネルギーを徐々に失ってれば、荷電粒子はクーロン力による束縛下に入り、また電磁波もエネルギーを失い物質の熱運動のなかの電磁波と一緒になって最後は通常の物質の仲間入りをする。その時のエネルギーの失い方（物質のほうから見ればエネルギーの吸収の仕方）を次章で考える。

４．放射線のもつエネルギーが分子に移行する仕組み



図－2. 高速荷電粒子と原子・分子内で束縛されている電子との衝突
原子・分子内の電子は典型的には 10^6 m/s の速度で、より原子核の近くの電子ではそれ以上の速度で動き回っている。それを無視してよいほどに高速で走る荷電粒子からみると電子は静止している。衝突係数 p の値が小さいときに大きなエネルギーが移行して電子は飛ばされる。

原子・分子内の電子は高速（例えばボーア軌道の電子の速度は約 10^6 m/s）であるが、この 10 倍あるいは 100 倍の速さ（ただし光速 3×10^8 m/s 以下）で入射してくる荷電粒子(電荷 Ze、速度 V) からみれば殆ど静止しているように見える。その静止した電子の極く近くを荷電粒子が進路を曲げることなく真直ぐに走るとき、衝突の瞬間の短い時間（荷電粒子が距離 $2p$ を通過中） $t = 2p / V$ だけクーロン力 $F = Z e^2 / p^2$ が働き、力積（ = 運動量変化) $F t = 2 Z e^2 / pV$ が作用する。これに伴い標的の電子は運動エネルギー: (運動量変化)^2 / $2m_e$ を得て原子・分子内の束縛から抜け出すことが可能となる。たとえば衝突係数が p= 0.005 nm 以内で移行エネルギーは 10 eV を超える。より接近した位置を通過することは頻度は低いが（衝突係数を半径とする円の面積$\sigma = \pi p^2$ が小さい）可能であり、100 eV 以上

のエネルギーを受け取る電子も存在し得る。$\sigma = \pi p^2$ は衝突断面積と呼ばれる[脚注B)]。図–2に示すように速度 V の荷電粒子の進行方向に沿ってこの断面積の長さ V の円筒内に存在する電子がすべて1秒あたりで衝突をうける。

逆に原子・分子内の電子の速度（典型的には約 10^6 m/s）よりもはるかにおそい電子が入射する場合を考える。水素原子に衝突しようと接近するとき、繰り返し水素原子の電子による反発を受けるので原子の中に侵入することが出来ない。こうして衝突相手は電子1個ではなく水素原子全体となる。水素原子全体を質点として入射電子が正面衝突するときの運動量移行関係から衝突後の水素原子の速度は (入射電子の速度) × $(0.9\times10^{-30}$ kg$)/(3\times10^{-26}$ kg$)$＝（入射電子の速度）× (3×10^{-5}) から判るように 30 m/s、移行エネルギーは 0.001 eV が最大となる。衝突頻度もきわめて小さい。入射粒子が電子でなく陽子などの原子核であれば、衝突相手は原子全体であることは変わらないが、衝突の際の運動量関係から移行するエネルギーは大きくなることはいうまでもない。

付言しておきたいことは、原子・分子内に電子が複数個存在する場合である。それぞれの電子の運動状態が異なり速度が異なるので、ある一定の速度で入射する粒子が与えられても衝突相手を単独の電子としてよいか原子全体（あるいは分子全体）とすべきかの問題は複雑な様相を呈してくることである。

5．分子から電子1個を放出させるのに平均 30 eV のエネルギーを要する

水素原子に含まれている電子を遠くへ移すために 13.6 eV が必要であることを述べた。これはイオン化エネルギー、あるいはイオン化ポテンシャルとも呼ばれている。一般に、標的の原子・分子内で運動している電子は、原子核の束縛から抜け出せず、そして微細粒子の性質から、いく種類かの定在波（軌道）を形成して2個ずつ存在する。原子核が1つのときは原子、2つ以上のときは分子である。それらの電子が原子・分子内を走り抜ける放射線と衝突してある値以上の運動エネルギーを受け取るとき、電子は原子核の束縛を脱する。この値はどの定在波からのイオン化であるかにより定まる。水分子の場合の10個の電子は5 種類の分子軌道に 2 個ずつ存在するが、そこから脱離するためのエネルギーはそれぞれ 12.6、14.7、18.5、32.2、540 eV である（光電子分光法のデータ）。脱離の断面積(＝確率) の大きさを重みとしてこれらを平均すると 20 eV、さらにイオン化でなく励起状態 (7.5~9 eV) も同程度の頻度で起こること、放出電子の運動エネルギー数 eV などを考慮すると、入射

脚注 B) 放射線の種類による σ の違いは重要である。ちなみに $Z=1$, $V=10^8$ m/s の陽子（そのエネルギーは $1/2\,(1.67\times10^{-27}\,\mathrm{kg})\,(10^8\,\mathrm{m/s})^2 = 8\times10^{-12}\,\mathrm{J} = 50\,\mathrm{MeV}$）の場合の σ を計算で求めると $p = 0.016\times10^{-10}$ m が得られ、原子・分子の大きさ（$\sim10^{-10}$ m）に比していかに小さいかがわかる。電子線 (β線) の場合は $Z = -1$ として得られる。また $Z=2$, $V=10^8$ m/s の α 粒子になると σ は陽子の場合の 4 倍に、$Z=6$, $V=10^8$ m/s の炭素イオンになると σ は 36 倍になることも理解できる。また放射線の速度の変化に伴って σ がどのように変化するかも (5) 式から分かる。ついでに言えば、中性子では $Z=0$ なので物質中の電子に作用しないが、その代わり原子核に接触すると「強い力」がはたらく。σ は原子核の大きさ $\pi p^2 = 3\times10^{-28}\,\mathrm{m}^2$ 程である。このときは (3) 式の標的密度は原子核の密度であることは言うまでもない。

放射線は1回のイオン化あたり 30 eV のエネルギーを消費することが知られている。実験的にも多くの分子（メタン、エタン、アンモニア、水、酸素、窒素など）で ～30 eV である。また分子の場合で、化学結合に関係する電子が飛ばされると、その後、新しい電荷分布に対応して原子核の移動が起こり、化学結合の切断に繋がったりして、化学反応が始まる。

6．衝突点から衝突点までの距離（放射線の物質中の透過性）

物質中の電子密度が N のとき、1 本の放射線が短い距離 δx を走るときの電子との衝突数は

放射線がδx を走る間の衝突確率

＝（衝突断面積σ）(標的密度N)（放射線が走る微小距離δx）　　(2)

の関係から得られる。放射線の種類によって σ の値は大きく異なることは脚注B）で説明した。物質中の電子密度 N は固体、液体、気体かによっても、また含まれる原子･分子の原子核の大きさによっても異なる。この衝突数 σN δx を 1 として得られる δx＝ 1 / σN は平均衝突間距離とよばれる[脚注C)]。放射線の飛程、すなわち放射線が物質中でどこまで走るか、すなわちエネルギーがゼロになって止まるまでの距離を求める。それには衝突数 σN δx に 1 回あたりのエネルギー損失 30eV を乗じたものが放射線の走行距離 δx あたりのエネルギー損失なので、これを積算して放射線が最初に持っていたエネルギーになるまでを計算すればよい。また放射線が電磁波のときに σ を見積もるには4．で説明した方法とは異なる。自由な状態の電子は、光速でやってくる電磁波の電場の向きの変化に対応できる。しかし物質中で束縛状態にある電子では、束縛の強さに応じて固有の周波数をもっている。この固有周波数に対応した電磁波に対しては共振（共鳴）が起こり電磁波のエネルギーが電子に吸収される。ところが周波数が共振周波数と異なるときは電磁波の吸収は起こらずにそのまま通過する。たとえば水素原子の中の電子の固有周波数は 10^{16} Hz（ヘルツ）程度であるので 10^{18} や 10^{24} Hz 程度のX線やガンマ線は共鳴吸収されることなく物質中を通過する。それでも物質中の電子そのものが微細ながらも大きさをもつとも考えられる（電子の古典半径として 2.8×10^{-15} m が挙げられる）を用いて σ として $\pi(2.8\times10^{-15}\ \mathrm{m})^2$ を用いることができる。電磁波は運動量をもつ（= hν/c）ので、微細な電子に直撃してコンプトン散乱を起こすことができるのである。もちろん断面積は小さくそのためX線・ガンマ線は透過力が大きいのである。

7．分子の大きさと放射線効果の関係

軽い原子から構成される分子を考え、その分子 1 個に含まれる電子数を n とすると、その分子の中に含まれる原子核中の陽子の数は n、また中性子の数も n に近いと考えられるので分子の質量はほぼ 1.67×10^{-27} kg ×2n としてよいであろう。いま、電子 1 個が分子

脚注C) 液体の水 ($N_e=0.3\times10^{30}/\mathrm{m}^3$) における種々の放射線（エネルギー0.5 MeVのとき）の衝突間距離を求めると、X線・ガンマ線（0.135 m), 電子・陽子線 (2.1 nm) 、アルファ線 (0.52 nm), 炭素イオン（0.058 nm)、中性子線 (~0.4 m) などが得られる。

の束縛状態から脱し、原子核の移動が効率よく起こり、化学反応が誘起されると仮定する。この化学反応する分子（質量：$1.67\times10^{-27}\times2n$ [kg]）は 30 eV ($=30\times1.6\times10^{-19}$ [J]) のエネルギーを吸収し、線量は $1.4\times10^{9}/n$ [J / kg] である。幾つかの典型的な分子について反応に必要な線量の見積もりを**表－1** に示す。

表－1. 典型的な分子を放射線で反応させるに要するエネルギー
典型的な分子（質量: $1.67\times10^{-27}\times2n$[kg])から電子が 1 個放出（30 eV 必要）されて化学反応が起こるために必要な線量: $1.4\times10^{9}/n$ [J/kg]

典型的な分子	n	反応に必要な線量 [J/kg]
水、メタン	10	140×10^{6}
高分子材料	$\sim10^{4\sim5}$	$14\sim140\times10^{3}$
微生物 DNA	$\sim10^{5\sim6}$	$1.4\sim14\times10^{3}$
ヒト DNA	$\sim10^{10}$	0.14

8．平均値からのずれ

1ミリシーベルトの被ばくといえば 1 mJ/kgの放射線エネルギーの吸収であるが、考える媒体の大きさによって考慮しなければならない問題を忘れてはならない。とりわけ放射線の作用は媒体に均一に起きるのでなく放射線の飛跡に沿って不均一に起きる。いわゆる平均値からのずれの問題である。ここでは放射線の作用に関わる２つの例を挙げておく。

8.1　水 1 kg に 1 J のエネルギーを付与するときの温度上昇

1 kg の水はおよそ 10^{25} 個の水分子を持つ。1 J のエネルギーをヒーターや赤外線ランプで加温したり、機械的にかき回したり、あるいはおそい粒子（運動エネルギーをもつ）を次つぎと送り込む方法で与えることができる。このエネルギーが広くゆきわたると 1 分子あたりの平均の運動エネルギーの増加は $1\ \mathrm{J}/10^{25} = 10^{-6}$ eV である。水の温度は 0.00025℃ 上昇すると考えられる。ところが放射線で水分子中の電子を飛ばすことによって 1 J のエネルギーを与えるときは、電子放出に平均 30 eV を要することを用いると $1\ \mathrm{J}/30\ \mathrm{eV} = 1\ \mathrm{J}/(30\cdot1.6\times10^{-19}\ \mathrm{J}) = 2\times10^{17}$、すなわち 10^{17} の水分子にエネルギーが吸収されてその水分子が壊される。温度上昇にはすぐには寄与しない。もし壊された水分子がすべて逆の反応が起こり元通りの分子の再現に成功したとするならば、1 J のエネルギー吸収により 0.00025℃ 上昇することになる。

8.2　多数の細胞（または分子など）にエネルギーを分け与える

N 個の細胞から成る系にエネルギーを 1 回ずつ E を単位として次つぎと与え全部で p 回繰り返えす。このとき重複して同じ細胞に２回、３回、・・と与えてもいいとする。与えられたエネルギーの総量は pE、存在する細胞 1 個あたりのエネルギー受け取りの平均値は $W = pE/N$ である。ところが確率論からは任意の細胞がエネルギーを x 回だけ受け取る確率 f(x) は Poisson 分布によって与えられる：

$$f(x) = (W^x \cdot e^{-W}) / x! \qquad (3)$$

先に（２．概略）のなかで１ミリシーベルトの被ばくにより各細胞中の DNA の受ける損傷（電子放出）が平均して 1.2 個であろうという見積もりを述べた。この結果を１億個の細胞の場合に（２）式を適用すれば、$f(0) = (1.2^0 e^{-1.2}) / 0! = 0.30$、$f(1) = (1.2^1 e^{-1.2}) / 1! = 0.36$、$f(2) = (1.2^2 e^{-1.2}) / 2! = 0.217$、$f(3) = (1.2^3 e^{-1.2}) / 3! = 0.087$・・、$f(10) = (1.2^{10} e^{-1.2}) / 10! = 5\times10^{-7}$ なので、１億個のうちおよそ３千万個の細胞は無傷のまま、３千６百万個が１回損傷、２千２百万が２回損傷、８百70万個が３回損傷、・・そして 10 回損傷を受ける細胞も 50 個という決して無視できないことがわかる。

９．まとめ；理科教育としての提案

室温の物体はすでに数万 J/kg の熱エネルギーをもつ。ここに放射線（の運動エネルギー）から 0.001 J を吸収する（エネルギーの吸収量だけからは 1 mSv の被ばくに相当する）ことは、水ならば 1000 億分の１の割合の水分子にイオン化が起きることであるが、巨大分子 DNA ならば各分子が平均して１個の電子放出を起こし、複雑で長い分子の１箇所で化学結合の切断が生じる可能性が発生する。もちろん逆反応や修復作用で元に戻って電子放出の効果が消えてしまう可能性もある。

従来の放射線教育では、生徒も教師も共に考えるという機会が少なかったのではないだろうか。理科教育として重要なことは「自然に親しみ」、「自然の成り立ちを理解し」、「科学的な考え方」を学ぶことである。とはいうものの放射線はわれわれに感知できないもので、捉えにくく理解し難い。それに対して物質の方はなじみ深いものである。そこで「放射線を学ぶための物質からのアプローチ」を提案したい。物質をつくる原子、とくに微細粒子から成り立つ原子の構造、原子の組み合わせから成る分子、そして電子の性質に関する理解へとすすむ。物質の構造を学びつぎにその構造に影響するという観点から放射線の作用を学ぶという順序を提案したい。これと並行して電気に関することを学ぶことが有効であると思われる。電荷をもつ粒子の運動から光、さらに電磁波の発生について学ぶ。電磁波の周波数と物質中の荷電粒子の固有の振動が共振することからエネルギーの移行が起こること、物質中の化学結合が影響を受けることを理解できる。そのあとで放射線の話を持ち出すならばスムースに理解が進むものと思われる。

参考資料

1. 大野新一:「福島第一原発事故から考える学校理科教育のあり方（１）事故経過および事故原因の整理」、放射線教育、Vol. 15, No.1, 19－24 (2011).
2. 大野新一:「基本事項のまとめ：放射線と物質の相互作用」、放射線教育、Vol.13、No.1, 23-32 (2009)

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 16, No. 1, p. 57 − 66 (2012)

解　説

放射線学習の骨組を構成するキーワードの要点解説

田中 隆一
ＮＰＯ法人放射線教育フォーラム
〒105-0003 東京都港区西新橋 3-23-6 第一白川ビル
(2013 年 2 月 26 日受理)

[要約]　放射線の理科教育基盤の強化あるいは再構築に資するため、放射線の発生、性質、透過、作用、線量、効果・影響、利用、エネルギーなど、学習内容の骨組を構成する各キーワードの要点解説を試みた。

１．はじめに

放射線の理科教育は、中学校及び高等学校に共通して、科学技術と人間生活という視点から学習指導されており、放射線学習が導入される最初の段階から社会科的など他教科の取り扱いが要求されていることに特色がある。これは理科学習の他の内容（力、電気、光、生物など）とは基本的に異なる[1)]。この学習指導は約半世紀前における原子力教育の導入とともに始まったが、福島第一原子力発電所事故への対応でさらに顕著となっている。また、最近の放射線教育では放射線から身体や地域を守る防災教育や道徳教育としての位置付けが福島県を中心として強まっている。

こうした教育的な特色は国民の多くが放射線に対して抱く特別な感情を背景としているが、それとは裏腹に、放射線そのものについての理解を目的とした理科的内容が看過され、軽視され易い学習環境を生んでいる。具体的に言えば、放射線の発生、性質、作用、透過、線量、影響・効果などの基本的な学習内容が事故前から押し並べて型通りの捉え方で扱われ、ばらばらに分断されて相互の繋がりを欠くだけでなく、曖昧あるいは不適切に扱われる傾向が顕著に見られる[2、3、4)]。学習指導の重点が理科的な内容におかれていない結果として、社会的な影響が大きい放射線の人体影響や防護については適切に理解されたとしても、放射線そのものについての理解がおろそかのままであるならば、子供たちにとって放射線は“得体の知れない存在”であり続けるのではないかと懸念する。現状においては、放射線そのものをかろうじて理解させる学習の場が霧箱実験や放射線測定実習だけとなっている。

放射線に対する過剰不安をもたらしているリスク認知には客観的リスクと主観的リスクがあり、前者は線量に依存するリスクとして専門家によって科学的に評価されている。しかし、後者は線量の大きさとは直接的に関係のない一般人の放射線に対する認知バイアスであり、主に人々が放射線それ自体に対して抱く“恐ろしさ”や“未知性”に起因する。放射線の影響や防護を扱うことで客観的リスクを正しく理解させるだけではなく、放射線というものを理科的に正しく認識させることによって主観的リスクを低下させることも、放射線への過剰不安を減らすという放射線教育の大切な役割であると考える。

以上述べた観点から、ここでは、放射線の理科教育基盤の強化あるいは再構築に資するため、放射線学習におけるおなじみのキーワード、すなわち、放射線の発生、性質、透過、作用、効果・影響、利用、線量、エネルギーなど、学習内容の骨組を構成する各キーワー

ドの要点解説を試みた。解説では新たな専門用語をできる限り付加しないように心がけたが、そのことによって表現がかえってわかりにくくなる内容もあるかもしれない。しかし、教室で生徒と向き合う経験が乏しい専門家の能力限界に免じてご容赦いただきたい。

2．放射線学習のキーワード構成

放射線学習の骨組を示すキーワード構成の一例を図１に示す。発生、性質、透過、作用(はたらき)、効果・影響、利用、及び線量などおなじみのキーワードが基本的にどのような関係にあるかを図示したものである。放射線の性質には透過と作用があるが、放射線学習において重要な性質は透過よりもむしろ作用である。線量、影響、効果、利用等は作用の結果として位置づけられる。放射線の影響・防護や利用の学習まで考えると、発生→作用→線量という縦の流れが特に重要であると考える。発生源は放射性物質と人工的発生装置に大別できる。線量は放射線の影響や効果を客観的に評価、比較、予測するための尺度である。放射線影響の評価は放射線を防護するための科学的基盤であり、放射線効果の評価は放射線利用の科学的基盤である。また、放射線の防護は放射線の利用における安全性を確保する役割も担う。

ここで扱うキーワードの構成と解説の内容は生徒に学習させることを直接的な目的としたものではなく、むしろ、先生方の頭の中の整理に役立つことを念頭に置いている。また、放射線授業を計画し展開していくうえでも有効に活用して貰えるのではないかと期待する。

