RADIATION EDUCATION

放射線教育

1998

VOL. 2 NO. 1

放射線教育フォーラム

Radiation Education Forum

放射線教育　Ｖｏｌ．２，　Ｎｏ．１　（１９９８）

目次

巻頭言「広がりとバランスの放射線教育」・・・・・・阪上正信　1
放射線教育と学校理科・・・・・・・・・・・・・下條隆嗣　3
中学校教育における放射線教育の試み・・・・・・・平田俊治　１０
高校物理の中の放射線教育・・・・・・・・・・・竹中　功　１８
空気ＧＭカウンターの製作と高校での放射線教育・・・三門正吾　２８
ラジオアイソトープを用いた日用品・・・・・・・・村上義彦　４０
小学生に放射線をはからせる・・・・・・・・・・播磨良子　５０
関西地区での「みんなのくらしと放射線」展と
放射線意識調査結果・・・・・・・・・・・朝野武美、古田雅一、
林　寿郎、細川　康　６０
物理学者列伝（２）ルイス・ハロルド・グレイ・・・・竹沢攻一　７０

投稿規定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・９１
編集後記・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・９３

巻頭言

“広がりとバランスの放射線教育”

阪上　正信

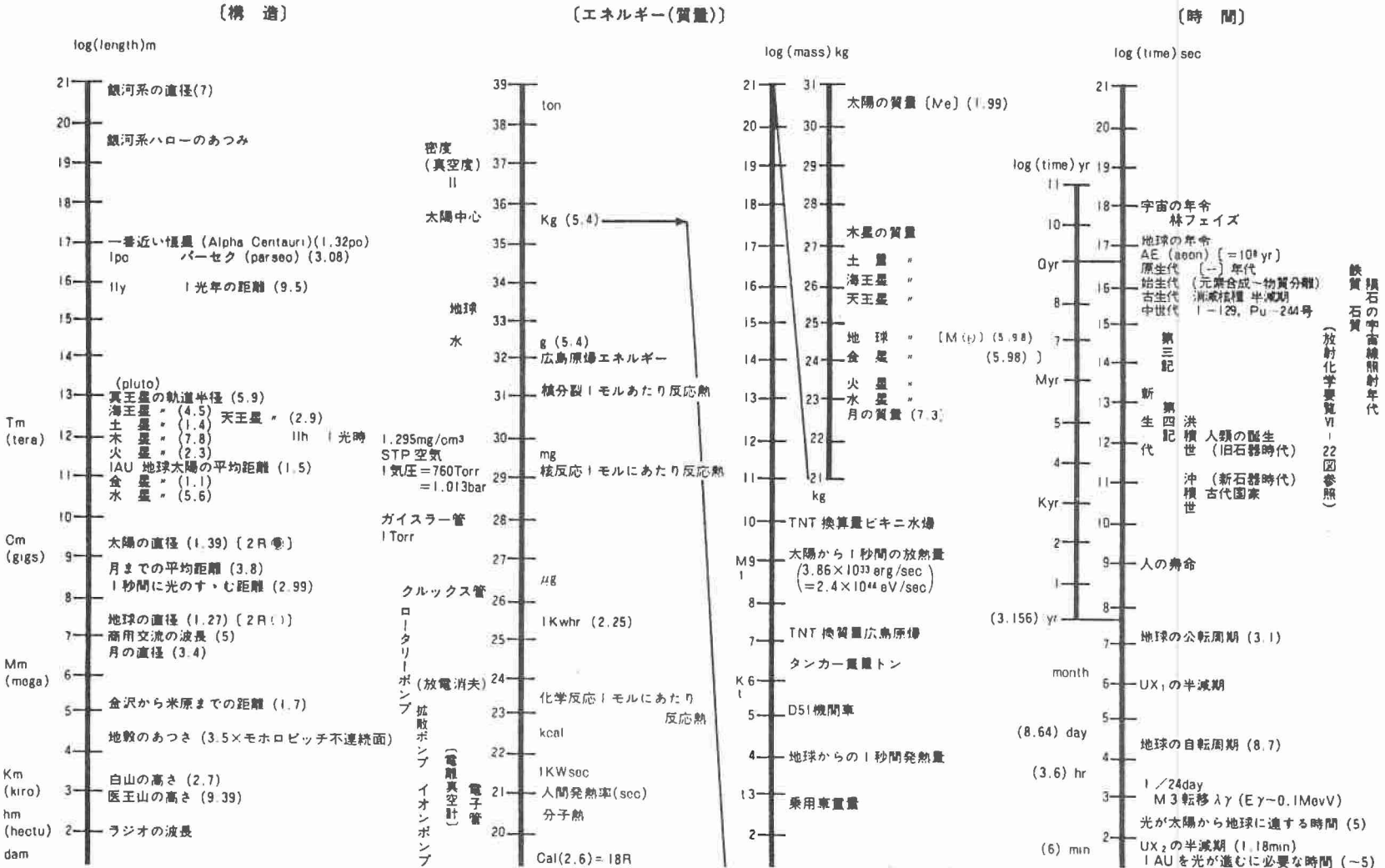
（金沢大学名誉教授）

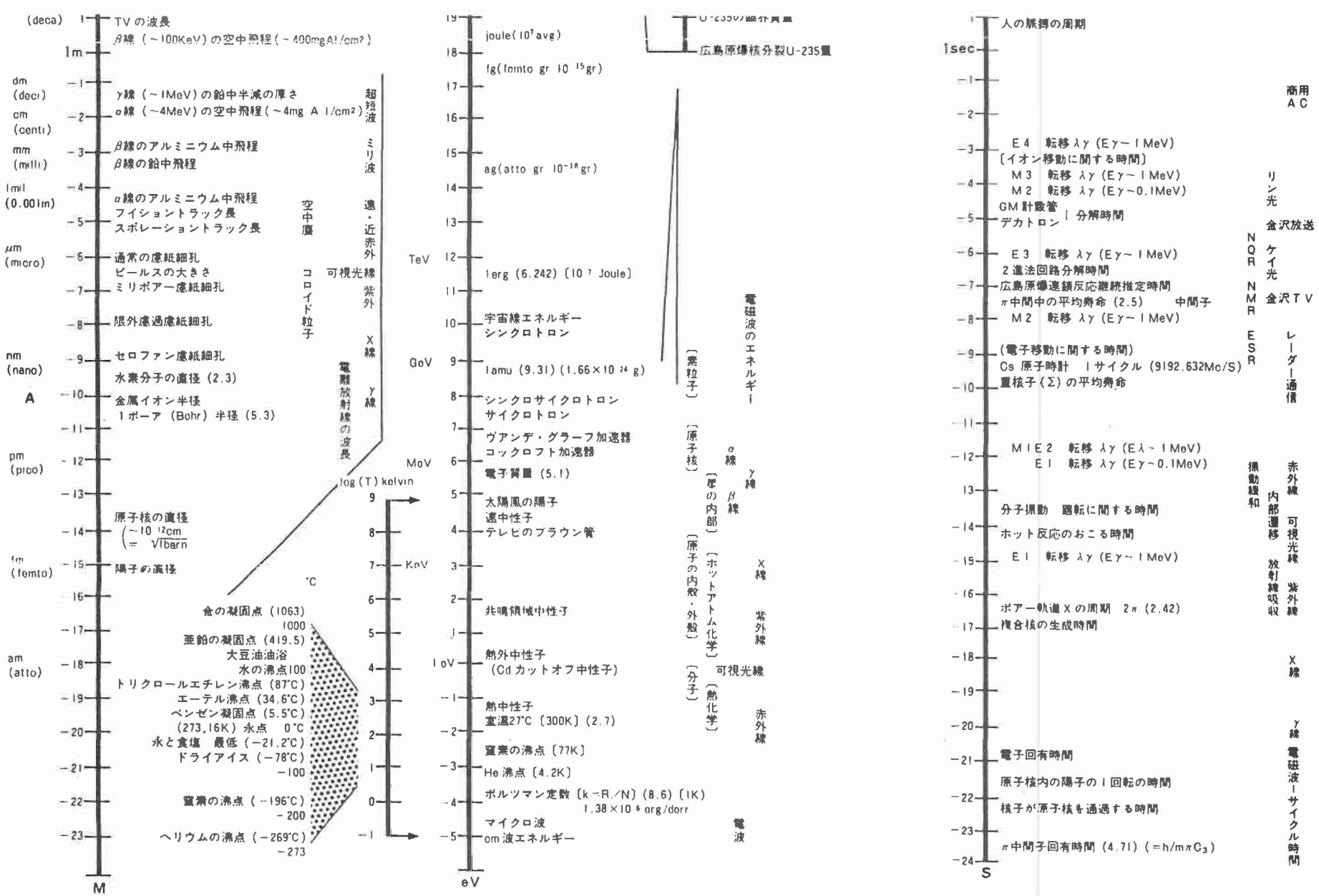
自然を観測し考え対応するには、構造・エネルギー・時間の３要素の視点が肝要で、そのことは社会や人間についてもいえる。国際単位系の基本Ｍ・Ｋ・Ｓも、その基盤としての長さメートル・質量キログラム(kg)〔Ｅ＝mc^2 でエネルギーと互換〕・時間秒である。その広がりをみると (次のページ付表の様に) 、大きさでは宇宙から原子核・素粒子まで質量とエネルギーでは太陽の質量・それでの核融合による１秒間発熱量から、核分裂そして電子対の生成・消滅さらに日常の熱運動に至るまで、時間では宇宙での元素合成から地球・考古学の年代を経て、長短半減期、励起状態、原子時計などの時間に至るまでに渉っている。放射線・放射能の教育ではどうしても万遍なくこれらに触れることとなり、その内容は他の種々な教育分野にはないユニークな広がりをバランスよく持っている。

