

放射線教育フォーラム

ニュースレター

No. 19

2001. 3

身近な目に見えないものと教育

金沢大学名誉教授 阪上 正信



21世紀になって20世紀を顧みると、前世紀は目に見えない無線通信・放送に代表される電磁波、そして当フォーラムの課題である放射線・放射能などの研究と利用が大きく進展した時代であった。目に見えないものと言えば、身の回りの空気をはじめとする無味無臭の気体についても、たとえ風にゆらぐ小枝や鉱泉から立ち上がる泡によってその存在を知るものの、その成分等の探求はやっと18世紀になってから化学的手法によってなされた。なお19世紀になり可視光線以外の赤外線・紫外線の存在、電磁波が物理的手法で知られ、さらに真空放電からX線発見と続き、19世紀末の放射線発見に至った。

太古から存在しながら、人間の五感による感知の困難なこれらは、人間の知恵の蓄積により考案されたなんらかの科学的手段・道具で認識可能となった。いまひとつの目に見えないところとうごく人間の心とその判断は、各個人の歴史的実体験に強く依存するとともに、その科学的究明は今世紀の大きな課題と思える。これについては夏目漱石が逆説的にその小説草枕でいみじくも「山路を登りながら、こう考えた。智に働けば角がたつ、情に掉させば流される、意地を通せば窮屈だ」と述べ、論理的な知識、感情的な対応、意図的な意思のからみあった複雑な人間の心の問題を指摘しており、放射線教育の実践についても、このことに留意し対処しなければならない。

それではそもそも教育とははたしてどういうことなのだろうか。それは英語で educate とされるように、単に知識を押しつけ教え込むのではなく、各人の能力と興味を引き出すことでなければならないだろう。自然科学それ自身が、いわば人間の歴史的歩みの中で、天然自然が人類を逐次に教育してきた成果であるといえる。目に見えない放射線・放射能の教育においても、まず自分自身をも含めた身近な環境について、計測器を用いて実体験し、興味を引き出し、常識を養うことから始めねばならない。我々の周辺環境につき地質図・建築地図があるように、各地域についてこまかい材質も参照しての放射線レベルの知見をえて、それらが少なくとも地質図程度の精度で、いずれは全国的な図として作成されることが望まれる。また人間自身が K-40、C-14 等の放射能でラベル(標識)されていることを認識するため、ホールボディ・カウンター (JCO 事故で被曝線量評価に活用) により、自分が1分間にどの程度放射線を放出しているかを実体験し、また放射性炭素が考古遺産の年代測定に有効に活用されている事例を知ることも必要であろう。前者は健康センターや学校での身体検査の一環として、体脂肪率測定(筋肉に K-40 は主としてあるので放射能 / 体重の率の少ないほうが体脂肪率大)の有効な方法でもあり、本人の体育適正判断にも役立つであろう。また後者は文系と理系の総合学習のよき課題である。なお空間大気中の放射能も、吸引濾過粉塵や降下塵を含む雨水の測定から知ることができる。

このような諸知見を実体験することにより、リスクと便益(クスリ)の「はざま」の中にある放射線・放射能の対応する心の問題についても、量的レベルにもとずいて、自分自身で適正な判断をすることができると思う。そもそも人間自身が、このような程度の放射能にとりかこまれた環境のなかで、発生し存在する生物なのであるから。

放射性炭素と生合成 (Kamen の場合)

放射線医学総合研究所 坂内忠明

1. C-11

光合成の研究は 17 世紀から始まっていたが、当時はまだ、どのように二酸化炭素が固定されていくのかわからなかった。1870 年、A. Baeyer は緑色植物の光合成において二酸化炭素と水からホルムアルデヒドができ、グルコースがそれによりできると発表している。当時はまだ、それが信じられていたが、明確な証拠は得られていなかった(間違っているわけですから、当たり前ですけれど)。

1934 年 1 月のある日 Irène Joliot-Curie とその夫の Frederic Joliot はフランスのラジウム研究所の地下にある二人の実験室でアルミニウムにアルファ線を当てることにより人工放射同位元素の燐 P-32 を作った。

また、同じ年の 2 月 27 日、アメリカのカリフォルニア大学バークレー校の Ernest Orlando Lawrence は加速した陽子や重陽子を当て人工放射性同位元素を作ったという報告をし、3 月の Physical Review に letter として掲載された。陽子や重陽子の加速には開発したサイクロトロンという加速器を用いた。

これらの実験の功績により、Joliot-Curie 夫妻は人工放射能の研究ということで 1935 年にノーベル化学賞を、Lawrence はサイクロトロンの開発ということで 1939 年にノーベル物理学賞を授与されている。当然ながら、1934 年以前は人工放射能の報告はない。

炭素の人工放射性同位元素の歴史は同じ年、1934 年に始まる。

その年の 3 月、カリフォルニア工学研究所の H. C. Crane と T. Lauritsen はホウ素 B-10 に水素を当てることにより、C-11 を作れることを報告している。そのあと、いくつかの研究者達がホウ素に重陽子を当てて、C-11 ができることを示している。半減期は 1935 年に Cockcroft らによって 21 分であることが報告されている。(現在用いられる半減期は約 20.4 分。3 時間もあれば、出てくる放射線は最初の 500 分の 1 以下になってしまう。)

当時、放射性物質のトレーサー利用が既に行われていたので、C-11 は当然のように、光合成の研究にも使われた。1939 年、アメリカの化学の学会誌に C-11 を用い、大麦(しか扱っていないはずなのに、引用で

はヒマワリもやったことになり、更に後の引用では小麦にも手を出したことになっている?)における二酸化炭素の研究を行った報告が掲載されている。報告者はカリフォルニア大学バークレー校の化学者、Samuel Ruben, W. Z. Hassid, Martin David Kamen の三人である。方法は以下のようなものである。サイクロトロンでホウ素(ほう酸の粉)に重水素を当てることにより、C-11 を作る。C-11 は一酸化炭素または二酸化炭素の状態で回収される。その C-11 のガスを植物が入ったデシケータの中に流し込む。温度は 28-30°C に保ち、光がある条件下では 500W の照明を用い、時間を変えて(15分から70分)放置した。その後、植物中の成分を分析し、光合成産物は「可溶性の炭水化物(80%の熱エタノールで抽出)」と「葉緑素」、「水に不溶性の物質」の3つに分け、ガイガーカウンターなどを用いて、それぞれの放射能を調べた(当時は、オートラジオグラフィやペーパークロマトグラフィがそれ程発達していなかったらしく、「葉緑素」の分析は抽出、濃縮の繰り返しで集めている)。その結果、前もって光のあるところに置いておけば、光がある時でも無いときでも二酸化炭素の固定が行われていること、葉緑素はラベルされた二酸化炭素に晒すと光がある条件下では放射能を持ち、光が無いときでは放射能を持たないこと、この実験で放射能を持ったものは大半が水溶性で炭水化物でも、カルボン酸でもケト酸でも色素でもないことがわかった(結局、光合成産物は水溶性と言うこと以外、何だか分からなかったということです)。