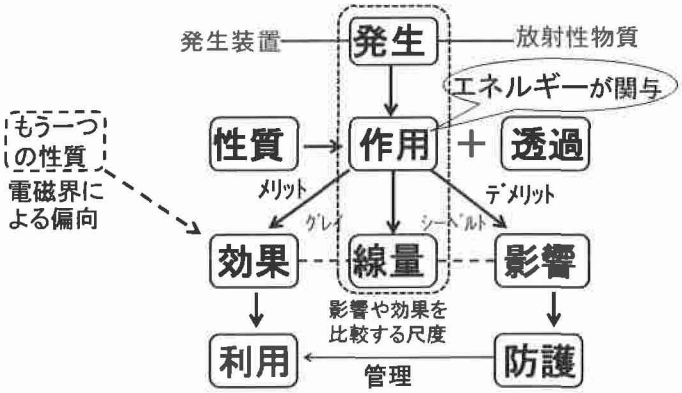


図１　放射線学習の骨組を示すキーワード構成の一例

3．放射線の発生

放射線の発生は原子力学習と放射線学習の接点としての重要性をもつ。放射線源には放射性物質と人工的な発生装置がある。放射線医療などに使用される放射性同位体を組み込んだ発生装置の例もあるが、ここで言う人工的な発生装置とは電気エネルギーを利用した加速器(X線発生装置も含む)のことを指す。

これまでの原子力教育における放射線学習では、放射線の発生の扱いに重点をおき、発生した放射線のふるまいや性質は軽い扱いとされ、放射線実習体験がそれをかろうじて補完してきた。また、発生を扱う場合でも、原子核分裂の学習の延長のような扱いであるため、放射性同位体(放射性物質)のみが発生源として扱われ、人工的発生装置である加速器

やX線発生装置はほとんど扱われてこなかった。

現行の学習指導要領では「放射線の性質と利用」というキーワードで放射線が扱われるようになったため、これまでのように理科教科書の放射線記述が原子力学習に従属せず、原子力記述からは独立する傾向が現れはじめている。この意味では、放射線授業を放射性同位体の話から始めるというこれまでの習慣にこだわる必要はなくなってきただけでなく、放射線発生源としては放射性同位体あるいは放射性物質に限定する理由もなくなってきた。むしろ、X線発生装置や加速器からの放射線を取り上げて授業を始める方が身近な体験と結び付けて放射線の性質を理解させるのに適しており、自由度の高い授業の展開が可能となる。

近年におけるわが国の放射線利用の経済規模では、放射性同位体よりも加速器(X線発生装置を含む)の利用のほうがはるかに大きいという背景もある[5)]。

4．放射線の性質

「放射線の性質と利用」という理科の学習指導のキーワードは放射線授業の復活を象徴する漠然としたお題目ではなく、読んで字のごとく正確に理解されるべきである。「性質」は光、熱、電気、水溶液などの理科の学習指導では広く扱われているキーワードであるから、その意味が曖昧であってはならないが、「性質」についての認識は共有されずばらばらなのが実態である。「放射線の性質」と題して放射性物質に関わる基礎的な内容を記述している解説書やホームページをよく見かけるが、これは明らかに「放射線」と「放射性物質」を混同している。放射線と放射能を混同してはいけないと口癖のように教えていながら、こうした無頓着がまかり通るのは、多分、執筆した専門家や教師が学校で放射線について習わなかったか、あるいは、放射線について習った課程で「性質」という用語に出会う機会がなかったためではないかと推察する。まして、放射線のもつ危険性まで「性質」で括る例に至っては論外である。このように、専門家及び教師の間で「性質」とは具体的に何を指すのかの認識を共有する基盤がない。

1951 年に公布された中学校理科の学習指導要領(試案)では「放射線の性質」が明瞭に扱われていたが、その後の半世紀以上にわたる原子力教育中心の学習指導のなかで、「性質」という理科的な内容が薄められ、忘れられてきた結果であると考える。

こうした実態を考えると、「性質」については理科学習の基本に帰って見直してみる必要がある。放射線と共通する内容を含む分野として光の学習を例にとると、放射線には電磁波と粒子線があることを別にすれば、放射線はエネルギーの高い光のような存在と考えることもできる。超高速で飛んでいること、何もないところではまっすぐ進むこと、目には見えない(可視光を除く)がどこにでもあることなど、多くの共通点があることに気づく。

中学校理科における光の扱いは反射、屈折など波動性を中心に学習指導されているが、より身近な現象として、空気、水、ガラス、薄い物質層などに見られる透過という性質がある。また、太陽熱利用や太陽電池に見られるようなエネルギー変換を伴う物理的作用、日焼け、写真、殺菌のような化学的作用、光合成のような生物的作用など、物質に対する作用（はたらき）があることに気づく。放射線との違いは透過能力や作用（はたらき）が一般的には小さいことであり、そこに光と放射線の相違点がある。作用には光や放射線がもつエネルギーがかかわるが、このキーワードについては 10. でまとめて述べる。

光の性質として反射や屈折だけでなく、透過や作用があることも学ばせたうえで、放射線の学習へと発展させるならば、放射線学習を理科授業のなかにスムーズに位置づけることが可能である。それによって、エネルギー問題とは一応切り離した本来の自然科学に基盤をおく学習カリキュラムの構築も可能であると考える。

一方、放射線の性質の学習において、α、β、γ線など個々の放射線の特徴を最初から説明する学習もあり得る。抽象的な概論として放射線学習を始めるよりも個別的な具体例から説き起こすほうが初めて放射線を学ぶ生徒には効果的かもしれない。しかし、放射線にはα、β、γ線などがあるというだけに終わることなく、放射線とはどんなものであるかについての科学的な認識に導くことも大切である。中学校段階では個々の放射線がそれぞれどんなものかについての各論に深入りするよりも、どの放射線にも共通する性質を扱うことを優先するべきであると考える。

5．放射線の透過

透過現象の本質は放射線が物質に対して“作用していない(はたらいていない)”状態である。放射線粒子(例えば電子)は、物質に作用していなければ物質からの反作用も受けないので、慣性の法則に従って運動する。したがって、副読本をはじめとして多くの教科書、解説書等に記載されている「透過作用」や「ものを通り抜ける働き」という表現は、放射線の基本的性質に関わる無知を曝け出す言葉づかいであり、矛と盾を混同する類の用語の混乱である。「透過作用」を「透過する性質」に、「ものを通り抜ける働き」を「物を通り抜ける性質」にそれぞれ修正する必要がある。

放射線粒子は、物質中を通る過程で電離などの作用とエネルギー損失という反作用を繰り返しながら透過能力が衰えていく。厚い物体の通り抜けはそうした相互作用(作用と反作用)の繰り返えしの結果であるが、透過の本質は作用とは独立した放射線の本性である。放射線が厚い物体を透過した場合、物体透過中に作用を繰り返すことに着目して、透過が作用であると理解したとすれば、透過という現象と透過という放射線の本質を混同していることになる。

高校生用の放射線副読本にさえ、「透過作用」が無修正のままで掲載され続けてきたことについては、もう一つの背景がある。物体は見た目には隙間なく詰まっているので、放射線が物体を透過すること自体が放射線粒子の物質への作用(アクション)であり「突き抜け」であると、日常感覚で判断してしまうことも影響しているのではないかと推察する。しかし、中学生用の副読本には、原子核の大きさは原子の約１万分の１に過ぎないことが書かれている。つまり、原子内の空間は人間の目から見れば微細ではあっても、放射線粒子である原子核やさらに微細な電子から見れば、スカスカの“伽藍堂”とも言えるような巨大な空間なのである。放射線透過のイメージは「突き抜け」ではなく、宇宙船が惑星間を飛行するイメージを思い浮かべるほうがむしろ適切ではないかと考える。

透過が作用ではないことが明瞭に理解できる興味深い例として、小柴昌俊博士のノーベル賞受賞でよく知られるようになった特異な放射線であるニュートリノを取り上げてみよう。ニュートリノは他の放射線とは異なり、物質中でほとんど作用を起こさない。地球内部を通過する大部分のニュートリノは一度も作用を起こさず地球を素通りする。つまり、作用ゼロでの地球透過である。このことから、透過の本質が作用ではないことが否応なし

にわかる。滅多に起きない希少価値の極めて高い作用を検知するために、小柴さんがどれほど苦心したかを知ることで、放射線の性質をより深く学ぶことができる。

このようにミクロな視点から想像力を働かせれば、「透過作用」や「突き抜け」という表現が物理的な誤解であることに容易に気づく。こうした誤解が単なる誤解におさまらず、透過という現象にさえ、「突く抜け」というなにやら恐ろしいイメージがもたれないように、放射線についての科学教育を適切なものにしていく必要がある。

６．放射線の作用

作用は、発生と影響、利用、線量などとの間を繋ぐ放射線学習における要(かなめ)とも言うべきキーワードである。線量、影響、利用についての基本理解に欠かせない放射線の性質は透過よりも作用である。しかし、現行の学習指導要領のキーワードである「放射線の性質」として「透過」が扱われているのに「作用」は扱われていない。

しかし、電離作用、蛍光作用、写真作用のように、具体的な作用を表わす合成語の形をとる記載例が教科書、副読本等にはよく見かける。力、電磁気、水溶液の化学のような理科の分野では「作用」が何であるかが明白であるが、放射線や光の場合、「作用（はたらき）」とだけ言われても、わかりにくいためではないかと考える。しかし、電離作用、蛍光作用、写真作用のように特定な作用を並べる扱いはかえって放射線作用の本質を誤解させる恐れがある。蛍光作用や写真作用が電離作用に後続する物理的及び化学的な過程として位置づけられるべきであるのに、あたかも電離作用とは本質を異にする作用であるかのように誤解されるおそれがあるからである。

また、イメージがつかみにくい「作用」を「電離作用」に置き換えれば理解し易くなるかといえば、必ずしもそうではない。確かに電離作用は放射線の初期過程の代表する作用ではあるが、電離という物理現象を生徒に正確に理解させるためには、その背景にある多くの物理的な基礎知識を前提としなくてはならないからである。

電離作用の物理的意味を学ぶ条件が整うのは高校の段階であろう。確かに中学校理科の学習指導要領で原子の成り立ちやイオンの取り扱いも復活したので、中学校において電離を扱い易くはなった。しかし、電離を正しく理解させるためには、放射線がエネルギーの一形態であることや電磁波放射線による間接電離の理解も必要となる。したがって、中学校段階での学習では、電離作用の物理的な意味や放射線の実体への深入りをせず、その理解の程度を最小限に止める、あるいは、電離を扱わないという選択もあり得る。その場合、「電離」を外した「作用（はたらき）」を理解し易くする工夫が必要であろう。

一つの工夫例としては、「放射線の性質」で述べたように、太陽電池の学習において光の性質として作用という概念を導入し、それをベースに放射線の性質の学習に発展させることである。ただし、作用の理解にエネルギーという概念を介在させることができるかどうかは大切なポイントであると思う。少なくとも、放射線の利用や影響の学習が「放射線の性質」学習から断ち切られ、まるで社会科の暗記学習のように宙に浮いた状態にある現状をそのままにしておくべきではないと考える。

「相互作用」の扱いについても触れておく必要がある。専門家向けの教育では「放射線の作用」ではなく、「放射線と物質との相互作用」が扱われている。中学校や高校の理科でも、相互作用というキーワードは放射線以外の分野で扱われているが、放射線の場合はその理解に物理

的に高度な知識が必要となるため、それを避ける選択があってもやむを得ないと考える。

7．放射線量

シーベルト、ベクレル等の単位は福島第一原子力発電所事故によってお茶の間の常識として劇的に普及したが、放射線の単位が事故以前に学習指導要領で扱われることはなかった。高校理科の新科目「物理基礎」の現行学習指導要領解説に放射線量が取り上げられたのが最初である。線量の正確な理解は主として専門家の養成のために必要であったが、事故後は、線量測定実習の体験などを通して、シーベルト(Sv)のような線量単位に子供たちも慣れ親しむことが重視されるようになった。

しかし、事故を踏まえた今後の放射線の理科教育においては、線量の学習は放射線の性質と利用、影響、防護を結び付けることが求められるので、慣れ親しむだけの教育的な扱いをこのまま放置し、曖昧で中途半端にしておくべきではないと考える。ただし、中学生に線量概念を厳密に理解させることまで指導する必要はないと考える。

放射線教育でよく扱われる線量の単位には、グレイ（Gy)で表わされる吸収線量とシーベルトで表される実効線量がある。線量単位についての学習が指導されている高校「物理基礎」では、生物的な作用に関わる尺度であるシーベルトよりも、物理的な作用に着目した基本的な単位であるグレイを扱うべきであると考える。「放射線の性質」学習を作用、影響、利用へと展開し易くするためにも、物理的な量である吸収線量を優先して学習させるべきであろう。

多くの解説書に見かけるように、吸収線量を単に「物質に吸収された放射線のエネルギー」と曖昧に解説するだけでは線量を正しく理解させることにならない。一方では、いまだに「線量は放射線の量である」との記述もよく見かけるが、これは明らかに誤りである。もし「放射線の量」ならば、毎秒 100 兆個も人体を通過すると言われている放射線であるニュートリノによって膨大な線量を人体が受けることになってしまう。この誤りは過去において「radiation dose」を「線量」と誤訳し、そのまま放置してきた日本語社会特有の問題でもある。

線量の概念を子供たちが厳密に理解するのは難しいが、誤解を避けるための吸収線量の定義は、「放射線作用の結果として物質の着目要素あたりに吸収された放射線エネルギー量（ジュール/キログラム)」であり、「作用」、「着目要素」及び「エネルギー量」が吸収線量(グレイ単位)を正しく理解するための 3 要素であると考える。「エネルギー量」とは作用によって物質に吸収されたエネルギーを指しており、この「作用」というキーワードが最も重要である。また、「着目要素」の指示が必要なのは、放射線はいずれどこかに吸収されることになるので、どこに着目しているかの指示がないと意味不明な量となるからである。

このような吸収線量の定義を授業で扱うことは難しいので曖昧なままにしておくほうがよいという選択もあり得るが、その難解な部分を回避し卑近な「たとえばなし」によって理解を助ける打開策を検討した。その「たとえばなし」の試みの一例を図 2 に示す。

つまり、「商店街の売上げ（線量）は来客（入射する放射線）の所有金額の総額（放射線の量）ではなく、来客の支払総額（作用したエネルギー量）である」と。この「たとえばなし」によって、逆に放射線の作用に関する理解も促すこともできる。

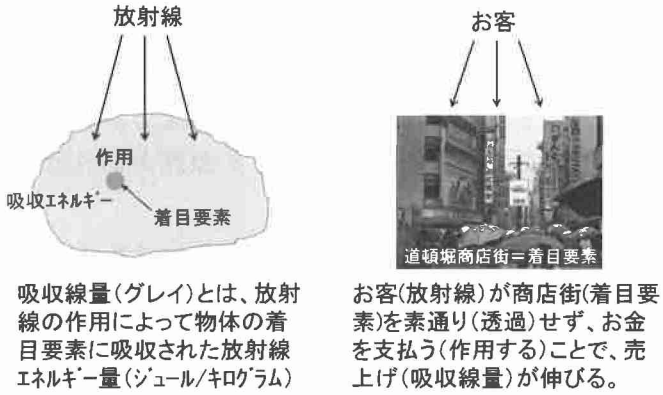


図２　線量の理解を助けるための「たとえばなし」

８．放射線の効果と影響

放射線の作用には物理的、化学的、生物的なものがあり、それぞれが人間生活と多様な関わりをもつ。作用には人間生活にとって望ましいものと望ましくないものがあるが、一般的には、前者を放射線効果、後者を放射線影響あるいは放射線劣化というように区別して扱われる場合が多い。

ものを対象とする放射線の作用は望ましい効果と望ましくない劣化に分けて扱うことができるが、それらを人間生活、医療、学術のために活用することが放射線利用である。人間や生物を対象とする作用を一般には望ましくないものとして放射線影響と言い、それらに関わる科学を人間の被曝に対する健康管理のために活用することが放射線防護(あるいは放射線管理)である。ただし、低い線量域での放射線の人体への作用には健康に有害な影響だけではなく、放射線ホルミシスと言われるような健康に有益な効果もあるので、人間を対象とする放射線作用の全てを放射線影響と名付けているわけではない。一方、放射線がん治療における外部照射利用の場合では、治療対象のがん病巣部への作用は放射線効果であるが、病巣部に近接する健全な臓器や病巣部まで放射線が通過する健全な臓器への望ましくない作用は一般的に放射線影響であると区別される。これは放射線診断についても言えることで、検知に直接的に寄与する放射線の作用は放射線による効果であるが、検知に要した人体への望ましくない放射線作用は放射線影響であると区別される。効果と影響の関係は便益とリスクの関係に対応させることもできる。

９．放射線の利用

多くの放射線利用は、放射線が物質に作用を及ぼし、それが望ましい効果をもたらすことによって成り立つ。しかし、放射線の利用において作用と透過という放射線の性質は背中合わせのような関係にあるので、結果として作用と透過の両性質が利用されているように見える。

高校の旧科目「理科総合Ａ」の教科書には、放射線の性質から利用の学習へ導く記述として、「Ｘ線診断は放射線の透過を利用し、放射線治療は放射線の作用を利用している」とある。これは間違いと言えないにしても誤解を生みやすい。Ｘ線診断では放射線が身体を通過することを利用しているというイメージが強く、診断利用の決め手となる検出部への

放射線作用や身体部位による作用の大きさの違いを見落としがちとなる。一方、放射線がん治療では、利用目的ががん病巣への作用であることは明瞭であるが、身体内部に作用をもたらすため透過性の利用と見ることもできる。医療分野に限らず、放射線利用のすべてにおいて作用と透過の両性質が利用されているという見方が自然である。ただし、放射線利用の科学的な原理は放射線の作用であって、この原理があればこそ透過性も活用できると認識するべきであろう。

放射線利用は子供たちの興味関心を集めやすい理科教材でありながら、その学習は放射線の便益性を強調する社会科教育に終始する傾向が強く、その理科教育的な意義がこれまで見過ごされてきた。放射線がどのように利用され役に立っているかを、たとえばX線診断のような卑近な利用例をあげて、図1に示すキーワードの流れに沿って具体例として教えることは、単なる利用事例の学習に止まらず、専門家が当たり前のように思って素通りしていることまで含めて、放射線とは何かについての正しい認識を助けると考える。放射線が得体の知れない存在のままでは、社会科的知識でさえ適切に根付かないと考える。放射線を“得体の知れた”存在にすることで客観的な科学的認識が育ち、その上にこそ健全なリスク認知が形成され得る。

放射線の便益性の認識では、放射線がなぜ役に立つのか、つまり、放射線利用に共通する利点を理科的に認識させることが大切と考える。具体的には、①空間を隔てた物体の深くまで放射線が直接的に作用すること、②その作用は高い精度で測定され、微量の作用でも検知できること、③人工的に発生する荷電放射線は電界や磁界の作用によって精密に制御できることの三点が放射線作用の特徴を活かした基本的な利点であることを理解するべきである。個々の利用事例を知るだけでは社会科的学習で終わり、科学や技術としての放射線理解には至らない。

産業や学術の分野における放射線利用施設は、セキュリティの厳しい原子力施設や放射線医療施設に比べれば見学が容易なので、放射線利用に関わる科学技術や安全確保について身近に学べる貴重な機会である。放射線についての正しい国民理解が利用事業の維持・発展にとって不可欠であることを施設側がよく認識し、原発事故の教訓を踏まえて適切に見学者に対応することが望まれる。利用されている人工放射線の多くは、解説書に登場する放射線の防護三原則をそのまま適用しなくとも、電源を切ることによって止められることが実感できる機会でもある。

１０．放射線のエネルギー

中学校理科の学習指導要領では、エネルギー資源の項目で光が扱われているが、光の性質は直進、反射及び屈折のみが別の単元で扱われ、新しい学習内容である太陽光発電などの光の利用についての系統立った理解にはつながらない。これと同様に、放射線の性質として学習指導要領に明記されている透過性だけでは、放射線の利用や人体影響を説明できない。なぜこのようにちぐはぐなことになるのか？

それは、エネルギー資源や省エネルギーを論ずるときのエネルギーと、光エネルギーや放射線エネルギーを論ずるときのエネルギーでは、同じエネルギーでも意味が異なることを中学生の段階で理解させるのは難しいと考えるからであろう。後者のミクロなエネルギー概念を中学生に理解させるのは時期尚早と判断し、学習指導の対象から外したと推察する。高校の新教科「物理基礎」では線量の単位が扱われているので、その基本単位である