そして目に見えない放射線に関しては、どうしても人間が歴史的に理科的知識の蓄積によって工夫した測定器についての理解が必要である。一方放射線については、便益の利用 (クスリ) とともにその裏側にあるリスクに配慮しなければならない。このことは新事実発見後間もなく、期待を持って積極的利用が拡大するとともに、やがてその負の面の災害・影響が現れたことが、歴史的事実として認められる。しかし人間はその活動において、いみじくも夏目漱石が草枕で「智に働けば角が立つ、情に棹させば流される、意地を通せば窮屈だ…」と述べたように、便益とリスク両者の認知 (perception) では、感情に流されがちであり、しかもそれが歴史的にみて時によって大きく変動する。そこで目に見えないものでとくに必要なのが、感性ではなく科学的測定による量的評価にもとづいた正当な判断である。人間の文化はその芸術・科学技術を含め古代から、このようなリスクとクスリの緊張関係の中でこそ、育(ﾊｸﾞｸ) まれてきたものであろう。また正当な判断と工夫をもって数々のリスクを克服することの中で、人間は育てられるものである。放射線教育は、まさしく現代ではこのような緊張のバランスの中での教育であり、またバランス感覚を会得し、リスク克服の尊さと恵みを学び、大自然の摂理を味わえる場でもある。

放射線教育フォーラムの方々の努力によって、昨年秋に世界各国の人々も参集して開催された国際シンポジウムの報文集や本誌が、現場の先生方に放射線教育への関心を高め、役立つことを期待したい。

自然観測実験の3要素


〔構造〕
log(length)m
21 銀河系の直径(7)
20 銀河系ハローのあつみ
19
18
17 一番近い恒星 (Alpha Centauri)(1.32po)
lpc パーセク (parsec) (3.08)
16 lly 1光年の距離 (9.5)
15
14
13 (pluto)
冥王星の軌道半径 (5.9)
海王星 〃 (4.5) 天王星 〃 (2.9)
Tm (tera) 12 土星 〃 (1.4)
木星 〃 (7.8) 11h 1光時
火星 〃 (2.3)
11 IAU 地球太陽の平均距離 (1.5)
金星 〃 (1.1)
水星 〃 (5.6)
10
Cm (gigs) 9 太陽の直径 (1.39) 〔2R⊙〕
月までの平均距離 (3.8)
1秒間に光のすゝむ距離 (2.99)
8
地球の直径 (1.27) 〔2R⊕〕
7 商用交流の波長 (5)
月の直径 (3.4)
Mm (moga) 6
5 金沢から米原までの距離 (1.7)
地殻のあつさ (3.5×モホロビッチ不連続面)
4
Km (kiro) 3 白山の高さ (2.7)
医王山の高さ (9.39)
hm (hectu) 2 ラジオの波長
dam
〔エネルギー(質量)〕
log(mass) kg
39 ton
38
密度 (真空度) 37
〃
太陽中心 36 Kg (5.4)
35
34
地球
水 33
g (5.4)
32 広島原爆エネルギー
31 核分裂1モルあたり反応熱
1.295mg/cm³ 30
STP 空気
1気圧=760Torr
=1.013bar
29 mg
核反応1モルにあたり反応熱
ガイスラー管 28
1Torr
27
μg
クルックス管 26
ローターリーポンプ
1Kwhr (2.25)
25
(放電消失) 拡散ポンプ イオンポンプ (電離真空計) 電子管 24 化学反応1モルにあたり
反応熱
23 kcal
22
1KWsec
21 人間発熱率(sec)
分子熱
20
Cal(2.6)=18R
21 31 太陽の質量 〔Me〕 (1.99)
20 30
19 29
18 28 木星の質量
17 27 土星 〃
16 26 海王星 〃
15 25 天王星 〃
14 24 地球 〃 〔M⊕〕 (5.98)
13 23 金星 〃 (5.98)〕
12 22 火星 〃
11 21 水星 〃
月の質量 (7.3)
kg
10 TNT 換算量ビキニ水爆
M9 1 太陽から1秒間の放熱量
(3.86×10³³ erg/sec
(=2.4×10⁴⁴ eV/sec)
8
7 TNT 換算量広島原爆
K6 t タンカー重量トン
5 D51機関車
4 地球からの1秒間発熱量
t3 乗用車重量
2
〔時間〕
log(time) sec
log(time) yr
11
10
Qyr
8
7
Myr
5
4
Kyr
2
1
(3.156) yr
month
(8.64) day
(3.6) hr
(6) min
21
20
19 宇宙の年令
林フェイズ
18
17 地球の年令
AE (aeon) 〔=10⁹ yr〕
原生代 〔--〕年代
始生代 (元素合成→物質分離)
古生代 崩壊核種 半減期
中世代 I-129, Pu-244号
16
15 第三紀
14
13 新生代 第四紀 洪積世 人類の誕生
12 (旧石器時代)
沖積世 (新石器時代)
11 古代国家
10
9 人の寿命
8
7 地球の公転周期 (3.1)
6 UX₁の半減期
5
4 地球の自転周期 (8.7)
3 1/24day
M3転移 λγ (Eγ~0.1MeV)
光が太陽から地球に達する時間 (5)
2 UX₂の半減期 (1.18min)
1AUを光が進むに必要な時間 (~5)
隕石の宇宙線照射年代
鉄質 石質
(放射化学要覧VI-22図参照)