この後も Ruben と Kamen は、更に光合成に関する論文を次々と発表する。1939 年 12 月、Science の記載された報告では単細胞の緑藻(本当はラン藻)の Chlorella を用いた実験の報告を行っている。1 分間、熱水で抽出すると 85-95%の光合成産物が抽出され、80%エタノール内で 70-80%がバリウムイオンや鉛イオンと結合して沈殿した。カルボキシ基に放射性炭素があることを見つけ、また、アルコール性の水酸基を最低一つはもっていることも確認した。既知の物質を用いて何ができたかを調べているが、結局何ができたのかは分かっていない。

1940 年の 12 月、アメリカの化学会誌に Ruben が書いた 3 報が記載される。

1 報目は今までよりも詳細に光合成産物を調査した報告である。以前と似たような結果を示したが、まだホルムアルデヒドが光合成の中間代謝物であると考えられていた時期だったので、「短時間の光合成の後でもホルムアルデヒドが見つからない」ということを示したのは着目できる点である。2 報目は超遠心分離器を使って光合成産物の沈降定数を求めている。それを

を使って光合成産物の沈降定数を求めている。それを受けて、3 報目では分子量が約 1000 ではないかと求めている。(しかし、光合成で一番最初にできる物質である 3-ホスホグリセリン酸は分子量が約 180、光合成の経路で最も炭素数が多いセドヘプツロース 7-リン酸でも約 280 であるので、これらは違うと考えられる。彼らが一体、何を単離したかは不明。)

S. Ruben らは、1940 年 5 月より学会誌に C-11 を用いた光合成以外の代謝に関する一連の研究報告を行っている。酵母、プロピオン酸菌、メタン生成菌、光合成細菌、ホモ発酵乳酸菌による炭酸同化、カビ類による二酸化炭素からのフマル酸、乳酸、クエン酸の生産、ゾウリムシによる二酸化炭素の固定を調べている。最初のうちは何ができるかということよりも、どれくらい固定されているかを調べていたが、後になると特定のものにターゲットを絞って固定を調べている。

炭酸同化(二酸化炭素の固定)は、光合成の経路でなくてもできる。例えば、動物も含めてほとんどの生物に共通なものにホスホエノールピルビン酸からオキサロ酢酸を作る過程がある。ただ、この過程はエネルギーを作るのに必要な TCA 回路に、オキサロ酢酸を送り込むための経路であり、ブドウ糖のような物質まで持っていくことはできない。一度固定ができて、生合成の経路に持っていき、炭素が一つ以上外れる経路を通るからである。また、還元的カルボン酸回路(カルボン酸サイクルの逆行型)は、光合成細菌の中に行うものがあるといわれている。おそらく、生物がそのような経路を用いて生体内に固定したものを、彼等は検出したのであろう。

こうして生合成や代謝を調べるのに C-11 は使われていったのであるが、C-11 は半減期が短いので、単離すべき物質が特定されていない場合、同定するのは非常に難しいと考えられる。C-14 は、実験に使えるようになるまで C-11 より数年遅れたが、光合成の研究には C-14 の方が役に立った。C-11 は C-14 の普及とともに次第に使われなくなり、後に Kamen 自身が著書の中で「C-11 は過去に用いられていたが現在では歴史的興味でしか用いられない」と言うまでになる。C-11 が陽電子放出核種であるため、再びトレーサーとして注目されるのは、もっと後のことである。

2. C-14

M. D. Kamen と S. Ruben は、1940 年カリフォルニア大学で C-14 を作りだすのに成功した。既に C-11 で光合成の実験をしていた二人は、長半減期の放射性炭素の有用性は十分に認識していて、これは化学、生物学、工学の実験で非常に重要であると報告の中で述

べている。

実際、これを使って 1941 年に緑色植物等の光合成ではないが、S. Rube を含む S. F. Carson らのグループはプロピオン酸菌による炭酸固定の実験を行っている。

しかし、これからというときに、S. Ruben は「光合成とリン酸化」と言う論文を残し、1943 年、29 歳という短い生涯を終えている(Ruben は Kamen とともに炭素以外の放射性同位元素、O-18 や N, Mg を用いて光合成や代謝の研究をしていたこともある。そのためもあってか、Kamen はのちに、「彼の早すぎる死は現代の生化学にとって大きな災いである」と述べている。)

Kamen は Kamen で、1944 年にバークレイの放射線研究所を解雇させられている。言動により、要注意人物と考えられたためである。同時にマンハッタン計画への参加もやめさせられているし、パスポートも以後 10 年間得られなかった。しかし、解雇されるまでの間に C-14 を用いて行った実験のいくつかの報告が 1945 年に掲載されている。解雇された後、ワシントン大学のサイクロトロンプログラムの参加し、薬学の教授として迎えられている。1947 年には「生物学における放射性トレーサー」という書物を著し 10 年の間に 2 度も改訂版を出している。紅色無硫黄細菌の光合成についての研究を C-14 を用いて行ったり、光合成の明反応に重要な役割をもつシクロロムに興味を持ち、構造を調べるなど様々な成果をあげている。その後、名誉回復も行われ、パスポートも取ることができるようになった。

更に、C-14 を発見したことを表彰して、1995 年(発見から 55 年後!)、82 歳の時にアメリカ政府よりフェルミ賞を授与された。

結局、光合成の経路の研究の功績は、後にバークレイの研究所にやってきた Melvin Calvin へノーベル化学賞という形で与えられ、Kamen がその栄誉を得ることはできなかった。しかし、Calvin は C-14 を用いて光合成の研究をしたのである。Kamen は生化学を含む諸分野に大きな寄与をした C-14 の発見者として名を残すことになるのであろう。