吸収線量を理解するためにも、放射線エネルギーの一形態であることを認識させたうえで、物質への作用は放射線エネルギーの作用であることを早い時期から学ばせるべきである。

エネルギー学習においては、光・電磁波エネルギーの範疇に放射線エネルギーも含めて扱うのがよいと考える。放射線利用も広義にはエネルギー利用と言える。

新学習指導要領ではエネルギー学習のなかでエネルギー変換の視点を重視しているので、この視点から放射線と関連づけてみると以下のようになる。

原子力発電では、原子核エネルギーが核分裂によって放射線のエネルギーに変換され、その放射線と物質原子との言わば“摩擦”作用によって熱エネルギーに変換され、さらにそれを羽根車で電気エネルギーに変換している。原子力発電の場合を含めて、放射線の作用はエネルギー変換の一形態（⇒ 熱、化学エネルギー等）であると認識するべきである。吸収線量は物体の着目要素におけるエネルギー変換量を表している。人工放射線源としての加速器は電気エネルギーから放射線エネルギーへの変換システムであると認識するべきである。

これまでは、放射線学習を教育課程のなかにとにかく入れ込むことに主眼が置かれていたが、これからはエネルギー教育の学習内容や理科教育の他分野とのつながりも考えて、放射線だけを特別視する扱いから解き放っていくべきであると考える。

１１．放射線のもう一つの性質 ―あとがきに代えて―

「放射線の性質」とは一般に放射線が通る物質媒体の存在を前提とするが、放射線が荷電性である場合、物質の存在を前提としない性質として、９．で述べたような、外部の電界や磁界の作用を受けて偏向する性質があることが見過されやすい。

しかし、この性質は中学２年理科の電気の新学習項目「クルックス管」のなかで扱われながら、放射線との関わりが素通りされているという実態がある。これは電流が電子の流れであることを学ぶための扱いであり、外部の電界や磁界によって流れが偏向する性質があることから同管内の電気の流れが電子によるものであることを確認する実験である。クルックス管に印加される誘導コイルの電圧を少し高めるだけで電子の流れは荷電放射線となる。したがってこの実験は、学習指導要領が意図している電流実体の学習を超えて、荷電放射線が電界や磁界の作用を受けるという、放射線の「もう一つの性質」を学ぶため用意された放射線学習の新しい可能性を示している。

「もう一つの性質」の学習に加えて、このクルックス管実験について強調したいことは、以下の２つの理由から、学習指導要領の想定範囲を超えた放射線学習の発展の方向性が期待できると考える。

第１に、「もう一つの性質」を活用することによって荷電放射線の加速、偏向等の制御が可能となり、そうした電磁的に制御された放射線の医療や産業への利用によって毎年数兆円に達する放射線利用の経済規模の大部分が産み出されているという実態がある。その意味では、「もう一つの性質」は放射線利用を学ぶうえでは最も重要な放射線の性質である。

第２に、クルックス管実験は 19 世紀末にレントゲンがＸ線発見という世紀の偉業を成し遂げた道具立てであり、放射線に関わる科学技術発展の原点であると同時に、クルックス管それ自体が人工放射線の発生源として今日まで著しい技術進歩の歴史を歩んできた加速器の原点でもあり、放射線教育を超えて広く科学技術教育のためにも重要な位置づけで

ある。

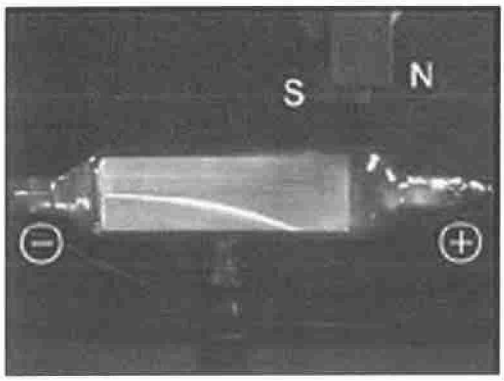


図３　中学校２年の新学習内容「クルックス管」
電流は電子の流れであることを学ぶ

原子力教育の中で位置づけられてきた従来の放射線の学習課程は放射性同位体を土台に構築されてきた。今回の事故の影響による学習事情の変化は、放射線学習の主題が核燃料中の放射性同位体から環境に放出された放射性物質へ移行したことである。ただし、福島を中心とした教育実践の方向性は、そうした放射線教育という従来の枠を超えた、言わば復興のための教育という、より積極的な位置づけであろう。これまで述べてきたキーワード解説は、そういう流れとは別の理科的な視点から放射線教育を見直し、その学習基盤を強くするための一つの試みである。放射性同位体や放射性物質に縛られない放射線学習における新しい可能性を期待する。

引用文献

1)田中隆一：原子力災害を踏まえた放射線学習の内容について、JAPI ニューズレターVol.15,No.2,p2 (2012、放射線照射利用促進協議会)
2)田中隆一：学習指導要領に基づいた放射線等の取り扱いに関する考察、エネルギー環境教育研究 Vol.3,No.2,p73 (2009)
3)田中隆一：学習指導要領の改訂と放射線の扱い、FBnews No.412,p1 (2011)
4)田中隆一：新学習指導要領と放射線教育(1)、JAPI ニューズレター Vol.13 No.1,p6、同(2) Vol.13 No.2,p7、同(3) Vol.13,No.4,p6、同(4) Vol.13,No.5,p6 (2010、放射線照射利用促進協議会)
5)齋藤伸三、田中隆一、久米民和、他：原子力利用の最新「経済規模評価」、原子力 eye Vol.54,No.5,p34 (2008)

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 16, No. 1, p. 67 (2012)

活動報告

第一回放射線教育フォーラム 愛知・岐阜・三重地区勉強会

(2013年 2月15日受理)

標記の勉強会が2013年1月5日（土）に、名古屋大学医学部保健学科東館において、13：30から6時間余りにわたって開催された。

この地区の会員は、過去10年余りにわたって行われた小・中・高校の先生方を対象とした「エネルギー・環境・放射線セミナー」を一致協力して開催し、毎年始めに会計報告を兼ねて反省会を開いて来た。しかし、3年前にこのセミナーが予算の関係から実施できなくなった。そこで地区を指導して来られた山寺秀雄先生のそれまでのご努力に謝意を表する意味を込めて、一昨年、先生にご講演をお願いし、会員の報告を含めて勉強会とした。昨年も同様の勉強会を緒方良至先生の世話で、会員以外にも呼びかけて開催した。

今年は、この勉強会を緒方先生はついに標記のような立派な名称で第一回とし、予稿集付きで発足させた。参加者はフォーラムの会員が8名、会員以外が9名、合計17名であった。

プログラムは以下の通りである。

挨拶　佐久間洋一

1）実験・実演　座長　佐久間洋一

1．紙製GM管の特性と測定電子回路：森 千鶴夫

2．手作りGM管のセットを使った実験内容とデモンストレーション：早川一精

3．林式高感度霧箱の紹介：大津浩一

4．簡易霧箱実演：石原正司

2）福島事故関連の話題　座長　山本匡吾、森 千鶴夫

1．研究報告3題：緒方良至

2．福島県に自生する植物の放射性物質集積特性：杉浦祐樹

3．除染経験の報告：森 一幸

4．除染・帰還か、移住か 福島第一原発事故による被災地域住民の選択：山寺秀雄

5．警戒区域の現状を　―映像を踏まえて―：横山知則

6．新しい食品基準について：下 道國

3）総合討論

司会とまとめ：下 道國

4）交流会

会員以外の方々の発表は会員とは異なる新しい視点と情報をもたらした。3）と4）は時間の関係から、食事をしながら行ない実りのある意見交換があった。（森 千鶴夫　記）

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 16, No. 1, p. 68 − 69 (2012)

【意 見】

原子力問題もうひとつの視点
—技術者の確保と科学教育の拡充—

菊池 文誠
放射線教育フォーラム幹事（元東海大学理学部）

1 はじめに

東日本大震災から２年が経過したがいまだに３０万人以上の方が避難生活を余儀なくされている。特に放射能で汚染された地域への復帰はまったく見通しがついていない。これは先のチェルノブイリや 60 年前のビキニ水爆実験の際のロンゲラップ島の住民がいまだに復帰できないでいることを見れば極めて深刻な事態である。このような状況の中で原発をめぐる議論は国中を挙げて展開されている。昨年末の総選挙でも各党の大きな論争点の一つとなった。多くの政党が「脱原発」、「卒原発」、「2030 年代に原発ゼロ」などのスローガンを掲げたが、結果は皮肉にも原発問題にあいまいだった自民党の圧勝となった。これは原発問題よりも経済問題や日常生活の安定が有権者の判断に大きく影響したのであろう。

原子力問題は原発をどうするかだけでなく、我々の生活全てに関係する大きな且つ複雑な関連性を含んだ問題である。これらの議論を踏まえてあまり表面に出ていない問題点について筆者なりの考えを述べたい。

２． 早期の脱原発は可能か

一口に「脱原発」とか「原発ゼロ」といってもその内容の受け取り方には人によってかなり差があるようである。つまり原発のない状態をどう捉えるかである。単に原子炉を動かさなければそれですむと考えている人から完全な廃炉までの過程を考えている人までの開きがある。これを時間に置き換えれば「直ちに」から「数十年」ということになる。ここは原発のない状態といえば当然原発による危険がない状態と受け取るべきで、単に運転を止めただけではそこに大量の放射性物質を抱えた原子炉が存在することには変りがない。したがって完全に廃炉にし、燃料を抜き、さらに使用済み核燃料も安全に処理することが必要である。そこまでの時間を考えると早期の脱原発は実現不可能であることは明白であり、まったく現実性のない議論である。

また、原発に代わる代替エネルギーに対する認識もまちまちである。確かに太陽光発電など何種類もの自然エネルギーによる発電も行われていて、いかにも今すぐにでも原子力に取って代われそうに見える。しかしそれらはいずれも小規模で、多くは開発中の段階である。とても現在の国民生活や産業用の電力不足を充分賄えるものではない。

３． 安全・安心の維持と人材の確保

このようにわが国には当分の間数十基の原子炉が存在する。それらの安全の確保が緊急の課題である。しかもそれらの危険度は個々の原子炉によって異なる。今回の大震災で事故の原因や経過を精査して安全対策を講じなければならないのは当然である。「想定外」という言葉がよく用いられたがこれは正しくない。正しくは「聞く耳を持たなかった」というべきである。具体的にはいわゆる「原子力ムラ」に代表される専門技術者の思い上がり、企業の利益優先体質、行政の無能で怠慢などが原子力以外の専門家である地震や津波関係者の貴重な意見を無視したことにある。

この反省が最も重要な出発点である。

また、全ての原子炉について共通する問題としては住民の不安や風評被害がある。これについてはこれまで再三述べたように放射線に対する正しい知識と放射線測定器の普及を進めなければならない。その一環として放射線取扱主任者の活用を考えたらどうだろうか。全国に数万人いる有資格者を居住する市町村ごとに登録して必要に応じてその地域で教育や助言に協力できる体制を構築することである。同時にこれは地域により人数の偏りがあるから広域的に運用できることが望ましい。さらに、テロ対策も無視できない。全ての原子炉が海岸にあることは小型船で接近してロケット砲で攻撃するとか、昨今の国際状況を見れば少人数の武装勢力による占拠もあり得る。そうなれば警備員や警察では対応できないので自衛隊に核攻撃に対応する特殊部隊を編成して対処するのが妥当である。このような備えがあれば万一の事故の場合にも有効なはずである。

原子炉を廃炉にする作業はもっとも厄介な問題である。これまでほとんど経験がなく、未知のこともあり、数十年かかるからである。これには長期にわたって多数の専門技術者が必要であり、その教育と人数の確保が現段階でほとんど議論されていないことに危惧を感じる。チェルノブイリ事故以来原子力に対する不信感から大学の原子力関係の学科の志願者が減少し、廃止や名称の変更が相次いだが今回の事故の直前には復活や新設があったばかりである。再び若者がこの分野に背を向ければ廃炉作業そのものに重大な影響が出ることは明らかである。また、50年間も莫大な予算を投入しながらいまだに見通しのつかない高速増殖炉と核融合の研究開発は思い切って手を引くべきである。これはかつて原子力船の開発が途中で挫折した例があったことを思い出していただきたい。

既存の原発については個々にその安全性を確認し、活断層に関係のないものは順次再稼働し、当面の電力危機を乗り切るとともに技術の継承をはかるべきである。そして新エネルギー開発が進めば順次切り替えるのが最も現実的な対応であろう。事故を起こした原子炉の処理や汚染除去作業なども並行して進められるが作業員の被ばく管理にもかなり問題があり、これは原子力関連の事業が元請、下請け、孫請けといった複雑な形態になっていることも無責任体制の一因となっている。ここでもしっかりした業務運営組織と多くの原子力や放射線の専門知識を持った人材が必要である。

4　おわりに

脱原発を進めるのにも長期間にわたって原子力の技術が必要であり、原子力問題はそれ自体が総合技術であると同時に多くのの関連分野と連動している。エネルギー、環境、あらゆる産業や経済、それに最近注目されている海底の資源開発などである。それらの基幹をなすのが広範囲を網羅した高度な科学技術とそれを支える基礎科学である。多数の研究者や技術者を育てるために大学の定員を半数以上理工系にするような思い切った転換を図り、同時に高校以下の理数系教育は実験を重視して大幅な増強を推進することが将来的な問題解決の筋道である。そしてそれらの教育では「専門バカ」を作らないように幅広い視野と豊かな人間性を備えた人材を育てることが最重要課題である。また、それらを担当する高度の指導能力を持った教員の養成や、現職教員の再教育への配慮も不可欠である。

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 16, No. 1, p. 70 (2012)

［書評］

「シビアアクシデントの脅威―科学的脱原発のすすめ―」(科学と人間シリーズ 2)

館野　淳　著
東洋書店 2012 年 12 月発行
ISBN978-4-86459-091-4
定価 2,200 円＋税
2013年3月6日受理

東京電力福島第一原発の事故は、広い範囲の放射能汚染をもたらし、その除染作業がい終わるともなく続けられている。事故原因は、大地震・津波という自然災害に事故対応のまずさという人災が加わったものとされ、あいまいなまま他の原発の再稼動問題が論じられている。

本書の著者は、設立間もない東海村日本原子力研究所化学部に研究員として入所、定年退職後は中央大学教授をつとめられ、長年にわたる研究体験を通して「自然法則からはずれる技術の危険」を学び、現在の軽水炉技術が持つ本質的な欠陥を読者に訴える。

著者は、事故後の現状を「具体的、科学的な技術論争として深まっておらず、原子力は絶対にやめるべきだという主張と、いや福島事故の教訓に学んで地震・津波への対策を講ずれば安全だという主張とが、かみ合うことなく対立し、その中で再稼動という既成事実の積み上げだけが進んでいる。」（本書「はじめに」より）と分析する。なぜ、こうした状況が生れるのかについては、原子力発電がエネルギー供給や経済を通じて多くの人々に利害関係を持ち、それが政治を動かしているからであるが、もっと大きな理由は、原子力技術に対する全般的な不安はあっても、技術として「この点だけは許容できない」という掘り下げた指摘が十分になされていないことにあるという。その技術こそが「シビアアクシデント（過酷事故）」と呼ばれるものであり、本書の標題となっている。

日本における原子力開発がどのようなものであったか、軽水炉の欠陥はどのようにして明らかにされたか、いまなにを考えるべきか、フォーラム会員の皆様に是非お薦めしたい書籍である。（大野新一）

一口メモ

放射年代測定情報

自然界でも天然放射性同位体は固有の半減期を有して放射線を放出して安定同位体へと壊変します。この半減期は自然界では不変なので放射壊変現象を利用し、適した半減期を利用して元から存在した親同位体と壊変した同位体の比から絶対年代が求まります。放射能測定以外に加速器質量分析装置を用いた極微量同位体分析法で評価でき、本誌に掲載の C-14 年代測定法に使われています。最近は自然界で天然放射線が石英や長石鉱物などに照射されると放射線影響を残します。その蓄積した影響を加熱や光励起によりルミネッセンス（蛍光）として観測し、年代測定を行う方法が有ります。これらの方法以外に、活断層の年代測定にはジルコン鉱物を使ったフィッショントラック（核分裂片飛跡）年代測定も使用できます。（橋本哲夫）

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 16, No. 1, p 71 (2012)

［書評］

『4つの「原発事故調」を比較・検証する』
－ 福島原発事故13のなぜ？ －

日本科学技術ジャーナリスト会議
（株）水曜社　　発行日　：　2013年1月6日発行
ISBN978-4-88065-306-8 C0036
1,600円＋税
2013年3月6日受理

福島原発事故について、4つの事故調査委員会（政府、国会、民間、東電）が
原因究明に当たり、それぞれ報告書が出た。しかしいずれも数100頁から800頁にわたる膨大なもので、なかなかそれらを読んで比較する、また事故の本質を探るというようなことは難しい。本書は、日本科学技術ジャーナリスト会議のメンバーの有志が科学ジャーナリストの立場からこれらの報告書の検証を試みようとし、これら4つの報告書の比較検討を行い、相違点や問題点を抽出、検討を加えたものである。

最初に、4つの事故調報告書の比較表が載っているので、これでかなり各報告書の概要が解り、事故のアウトラインが掴め、頭が整理される。

次いで、以下のような13個の問題点を抽出し、項目ごとに各執筆者が独自の見解を述べている。

Q 01.　地震か津波か？　なぜ直接的な原因が不明なのか？

Q 02.　ベントは、なぜ遅れたのか？

Q 03.　メルトダウンの真相は？　なぜ発表は迷走したのか？

Q 04.　事故処理のリーダーは、なぜ決まらなかったのか？

Q 05.　東電の「全員撤退」があったか、なぜはっきりしないのか？

Q 06.　テレビ会議の映像に、何故音声がないのか?

Q 07.　何故「原子力ムラ」は温存されたのか？

Q 08.　なぜ個人の責任追及がないのか？

Q 09.　住民への情報伝達は、なぜ遅れたのか?