(deca)
TV の波長
β線（～100KeV）の空中飛程（～400mgAl/cm²）
1m
dm (deci)
γ線（～1MeV）の鉛中半減の厚さ
cm (centi)
α線（～4MeV）の空中飛程（～4mg Al/cm²）
mm (milli)
β線のアルミニウム中飛程
β線の鉛中飛程
1mil (0.001in)
α線のアルミニウム中飛程
フイショントラック長
スポレーショントラック長
μm (micro)
通常の濾紙細孔
ピールスの大きさ
ミリポアー濾紙細孔
限外濾過濾紙細孔
nm (nano)
セロファン濾紙細孔
水素分子の直径（2.3）
A
金属イオン半径
1ボーア（Bohr）半径（5.3）
pm (pico)
原子核の直径
（～10⁻¹²cm
＝ √1barn
fm (femto)
陽子の直径
am (atto)
M
空中塵
コロイド粒子
電離放射線の波長
超短波
ミリ波
遠・近赤外
可視光線
紫外
X線
γ線
log (T) kelvin
°C
金の凝固点（1063）
1000
亜鉛の凝固点（419.5）
大豆油油浴
水の沸点100
トリクロールエチレン沸点（87°C）
エーテル沸点（34.6°C）
ベンゼン凝固点（5.5°C）
（273.16K）氷点 0°C
氷と食塩 最低（−21.2°C）
ドライアイス（−78°C）
−100
窒素の沸点（−196°C）
−200
ヘリウムの沸点（−269°C）
−273
9
8
KeV
7
6
5
4
3
2
1
0
−1
joule（10⁷avg）
fg(femto gr 10⁻¹⁵gr)
ag(atto gr 10⁻¹⁸gr)
TeV
1erg（6.242）〔10⁻⁷ Joule〕
宇宙線エネルギー
シンクロトロン
GeV
1amu（9.31）（1.66×10⁻²⁴ g）
シンクロサイクロトロン
サイクロトロン
ヴァンデ・グラーフ加速器
コックロフト加速器
MeV
電子質量（5.1）
太陽風の陽子
遠中性子
テレビのブラウン管
非晶領域中性子
熱外中性子
（Cd カットオフ中性子）
1eV
熱中性子
室温27°C〔300K〕（2.7）
窒素の沸点〔77K〕
He 沸点（4.2K）
ボルツマン定数〔k＝R/N〕（8.6）〔1K〕
1.38×10⁻¹⁶ erg/dorr
マイクロ波
om波エネルギー
eV
U-235の臨界質量
広島原爆核分裂U-235量
電磁波のエネルギー
〔素粒子〕
〔原子核〕
〔星の内部〕
〔原子の内殻・外殻〕
〔ホットアトム化学〕
〔分子〕
〔熱化学〕
α線
γ線
β線
X線
紫外線
可視光線
赤外線
電波
人の脈搏の周期
1sec
商用 AC
E4 転移 λγ（Eγ～1MeV）
〔イオン移動に関する時間〕
M3 転移 λγ（Eγ～1MeV）
M2 転移 λγ（Eγ～0.1MeV）
GM 計数管
デカトロン 1 分解時間
リン光
金沢放送
E3 転移 λγ（Eγ～1MeV）
2進法回路分解時間
広島原爆連鎖反応継続推定時間
π中間中の平均寿命（2.5） 中間子
M2 転移 λγ（Eγ～1MeV）
NQR NMR ESR
ケイ光
金沢TV
（電子移動に関する時間）
Cs 原子時計 1サイクル（9192.632Mc/S）
重核子（Σ）の平均寿命
レーダー通信
M1E2 転移 λγ（Eλ～1MeV）
E1 転移 λγ（Eγ～0.1MeV）
赤外線
分子振動 回転に関する時間
内部遷移
ホット反応のおこる時間
E1 転移 λγ（Eγ～1MeV）
可視光線
振動線和
放射線吸収
紫外線
ボアー軌道Xの周期 2π（2.42）
複合核の生成時間
X線
γ線
電磁波一サイクル時間
電子回有時間
原子核内の陽子の1回転の時間
核子が原子核を通過する時間
π中間子回有時間（4.71）（＝h/mπC₃）
S