放射線影響のわかる講座

(2) がんと遺伝子の変化

(財)放射線影響協会前常務理事 齋藤 修

II. 身体的影響

1. がん

1-1 いろいろながん

がんの発生率：がんで死ぬ人は年々増加しており、1981 年以来日本人の死因のトップの座を占めています。二位は心臓病、三位は脳卒中です。臓器別のがん死亡で見ると、かつては胃がんが一番でしたが、今は次第に減少しており、男性では肺がんが増加して一位です。

がんは、時代によってまた性別によって様相が異なりますが、国によって人種によっても異なります。例えば、男性の皮膚がんはオーストラリア東部のクイーンズランドに多く、インドのボンベイではその 200 分の 1 です。日本人男性の胃がんは、ウガンダの 25 倍の大きさです。

がんの種類：がんはがんの百面相と言われるくらい種類が多いのですが、大別すると、増殖して塊を作る固形がん、白血病のようにがん細胞が 1 個 1 個自由な状態にある遊離状のものに分かれます。固形がんが多いものは、肺・胃・肝臓・膵臓・大腸・乳房・食道などですが、ほとんどすべての臓器にできます。ただし細胞が増殖しない神経はがんになりません。

血液のがんで一番有名なのが白血球が異常増殖する白血病ですが、リンパ球・マクロファージ・赤血球・血小板等血液のすべてのがんになります。

1-2 発がんへの過程と遺伝子の作用

発がんへのあらすじ：がんは細胞の遺伝子に変化して(突然変異)、異常に増殖を始めた結果起きる病気です。たった 1 個の細胞が変化し、増殖に増殖を重ねた結果、人の目にふれるような塊を作ります(自律性増殖)。これが「腫瘍」です。腫瘍はさらに大きくなり、やがて人の臓器の機能を侵し始めます。肉眼で分かるようになった腫瘍は、ごく小さいものでも 100 万個、大きいものでは数十億個以上の数になっていますが、これらはいずれも一つの細胞からできた子孫の細胞の集まりです。

できた腫瘍はさらに遺伝子の変化を受けて次第に悪性化し、できてくる細胞は形が崩れ、本来機能を失ったものも多くなります。また周囲の正常な細胞中や他の組織に侵入して(浸潤)、その働きを悪くし、組織

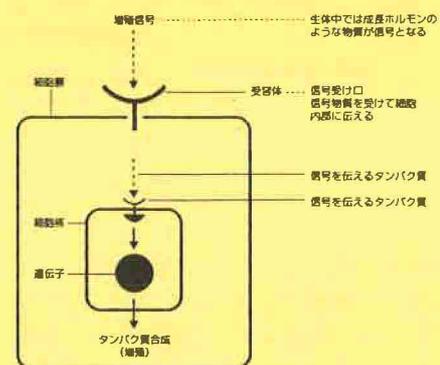
の壁を破壊したりします。このようにがんは周囲の組織とは関係なく大きくなるとともに、一部の細胞が本体と離れて血液やリンパ液により移動し、他の臓器に居着いてしまう「転移」を起こし、やがて命とりとなります。

細胞増殖の調節：人の体はおおよそ 60 兆の細胞からなっていますが、その細胞の働きは遺伝子によってコントロールされています。例えば血液細胞の寿命は短く、毎日多くの細胞が死に、それを補うために新しい細胞が作られています。しかし体の中の血液細胞の総数は、ほぼ一定の範囲内に保たれています。これは血液の生産(増殖)を増進する仕組みや、それを抑える仕組みがあり、臓器や細胞がもつ巧妙な仕組みによって管理されているからです。例えば体の一部の組織が化膿すると、白血球の数は倍くらいに増加しますが、それが収まるとまた元の数値に戻ります。

細胞の数の調節を、自動車のスピード調節に比較すると、細胞の増殖機能はアクセルに、抑制機能はブレーキに相当します。細胞増殖を促進するアクセル役を「がん遺伝子」、抑制するブレーキ役を「がん抑制遺伝子」が担当しています。アクセル系統に異常が起きて、アクセルを離しても元に戻らないと、自動車は暴走してしまいます。さらにブレーキが利かなくなるとどうしようもありません。

細胞の信号伝達とがん遺伝子：細胞分裂は、外部からの信号を受けて進行したり、止まったりします。その信号の経路には図に示すように、受容体や伝達物質があります。

図A 細胞分裂信号伝達の仕組み



(図1 信号伝達の仕組み)

受容体が成長ホルモンのような信号伝達物質を受けると、活性化して細胞内部に信号を伝えます。信号物質がなくなると不活性状態に戻り、信号の伝達も止まります(正常)。今受容体の遺伝子のがん化したとします。がん遺伝子は信号物質がなくなっても不活性な

状態に戻らない受容体を作ります。すなわち受容体を作る遺伝子が、発がん物質などにより変化してがん遺伝子になると、受容体を構成するたんぱく質が変化して、増殖信号が止まっても不活性状態に戻れず、細胞を増殖する信号が出っぱなしになります。

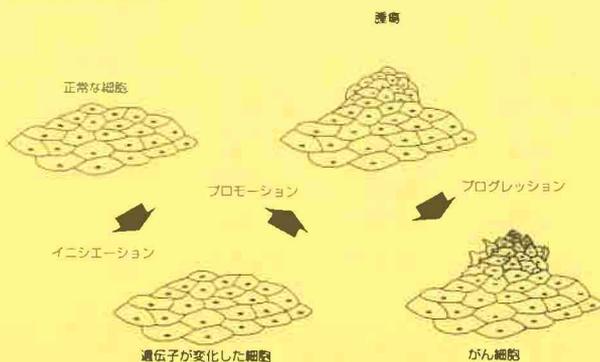
今受容体のがん化の話をしをしましたが、この信号伝達経路上のどの部分でも同じようなことが起こる可能性があります。最近では多くのがん遺伝子が発見されています。

がん抑制遺伝子： 自動車のアクセルが異常になっても、ブレーキが利けば自動車の暴走は抑えられます。同様に細胞もがん抑制遺伝子が正常ならば、遺伝子が異常になり増殖信号が止まらなくても、直ちにがんになるわけではありません。このがん抑制遺伝子の存在は、幼児の目にできるがんを調べるうちに判明しました。家系的に網膜のがんがしやすい人の遺伝子を調査したところ、ある特定の遺伝子がある家系の人に共通して喪失していることが分かったのです。がん抑制遺伝子では、P53などがよく知られています。