09＋放射線被曝情報の誤解と混乱は、なぜ生じたのか？

Q 10.　なぜ核燃料サイクル問題の検証がないのか？

Q 11.　原子力規制への提言が報告書によって違うのは、なぜか？

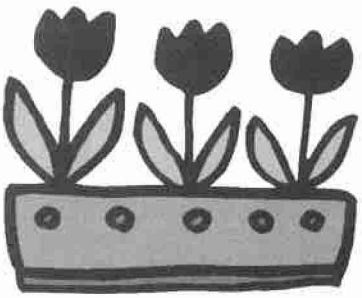
Q 12.　なぜ4報告書がこのまま忘れ去られようとしているのか？

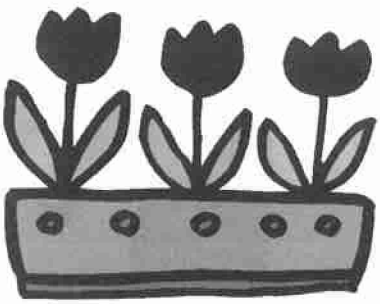
Q 13.　なぜ4報告書には「倫理」の視点が欠けているのか？

様々な立場の読者が本書を読んで、感じることはそれぞれに違うであろうが、筆者はそれなりに興味深く、疑問に思っていた幾つかの点が焙り出され、納得した点もあり、さらに疑問が生じた点もある。4つの報告書全部を読む努力と時間が無い者にとっては、福島原発事故の一端を知る助けとなるかもしれない。

但し、本書が上梓されたのは前民主党政権の時代であったことを付記しておく。

(岩崎民子)





「放射線教育」の投稿規定

NPO 法人放射線教育フォーラム発行の論文集「放射線教育」では、広く放射線教育に有益と考えられる内容の原稿の投稿を募集している。

1. 投稿資格

本誌への投稿資格は特定しない。「放射線教育」の内容及び体裁に合えば、誰でも投稿できるものとする。

2. 掲載する論文について

内容としては、放射線教育、エネルギー・環境教育の進展に寄与すると思われるもので、長さ、新規性により研究報告、ノート、解説、資料、意見、諸報に分かれる。詳細については別紙に定める。原則として未発表のものとするが編集委員会の判断によっては転載を認める。原稿の書き方は別に定める。

3. 原稿の審査

編集委員会は、論文の審査を複数の専門家に依頼する。その結果、内容・体裁に問題があると判断した場合にはその旨を著者に伝え、修正を求める。受理できないと判断した場合は、理由を明記して、報文を著者に返送する。

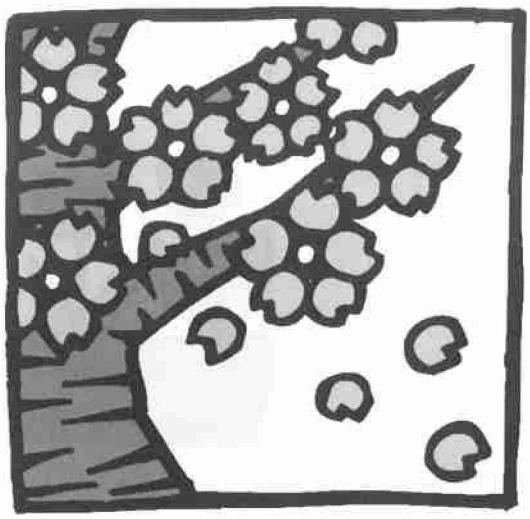
4. 論文の版権

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

5. 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、もしくは編集委員宛の E-mail による本文の送付を歓迎する。最終的な原稿はプリントアウトをして下記に送る。毎年 1 月 31 日をその年度の締め切りとする。

（送付先）〒105-0003　東京都港区西新橋 3- 23- 6　第一白川ビル５Ｆ
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）



論文の分類

研究報告（10ページ以下）

結果と考察を含み、十分な意義があるもの

a)放射線教育、エネルギー・環境教育の進展に寄与すると思われる、独創性のある研究論文。実験、調査、比較研究なども含む、

b)放射線教育、エネルギー・環境教育の進展に寄与すると思われる教育実践の報告

c)新規に開発した教材・実験方法・器具の報告

ノート（1〜2ページ）

a)放射線の理論や現象に関する新規の解釈

b)新規性の高い教材・実験方法・器具の報告

c)新規な実験データ及び考察

d)新規に考案した指導法、授業展開法、評価法など

e)放射線教育、エネルギー・環境教育に関する授業実践、イベント実践の報告

総説（10ページ以下）

原則として編集委員会の依頼によるものとする。

各専門分野の研究について、その方面の進歩の状況、現状、将来への展望などを放射線教育若しくはエネルギー環境問題、放射線及び原子力問題に関連させてまとめたもの。

資料（10ページ以下）

実験ならびに調査の結果または統計などをまとめたもので放射線教育、エネルギー・環境教育に利用できるもの（含む科学史研究）

意見（1〜2ページ）

放射線教育、エネルギー・環境教育、放射線に関する制度、教育制度などに関する種々の提案・意見など

諸報（1〜2ページ）

a)会議報告（放射線、エネルギー・環境教育に関連する会議に参加した報告で、教育的価値が高いもの）

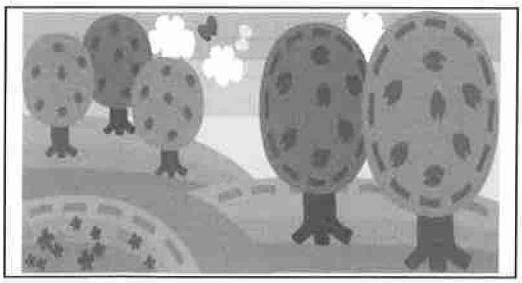
b)訪問記（放射線、エネルギー・環境教育に関連する施設に訪問若しくはイベントに参加した報告で、教育的価値が高いもの）

c)ニュース（放射線、エネルギー・環境教育、理科教育に関連するニュースの紹介）

d)書評（放射線教育、エネルギー・環境教育、理科教育に資する書籍の紹介）

e)製品紹介（放射線教育、エネルギー・環境教育、理科教育に資する製品の紹介）

f)サイト紹介（放射線教育、エネルギー・環境教育に資するホームページの紹介）



「放射線教育」原稿の書き方

放射線教育フォーラム編集委員会
放射線教育フォーラム
〒105-0003　東京都港区西新橋 3- 23- 6　第一白川ビル５Ｆ

[要約]　「放射線教育」の投稿にあたって原稿の書き方を紹介する。

1. 使用言語

使用言語は日本語とする。

2.　使用ソフト及び保存ファイル

原稿はそのまま印刷できるように MS-Word（Microsoft）で作成する。他のソフトを利用した際は，doc ファイルで保存する。それができない場合は，文章を text ファイルで，図を JPEG 若しくは，GIF で保存する。

3.　用紙

3.1 用紙の設定

用紙は A4 を用い，１ページに 40 字 40 行，上下それぞれ 30mm，左右それぞれ 25mm 以上を空ける。意見，諸報は二段組にし，１段に 17 字入れる。

3.2 枚数制限

研究報告，総説，資料は原則として 10 ページ以内にまとめる。ノート，意見，諸報は 2 ページ以内とする。別刷り作成に便利なように諸報以外は偶数ページの原稿となることが望ましい。

4. フォント

日本語のフォントは明朝体，英語は Times を用い，研究報告，総説，資料の場合，大きさは表題のみ 16 ポイント太字，その他は 10.5 ポイントとし，見出しは太字，本文は標準とする。意見，諸報は表題のみ 12 ポイント太字，その他は 10.5 ポイントとする。

5.　図表

図表のタイトルは太字とする。図は，図 1，図 2 と，表は表 1，表 2 と番号を振る。図表は上下左右のいずれかの欄に沿う状態で体裁を整える。図のタイトルは図の下に置き，表のタイトルは表の上に置く。表は縦線がない方が望ましい。

表１　図表の書き方

	番号の振り方	タイトルの位置	Word に入らない時の保存形式
表	表 1，表 2……	表の上	表を送付し，TEXT 若しくは DOC
図	図 1，図 2……	図の下	JPEG 若しくは，GIF

6. 表題，要約及び見出し

研究報告、総説、資料の場合、１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行目に住所を書く。ここまでは各行の中央にそれぞれ記載する。６行目、７行目を空けて，８行目から[要約]（50− 200 字程度）をつける。所属が複数になる場合、右肩にアルファベットを上付で付け、アルファベット毎に所属と住所をつける。

本文の大見出し、中見出し、小見出しは point system とし、1.、1.1、1.1.1 等のように書く。

意見、諸報の場合は、要約を書く必要がない。

7. 数値、単位、核種の表記

数値は、桁数が多くなる場合は、なるべく 10 の乗数を用いる。

例：370000 Bq →3.7×10^5 Bq

単位は SI 単位を使用する。古い文献を引用するため、SI 単位以外の単位を用いなければならないときは、その単位を使用した後に、SI 単位に換算した値を示す。

例：検出された放射能は 1 nCi（=37 Bq）であった。

核種の質量数は ^{60}Co、^{131}I のように元素記号左肩に上付きで表記する。

8. 引用文献

引用文献は番号に片かっこを付して本文の右肩につける。

引用文献は下の形式で原稿の最後に一括すること。ただし、文献のタイトル記載については、著者の判断に任せる。雑誌のタイトルは省略形を用いても構わない。

〔雑　誌〕著者名，タイトル，雑誌名，**巻数**，ページ（西暦発行年）

日本語の論文の場合，著者は全員の名前を書くようにする。英語の論文の場合、名前はファミリーネームとイニシャルを用いる。ページは最初のページと最後のページをハイフンで結ぶ。

例）坂内忠明，霧箱の歴史，放射線教育，**4**，4-17（2000）

Ban-nai, T., Muramatsu, Y. and Yoshida, S. Concentration of ^{137}Cs and ^{40}K in edible mushroom collected in Japan and radiation dose due to their consumption. Health physics, **72**, 384-389 (1996)

〔単行本〕著者名，タイトル，編者名，「書名」，ページ，発行所，発行地（西暦発行年）

タイトルと編者名はある場合のみ。

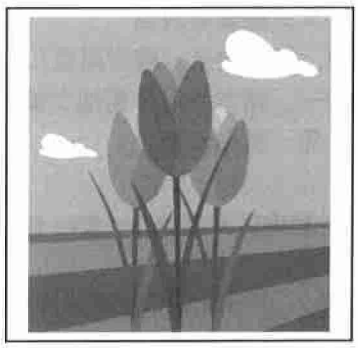
例）松浦辰男，「放射性元素物語」，154p，研成社，東京（1992）

渡利一夫，放射性セシウム，青木芳朗,渡利一夫編，「人体内放射能の除去技術：挙動と除染のメカニズム」，7-10，講談社，東京（1996）

9. その他の注意

1）用語はなるべく各学会制定の用語を用い、翻訳不能の学術語、日本語化しない固有名詞に限り原語（活字体）のまま用いる。数字はアラビア数字を用いること。

2）文献でない備考，注などは，*，**を右肩につけ，説明を脚注とし，その原稿用紙の下部に書くこと。



【編集後記】

東日本大震災から２年が過ぎ、新たな問題として浮かび上がった原子力発電所敷地内での活断層の有無が、規制委員会により取り上げられ、活断層(10 万年以降→40 万年以降に活動した地層)周辺の原子力発電所は全て廃炉にしたいとのことである。

地層の年代測定などを現役時代に研究してきた私共からすると、数万年から数十万年の活断層を含む地層の正確な年代測定そのものは大変困難である（70 ページの一口メモ参照)。十数年前に宮城県北部で幾つかの旧石器時代の遺跡の捏造事件が起きていたことは記憶されている方も多いと思う。火山灰層の年代付けも今だ不確かことが多い。その火山灰層を鍵層として判断して旧石器の捏造結果を招いたと言える。本号に掲載されている加速器質量分析器を用いた C-14 年代測定の論文は活断層の確認による廃炉問題の観点からも興味深い。

気象庁がより単純化した新津波警戒情報を最近発表した。我々が関与する放射能の単位も誰もが直ぐ理解できるように単純化する事が必要だと思う。新津波警報基準のように、単純に放射能強度として、たとえば極強、強、弱、の 3 段階に分割してそれぞれ強度での対処法を共通した知識とすることも考えられよう(無論専門家向けにシーベルトやベクレル単位の表記も付記すべきではあるが)。

放射線情報の取得に放射線測定の方法とかメカニズムは、簡単な測定器を作ることによって放射線の基本的な性質を学び、放射線教育に反映することが重要である。本誌の最初の幾つかは放射線検出や測定法の基本を解説している。

中学校教育で放射線教育が 30 年ぶりに再開されつつあったときに、原子力発電所事故が地震に伴う津波により発生した。中学における事故後の教育実践報告が被災地の福島の中学教諭から本誌に報告されている。

編集委員長としての 2 年間は福島第一原子力発電所事故に基づく「放射線教育」再出発の 2 年間でもあった。「放射線教育フォーラム」が学校での放射線教育に果たす役割は益々重要になって来ていると思う。(橋 本 哲 夫)

放射線教育　Vol. 16, No. 1 (2012)

発行日：　2013 年 3 月 31 日

発行者：　NPO 法人放射線教育フォーラム
URL：http://www.ref.or.jp

編集者：　放射線教育フォーラム編集委員会
橋本哲夫(委員長)、細渕安弘（副委員長)、堀内公子(副委員長)、
岩崎民子、大野新一、緒方良至、菊池文誠、小高正敬、鶴田隆雄
畠山正恒、松沢孝男、村石幸正
（五十音順)

事務局：　〒105-0003　東京都港区西新橋 3- 23- 6　第一白川ビル５F
放射線教育フォーラム
Tel: 03-3433-0308　　FAX: 03-3433-4308,
E-mail：mt01-ref@kt.rim.or.jp

放射線教育フォーラム 2012 年度活動報告

1．活動の概要

NPO法人放射線教育フォーラムは、放射線・放射能、原子力の専門家及び学校教員などの有志により構成され、1994年4月に発足し、2000年11月にNPO法人の認証を受けたボランタリー組織である。当フォーラムは、東電福島第一原子力発電所事故以前から多くの人々が放射線や放射能に対して過剰の不安を抱いており、そのことが原子力エネルギーに対するリスク認知を歪めていること、及び世間一般が科学技術の進歩による恩恵を受けている一方で、子供たちに「理科離れ」、「理科嫌い」の傾向があることを憂慮している。

この現状を打開するために、小・中・高等学校の教育において、放射線・放射能、原子力、及びエネルギー・環境問題に関する正しい理解が推進されるように、学習指導要領などの教育政策を改善し、意欲のある教員を育成することに重点を置いて、勉強会やセミナー、国際シンポジウムを企画・開催している。またいくつかの専門委員会を設けてそれぞれの課題を検討し、それをもとに文部科学省はじめ関係当局に政策提言を行なうなどの活動をしている。

フォーラムの会員数は、2012年11月現在で個人会員数176名、団体会員数36団体である。福島原発事故発生以後における原子力事業関係団体の団体会員の退会が急増している。今後さらに退会の現象が続くものと予想される。当フォーラムにとっては、団体会員の減少が直接に財政の収支に影響を及ぼし、フォーラムの運営にとって危機状況をもたらす。このような財政的基盤の確立を図るため団体会員の拡充が喫緊に必要のための課題として「団体会員の加入勧誘に関する調査の実施」を行なった。

勉強会については、フォーラムの定常的な活動として年3回（6月（科学技術会館で開催）、11月（科学技術会館で開催）、3月（東京慈恵医科大学で開催）開催した。参加者に好評であった。

専門委員会活動（活動の成果は「年度末報告書」で報告）「教員課程検討委員会」（2012年度は　回開催）「低レベル放射線影響検討委員会」（今年度委員会は開催されていないが、個人的に活動中）。その他の委員会は、開催されなかった。

フォーラム運営のための会合については、通常総会として年1回、科学技術会館で開催した。理事会の開催は3回、フォーラム事務所で開催した。例年開催している理事連絡会及び将来構想検討委員会は、委員の交通費の節減のため実施されなかった。

定期・不定期印刷物の刊行については、ニュースレターの刊行（年3回）6月、11月、3月）で、すでに55号までが発行された。「放射線教育」誌と「2012年度末報告書」の刊行が今までそれぞれ年1回発行されてきた。今年度から、刊行物経費節減のために、「放射線教育」誌と「2012年度末報告書」を1冊にして刊行することとした。編集委員会の開催は、2012年度に3回開催した。役員選出のための選挙管理委員会（4月から6月までに3回）を実施した。

以上の活動については、当フォーラムのホームページ（http//www.re.f.or.jp）に掲載されている。そのなかに、放射線学習指導資料 ―中学校・高等学校における放射線に関する学習指導の手引き― として、第一部 放射線・放射能の基礎、第二部 放射線実験の手引書、第三部「放射線の性質と利用」学習指導事例集などを見ることができる。

2．NPO 法人放射線教育フォーラム 2012・2013 年度役員名簿

理事：（理事長）	松浦辰男	（立教大学名誉教授）
（副理事長）	長谷川圀彦	（静岡大学名誉教授）
（副理事長）	田中隆一	（元日本原子力研究所高崎研究所所長）
（以下五十音順）	井上浩義	（慶応大学医学部教授）
	緒方良至	（名古屋大学医学部保健学科）
	大島　浩	（佐野日本大学中学高校教諭）
	大野新一	（理論放射線研究所長）
	工藤博司	（東北大学名誉教授）
	小高正敬	（元東京工業大学大学院原子核工学専攻助教授）
	中西友子	（東京大学大学院農学生命科学科教授）
	橋本哲夫	（新潟大学名誉教授）
	畠山正恒	（聖光学院中学・高校教諭）
	渡辺智博	（立教新座中学高校教諭）
監事：	朝野武美	（元大阪府立大学先端科学研究所）
	播磨良子	（伊藤忠テクノソリューション（株））

名誉会長：有馬朗人（日本科学技術振興財団会長・元文部大臣・根津育英会武蔵学園理事長）

幹事：　荒谷美智（六ヶ所村文化協会）、大野和子（京都医療科学大学教授）、笠井　篤（元原子力研究所）、岸川俊明（元熊本大学）、菊池文誠（元東海大学理学部）、熊野善介（静岡大学教育学部教授）、黒杭清治（元芝浦工業大学教授）、佐伯正克（元日本原子力研究所特別研究員）、佐久間洋一（東京工業大学特任教授）、佐藤正知（北海道大学大学院工学研究科教授）、柴田誠一（京都大学原子炉実験所教授）、白形弘文（日本エクスロン（株）技術顧問）、下　道国（元藤田保健衛生大学衛生部教授）、砂屋敷　忠（放射線影響研究所臨床研究部顧問）関根　勉（東北大学高等教育開発推進センター教授）、田村直幸（元日本原子力研究所ラジオアイソトープ・原子炉研修所長）、鶴田隆雄（元近畿大学原子炉研究所教授）、中西　孝（元金沢大学大学院自然科学研究科教授）、西尾信一（埼玉県立本庄高校教諭）、坂内忠明（放射線医学総合研究所主任研究員）、広井　禎（元筑波大学付属高校副校長）、古屋廣高（九州大学名誉教授）、細渕安弘（元東京都立保健大学）、峯岸安津子（神奈川大学理学部国内研究員）、宮川俊晴（日本原燃（株））、村石幸正（東大教育学部付属中等教育学校副校長）、渡利一夫（放射線医学総合研究所名誉研究員）、吉沢幸夫（東京慈恵医科大学）、堀内公子（元大妻女子大学教授）

顧問：飯利雄一（元信州大学教授）、今村　昌（理化学研究所名誉研究員）、岩崎民子（放射線医学総合研究所名誉研究員）、河村正一（神奈川大学総合理学研究所名誉研究員）、工藤和彦（九州大学高等教育開発研究センター教授）、黄金旺（台湾中原大学栄誉教授）、佐々木康人（国際医療福祉大学教授）、村主　進（原子力システム研究懇話会フェロー）、住田健二（大阪大学名誉教授）、野崎　正（元北里大学教授）、更田豊治郎（元日本原子力研究所副理事長）、松平寛通（元放射線医学総合研究所長）
森　千鶴夫（名古屋大学名誉教授）、山口彦之（東京大学名誉教授）、山寺秀雄（名古屋大学名誉教授）、吉田泰彦（大阪経済法科大学アジア太平洋研究センター客員教授）

３．通常総会、理事会、勉強会等の開催記録

２０１２年

５月１０日（木）選挙管理委員会　　（第一白川ビルフォーラム事務所、３名）
５月２４日（木）第１回理事会　　（第一白川ビルフォーラム事務所、７名）
６月１６日（土）通常総会
（科学技術館　６階　第１会議室、19名、委任状　113名）
６月１６日（土）第１回勉強会　（科学技術館６階　第１会議室、25名）
（勉強会プログラム）
講演　福島原発後の青森における「放射線」の理解活動について
田邊　裕　（日本原燃（株）放射線管理部長）
講演　福島ステークホルダー調整協議会の活動について
半谷輝巳　（福島ステークホルダー調整協議会事務局長）
７月１０日（火）第１回教育課程検討委員会
（第一白川ビルフォーラム事務所、５名）
７月１１日（水）第49回アイソトープ・放射線研究発表会において当フォーラムで
企画した放射線教育に関わるパネル討論を実施
７月２３日（月）第２回理事会（第一白川ビルフォーラム事務所、11名）
１１月１７日（土）第２回勉強会（科学技術館６階　第１会議室、33名）
（勉強会プログラム）
講演　なぜ「除染しよう」から「除染するな」になったのか・・・
半沢隆宏　（福島県伊達市役所）
講演　福島の円滑な除染を阻むもの
多田順一郎　（NPO放射線安全フォーラム）
講演　愛情を注いだ放射線教育（郡山市立明健中学校から学ぶ）
宮川俊晴（日本原燃（株））
１２月１８日（火）第３回編集委員会（第一白川ビルフォーラム事務所、８名）

２０１３年

３月２日（土）第３回理事会（第一白川ビルフォーラム事務所、９名）
３月２日（土）第３回勉強会（東京慈恵医科大学　大学１号館６階講堂　66名）
（勉強会プログラム）
講演　原子力災害を踏まえた高校での放射線教育の現状と課題
鈴木　亨（筑波大学付属高校）
講演　除染して帰還か、移住か ―福島第一原発事故による被災地域住民の選択―
山寺秀雄（名古屋大学名誉教授）
講演　“放射線”を伝える ―出前授業と社会コミュニケーションの経験―
工藤博司（東北大学名誉教授）
講演　放射線コミュニケーション食品の放射能汚染を中心に―
小林泰彦（日本原子力研究開発機構）

４．放射線教育誌、ニュースレターの発行

４．１　「放射線教育」誌、2012 VOL. 16 NO. 1

【巻頭言】計算の独り歩きを戒め、実証を重んじたい
山寺秀雄（名古屋大学名誉教授・大同工業大学名誉教授）

【放射線測定】学校教育における放射線実験に関する提言
森 千鶴夫(愛知工業大学教授・名古屋大学名誉教授)

【放射線測定】簡易放射線測定器によるオンラインモニタリングシステムの構築
―福島第一原発事故による緊急時の対応―　布施雅彦（福島工業高等専門学校教授）、前嶋美紀（㈱まえちゃんねっと）、松澤孝男（元茨城工業高等専門学校教授）

【実践報告】生徒が主役の放射線教育２年間の歩み
佐々木 清(福島県郡山市立明健中学校教諭

【実践報告】高校生のための^{14}C年代測定と土器の編年による寄島遺跡の年代決定の一方法
大津浩一（愛知県立熱田高等学校教員）

【研究報告】主要放射性核種の生体内挙動と除去法　　西村義一（(公益法人）原子力安全技術センター職員)、渡利一夫（(独立行政法人）放射線医学総合研究所名誉研究員）

【原著論文】福島第一原発事故から考える学校理科教育のあり方，（2）シーベルトが解るような理科教育：内容の検討と提案
大野新一、大野　玲（理論放射線研究所）

【解説】放射線学習の骨組を構成するキーワードの要点解説
田中隆一（NPO 法人放射線教育フォーラム）

【活動報告】第一回放射線教育フォーラム愛知・岐阜・三重地区勉強会

【意見】原子力問題もうひとつの視点―技術者の確保と科学教育の拡充―
菊池文誠（元東海大学教授）

【書評】「シビアアクシデントの脅威―科学的脱原発のすすめ―」館野　淳　著
大野新一（理論放射線研究所）

【書評】『4 つの「原発事故調」を比較・検証する』―福島原発事故 13 のなぜ？―　日本科学技術ジャーナリスト会議編
岩崎民子（放射線医学総合研究所名誉研究員）

投稿規程
編集後記　　橋本　哲夫（編集委員長・新潟大学名誉教授）

４．２　ニュースレター

「ニュースレター」　No.５３　　２０１２．６

巻頭言　分野横断的な研究とこれに応える人材育成
佐藤正知（北海道大学大学院工学研究科教授）

会員の声
中学校における放射線教育について ―２度の実践を通して考えたこと―
永尾啓悟（練馬区立中村中学校教諭）
なかなか聞けない？放射線への疑問を考えます ―生徒や保護者と一緒に考えるための５分間で読める知識集―
山口一郎（国立保健医療科学院　上席主任研究官）

連載　放射性核種の生体内挙動と除去法３．放射性セシウム
渡利一夫（(独）放射線医学総合研究所名誉研究員）
西村義一（(公財）原子力安全技術センター）

「ニュースレター」　No.５４　　２０１２．１１

巻頭言　学校教育で「そうだったのか」の感動を与えられるか
畠山正恒（聖光学院中・高校教諭）

会員の声　除染か・帰還か、移住か　原発事故による被災地域住民の選択
山寺秀雄（名古屋大学名誉教授、大同大学名誉教授）
原子力専門家の責任は？－安全神話再来の兆しに警鐘―
笠井　篤（元日本原子力研究所）

書評　岩波書店の雑誌「科学」放射線教育特集への感想
田中隆一（放射線教育フォーラム）

解説　空間線量率の測定と土壌の放射能測定について
橋本哲夫（新潟大学名誉教授）

「ニュースレター」　No.５５　　２０１３．３

巻頭言　原発事故後の放射線教育
大野和子（京都医療科学大学教授）

会員の声　原発再稼動問題について考える
山寺秀雄（名古屋大学名誉教授、大同大学名誉教授）

報告　生徒が主体・愛情を注いだ放射線授業　郡山市立明健中学校・佐々木清先生の授業から学ぶ
宮川俊晴（日本原燃（株）安全技術放射線管理部長）

解説　大気中ラドン濃度の変動について：地震先行現象を捕らえることができるか？

安岡由美（神戸薬科大学）、長濱裕幸（東北大学大学院）

５．2012 年度の教育課程検討委員会活動の記録

５．１　設立趣旨（設立当時の趣旨）

放射線の内容は学校教育（初等中等教育）のいろいろな教科・科目で取り扱われ、一部では効果的な実験も発表されているが、大部分は取り扱いが断片的で、学習指導の時間は少ない。また、放射線の重要性や利便性に反して、一般には怖い、危ないなどの危険性の印象が定着している。

これらの現状を鑑み、誤った知識を是正し、市民としての素養に不可欠な放射線についての事項を、どのように学校教育の中に組み込むかを検討するため、1998 年８月に本委員会が設立され現在に至っている。

５．２　委員名簿(2012 年度)

委員長	飯利雄一	元信州大学教授
委　員	黒杭清治	元芝浦工業大学教授
同	田中隆一	元日本原子力研究所高崎研究所長
同	広井　禎	元筑波大学附属高等学校副校長
同	船田　優	千葉県立船橋法典高等学校教諭
同	渡部智博	立教新座中・高等学校教諭
相談役	松浦辰男	放射線教育フォーラム理事長　立教大学名誉教授

５．３　活動経過と成果

(１)前年度までの活動と成果

1998～2007 年度　資料収集・調査活動

教員、および小中高校生・大学生の放射線に関する知識・意識調査（アンケート等）。

JCO 臨界事故に対する生徒の疑問集作成。

放射線教育を「総合的な学習の時間」にどう取り組むかの検討。

『児童・生徒の放射線リテラシー育成のための指導資料集』４章構成の作成

2008～2009 年度　中学校理科新学習指導要領の内容検討と放射線学習計画作成

「中学理科新学習指導要領に沿った放射線教育の先行的実践記録」

関東・信越地区(2)エネルギー・環境・放射線セミナーで発表

2010 年度　放射線教育 PPT 教材の作成、HP へ公開

１．原子構造と放射線の基礎

２．自然界の放射線

３．放射線の性質と利用

４．放射線医療

５．放射線は本当に危険か

発展．ウリミバエの撲滅

2011 年度　PPT 教材「原発事故をどうとらえ学校でどう指導したらよいか」を作成

第 1 部原発事故による健康への影響

第 2 部原発事故は防げるか

第 3 部未来のエネルギーを考える

前年度作成の上記「放射線は本当に危険か」を削除

（2）2012 年度の目標と活動

（2）-1　目標

前年度に引き続き同一テーマ「原発事故をどうとらえ学校でどう指導したらよいか」の第 4 部として「住民が受けた原子力災害」を作成する。

第１～3 部で扱った事象はすべて科学的に検証し説明することができる内容であり、学校では「理科」で教えるのが最適である。しかし、福島原発事故は、被害を受けた住民にとって物的被害もさることながら精神的被害（不安）が非常に大きかったであろう。が、「科学の法則」では説明できない事象が多いので第１～3 部では触れなかった。

そこで本年度は福島原発事故被災について「理科」の領域から「社会科」の領域に踏み込んで、教員が生徒と共に考える構成にし、「総合的な学習の時間」で扱うのに適した内容になることを目標にした。

（2）-2　活動内容

（2）-2-1：情報の収集

住民の被害状況は現地で被災住民から直接話を聞くのが理想であるが、人的、経済的、時間的条件すべてが不足しているため、情報の大部分を新聞記事（電子版を含む）から取った。しかしメディアの伝える住民の心情には、１部の人たちの感情をメディア特有の情緒的表現で記されていることが多いので、住民の心情については「国会事故調査報告書第 4 部-２住民から見た避難指示の問題点」※1を参考にして推定した。しかし、この調査報告書は、従来の報告書のような客観的で科学的考察よりも、各所に調査委員の感情が強く入った表現になっているように思われる。

※１：平成 24 年 6 月 28 日　国会事故調　調査報告書【要約版】p37

（2）-2-2：教材の構成

原発事故による住民の被害状況は上記目標のように「理科」から「社会科」の領域に踏み込んで考察するはずであった。しかし、情報を収集すればするほど様々な課題情報が集まって膨れ上がり「第 4 部」という 1 つの項目に収まりきれなくなった。そこで下記のように小分類「その 1」、「その２」、「その３」・・・にして構成した。

その１　原発事故発生と避難
その２　飯舘村に放射性降下物
その３　漏れた放射性物質は同心円状に広がらない
その４　原子力災害とその他の災害
その５　除染そして帰還

（内容は 1 部未完成のため 2013 年 4 月下旬頃記載する HP をご覧頂きたい。）

（2）-2-3：内容の検証

第 4 部は単なる「理科教材」ではなく、「社会科」の領域に踏み込むという初めての試みであったため、本教材がはたして学校の授業に役立つか否かの不安があった。そこで現職の教員の意見を求めるため「PPT 教材作成講習会」を企画し、本委員会と合同で 2 回の会合をもち、参加した現職教員から感想・意見を得て学校現場に適応するよう手を加えた。

事故は 2 年経過した今も収束していない。住民は不自由な避難生活を余儀なくされ、新たな問題点を派生し続けている。住民の目からすれば本教材は的を射ていないであろう。それを承知で本教材を公開し、各位のご批判を受けて順次補足していく所存である。

（文責　黒杭清治　元芝浦工業大学教授）

６．　放射線教育に関わるパネル討論とその実施報告

（１）パネル討論のテーマ
第４９回アイソトープ・放射線研究発表会におけるパネル討論
「原子力災害を踏まえた放射線教育及びコミュニケーション」

（２）パネル討論の実施
①日時　　2012年7月11日　９：３０～１２：００
②会場　　東京大学農学部弥生講堂（東京都文京区弥生1-1-1）
③内容
話題提供及びパネリスト
１．事故に関連する放射線影響についての国民の受けとめ
酒井一夫　　放射線医学総合研究所
２．原子力災害に関連する放射線防護の喫緊課題
加藤和明　　NPO法人放射線安全フォーラム
３．事故を踏まえた学校での放射線教育について
田中隆一　　NPO法人放射線教育フォーラム
４．中学校における今後の放射線教育のあり方
高畠勇二　　練馬区立開進第一中学校
５．事故を踏まえた放射線に関わる社会的コミュニケーション
浅田浄江　　ウィメンズ・エナジー・ネットワーク（WEN）
質疑応答（４０分）
座長：　田中隆一　　NPO法人放射線教育フォーラム

（３）実施結果（ISOTOPES NEWS 2012年11月号 No.703より転載）
東京電力福島第一発電所の事故がもたらした放射能災害及び風評被害を受けて、放射線に関わる教育及びコミュニケーションに対する国民的な関心が高まり、その社会的意義がこれまでになく重視されている。しかし、放射線に対する恐怖・嫌悪感が社会全般にわたって深刻化すると同時に、そのリスク認知が多様化して、放射線の影響・防護に関わる認識が混乱し、その共有が難しくなっている。この状況下で放射線についての学校教育や国民理解はいかにあるべきかをパネル討論のテーマとして取り上げ、5名のパネリストが専門の立場から講演をしていただいた。
放射線影響の専門家の視点から、放射線医学総合研究所の酒井一夫氏は、事故に関連する放射線影響の国民の受けとめに着目して、これまで体験したことのない事態の中で不安を煽る情報によって、人びとの放射線影響に関する認識に大きな混乱を引き起こしているが、専門家は専門用語の説明を含めてきちんとした理解を得るような情報提供に心掛けるべきであることなどを強調した。
放射線防護の専門家の視点から、NPO法人放射線安全フォーラムの加藤和明氏は、原子力災害に関連する放射線防護の喫緊課題として、安全神話だけでなく危険神話の呪縛からも解かれた放射線安全に係る新しい制度設計を、用語の概念や品質管理の規定、安全管理システムの運用、システムの性能監視等を含めて、わが国が世界に先駆けて速やかに構築するべきであると提言した。
事故を踏まえた学校での放射線教育では、放射線の専門家の視点から、NPO法人放射線教育フォーラムの田中隆一（筆者）は、学校教育における放射線に関わる学習指導の特殊な歴

史的な事情を背景に、文部科学省が事故後に公表した副読本を含めて、断片的な社会科学習に偏る現状の放射線学習を改めて理科的、科学技術的な学習基盤を構築する必要性を説いた。引き続いて、教師の視点から、練馬区立開進第一中学校の高畠勇二氏は、風評被害の影響で正しい放射線情報が伝わらない状況のもとであっても、少なからずの中学生が、放射線に対してマイナスイメージだけを抱いているわけではなく、様々な情報を科学的に受け止め、放射線の性質や影響とともに、除染、放射線実験等の実証的な学習を望んでいるという状況に着目し、基本的な放射線学習の徹底した継続と地域や保護者巻き込んだ教育の重要性を強調した。

社会的なコミュニケーションの視点からは、ウィメンズ・エナジー・ネットワーク（ＷＥＮ）の浅田浄江氏が、専門家と一般の人々を結ぶわかり易い情報のパイプ役としての立場から、今回の事故がもたらした放射線に関わる情報の洪水に呑まれずに、なにをどのように伝えるべきかをこれまでの地道なＷＥＮの活動実績を踏まえて適切な情報提供を実践してきた成果を報告した。

参加者（一般参加も含む）との 40 分にわたる討論では、放射線による健康影響や防護に関わる様々な情報の伝達や理解に関わる問題から日常生活に根差した放射線利用に関わる教育まで、幅広い内容が話題となったが、事故から 16 カ月経って、過剰な反応は一時期より少し落ち着く方向にあって、徐々に冷静な議論がし易くなりつつあることが感じられた。しかし、この事故で顕著に表れたマスメディアやインターネットが流す情報による錯綜・混乱を考えると、現状の教育システムではカバーしきれない科学技術情報を橋渡しあるいは仲介するインタープリターの役割を重視するべきであり、それを積極的に位置付けていく仕組みの必要性が関連する質疑から共通して感じられた。

学校での放射線教育では、原子力エネルギー学習の前に、宇宙や地球の環境の成り立ちの自然学習のなかで自然放射線やオーロラの存在を学ばせる指導が必要ではないかという意見があった。放射線利用学習のなかで放射線というものを基礎的の理解させる指導案とともに、今回の事故を踏まえた放射線教育の在り方を考えていくうえで、貴重な提案ではないかと考える。

（田中隆一　NPO 法人放射線教育フォーラム）

放射線教育フォーラム
2012年度活動に関わる参考資料

パネル討論 2(1)

事故に関連する放射線影響についての国民の受けとめ
Public Acceptance Concerning Health Effects Associated with the Fukushima Accident

放射線医学総合研究所　　○酒井一夫
(SAKAI, Kazuo)

福島第一原子力発電所事故により大量の放射性核種が環境中に放出された。放出された放射性核種はさまざまな形で人々に被ばくをもたらした。これまでのところ、一般住民の被ばく線量は深刻な健康影響が懸念されるレベルではない模様であるが、以前には体験したことのない事態に接し、不安をあおるような記事等も含めて、さまざまな情報が飛び交う中で、国民の間では大きな混乱が引き起こされた。

混乱や誤解の背景として、放射線に関連する情報が十分に伝わっていないことが挙げられる。

1．放射線の存在に関して

放射線・放射性物質というものは、福島事故によってもたらされたものである、あるいは原子力関連施設からのみもたらされるものであり、人工的なものであるという誤解があった。さまざまな形の「自然放射線」が普遍的に身の回りに存在するという事実が共有できていないために、放射線は非常に特別な存在で、健康に悪影響を及ぼすという誤解につながった。

2．放射線による健康影響に関して

放射線による確定的影響（有害な組織反応）と線量との関係に見られる「「線量効果関係」について、しきい値に関する情報が十分に伝わっていないために、放射線はどんなに微量であっても様々な障害を引き起こすと考え、不安や懸念を抱く状況が生じた。

3．放射線防護・放射線管理の考え方について

「直線しきい値無し（LNT）モデル」が、、必ずしも現実のリスクを反映するものではなく、放射線防護の立場から採用されている概念であることが伝わらず、低い線量の場合に LNT モデルの基づいた計算によって「何人ががんで死亡する」という類の誤解も多く見られた。

また、線量限度や参考レベル等の線量基準が「安全と危険の境界」であるとの誤解に基づく混乱も見られた。

放射線の影響に関する誤解は、過度の不安やいわゆる風評被害につながりかねない。広く放射線にかかわる専門家は、専門用語の説明を含め、きちんとした理解を得るような情報提供を心掛ける必要があろう。

National Institute of Radiological Sciences

（出典：第 49 回アイソトープ・放射線研究発表会要旨集）

パネル討論 2(2)

原子力災害に関連する放射線防護の喫緊課題

Urgent Problems of Radiation Protection with Nuclear Disasters

特定非営利活動法人 放射線安全フォーラム*1　　加藤 和明
KATOH Kazuaki

1．原子力災害と放射線障害

気象や地象の変化の幅が年と共に増大してきていることは、10年以上前から目についていた。“降れば大雨、吹けば大風、揺れれば大地震”である。この冬の大雪は3桁の死者を出し、マスコミは「100年に1度の“記録的大雪”」と書きたてたし、春の低気圧には“爆弾”の形容詞がつけられた。先週には演者の住む地に、これまで日本には縁遠いと思われていた規模の大竜巻が襲来し中学生1人が死亡した。

昨年の“3.11大規模自然災害”は1,000年に1度の稀有な事象といわれ、地震動と津波で2万人に近い死者・行方不明者を出した。東京電力の福島第1原子力発電所（1F）の4基の原子炉が被災し、これまで起きることはないと言われ続けてきた「原子力災害」が発生したことから、自然災害に対する安全対策に「想定外」を持ち込んだことが世の批判を浴びている。

人々の原子力に対する怖れは（つまるところ）放射線被曝に対する怖れに他ならない。しかし、“被災した1F起因の放射線被曝”で死亡した者はこれまでゼロである。その一方で、“被災した1F起因の放射線被曝”により将来健康に影響が出る可能性（リスク）を極力低減させる目的で採られた一連の取り決め（法令や行政指導）に因って命を落とした者の数は比較にならず（少なく見積もっても3桁に達しているだろう）、周辺住民（厳密にいえば国民全体）の余命短縮総量は相当のものとなっている筈である。

3.11以前、この国の“原子力”と“放射線”に対する対応は、

A：「原子力は安全である（べきであり、そうなっている）」

B：「放射線はどんなに微量であっても（人体にとって）有害である（と割り切ろう）」

というものであった。放射線防護に係る現行の国の制度設計（関係法令）は、上記のAとBを前提としてつくられていたので、3.11の大震災は結果的に放射線防護に係る現行の国のシステムをも破壊してしまった。 人々は漸く、Aは幻想に過ぎなかったことを知り、Bは放射線影響（に係る学問）と放射線管理（にかかる学問）をキチンと区別しないできたことから生み出された“ないものねだり”に過ぎないことを思い知った。今、A,Bはそれぞれ「安全神話」「危険神話」と呼ばれる。