多段階がん発生過程： がんは発がん物質などにより正常な細胞の遺伝子に変化することから始まります。これがイニシエーション(初発)です。続いてさらに増殖促進作用が加えられると、プロモーション(促進)と呼ばれる第二段階に入ります。第二段階が進むとやがて腫瘍ができます。この段階では増殖を促進する作用がなくなると元の状態に戻ります。続いて第三段階のプログレッション(進展)にはいと、悪性化して本当のがんになります。この段階になるともう後戻りはできません。このがんの多段階説が実験で確かめられたのは、1941年のことです。

前に説明した遺伝子の変化によるがん遺伝子の形成やがん抑制遺伝子の損傷などが、ここでいう多段階の一つ一つに相当します。

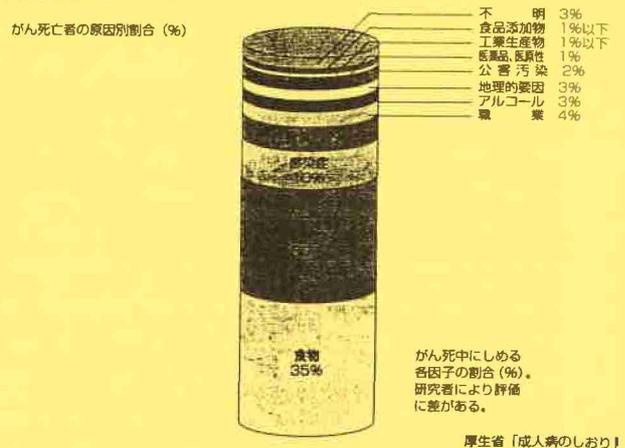
多段階のがん発生過程



(図2 多段階のがん発生過程)

遺伝子変化の原因： がんは遺伝子の変化がもととなり

ますが、その遺伝子の変化を起こす原因はなんでしょう。厚生省の「成人病のしおり」には「がんの原因と関連のある因子」として第一に食事、第二にタバコがあげられています。この二つでがんの原因のうちの65%を占めています。



(図3 発がんの原因)

1-3 放射線とがん

原爆被爆者の調査結果： 原爆被爆者の健康影響を調べている放射線影響研究所では、被爆者 12 万人を対象に調査を続けています。その結果は次のとおりです。

白血病は、線量が高くなると発生率が高まります。その発生時期は、被爆後 5-10 年くらいの期間が高く、次第に少なくなります。現在では被爆していない人とほとんど差がありません。また被爆時の年齢が若い人ほど発生率が高いことが分かっています。平均してみると、1000mSv の被爆で、自然発生率の 4.4 倍の増加でした。

白血病以外の固形がんでは、被爆後 10 年目ぐらいから増加が始まり、現在も続いています。発生臓器で見ると、乳房・甲状腺・消化器・肺・卵巣・皮膚などで増加しています。膵臓・胆嚢・直腸・子宮などでは発生率の増加は認められていません。放射線線量と増加発生率との関係でみると、50mSv 以上の線量を受けた人で、線量に比例した増加発生が認められ、その程度は、1000mSv で自然発生率の 60% でした。つまり職業人の年間限度量 50mSv の 20 倍被曝した人では、がん死亡の確率は自然発生の 1.6 倍になります。

急照射と緩照射： 同一量の放射線でも、急激に受けた場合と緩やかに受けた場合とでは、現れる影響の度合いは異なります。これは動物実験で確かめられていることですが、3000mSv を 1 分間でかけた場合に比して、10mSv を 300 日間でかけた場合は、がん発生率は 1/3 ないし 1/10 に減少します。これは緩照射の場合は、いつたん細胞が損傷しても、細胞の持つ修復機能により損傷した遺伝子を修復する余裕があるからと考えられています。

看護婦（士）の職業上の被ばくについて
 -その一断面-
 医療系教育機関における放射線教育の
 実態調査専門委員会

近年、業務との関連において看護婦の放射線教育に対する重要性が認識されつつあるが、看護婦養成機関在学中並びに就業後におけるその放射線教育の実態は必ずしも明らかではない。これに関連して、看護婦が日常の医療業務の中でどの程度被ばくしているかを知っておくことは重要なことと考えられる。そこで、本専門委員会は“ナガセFBだより”により提供された過去6年間の資料の中から医療従事者並びにその中における看護婦（士）の被ばくの状況を抽出し、その実態を推測することにより、看護婦（士）に対する放射線教育を考えるための一つの資料にしようと考えた。

“FBだより”では、一年間（4月から翌年3月）を通して測定を行ったもののみを調査対象者として実効線量等量の集計を行っている。機関別の年間被ばく線量当量の集計は、全事業所を医療機関、研究機関、非破壊検査、一般工業の4グループに、職種別・男女別では、職種を医師、看護婦（士）、技師、助手、研究員、技術員、工具、教員、その他の9種に分類して行われているが、ここでは対象を看護婦（士）としているため、職種別・男女別では医療機関従事者の全体に対する状況並びに医療機関従事者の中での看護婦

(士)の被ばくの実態を抽出してまとめた。最小検出限界未満を表す「M」(0.1 mSv 未満)は、線量等量“ゼロ”として計算した。

各機関において、年度毎に多少の増減が認められるところもあるが、全調査対象者数と現在注目している医療機関における対象者数は、毎年漸増傾向にある。医療機関における対象者数の全対象者数に対する割合は各年とも65%を越え、被ばくが掛け離れて多い非破壊検査を別にすれば、医療機関対象者の被ばく線量は、全平均を越え、他の2機関に較べてずっと高い数値を示している。表には示していないが、毎年1 mSv以下の被ばく者が91、2%を占めている反面、線量限度、50 mSvを越えるものがこの調査期間の6年間を通じて全体の0.02乃至0.03%、人数にして20人前後で、毎年そのほとんどを医療機関の従事者が占め、しかもこの中に看護（士）が1乃至5名含まれていることは、注目に値する。

次に、医療機関のなかでの看護婦（士）の被ばくの実態を見るために、医療機関における職種別・男女別の年間被ばく線量等量を表2に示した。参考のために医療関係以外の職種も含めた放射線作業従事者全体の平均を収録した。

表1. 各機関別年間平均被ばく線量等量 (mSv, 括弧内は調査対象者数)

年 度	1994	1995	1996	1997	1998	1999
医療機関	0.687 (56,419)	0.692 (58,810)	0.567 (60,800)	0.557 (62,884)	0.569 (65,135)	0.607 (67,682)
研究機関	0.013 (10,879)	0.009 (11,833)	0.010 (12,397)	0.006 (13,037)	0.010 (13,570)	0.014 (14,433)
非破壊検査	1.745 (511)	1.762 (496)	1.517 (478)	1.554 (435)	1.318 (426)	1.166 (379)
一般工業	0.128 (18,319)	0.123 (18,232)	0.108 (18,335)	0.075 (18,718)	0.073 (18,178)	0.094 (18,391)
全平均	0.489 (86,128)	0.491 (89,343)	0.406 (92,010)	0.391 (95,074)	0.402 (97,309)	0.430 (100,885)

表2. 医療機関における職種別・男女別年間被ばく線量等量 (mSv)

年度		1994	1995	1996	1997	1998	1999
医 師	男	0.77	0.79	0.67	0.62	0.62	0.66
	女	0.44	0.47	0.31	0.37	0.32	0.29
	平均	0.75	0.77	0.64	0.59	0.59	0.62
看護婦(士)	男	1.02	0.94	0.83	0.81	0.81	0.81
	女	0.34	0.33	0.28	0.29	0.28	0.30
	平均	0.37	0.35	0.30	0.31	0.30	0.32
技 師	男	1.25	1.20	0.96	0.98	1.04	1.14
	女	0.48	0.52	0.48	0.45	0.53	0.52
	平均	1.17	1.12	0.90	0.91	0.97	1.04
全平均*	男	0.57	0.58	0.48	0.46	0.47	0.51
	女	0.27	0.27	0.22	0.24	0.23	0.23
	平均	0.49	0.49	0.41	0.39	0.40	0.43

全検査対象者の中の女性の割合は、年毎に微増しているが、27～30%である。何れの職種の中でも、女性の被ばくは男性に較べて1/2～1/3程度である。看護婦(士)について見れば、看護師は、最も被ばくの多い技師(男)にほぼ匹敵するほどの被ばくを受けているが、看護婦の被ばくは、その1/3程度であり、医師(女)、技師(女)よりやや低い。それでも他の職種の女性よりはるかに高く、全平均(女)に較べても約1.5倍近い値を示している。

装着の状況に違いがあるため単純な比較はでき

ないが、年間の手指被ばく線量当量を見ると同じく年間の被ばく線量等量の数倍以上に及ぶ被ばくが認められる。リングバッジの装着を必要とすることからみても、被ばく線量等量のすべてが通常の放射線業務による散乱線被ばくによるものではなく、何にか線源に手を触れるような仕事もあるのではないかと推測される。

以上の資料から、医療の現場で様々な業務に従事している看護婦(士)に対する放射線関連の教育は、養成機関において、さらに業務の実態に合わせて就業後において適切に行われる必要があると考える。

(大橋国雄、砂屋敷忠、石原十三夫、渡利一夫)

《原稿募集の案内》

編集委員会では、会員の皆様からのご寄稿をお待ちしています。「会員の声」は、学校教育の場での体験談、新聞・雑誌の記事に対する感想、研修会等への参加記など、多少とも放射線・原子力・エネルギーに関するもので、1,000字以内。「放射線・放射能ものしり手帳」は放射線に関わる難しい事柄を親しみやすく面白い読み物で解説するもの(2,000字以内)、投稿は、大野 ohno-trl@01.246.ne.jp、または編集委員会 mt01-ref@kt.rim.or.jp へどうぞ。皆様からの作品を期待しています。ニュースレターは、3月、7月、11月の年3回の発行です。また別に、放射線教育に関する論文集「放射線教育」へのご投稿もお待ちしております。詳しくは「放射線教育」の最近号をごらん下さい。

放射線がテーマの

科学フェスティバル開催に参加して

ビームオペレーション(株) 田中 隆一

応用物理学会は教育・公益活動を近年にける一つの重点事業としており、その一環として、様々な体験学習を通して物理現象の不思議さや身近なところでの応用に興味と関心を持ってもらうため、青少年や一般市民を対象に「科学と生活のフェスティバル」を本学会の分科会に対応する専門分野ごとに毎年1回開催している。昨年は「放射線」をテーマとする第6回フェスティバルを同学会の放射線分科会と北海道支部が中心となって8月5-6日に札幌の北海道大学で開催し、1000人近い来場者数を得た。ここでは、当学会の直面する「理科離れ、物理嫌い」に加えて、放射線分野が激しい社会環境下に置かれているなかでの一つの教育活動の試みとして、その概要、結果及び反省等について報告させていただく。

放射線の理解等を主眼とする科学技術展はこれまで原子力エネルギー利用や医療の分野でしばしば開かれてきたが、今回は応用物理学のコミュニティが放射線をテーマにして特色が出すことも一つのポイントになった。また、対象が一般市民を含めた青少年といっても、この種の科学展の催しに最も関心を示す層が小学生を子供にもつお母さん方であるという現状を考えると、「放射線」というテーマに堅苦しさを抵抗感なく興味を抱いて気軽に参加できることが条件となった。



写真は、北大クラーク像前での放射能測定

企画段階では、まず、ベースとなる個々のアイデアは分科会員から募集し、それをもとに以下のシナリオを決めた。放射線の起源に直結するだけではなく、放射線を構成要素とする自然環境でもある宇宙に着目し、「宇宙とみえない光」をキイとなるテーマ1として位置付ける。続いてその延長としての地上に目を向けて放射線の身近さを示すテーマ2「身のまわりの放射線」を位置付けた。次に、人々に知れわたってはいないが、とても身近なところで放射線が広く利用されていることを発見してもらうために、テーマ3「役立つ放射線」を設定する。終わりに、視野を広げて、放射線の仲間である光の不思議さを感じてもらおうテーマ4「みえない光のなかまたち」を設定した。また、テーマ1に先立って、「宇宙」との関連で子供たちの尊敬的である毛利衛さんのコーナーを設けた。

テーマ1では、フェスティバルへの導入として、世間に広がる誤解を意識した「放射線プロフィール」のコーナー、X線で見えた宇宙画像、スパークチェンバーによる宇宙線シャワー、電子機器の宇宙放射線影響への対策など、パネル中心の小テーマを設けた。

テーマ2では、霧箱(放射線の足あと)工作教室、放射線を止める実験、「自然放射線プロムナード」と名付けた北大構内の名所めぐりを兼ねての自然放射線測定などの小テーマを設けた。「プロムナード」はクラーク像の台座からの自然放射線が多いことなど、楽しみながら多くの参加者が体験できて大好評であった。

テーマ3では、簡易X線検査装置による小物体内部の透視や骨の健康度チェック、工業・農業分野の放射線加工製品の展示コーナー、及び放射線誘起表面硬化によるペンダント作成の工作教室の小テーマを設けた。