この度の思いがけない“原子力災害”は、2つの神話が共に幻想であったことを気付かせるところとなった。両神話とも国がつくりだしたものである。須らく、記述命題の正誤、行為や判断の当否、システムの有効性、などは前提に依存して決まる。システムは独立に存在するものではないことが普通であり、一つのシステムの毀損は他のシステム設計の前提に変化を齎す。3.11は国の様々のシステム（の前提条件）に、毀損のドミノ連鎖を引き起こし、放射線防護に係る国の制度設計にも破壊を齎したのである。

世の中には無数のリスク要因が在り、一つのリスク要因についての管理方策の合理性は、他の要因もリスクとのtrade-offを考慮して判断されるべきものである。“量の変化は質の変化を齎す”ものであり、“質の変化は施策の合理性に変化を齎す”ものと知るべきである。

人が“クスリ”との付き合いにおいて得られるものは、プラス（便益）マイナス（損害=副作用）に拘わらず、受ける dose の量の大きさと共に、受ける側の置かれている状況によって異なる。この記述は“クスリ”を“放射線”に置き換えても成り立つ。因みに dose は、薬学の世界では「用量」と呼ばれ、放射線防護の世界では「線量」と呼ばれる。

2. 放射線防護に係る国の制度設計（関係法令）は ICRP の勧告に準拠

本制度の基本設計は、原子力の平和利用を決意した 1950 年代後期に行われたものであり、いってみれば“核の傘”に下に収められている。システムは ICRP1958 年勧告に準拠してつくられ、特定の放射線源に起因する放射線被曝が管理の対象とされ、自然起因、戦争・事故起因の放射線は対象外としていた。

ICRP は数年（最近は 10 年以上）に 1 度の頻度で、基本勧告の見直しを行っており、わが国は当初より ICRP の勧告を順守することを、いわば国是のようにして来た。現行（2011/03/11 を含む）の法令は、チェルノブイリ事故直後につくられた ICRP1990 年勧告に準拠したものとなっているが、原子力災害への考慮を取り込んで改正された最新の基本カ勧告（2007 年版）はいまだわが国の制度設計には取り込まれて居らず、検討中という状況にある。しかし、3.11 の後、政・官・学の別を問わず“色々の人や組織”がその中身の“つまみ食い”を続けている。

わが国の放射線防護に係る制度設計は、「特定の放射線源の使用を規制することによって国民が放射線から“望ましくない影響”を受けることを避ける」というものであり、それに伴い、“（指定の）除外”、“（量の違いにより）免除”、“（経年による放射能レベルの減弱等に依る指定の）解除”の取り決めが必要であった。これらの取り扱いに決められている各種基準値の間には整合性が著しく欠けていると思われる。例えば、この 4 月 1 日に施行となった放射線障害防止法の改正では、3.11 の 1F 被災により環境の放射線・放射能レベルが著しく変化したという、この期に及んでなお、「放射性廃棄物」の“解除基準”（クリアランス・レベル）設定に年 10μSv を使っている。

3．安全と安心

“安全はアタマで考えること”であり、“安心はココロで受け止めるもの”である。「“科学的に安全”といわれたことは“安心して”受け入れよ」とよくいわれるが、私は賛成できない。“科学的な安全の定義”など誰も示し得ないと思うからである。安全は“哲学 matter”であり、安心は“宗教 matter”である、と考える。

今日多くの人が放射線について安心を得られないでいるのは、政・官・学の全てにおいて、様々の意見・見解が述べられ、誰（の意見）を信じていいか分からなくなっているからである。哲学としての答えは、視点・立場や価値観の違いによって異なるものだからである。このような状況が続く限り、放射線安全に係る“社会の意思統一”を図ることは極めて困難であり、合理性と整合性を欠いた様々の“行き当たりばったり”の方策の横行と不作為を生み、この国の民を“ユデガエル”にしてしまうことは必定である。指導者の、誤った思い込みと思惑による意思決定は何とか是正して欲しいと願わずに居られない。

ICRP の勧告に示される数値やそれらを参考に政府が決める、設計や管理のための基準値は、どれも“安全と危険”の境界を意味するものではない。

安全論では、交通事故のリスクを低減させるためクルマや飛行機の存在を否定するなどといった、絶対的安全の追求は追及しないし、絶対的に危険なものも対象としない。その意味で、日頃慣れ親しんでいる“二分法 dichotomy の思考”で、「安全でないものは危険」、「危険でないものは安全」とするのは間違いである。絶対的安全（シロ）と絶対的危険（クロ）の間には無数の中間状態が存在するのであって、例えば“シロが 70%、クロが 30%の混合状態”とか“薄いネズミ色”といった感じのものなのである。

“安全”とは“行為や存在に付随する危険に対し、更なる対策の必要性を認めないこと”であり、“安心”とは“行為や存在に付随する危険に対し、採られた対策が適切であることを確認すること”である（加藤和明 2008）。

4．提言（喫緊の課題解決のために）

放射線安全管理の要諦は（国家運営のそれも同じであるが）、「（そのための）システムの設計と運用」に在るといってよく、システムの性能の良否は設計時に採られた前提に依存する。

安全神話は 2011 年に死んだ。危険神話も死につつある。二つの神話の呪縛から解放された新しい“制度設計”を、世界に先駆けて、可及的速やかに構築することが望ましい。日本国家にとってのエネルギーは、日本人にとってのコメのようなものである。エネルギー資源に恵まれない日本にとって“脱原子力”は賢明な選択とは思えないし、実際問題としては可能とも思えないが、仮に“原子力を止めた”としても、我々は放射線との付き合いを止めることはできない。国民線量の（大きさと）内訳を見れば誰にも分かることである。

原子力安全と調和のとれた放射線防護策を世界に先駆けて構築し、原子力の最先進国となり、原子力利用の恩恵に与ると共に、放射線安全管理システムをも含めた“高度の原子力システム”の輸出で以てこの国の繁栄を図ることを願っている。

「科学・技術が齎す“困難”は、科学・技術の力で解決できる」と 1986 年 5 月初頭に考えたが、その考えは今も変わらない。唯、解決に当るのは“科学・技術”そのものではなく、人間である。社会・国家は、資質に恵まれ意欲ある人材を育成することにもっと熱心に取り組む必要がある。

放射線の安全に係る新しい制度設計においては、以下の考慮がなされることを希望する。但し、これらは筆者の個人的見解であることをお断りして置く。

① これまでのように“核の傘”の下に置くことは止める方が良い
② 原子力安全に係る制度設計との間により一層の調和（タテ割りの壁の除去）を図る
③ 用語の概念規定と論理の展開を厳密・厳格なものとする
④ 定量とそれに基づく判定の双方に、品質管理の規定を設ける
⑤ “想定外”は前提に持ち込まず、“想定外”の事象が発生したときへの備えをシステムに組み込む。システムが平常時用と非常時用の 2 本立てとなっている場合、“切り替え”が効率的・効果的に行われるための手立て（役割を担う者とその代行順位や判定基準の用意など）を常時明確にしておくと共に全関係者に周知させる
⑥ システムの性能監視機構をシステムに内蔵させる
⑦ システムの性能監視に責任を持つ者とシステムの運用と性能改善に責任を持つ者を、任命権者と併せて明確に規定するとともに、任命権を行使する際考慮すべき要件を明記し、任

命権の行使にも責任が伴うことを明記する

⑧ 個人に係るリスクの管理は基本的に当人の裁量に委ねるものとし、必要な知識や技能を持たぬ者に対しては、社会･国家が助成もしくは代行する

（2012 年 05 月 11 日記）

*1 (NPO) Radiation Safety Forum

パネル討論 2(3)

事故を踏まえた学校での放射線教育について
Radiation Education on the basis of Nuclear Disaster Experience

NPO 法人放射線教育フォーラム　　田中　隆一
(TANAKA Ryuichi)

1．はじめに

中学校の新学習指導要領が今年度から完全実施となり、放射線授業が始まっているが、教育現場の事情は原発事故で一変した。学習指導要領に基づいて理科教科書[1)]に記述された放射線知識ではとても間に合わないからである。事故に対応するため、文部科学省は教師用の解説編も含めて小中高用の放射線副読本を昨年 10 月インターネット上で公表した。4 月にはその印刷本が小中高の全生徒に配布され、副読本を使った放射線学習の実施が指導されている。細々ながらも授業実績のある高等学校だけでなく、学習指導要領で扱われたことのない小学校でも指導されている。長い空白後にようやく復活を迎えた放射線教育にとって、まさに想定外の変化が起きつつある。

初めて放射線を学習する生徒を念頭に、副読本は放射線に関わる基礎学習に主眼を置いている。これに対して、事故がもたらした放射線の危険性に直結しない一般知識の教育は、事故の現実から子供たちの目を逸らそうとする企みだとの批判が集中した。しかし、学校教育の基本的な役割はリスク認知を客観的な認識に基づかせるための能力を育成することにある。放射線に関わるリスク認知は生徒自身の価値判断に委ねられており、自分たちはどこまでリスクを取れるかの冷静な判断と覚悟まで及ぶことが期待される。子供たちに価値判断を一方的に誘導するのは、戦争までに至る客観的な事実や歴史を教えずに、戦争が怖いことだけを教え込むのと同じである。

学校における放射線学習は今回の原発事故によっては基本的に変える必要はないと考える。放射線被ばくに関わる世間の話題にあまりとらわれることなく、放射線とはどんなものかという科学技術的な知識をしっかりと生徒の身に付けさせるべきである。ただし、子供たちが抱いている放射線に対する懸念や不安に応えることができなければ、授業への関心を引き出すことが難しい。経済的被害や風評被害を受けている人々への共感を伴った指導も必要である。

2．「放射線」は正当に扱われてこなかった ― 理科学習体系の構築が課題

副読本も含めて、放射線の学習内容の多くは、放射線の性質、線量、利用、影響、防護などが押し並べて型にはまった習慣で扱われ、ばらばらに分断されて、学習目標に合った個々の内容の組み立てや相互のつながりを欠いた状態が原発事故でいっそう顕著となっている。原子力広報、研究機関や学会の刊行書、ホームページ等に掲載されている情報を寄せ集めても、理科学習に相応しいカリキュラムにはならない。教育の原点に帰って、過去の惰性に囚われることなく、最小限の放射線用語で構成された学習体系を教師が中心となって構築するべきであると考える。

なぜ、このように事態になってしまったのか？そこには、原子力教育と理科教育において「放射線」が長年にわたって正当に扱われてこなかったという背景がある。

原子力教育では、「放射線」は原子力エネルギー利用のリスク要因であり、理科教員が扱いを躊躇したくなるような原子力の暗いエピソードであり続けた。それに加えて、半世紀前に原子力教育が導入されて以来、放射線学習の基盤は原子核や放射性同位体に関わる物理・化学であるかのように扱われ、肝心の放射線及びそれと物質との相互作用についての内容は軽視されてきた。

理科教育では、学習内容は自然科学的な視点から扱われるのが通例であるが、原子力が関わる放射線だけは別扱いとされ、自然科学ではなく、追加単元「科学技術と人間」のなかで触れるように指導されている。触れないよりはましであるが、理科の基礎学習よりもリスクや便益という視点からの社会科的な展開に学習指導の主眼が置かれている。その指導の延長上にある副読本で放射線量と被ばくリスクの関係を理解させたとしても、放射線それ自体は依然として得体の知れ

ない存在であり続けると推察される。

3．事故を踏まえて放射線利用学習はいかにあるべきか？

福島原発事故以前はわが国の原子力発電において放射線リスクが表立って世間の話題になったことはなく、原子力エネルギーの国民理解に関わる最大の課題は、リスクコミュニケーションを通しての行政や事業者と住民、国民の間の信頼醸成にある、とされてきた。今回の事故で、信頼の欠如よりも冷却機能喪失に起因する放射線リスクが最大の課題であることがはっきりした。しかし、原子力エネルギーのリスクすなわち放射線リスクである、との認知が独り歩きしていくと、放射線そのものへの拒絶感が高まり、リスク認知の矛先が放射線利用の潜在的な危険性にまで及ぶことが懸念される。

放射線の利用は、放射線についてわかりやすく、かつ、興味深く理解させる理科教材となり得るが、原子力エネルギー利用に関わるリスク認知とのバランスをとるため、放射線の便益性を強調する社会科学習に終始する傾向がこれまであった。30年ぶりに放射線記述が登場した新しい理科教科書には放射線利用の事例写真の掲載が目立つ。放射線及びその安全な取り扱いについての科学的、技術的な理解の上に立ってこそ、便益やリスクという社会科的扱いが生きるのであって、放射線が得体の知れない存在のままでは、社会科知識は正しく根付かないと考える。放射線を“得体の知れた”存在にするための学習が前提であり、健全なリスク認知を客観的な科学的認識のうえに形成させるべきである。

便益性の認識では、放射線がなぜ役立つのか、つまり、放射線利用の共通的な利点を理科的に認識させることが大切と考える。具体的には、①空間を隔てた物体の深くまで放射線が直接的に作用すること、②その作用は高い精度で測定可能で、微量の作用でも検知できること、③人工的に発生する荷電放射線は電界や磁界によって精密に制御できること、が基本的な利点であり、放射線がなぜ役立つかを理科的に知ることを通して、放射線の性質を正しく理解できる。個々の利用事例を知るだけでは社会科的学習で終わり、科学や技術としての放射線理解には至らない。

放射線利用学習はいかにあるべきか？
社会科から理科の扱いへ

1. これまでは放射線の便益性を認識させる社会科学習。認識しても、放射線は依然として“得体が知れない”。
2. 利用事例を理科的に学ぶことで、“得体が知れる”。
3. 利用事例の理科学習のなかで放射線の性質（透過と作用）や放射線のふるまいを学ぶのが効果的。
4. 放射線の性質を正しく知ることで、放射線が役に立つ科学的・技術的な理由及び線量とは何かが理解できる。
5. 利用施設の見学は放射線の安全確保を身近に学べる貴重な機会。スイッチを押せば止まる放射線もある。

4．放射線教育に欠かせない利用施設の見学[2)]

産業・学術分野の放射線利用施設は、セキュリティの厳しい原子力施設や放射線医療施設に比べれば見学が容易なので、放射線利用に関わる科学技術や安全確保について身近に学べる貴重な機会である。放射線についての正しい国民理解が利用事業の維持・発展にとって不可欠であることを施設側がよく認識し、原発事故の教訓を踏まえて適切に見学者に対応することが望まれる。利用されている人工放射線の多くは、学習書に必ず登場する放射線防護原則をそのまま適用しな

くとも、電源を切ることによって止められることを実感させる機会でもある。

学校側が見学の学習目的を施設側に事前によく説明し、施設側対応者が学習の目的をよく理解したうえで対応するという基本を守らないと見学の効果が薄れる。楽しく見学できればよいという安易な対応や型どおりの施設案内では、せっかくの貴重な機会が活かされない。

５．放射線影響・防護の学習内容について

放射線リスクには客観的なものと主観的なものがある。客観的リスクは、癌の発生リスクなど専門家による評価・管理の対象であるが、国の責任者の説明逡巡、専門家間の意見の食い違い、マスコミなどの偏向報道などによって、人々が不信感に囚われ、疑心暗鬼になっている。一方、主観的リスクについては専門家があまり言及していないが、放射線制御の難しさ、非自発的な被ばくに代表される「怖ろしさ因子」と、不確実性、未解明、学ぶ機会がないことなどで代表される「未知性因子」がある。主観的リスクは、放射線量が多いか少ないかに直接関係なく、放射線に対して一般の人々が抱き易いイメージであり、そのバイアスは不信感や疑心暗鬼によっていっそう強められている。こうした影響下にある学校教員の多くが、放射線影響・防護の学習のために今回の副読本を授業で積極的に活用することを躊躇する傾向が見られる。

副読本は断片的なリスク情報を寄せ集めた急場しのぎである。事故がもたらした社会的な反応を踏まえて、放射線影響・防護に関わる教育やコミュニケーションはいかにあるべきかについて考え直す必要があろう。影響・防護に関わる型にはまった学習を改め、放射線量についての正しい理解のための学習、放射線被ばくに依らないＤＮＡの損傷・修復、生活習慣と発ガンとの関係、確率・統計データ、科学評価の不確実性等についての適切な理解が必要と考える。さらには、食品添加物や残留農薬の摂取による健康リスクと放射線被ばくによる健康リスクとの比較、汚染環境での生活の継続による放射線のリスクとその環境を離れる場合に遭遇する別のリスクとのバランス（リスクトレードオフ）など、幅広い関連知識も含めて教科横断的に扱うべきではないか。

放射線影響・防護の学習内容の考え方
副読本の改善に向けて

1. 断片知識の寄せ集めではない学習システムが必要。
2. 学習内容を放射線基礎（性質など）に基づいてた構成とするべき。
3. 線量単位の基本（グレイ）を正しく教えるべき。シーベルトの理解に深入りする学習に疑問。
4. 理科よりも「総合的な学習の時間」を念頭に置いた教科横断的な内容として再検討するべき。
5. 非常事態（クライシス）及びその対処とは何かの基本を認識させるための学習内容を含めるべき。

引用文献

1）田中隆一：「新学習指導要領に基づいた放射線等に関わる理科教科書記述の考察」日本原子力学会　秋の年会（2011）
2）田中隆一：「学習指導要領の改訂と放射線の扱い」FBnews No.412 p.1 (2011)

パネル討論 2(4)

中学校における今後の放射線教育のあり方

東京・練馬区立開進第一中学校　高 畠 勇 二
(TAKAHATA,yuji)

1．放射線教育の位置づけ

今年度から中学校において完全実施されている学習指導要領に、30 年ぶりに放射線の指導について次のようにその内容と取扱いが示された。

> ア　エネルギー　(イ) エネルギー資源
>
> 人間は、水力、火力原子力などからエネルギーを得ていることを知るとともに、エネルギーの有効な利用が大切であることを認識すること。
>
> アの(イ)については、放射線の性質と利用にも触れること。

これを受けて、中学校理科における放射線教育のあり方について東京都中学校理科教育研究会のグループで検討した。この段階では、放射線の基本的な性質の学習を通して、自然科学の視点に加えて経済活動なども踏まえた社会科学の視点も含めて、エネルギー環境教育の視点からエネルギーの有効利用を認識させ、日本の未来社会を考えさせるという学習内容とした。そして、2010 年 12 月に練馬区で、2011 年 1 月に八王子市で授業研究を試行した。この時点では、安全に放射線を利用することを前提として、放射線と社会生活の発展という視点を前提としていた。

しかし、その後、2011 年 3 月 11 日の東日本大震災とそれに伴う福島第一原発事故により、放射線に対する社会の視点は大きく変わり、それに伴い中学校における放射線教育のあり方も再検討することが必要となった。

2．社会状況の変化を受けて

大震災と原発事故について、テレビや新聞などで被災地の復興とエネルギー計画に関わる原発の今後に関する報道が連日なされ、これからの日本の未来を定める最重要社会問題として大きな関心を集めている。その中で、放射線に関する報道では様々な情報が伝えられてくるが、現状を正しく認識するための十分な知識や理解がない状況の中での論議が行われたり、ステレオタイプの考え方から風評被害が広まったりする状況も見られている。

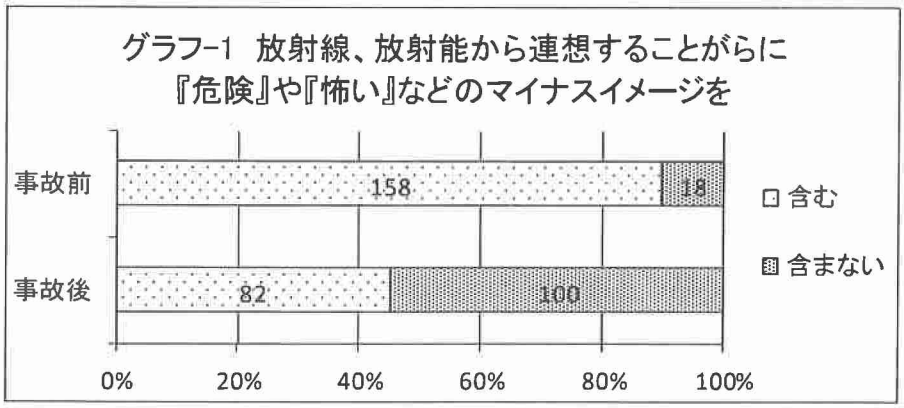
これまでの学校教育においても、社会生活との結びつきを重視した学習指導は求められていた。中学校教育においては、今こそ、教育基本法に示されている「教育は、人格の完成を目指し、平和で民主的な国家及び社会の形成者として必要な資質を備えた心身ともに健康な国民の育成を期して行われなければならない。」という目的を達成するために、「必要な資質」としての放射線教育を進めなければならない。

3．放射線教育のあり方

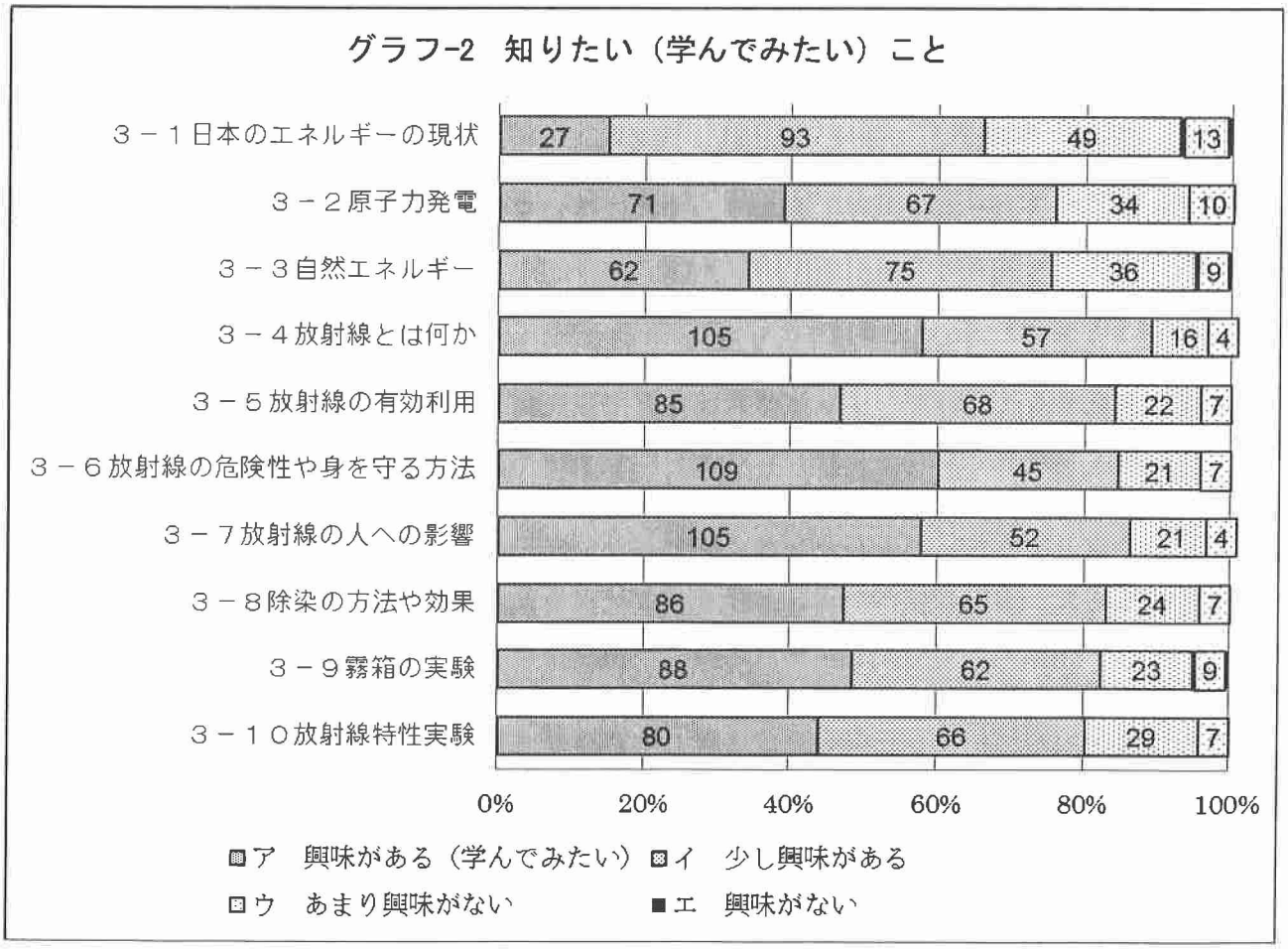
日々の生活の中で、政府はもちろん、放射線に関わる関係団体や技師、研究者などの専門家などから、放射線量測定値や放射線汚染、放射線の健康影響など放射線に関する多種多様な情

報が伝えられてくる。これらの情報は、中学生の生活や意識にも大きな影響を与えている。

練馬区立中学校の中学生に対して、放射線、放射能から連想することがらをあげさせ、その回答がマイナスのイメージを含んでいるかの調査を行い、その結果を原発事故前後で比較するとグラフ-1 のようになった。



放射線、放射能から連想することがらについて調査した結果、『危険』、『怖い』、『病気』、『被ばく』、『有害』などのマイナスイメージをあげている生徒が半数近くいる。しかし、事故前に比べると、『ある一定量』、『自然放射線』など科学的な認識の記述が増え、単なるマイナスのイメージだけではない回答が増加している。このことから、前回の学習の影響とともに、様々な情報を科学的に受け止めている様子がうかがえる。



また、今後学んでみたいことについて調査した結果、グラフ-2 のようになった。このことから生徒は、放射線の性質や危険性、人への影響などとともに、除染や霧箱実験、放射線特性実

験などの実証的な学習を望んでいることが分かった。

このことから、放射線の学習については、当初想定していた「社会科学の視点も含めて、エネルギー環境教育の視点からエネルギーの有効利用を認識させ、日本の未来社会を考えさせる」という学習から、放射線に関する基本的な性質を理解するためにより限定した実証的な学習へと視点を変更する必要があると考える。

具体的には、次のような手立てをとって放射線教育を進めていきたい。

① 学習の始まりは放射線量の継続的測定とする。

学校や地域の線量値の比較や変化から、放射線の基本的な性質を理解するための実証的な学習を行う。また、このために、それぞれの地域にある教育センターや学校などに活動の中心的な組織を設置し、地域の情報を共有できるネットワークを作る。

② 学習のための学習資料として、文部科学省が 2011 年 10 月に作成した副読本を活用する。

これにより、より多くの教員が共通した視点で放射線教育に取り組むことができる。

ただし、地域によって生徒の実態は異なるため、多様な指導計画を立てられるよう副読本活用のための指導ガイドの構築を組織的に行う。

4．おわりに

放射線に関する測定値、規制値、社会生活への影響など様々な情報は、政府や研究組織、大学研究者などから伝えられる。しかし、現状では復旧や復興に向けた納得という形で社会に受け止められていない状況にある。この原因として、国家や科学技術に対する信頼が大きく揺らいでいることがあげられる。

国民の間に実践的実証的な放射線に関わる文化を広め定着させるために、生徒に対して基本的な放射線の学習を徹底して継続して行い、地域や保護者を巻き込んだ放射線教育を中学校教育で取り組んでいきたい。

Kaishin-daiiti Junior-High School Nerima-ku Tokyo,japan

パネル討論 2(5)

事故を踏まえた放射線に関わる社会的コミュニケーション

Social Communication on Radiation after 3.11

ウイメンズ・エナジー・ネットワーク（WEN）*1

○浅田浄江、碧海酉癸、大西慧子、神谷真美、黒岩温子、松井恵美子、三石治子、武藤久美子、吉成幹子

(ASADA, Kiyoe ; AOMI, Yuki ; ONISHI, Keiko ; KAMIYA, Masami ; KUROIWA, Haruko ; MATSUI, Emiko ; MUTOU, Kumiko ; MITSUISI, Haruko ; YOSHINARI, Mikiko)

1．はじめに

ウイメンズ・エナジー・ネットワーク（ＷＥＮ）は 1993 年（平成 5 年）3 月に設立された任意団体である。エネルギーに関する専門家と一般の人々を結ぶわかりやすい情報の提供者（パイプ役）として活動することを目的とし、現在、正会員 90 名（賛助会員を含め 121 名）が、それぞれ興味・関心のあるプロジェクトに所属して自主的に活動している。

そのプロジェクトの一つである「くらしと放射線」は 2001 年と 2005 年の 2 回にわたり一般の女性たちが放射線利用についてどのような認識を持っているかについてアンケート調査を実施した。日本における原子力の平和利用について考えるとき、発電と並んでいわば車の両輪ともいえるアイソトープ・放射線利用が多様な分野で広く行われているにもかかわらず、一般市民にはほとんど情報が届いていないことに疑問をもったことがきっかけである。以来、小冊子の作製、それを活用したフォーラムの開催等により＜放射線の基礎知識＞と＜放射線の利用＞を中心に一般市民とりわけ女性向けに 10 年間にわたり情報提供するとともに、コミュニケーション活動を続けてきた。

ところが、2011 年 3 月 11 日の東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故を契機に、放射線に対する人々の関心や不安は一気に高まり、特に、人体への影響について、マスコミやＷＥＢで流される膨大な情報をどう理解したらよいのかと混乱した。

そのような状況下で、ＷＥＮが試みた 2011 年度の活動について以下に述べることとする。併せて、2012 年 3 月に改定・発行した小冊子「くらしと放射線」と別冊 Q&A「放射線の影響」をパネル討論会の席上で配布し、本稿の補完としたい。

2．活動の概要

事故後にもたらされた放射線に関する情報は洪水のようであった。その中から、ＷＥＮとして何を、どのように伝えるべきか検討し、①～⑧の通り実施した。

①メンバー自身が知りたいと思う疑問点を挙げ、情報収集し、整理する。

②放射線の人体への影響に関して専門知識を習得する。⇒　勉強会の実施

　タイトル：「放射線のひみつ」

　講師：東京大学医学部附属病院放射線科准教授　緩和ケア診療部長　中川恵一氏

③消費者の視点、生活者の声を再確認する。⇒勉強会の実施

　タイトル：「放射線を正しく怖がるための情報提供について」

　講師：全国消費者団体連絡会事務局長　阿南久氏

④上記①～③を踏まえて「放射線の影響」について 15 の Q&A にまとめ、10 年前に＜放射線利用＞に着目しながら発行し、改訂を重ねて活用してきた小冊子「くらしと放射線」の別冊として発行する。

⑤対象は福島から比較的離れた地域に居住し、放射線について関心を持っている一般市民とする。

⑥「安全」「安心」「大丈夫」という言葉は使わず、読者の判断のきっかけになるように、正確な情報提供、要因を含めた解説を心がける。

⑦完成した小冊子と別冊Q&Aはできるだけ対話をしながら広く配布する。

⑧対話の内容や小冊子、別冊Q&Aに寄せられた読者の声を大切にし、次に生かす。

3．結果および考察

別冊Q&A「放射線の影響」は7月26日～10月13日に10回の作業会を経て10月に発行された。その製作過程で直面した課題は以下のとおりである。

＊状況が日々変化していく中で、人々が知りたいもの、必要なものを見つけ出すことの難しさ。

＊低線量放射線の継続的な被ばく影響について、専門家間でも意見が分かれている。

＊事故によって放出された放射性物質に関するデータが発表機関によって異なっている。

＊除染について、状況が時間とともに変化する中、どの時点の情報を取り上げるか。

＊食品安全委員会が示した「生涯累積100mSv以下」について、どう理解し、どう説明するか。

＊放射性物質の「食物連鎖」に関しては特に資料が少なく、WEB上では極端な生物濃縮を想起させるようなページもあり書き始めるのに勇気が要った。

その後、食品の暫定規制値の見直し・新基準値の施行にあたり、2012年3月には改訂版を発行した。

2012年3月末までの配布数は約4000部であり、その主な配布先は

大学祭ブース（東工大10/22･23、近畿大学11/2･3、東京都市大11/20）、柏崎での講演会（10/29）、横浜での講演会（11/1　）をはじめ、会員・賛助会員を通じた各地のネットワークとなっている。

対話による生の声を拾ってみると

＊東京に住んでいて大丈夫か、福島産のものを食べて大丈夫か

＊放射線はとにかく怖い、放射線治療が心配

＊ベクレルからシーベルトへの換算方法がわかりにくい

＊Qはわかりやすいが、Aの文章が長い、やっぱり難しい

＊いろいろな食材をバランスよく、楽しく食べることが重要だと感じた

4．終わりに

震災後、人々が持つ放射線の知識は明らかに増えたが、震災前から食物にも放射性物質が含まれていること、殺菌・滅菌にも放射線が使われていること、放射線は遮蔽できることなどについて知らない人が多い。今後も以下のことに留意しつつ、継続した情報提供と地道なコミュニケーションの必要性を感じている。

＊状況は時間とともに変化している。タイムリーに新たな知見を提供していく必要がある。

＊よりわかりやすい説明のために、さらなる工夫が必要

＊身近な話題、くらしの視点に関連して説明することがポイント

＊知っていれば、過剰な不安は収まることもある。「なぜそうなのか」を解明する根拠をわかりやすく提示したい。

＊風評被害や差別を生み出す可能性のある意見や感想に耳を傾け、今後の改訂や活動内容に反映させていきたい

*1 Women's Energy Network（WEN）

福島県の円滑な除染を阻むもの

NPO 放射線安全フォーラム
多田順一郎

松浦理事長から除染に関する話題をお話するようご依頼戴きましたが、除染の実際に関することは、伊達市の半澤次長が詳しくお話される筈ですので、その除染がなぜ思うように進んでいないのかという点についてお話することでお引受け致しました。しかし、お話する内容を考えているうちに、単に除染の問題だけをお話するよりは、福島の復興そのものが抱える問題について幅広くお話し、皆様に考えて戴く機会を提供したいと思うようになりました。ですから、私のお話のタイトルは、寧ろ「福島県の復興を阻むもの」とすべきだったかも知れません。福島県の方々は大変控えめで大人しいのか、さまざまな問題や不満を抱えながら、なかなかそれを声に出して仰らないところがあり、この場を借りてそうした声なき悲鳴を皆様にお伝えできればと考えたからです。

1. 除染ガイドライン

円滑な除染を阻む最大の原因が環境省の「除染ガイドライン」にあるという事実は、皮肉を通り越して悲劇的な段階に達しています。そもそも、このガイドラインは、昨年暮れの放射線審議会で様々な不備を指摘されたのですが、1 月に差し迫った法令施行に対応するため、「不備な点は随時改訂する」という約束の下に放射線審議会を通してもらった経緯がありました。しかし、それから 1 年近くが経過するにも関わらず、ただの 1 字も改訂されることなく今日に至っています。そのため、「汚染を集め、それを封じ込め、二度と散らばらないよう管理する」という原則に反する除染の遣り方や、汚染の実態から乖離した除染法が、未だに「標準的な除染法」に位置付けられています。また、いわゆる仮置き場の仕様も、発生する除染廃棄物のレベルとは懸け離れた過剰防護で、そのことが却って仮置き場の設置に対する住民の不安を引き起こしています。そして、こうした現状に合わないガイドラインが、除染交付金の有効な使い方を妨げている点で、ガイドラインを随時改訂するという約束を履行しない環境省の怠慢は、福島県の除染活動を妨げる最大の障害を作り出しています。

2. 除染交付金の運用

除染に関する現地の要望は、地域によって様々に変わります。除染を担当する市町村が、そうした状況に応じて柔軟に除染交付金を使うことができれば、除染はもっと円滑に進んだことでしょうし、当事者の市町村も、除染交付金をもっと有効に使うために知恵を絞ったに違いありません。しかし「交付金」と言いながら、除染交付金の使い勝手は補助金同然に硬直した運用であり、市町村は予め定められたメニューから「積み上げ方式」で除染費用を県に請求しなければなりません。そのメニューは、現地の状況から乖離した「除染ガイドライン」に基づいていますから、役に立たないと分かっている作業でも費用を捻出するために項目に含めざるを得ず、非常に有効だと分かっている工法もメニューになければ採用できません。その結果、無駄な作業や過剰な作業が横行し、住民のために本当に必

要な作業は一向に捗りません。

3. 責任の丸投げ

県民健康調査は、原爆の放射線を受けた人たちの生涯健康調査（LSS）と同様に、国家プロジェクトとして取り組むべき性質のものです。そして、その調査結果は、福島県に住む方々の安心につながるばかりでなく、原爆の生涯健康調査と同様に、放射線利用をする世界中の人々の安全管理に貴重な情報を齎します。併し、そうした成果を得るためには、適切なグランド・デザインに基づく調査をきちんと継続して行かねばなりません。調査の具体的な設計は、原子力安全委員会が昨年度のうちに作成すべきものだったと思いますが、国は具体的なグランド・デザインを示すことなく、この重要な調査を福島県に丸投げし、福島県は、更に福島県立医大に丸投げしてしまいました。

郵送によるアンケート調査への悪評は多くの方の耳に達していることと思いますが、一県立医大が200万人の福島県民を対面調査することなど、端から適わぬことであったのは誰の眼にも明らかです。しかも、原爆の生涯健康調査の場合と異なって、放射性セシウムで汚染された地域に住む方々は今後も「追加線量」を受け続けますから、最終的な調査対象は、これから生まれてくる世代の人々を含め延べ600万人に達するでしょうし、追跡調査の実施期間は、二世代目・三世代目の方々が亡くなるまでの100年を越える期間になるでしょう。そうした長期間の大規模調査に対応するには、予算面で保証された国の機関が必要なのは明らかです。

4. ちょっと困った住民意識

そもそも1年間の追加線量が1mSvまで除染すると政府が公言してしまったことが問題なのですが、住民の中には、1mSv（0.23μSv/hr）まで除染してもらうのは「権利」だと主張される方々が増え始めたように思います。とくに、長期間の避難生活でストレスを受けられている方々の中に、そうした主張をなさる方が多いようです。広大な福島県全体を1年間の追加線量が1mSv以下まで除染するのは、口で言うのは簡単でも実行するのはほとんど不可能でしょう。その意味で、原子炉が未だ冷温停止状態から程遠い昨年4月の段階で、1年間に1mSvという「現存被ばく状況」に適合しない基準を出してしまった影響は、福島の復興の大きな妨げとなっています。

福島県では、ごく普通に暮らしていらっしゃる方々も、汚染のレベルによらず心の奥にストレスを抱えていらっしゃる場合が少なくないとお見受けしますので、そうした方々へのメンタル面での支援は、今後ますます必要になって行くであろうと思います。仮置き場の設置に関して、総論賛成各論反対のNIMBY症候群や、地区外からの廃棄物の受け入れを反対するなど、聊かギスギスした状況が生じているのも、そうした精神的なストレスのなせる業であろうと考えて居ります。

5. リップサービスの弊害

政府が打ち出した除染廃棄物の「県外最終処分」は、普天間問題の二の舞になる空手形に終わることは誰の眼にも明らかでしょう。当初は、電源特会代わりの収入源を当て込んで双葉郡の首長さん達も、中間貯蔵が「終わりのない中間貯蔵」であることに気付いた今、

どうにかして政府の提案を撤回させるべく奔走しているように見えます。実行不可能なリップサービスは、問題を混乱させ、仮置き場の設置など現場の除染活動を遅らせる効果しかありません。政府は、できるだけ早く「県外最終処分」などの実行不可能な目標を撤回し、現実的な対応に切り替えるべきだと思います。

リップサービスと同根のものとして、賠償金以外に様々な名目で被災者の方々に支払われている現金があります。残念ながら、客観的に見てそうしたお金が人々の生活再建に役立っているようには見えません。被害を受けた方々には生活再建の手助けが必要ですが、個人に払うお金にはキリがありませんし、地域の復興にもつながりません。