展示コーナーでは、電子線加工で製品化された強力な脱臭剤の実演や地元の土幌農協から提供された γ 線照射じゃがいもの土産が子供連れのお母さん方などにたいへん人気を呼んだ。ペンダント作りは電子線が使用できず紫外線で代用したが、親子参加を中心に圧倒的な人気で、現地調達のタイルを含めて650個が使用された。イメージングプレートは当分科会の特色を出し得る新しい教材として挑戦した。今回は実力を発揮しきれなかったが、今後の発展を期待する。

テーマ4では、紫外線、赤外線をテーマとし、光のスペクトル観察、赤外光変調による音の伝送実験、ブラックライトで蛍光剤が光る実験、

近赤外光による手のひらの血管撮像などの小テーマを設けた。

開催にあたっての最大の問題は、予定していた青少年科学館に代わって北大での開催と決まったため、多数の来場者を見込めないことであった。この対策として北海道生まれで北大出身、かつ応用物理学会員でもある毛利衛氏の協力を企画したが、講演が設定できなかっただけでなく、シャトル打ち上げミッション実施の遅れ等も重なり、最終的には、フェスティバル来場者への自筆のメッセージ展示と毛利氏とともに宇宙を周回した学会旗の返還式を撮ったビデオの放映という最小限の協力に止まった。それにもかかわらず期待以上の来場者を得たことは北海道支部の広報・宣伝の努力によるところが大きい。結果的には、毛利さんの人気に頼った安易な大成功よりもかえってよかったかもしれない。

フェスティバルのタイトル選定にも苦労した。放射線分科会では「放射線」をキーワードとしてタイトルに入れることを提案したが、子供連れの母親が抵抗感なく参加したくなること、放射線の仲間である光も含めることなどを配慮するべきであるという意見が出された。結果としては、JCO 事故による放射線イメージの悪化がものを言って、最終的には「体験しよう！みえない光と宇宙からのメッセージ」と決まった。粒子性の放射線が「みえない光」では読めないという矛盾を抱えたが、テキストでは深く言及することなく、「みえない光＝放射線」で済ませる結果となった。

初めての試みであり、かつ、散らばっているテーマ担当者間の密な連絡が難しかったこともあり、噛み砕いてわかりやすく理解させるという、きめの細かい肉付けの努力が随所に足りなかったと思う。しかし、全体としては、「発見」と「遊び」の機能がバランスよく発揮されたことや来場者とのマンツーマン的なふれあいもよくとれた結果として、会場で長い時間楽しんでもらったのではないかと思う。2、3の応用物理コミュニティらしいアイデアも、まだ活かさきれてはいないがその芽を出すことができたと考える。

青少年や一般人向けの科学技術展に共通する問題は、来場者の多くが母親に連れられた小学校低学年の児童に偏っている実態である。細心に工夫された体験的展示が科学技術への夢に力を与えるとまではいかず、極端な場合、単なるビックリ箱的な役割に止まってしまうのではないかと懸念されている。

科学展開催のために注ぎ込む多大な労力や小学校の高学年以上を引き入れることの難しさが壁となって立ちほだかっている現状を考えると、途方もなく膨大な数の青少年を直接対象とするよりも、彼らを教育する立場の理科の先生方への効率的なアプローチを重視

するという最近の傾向は放射線コミュニティに限らず確かに必然の流れと思われる。

しかし、そればかりに頼るのではなく、これまで学会、機関等でバラバラに蓄積されてきた開催経験やノウハウをそのまま埋もらせることなく、データベースのような形で総合的にあるいは個々の教育目的に活かせる戦略まで高めていけないものかと思う。

随想：神様の気まぐれ

茨城県立医療大学 加藤和明

窓の外は雪である。先週センター試験を雪に見舞われたので本年2回目の雪である。そういえば、当放射線教育フォーラムがかねてより関係筋に強く要望してきた放射線・放射能に関連する出題が、今年のセンター試験で実現した〔総合理科の問2、物理IAの選択問題第5問B、物理IBの問3〕。これにより、高校の先生方は、これらの課題を扱いやすくなり、教え甲斐も増すであろうし、高校生達もより真剣に勉強し理解を深めることであろう。まずは喜ばしいことであった。

実は、今日は家内と一緒に昼前に家を出て、上野の文化会館で開かれる午後の音楽会に行くことにしていたのであるが、此の雪である。行くべきか否かの意志決定をせねばならず、可能な限り情報を集め、様々のケースについて思考実験して、リスクとベネフィットの比較を行った。行為・行動には、それをする事によって得られるであろう便益とリスク、しなかったことによって得られるかも知れない便益とリスクがある。無理して行こうと決心すれば行けないことはない。行けば音楽を楽しめるし、老妻孝行も効果的になしえて彼女の覚えも少しくプラスに働いて今後の私の人生にながしかの便益をもたらすかも知れない。行かないことにはこれらの便益は絶対に得られない。一方、厳しい天候のため辿り着くまでの難渋さ、交通機関の信頼性低下による時間管理の困難性増大と遅刻というリスクへの対応、交通事故に遭遇するリスクの増大、演奏家が到着できずにキャンセルとなるリスクの増大、タクシー利用などに伴う経費増大、対価を支払い済みの切符を無効とすることに伴う経済的損失、などがある。通常は良い音楽を聴いた後「ああ生きていて良かった」などと思うものだが、この天候ではそんな気持ちを全部吹き飛ばし後悔の念だけが残るかも知れない。更に、万一この雪が原因で大きな事故が発生し、行かなかったために巻き込まれず済んだということになれば、気持ちの上で大きな便益を得たように後日思うか

も知れない。こんなことをいろいろ考えて、結局音楽会は断念した。筑波山の中腹に住んでいるため、仮に予報どおり夕方に雪が止んだとしても登山道が凍結している恐れがあり、「生命を維持する確率の低下」という意味でのリスク増大はともかく、帰宅に伴う物理的/生理的難渋さに受容レベルを超えるものを予感したので、そのように意思決定したのであった。その余得(便益)として、思いがけない時間の創出があり、おかげでこの原稿を書くことができたし、DVD でオペラ「愛の妙薬」を楽しむことができた。

さて、学生達に「怖い(と思う)ものを三つ(あるいは幾つでも)挙げよ」などと問うと、試験(に落ちること)、死(ぬこと)、病気(になること)、事故(に遭うこと)、などに混じって決まって顔を出すのが、原子力と放射線である。聞き手の答はと反撃されることも多く、そんなときには、「①饅頭、②かみさん、③神様の気まぐれ」と返している。かみさんと神様は別物であり、①と②は半ば冗句(じょうく)であるが、③は真面目な答である。