6. 前輪の轍を踏む復旧事業

阪神大震災のとき、日本は神戸港を「復旧」しましたが、その間ハイテク化を果たした釜山港にアジアのハブ港を見事に攫われ、神戸港は未だに「復興」を果たしていません。除染は「復旧」作業ですが、決して汚染以前の状態には戻せない「不完全な復旧」に過ぎません。ですから、除染だけで被災地を「復興」させることは不可能でしょう。しかし、国は未だに福島県の復興に関する具体的な青写真を示せずにいますし、市町村レベルでも除染の後に何をするかをあまり考えていないように思えてなりません。

国も東京電力も、不完全な復旧だけでは、被害を与えた方々に「お詫び」したことにならないことを、はっきり弁えるべきでしょう。国は、できるだけ早い機会に、汚染前の状態に戻すことが不可能であることを人々に説明し、その不利益を補って余りある公共サービスなどで、汚染が生じる以前より「暮らし易い」地域をつくることで人々に「お詫び」する方向に向かうべきであろうと思います。

問題を難しくしているのは、福島県のような地方に、もともと過疎化の進行という下地があったことで、福島県の「復興」では、この長年解決されずにきた問題を併せて対処しなければなりません。税制面の優遇措置をする「復興特区」のような形で企業を誘致する案が直ぐ持ち出されますが、福島県の電力事情と、福島県民が原子力発電所の再稼働に強く反発していることを考えると、大きな生産設備を持つ企業を誘致することは、かなり困難が伴いそうです。

7. 歴史的愚法「除染電離則」

除染電離則の内容は、現地の状況から余りにも乖離し過ぎていますし、汚染を受けた地域に居住している人々の気持ちを余りにも蔑にしています。除染電離則は、客観的に見て旧労働省関係の官僚が責任回避のためという「内向き」の理由から、霞が関の机の上で鉛筆を舐めながら電離則を下敷きにして捻り上げた代物と言うべきでしょう。除染特別区域での作業ならば、従来の電離則をそのまま準用すれば十分ですので、あのような法令を作る必要がありませんでした。そして、現在も人々が日常の暮らしを営んでいる除染実施区域での作業には、そこで暮らす人々に配慮した作業のガイドラインを考えるべきだったと思います。

8. 不合理な食品基準

4月に施行された食品基準は、「安全」のためではなく「国民の安心」のためという前代

未聞の目的のために導入されたものでした（2月23日読売新聞に掲載された小宮山厚労相の論文）。事実、コープふくしまが実施した大規模な「陰膳方式」の食事調査でも、昨年3月11日に導入された「暫定基準」――それですら国際基準のCODEXより厳しい――の下でも、福島県民の食事には、放射性セシウムがほとんど入っていない（大部分は食品基準の1%以下）ことが明らかになっています。

1 mSvの内部被ばくをするには、約60,000Bqの放射性セシウムを摂取する必要があります。今日、主食の米ですら1年間に1俵（60kg）食べる人は稀でしょう。況して、嗜好品であるマツタケやあんぽ柿を1年間に何kgも食べる人がいるとは、到底考えられません。食物の年間摂取量に配慮しない食品基準は、福島県の農業や食品産業に重い負担となって圧し掛かっています。食品基準ギリギリの食物を年間600kgも食べなければ内部被ばくが1mSvに達しないことを考えると、食品安全委員会が食品基準を導出する際、極めて単純な計算間違いを犯したのではないかとの疑いを禁じ得ません。

9. メディアの無責任

メディアは二言目には「風評被害を起こさないように」という注意に言及しますが、その実、メディアの流す情報は、消費者の不安を掻きたてるものばかりに思えます。「安全であること」が余りにも当たり前になったわが国で、安全であるという情報をニュースとし難いことは理解できますが、特に全国メディアの伝える不安情報が、福島の復興の足枷となる場合が多いことも否定し難い事実です。

また、メディアは「報道の中立」を建前に、しばしば安心情報と不安情報を並列して報道します。しかし、情報（情報源）の信頼性に関しては、必ずしもよく確認されないまま報道されている場合があるように思われます。とくに、一部のメディアは、少数意見を取り上げることに殊更熱心なようです。少数意見を安易に無視しないことは重要ですが、科学的な知見に関する少数意見には、それが少数意見に留まっている科学的な理由があるものです。少数意見に熱心なメディアの中には、収録した情報を編集によって発言とは異なった趣旨に作り変えて放送する行為を繰り返す悪質なものもあり、なぜメディア界の報道倫理に関する自浄作用が働かないのか不思議でなりません。

以上述べてきた様々な理由により、福島の除染も復興も、その足取りは甚だ凝かしく、当初は巨額に思えた3,800億円の除染交付金もどんどん消えて行くように思われます。現場にいて怖いと思うのは、熱し易く冷め易い日本人が、福島の被災者のことを次第に忘れ去り、復興への動きが途絶えてしまうことです。若しかすると次の3,800億円はないかも知れない。ゼロではないとしても、大幅に縮小されるかも知れない。それを考えると、誰もが除染の先にあるものを意識して、1銭の無駄も出さぬ覚悟が必要でしょう。

昨年、田中先生に率いられた放射線安全フォーラムの福島支援チームが長泥で試験除染を開始したとき、上海の友人が列子の愚公移山の説話に因む詩を贈って下さいましたが、福島の復興への歩みは、将に愚公のような弛まぬ努力が必要なのだと思います。

荀卿曰、不積蹞歩以無至千里、不積細流以無成江海。

紙製GM計数管の特性と測定電子回路

森 千鶴夫[†]、　早川 一精[††]、　佐合　穣[††]
[†]愛知工業大学、　[††]中部原子力懇談会

ブタンガスを計数ガスとする紙製のGM計数管が開発され、放射線教育実験などに徐々に活用されるようになっている。著者らはそのユニークさに触発されて、この計数管の活用を試みたところ、いろんなことが分かってきた。計数管を安定にかつ高い計数率で働かせるには、紙陰極の場合にはその内面や外面に墨汁を塗布して適当な導電性を与えること、陽極線の形状を工夫すること、陽極に高抵抗負荷を接続して時定数を大きくし分解時間をミリ秒程度に大きくすること、また、紙をアルミ管に変えることなどにより、再現性の高い動作を行わせることが可能になった。この状況をもとにして、測定のための簡単な電子回路を設計し、これを使うことによっていろんな実験が可能になった。

1．はじめに

紙製のＧＭ計数管は、すでに開発研究・工夫がなされてきたが、近年、三門正吾 氏が極めて熱心に精力的に研究し、工夫を重ねた結果、おおむね誰でも作製やそれを用いた実験が可能なようになってきた。筆者の一人、早川はこのような状況に触発され、この計数管を作製して、確かに動作しているということを確認した。そこでこれを中学校や高等学校の生徒を対象として、渡邉 鐶 先生の主導のもとに過去20年にわたって実施してきた「放射線ウオッチング」なるセミナーに使用することを考えた。

従来、この計数管の計数の確認は、三門氏によれば、放電の際に発する電波をAMラジオで聞く方法、もしくは万歩計に接続して計数を行う方法であった。筆者らもこの方法で、計数管の安定性、再現性を検討したところ、なかなか期待したような結果が得られず、計数管の作製者がデモンストレーション的に用いることは可能であっても、生徒たちに作らせ、それを放射線実験に使わせることはかなり困難であることが分かってきた。そこで、安定性や再現性を阻害している要因は何であるかを検討し、それをおおむね克服することができた。これらをもとにして、より確実にかつ安定的に計数できるGM計数管の作製方法を工夫し電子回路を設計した。結果として、一応、誰でもが計数管を作製し電子回路を組み立て、放射線実験を行うことが可能になった。

2．ＧＭ計数管の作製

計数管の作製において工夫したのは、陽極の形状と陰極の導電性である。陽極線として、三門氏が推奨する直径100μｍのニッケルメッキ線の多線導線（ビニル被覆線）の１本を用いた。ゴムの台形円柱（長さ35ｍｍ、直径41ｍｍおよび35ｍｍ）の中央にドリルで穴をあけ、そこにビニル線を通した。多芯線の中の１本を長さ40ｍｍ程度に残して、他の線をカットした。陽極の形状は、再現性よく製作できること、計数放電を支配する陽極線の場所を限定して安定性を確保することを考慮して、直径 6ｍｍ程度のドライバーの柄などに巻きつけて先

端を円形にした。より細い 50μm 程度のタングステン線などを用いて、印加電圧の低下を図ったが、あまり効果はなく却ってハンドリングが困難になるばかりであった。

陰極円筒は、外形 42mm、肉厚 2mmの紙円筒を長さ 65mm程度に切断し、薄い両面テープを貼り、先端に計数管の窓としてのサランラップをぴんと張り付け、サランラップの上を薄い片面セロテープで円筒の外面に固定した。円筒およびサランラップの内面に適当な導電性を与えるために、数滴のせっけん液を入れた墨汁を塗布した。この塗布によって、計数管からのノイズ（偽放電）の発生を大幅に抑えることができた。しかし、紙の場合にはプロパンガスの漏出のためか、動作時間が 2,3 時間で少々短い。そこで、アルミニウム管を陰極に用いたところ、動作時間は 1,2 日に伸びた。

陽極線の円形部分の先端とサランラップとの距離 D を 10mm程度にし、必要に応じて、陽極線をゴム栓から出し入れすることによって、D を変えて印加電圧との調節を図った。また、これも必要に応じてであるが、円形部分を指で押さえることによって、やや楕円形にして、印加電圧との調節を図った。当然のことながら、D が小さいほど、また楕円形にすればするほど印加電圧はやや低くてよい。

3．計数回路

キットの全体の構成を図１に示す。また、計数の電子回路の部分を図２に示す。

これらをプラスチックケースにまとめ、それを用いた実験について次講演（早川）で述べる。

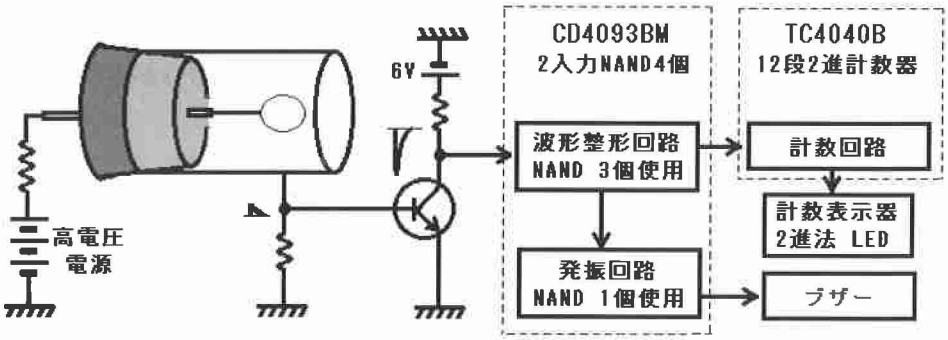


図１　全体の構成図

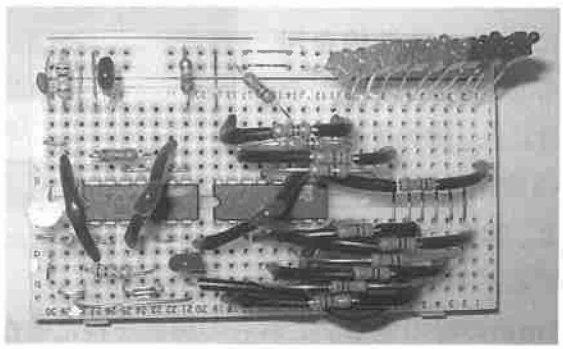


図２　電子計数回路

電源は今のところ、ＡＣ電源を用いているが、電池で行うことが可能であるかを検討中である。

3．GM管の動作

プラトー特性

図３に示すように、一応のプラトーが得られている。印加電圧が高いのは、封入ガスの圧力が１気圧であること、陽極線の直径が 0.1mmとやや太いこと、封入ガスがブタンガスであること、などによる。

計数放電に伴う後続放電を少なくするために、高電圧電源と陽極線の間に $10^{10}\,\Omega$ 程度の大きな紙抵抗を付けることによって、高電圧の回復の時定数を数ミリ秒にした。なおかつ、図４に示すように、電子回路に 10 ミリ秒の時定数回路を設け、偽放電パルスの計数を避けた。

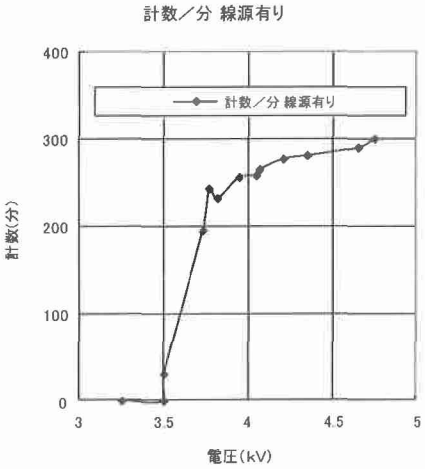


図３

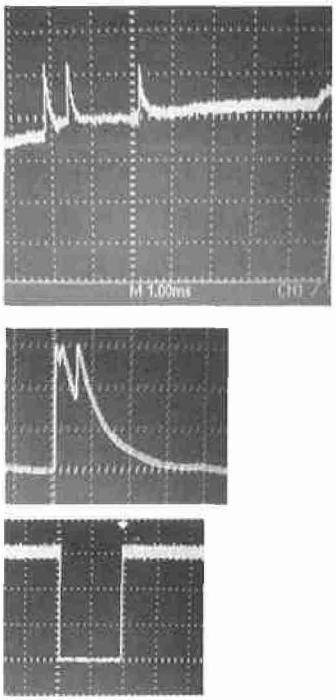


図４　パルス波形

４．キットの今後の改良

GM管

３．で述べたループの陽極線の場合には、放射線の検出部分がどちらかと言えばループの先端部分に限られ、放射線の検出効率がよくないようである。そこで、図５ (a) に示すように外径 15mm、肉厚 1mm のアルミニウム管を用いて、市販のGM管のように直線の陽極線を用いることを試みた。この場合には、線の先端部分での放電を防止することと、線を管の中心に保持する必要がある。直径 0.1mmの線の先端にこれらの機能を持たせたポリエチレンの保持体を付けた。ガス封入後の写真を(b)に示す。GM管の側方での検出効率が 2～3 倍に増加した。安定性については今後詳細な検討を要する。また、作製はややスキルを必要とするのでこれも今後の検討課題である。

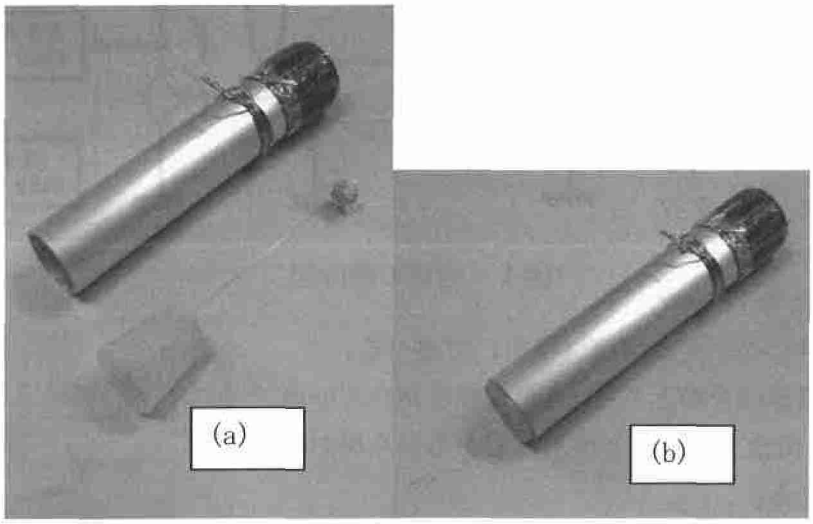


図５　アルミニウム管陰極、直線状陽極のGM管

印加電圧を低くすることができればよいが、1 気圧のブタンガスを使用する限り、陽極線の直径をより細くしても困難であると思われる。

計数回路

市販の万歩計や電卓を計数に利用した報告もあるが、計数速度が遅くて数え落しが多くなり計数率が数百 cpm 以上では実質的に使用できない。万歩計を改造して速い計数が可能にしている報告もあるので、それを試みた。

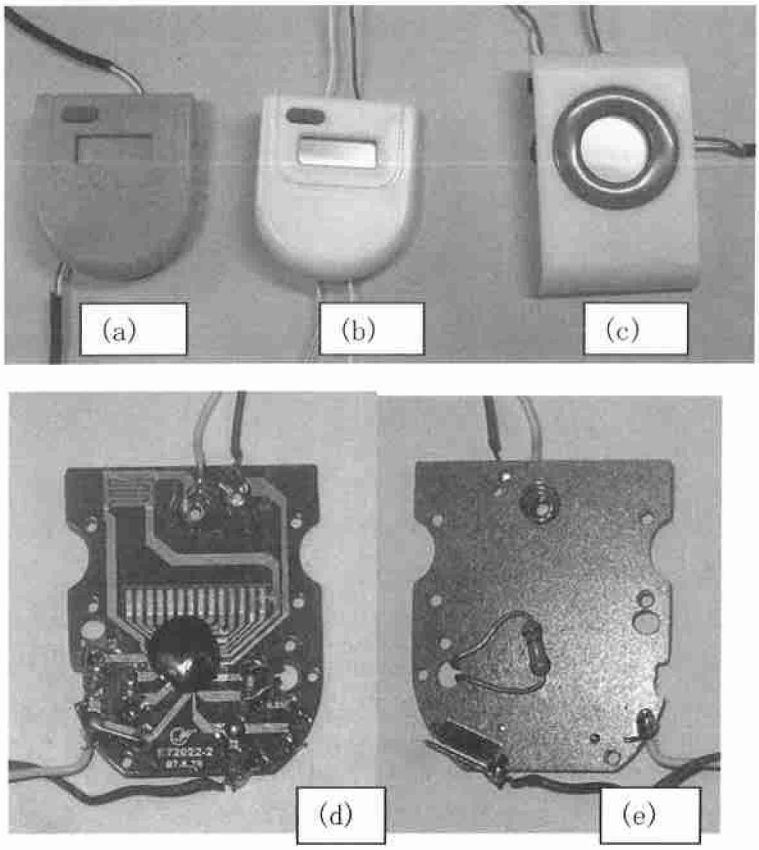


図６　万歩計の改良

図６の(a)は以前に購入していた万歩計に 1.5Ｖ電池電源入力用の引出し線と計数信号入力用の引出し線を付けたものである。(d)は内部の配線であるが、20～40ＭΩの抵抗の部分が３か所あるが、この部分の１か所に 100ｋΩの抵抗を並列につないだところ（裏面(e)参照）、計数が速くなり、１万 cpm 程度の計数も可能になった。そこで同型の万歩計(b)を新しく購入して改造しようと思ったところ、内部の配線が変わっていて、改造できなかった。他の万歩計(c)もやはり改造できなかった。今後は改造できる万歩計を探すことが必要であるが、もしこれが可能であれば、電子回路は大幅に簡単になり、かつ読み取りも 10 進法のため容易になる。

追記：　この報告は 2013 年１月５日時点のもので、その後、GM 管の作製の仕方、および計数回路は大幅に改良を加えた。それらの結果は、本年７月の「第 50 回アイソトープ・放射線研究発表会」において報告の予定である。

発行　　ＮＰＯ法人放射線教育フォーラム　事務局
〒105－0003　東京都港区西新橋３－２３－６
第一白川ビル５階
電話：　０３－３４３３－０３０８
ＦＡＸ：０３－３４３３－４３０８
Ｅメール：　mt01-ref@kt.rim.or.jp
ホームページ：http://www.ref.or.jp
発行日　　２０１３年3月２９日

エネルギー・環境教育について
お知りになりたい方へ

エネルギー・環境教育にお役立ていただけるような体験学習や情報は、電気事業連合会ならびに電力各社のホームページをご覧ください。

体験学習の場の提供（東京・科学技術館）

「放射線を見てみよう！」
「放射線をはかってみよう！」

「電気と磁石と力」

調べ学習に役立つ情報の提供（ホームページ）

電気事業連合会
（http://www.fepc.or.jp）