さて、人々が原子力や放射線を怖がるのは何故であろうか?原子力への恐れというのは究極のところ放射線被曝に対する恐怖である。従って、根は同じといえる。思うに、人が何かを怖いと思うのは、自分の生の営みにとって望ましくない影響・効果をもたらす可能性があること知らされ、その正体・本性が納得できる程度まで分からず、従ってその望ましくない影響を量的に予測したり、手立てを講じてその影響を避けたり減じたりすることが出来ない場合である。リスクの予測と制御が出来る者にとっては、知識も情報も全く持ち合わせないときと同様、怖いという気持ちは沸いてこない。私は放射線を光や熱、塩や水や酸素と同程度にしか怖いものと思わないが、それは私が、放射線の人体に対する影響を自分で満足できる程度まで定性的にも定量的にも理解出来ていると思っていること、その気になれば放射線を検出し定量する手立てを持っていること、被曝に伴うリスクの制御を自らの意志でなし得るからである。私の場合は、自分がたまたま放射線防護を専門としているからこのようなことが言えるのであるが、もしも自分がそうでなかったとすれば、自分にとって信頼できる放射線防護の専門家に助けを求めることをするであろう。

実は、文明が発達すると、自分の命を他人様の手に委ねる時間の割合が増大する。新幹線や飛行機に乗っているときは、運転手や機長、整備士や空港管制官、等に命を預けることになる。この種の、自らの知識と技能と意志でもってリスクを制御できないリスク要因については、社会の合意として安全管理の基準を定め、社会が安全管理に責任を持たなければならない。ホモ

サピエンスという種の生命維持にとって望ましいと考えられる"上質の"遺伝子の保有者ほどこの種のリスクが高いという現実があり、この視点からも社会としてのリスク管理の合理的システムの構築を急がなければならない。

以上の他に、車を運転中、対向車の運転手が突然発狂して飛び込んでくるリスクとか、地下鉄に乗っているときに大地震に襲われ潰されるリスクといった、言ってみれば"神様の気まぐれ"に基づくリスクの要因が残っている。これらについては、現状では、社会としてのリスク管理の限界を超える。誰にもリスク管理の責任を問えないので、不可抗力によるものとして割り切り、運が悪かったと諦めるしかない。私が"神様の気まぐれ"を怖いと思う所以である。(H13. 1.27 記)

会員の声

やっぱり放射線の学習は難しい

東京大学教育学部附属中等教育学校 村石 幸正

総合的な学習や理科総合 A など、生徒に放射線に関することを学習させる場面が増えてくることが予想されるこの頃です。しかし、実際に生徒が放射線のことを調べはじめると、まず、「自然放射線には、 α 線、 β 線、 γ 線があります」という記述にであうことになり、「ああ、自然界に存在する放射線は3種類なんだな」と思うわけです。

ところがもう少しいろいろ調べていくと、水の上では放射線量は少なく、それは、大地からの放射線が水によって遮られているからで、そのような場合はほとんどが宇宙線によるものである、などという記述や、航空機の乗務員の宇宙線による被ばくが問題だ、などという記述が出てくる。このあたりになって、「おや、宇宙線というのはなんだ。 α 線、 β 線、 γ 線のうちのどれだ」と思うわけです。で、宇宙線を調べてみると、 α 線、 β 線、 γ 線などというものはどこにも出てきません。東京大学宇宙線研究所の「宇宙線とは?」という web ページを調べてみても、「宇宙線というのは、宇宙から地球に絶えず高速で降り注いでいる原子核や素粒子です」「地球大気に飛び込む前の宇宙線を「一次線宇宙線」とよび、大気に飛び込んで変化し新たに生まれた宇宙線を「二次宇宙線」とよびます」「二次宇宙線は、ミューオン、ニュートリノ、電子、ガンマ線が主要な成分です。このうち電子やガンマ線は大気中で吸収されて減り、地中まで来るのはミューオンとニュートリノがほとんどです」などという説明文にであ

ってしまいます。ここにいたって、「あれっ、自然界に存在する放射線は3種類じゃないのォ」と混乱しはじめ、ミュオン、ニュートリノなどというものを調べはじめるのですが、これがまたなんだか分からないのです。

やっぱり放射線の学習は難しい、と思ってしまうわけです。このようなことを体験してみてもうことは、①なぜ、放射線を学習する必要があるのだろうか。②中等教育(中学・高校)では、教養としてどのような内容までを学習しておいた方がよいのだろうか。③放射線の学習を中等教育の教員の立場で考えたカリキュラムが欲しい。

ということです。①は、担当する教員が考えるべき問題です。ですが、②はどうでしょうか。中等教育の学習のレベルからいって、教養として、ミュオンなどを学習する必要はないような気がします。では、どのようなものを学習させればよいのでしょうか。このあたりのことを放射線教育フォーラムに期待したいと思います。その意味で、③も同様です。もちろん、③では、現場の教員の先行的な教育実践も参考にはなりますが。

それ以外にも、教員の立場で欲しいものがあります。生徒に学習させるための資料のありかです。放射線を学習する時の「観点」というようなもので考えてみた時、放射線の種類とその性質、放射線の影響、放射線の利用などというものが考えられます。それぞれを調べてみようと思った時、意外とその資料に出会えないのです。

そこで、今後、もしできましたら、放射線教育フォーラムのニューレターには「放射線の種類とその性質」「放射線の影響」「放射線の利用」というものを、いくつかのシリーズにさせていただいて、「中等教育での教養としての学習」の立場から内容を構成していただき、かつ、各シリーズの文末には、その内容に関する資料・文献一覧をつけていただけないかと希望する次第です。

委員会だより

リスク検討委員会報告

河村正一

放射線・原子力の正しい知識の普及には、将来ある青少年達を教育されている小、中、高校の先生方にお願ひするのが最も効果的である。総合学習が採用されると思われるが、先生方が必要なテキストの作成を決定し、項目を含めその内容を現在検討中である。

2000年度放射線教育フォーラム拡大幹事会・シンポジウムプログラム

日時：2001年3月18日(日)13:00より17:20まで
場所：東京都港区虎ノ門1-7-2 升本ビル2階会議室

拡大幹事会 13:00~14:00

1. 2000年度の活動報告、2001年度の活動計画(とくに学校教員を対象とする「エネルギー・環境・放射線セミナー(仮称)について」) (30分)
2. 専門委員会の成果報告 (30分)

シンポジウム(講師の敬称略)14:00~17:20

1. 招待講演I「エネルギーの現状と原子力発電」(50分、質問10分) 榎本晃章(東京電力)
2. 招待講演II「低レベル放射線の影響について」(50分、質問10分) 武部 啓(近畿大原研)
3. 研究報告I「Webシステムを利用した放射線教育」(25分、質問5分) 宮澤弘二(東京家政大附属女子中・高校)
4. 研究報告「高校生の意識調査」(15分、質問5分) 谷野裕子・村石幸正(東大教育学部附属中等教育学校)
5. 自由討論(15分) 終了 17:20

懇親会 17:30~19:00

(同会議室;会費 1,500円)

武部 啓氏の講演要旨

放射線の人体影響については、いくら微量でも線量に比例して障害がある、という考え方が定着していると言えよう。しかしながら、これははるかに高い線量による実験研究の結果を延長した仮説であることは正しく理解する必要がある。また、事故時などに浴びるかもしれない線量(たとえば0.1グレイ=10ラド)でも、動物実験などから推定される生物影響は極めて小さい。このことは2000年現在で、チェルノブイリ事故によって、周辺住民の白血病や固形がん(甲状腺がんを除く)が増加していないことからわかるし、そのことは広島、長崎の尊い犠牲者の調査結果からも推定できたのである。東海村事故で、3人の作業従事者が大線量の被曝を受け、お二人が亡くなられたことは重大な出来事であったが、周辺住民に発がんを含む健康影響が生じることはありえない。

宮澤弘二氏の講演要旨

学校教育用としてエネルギー・環境問題を総合的に理解させるための情報提供を目的に、インターネットとGIS (Geographic Information System : 地理情報システム) を活用した Web システムを構築し、「自然放射線の測定」を題材としたエネルギー・環境教育が実践できる、従来になかった新しい教育手法と教育環境を教育現場に提供することを目指した。

Web システムの機能仕様策定、放射線教育の実践、指導方法の検討については、学識経験者(放射線教育フォーラム)、中学、高等学校教諭から成る委員会の指導体制のもと研究を進めることとした。初年度の本プロジェクトの実施結果についてその意義と成果を総括する。

谷野裕子・村石幸正氏の講演要旨

1999年9月30日に日本で初めての臨界事故が起こり、改めて放射線の怖さを思い知らされることとなった。このような事態を経て、原子力施設の近くに住む人と原子力施設のない地域に住む人の放射線に対する意識が大きく異なっているのではないかと考えた。

また、放射線教育に関して学校での学習が重要であると期待されているが、その実態はどのようなものであるのかの興味もあり、原子力施設のある青森・茨城、原子力施設のない東京・大阪、そして、過去に被ばくの経験のある地域として広島を選び、高校生を対象に、放射線に関する意識調査を行った。放射線のイメージは危ないという意見が多く、その理由として、原爆と原子力発電所の事故の2つを80%以上の方があげていた。自然放射線についてはあまり知られていないことがわかった。また、同じ放射線でも核医学については仕方がない、わからないと考えている人がほとんどだった。

《会務報告》

- 11月22日 本フォーラムがNPO法人として経済企画庁より認証をうける
- 11月25日 拡大幹事会・勉強会(升本ビルB会議室、36名)
- 12月2日 第4回実験教材委員会(中村理科、6名)
- 12月4日 NPO法人として東京法務局に登録
- 12月15日 千葉地方法務局に千葉支部の登記
- 12月25日 第5回リスク検討委員会(升本ビル8名)
- 1月10日 教育課程検討委員会(科学新聞社、7名)
- 1月12日 第1回理事連絡会(升本ビル、11名)
- 1月22日 第6回リスク検討委員会(升本ビル7名)
- 1月24日 教育課程検討委員会(科学技術館、7名)
- 2月16日 第5回編集委員会(升本ビル、5名)

2月20日 第2回理事連絡会(升本ビル、13名)

2月24日 第5回実験教材委員会(中村理科、6名)

放射線関連研究施設一般公開日のご案内

- 4月4日(日) 原研高崎研究所(群馬県高崎市綿貫町1233 Tel:027-346-9232) 放射線の工業利用、 γ 線電子線照射施設、イオンビーム照射施設など
- 4月7日(水:午後1時より) 京都大学原子炉実験所(大阪府泉南郡熊取町野田) Tel:0724-51-2312 スイミングタンク型原子炉、廃棄物施設等の公開、
- 4月13日(火)、14日(水) 東京都立産業科学技術研究所(東京都世田谷区深沢2-11-1 Tel:03-3702-3113) γ 線照射施設、イオン照射施設など
- 4月20日(金) 環境科学技術研究所(青森県上北郡六ヶ所村 Tel:0175-71-1200) 低線量生物影響、全天候型人工気象室、閉鎖型生体実験などの施設公開
- 4月21日(土) 理化学研究所(埼玉県和光市広沢 Tel:048-462-4715) 和光地区の基礎科学、生命科学、レーザー関係など
- 4月22日(日) 放射線医学総合研究所(千葉市稲毛区穴川4-9-1) Tel:043-251-2111 テーマ「21世紀あなたと放射線」、重イオンがん治療HIMAC施設
- 4月29日(日) SPring-8(放射光)高輝度光科学センター(兵庫県佐用郡三日月町光都1-1-1) Tel:0791-58-2785 <http://www.spring8.or.jp> 理研・原研共同運営による放射光施設のほか姫路工業大学などの周辺関連施設も公開される

《あとがき》

本フォーラムもいよいよNPO法人としてスタートした。そして新年度からは中高校の学校教員を対象としたエネルギー、環境、放射線セミナーに本格的に取り組むことになる。より良い社会をつくることを目指して、多くの人達とともに学校教育の問題を考えていきたいと願っている。皆様からの遠慮のないご意見をどうぞお聞かせ下さい。(S.O. 記)

放射線教育フォーラム編集委員会

大野新一(委員長)、菊池文誠、小高正敬、村主進、中村佳代子、坂内忠明、村石幸正、渡利一夫、今村昌(顧問)

事務局: 〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-7-6 升本ビル2階 Tel/Fax:03-3591-5366, E-mail:mt01-ref@kt.rjm.or.jp、HP: <http://www.ref.or.jp>

放射線教育フォーラムニュースレターNo. 19
発行日: 2001年3月18日