放射線教育と学校理科

下條隆嗣
東京学芸大学教育学部
（受理１９９８年１１月２０日）

［要約］本稿では，知識の伝達から資質の重視への転換という理科教育における国際的動向と，独創性の高い専門家養成と市民の科学リテラシーの増進の両者を推進してゆくべきであるという今後の日本の理科教育の課題にふれて，こうした枠組の中での放射線教育の展開が主張されている。

１．はじめに

日本の学校では科学的内容の教育に対して「理科」という教科の名前や「理科教育」という用語が定着している。近年，科学と技術の相互発展が顕著になりつつあるが，科学と技術は，複雑な相互関係を持ち，また日常生活は技術に大きく関連している。初等・中等段階の学校「理科」を含め，また市民教育や高等教育をも視野に入れたより広範で技術的内容をも包含する科学に関する教育は，「科学教育」と呼ばれることが多い。本稿では，理科教育や科学教育における課題を概括しながら，その流れのなかで，放射線教育を学校教育のいかなる枠組みの中で考えてゆくべきかという点について，理科教育研究者の立場から私見を述べさせて頂く。

２．市民の科学リテラシーの育成と専門家養成

まず，放射線教育は，現代の理科教育が抱える課題，特に市民の科学的教養の点から考えると，エネルギー確保や環境保全等の大きな枠組みの中で捉えないと支持が得られにくいと考えられる。

ローマクラブによる研究によると，地球上で数世代後には，人口は現在の約２倍になり，資源の枯渇，環境の悪化，食料の枯渇などが予測されている（近藤1984）。これらは，今後，日本人を含む世界の人々が直面し，対応してゆかなければならない厳しい課題である。環境保全，サバイバル的課題（食料，鉱物資源，エネルギーの確保），科学技術の日常化・高度化などの課題へ対応するために，新しい産業や科学技術を生み出す個性豊かで創造性の高い人材のみならず，高い科学的教養をもち，科学の重要性を理解する市民の存在が求められる。

科学技術によって支えられている社会においては，一般市民も科学についての教養，いわゆる「科学リテラシー」をもつことが望ましい。それは，市民にとっ

て，健康で明るい生活の基礎であり，新しい生活スタイルの創造や生命保全等のためにも重要であるばかりでなく，これらの課題への科学技術的活動を理解し支えるものである。一見科学技術に無関係なさまざまな職業で科学技術の知識や技能，科学的態度が必要になってきている（拙稿 1996)。

こうした状況へ対応してゆくための科学的な能力や意欲は，専門家養成の面からも，一般市民の科学リテラシーの育成の面からも，理科においてその育成が求められているといえる。しかし，これまでの中等教育では，むしろ専門家養成主義的色彩が強かったといえる。近年の OECD による調査によると，科学リテラシーは欧米では高く（最高は英国)，日本は先進国中最低であり，また日本では，学校「理科」が理科嫌いをつくっている側面もあることが明らかにされている（Miller 1996)。一方，科学技術立国を標榜している我が国において，過去より小・中・高等学校併せて理科の時間が 400 時間程度も削減されている。国際数学・理科教育調査における日本の中学生の理科の成績が，かっては１位であったものが近年３位になった（国立教育研究所 1997)。同調査における理科の成績の順位は，このままでは今後ますます低下してゆくことが予想される。日本の理科教育・科学教育は多くの課題を抱えており，科学技術立国の基盤がゆらぐことが危惧されている（産経新聞社会部編 1998)。

こうしたことから，放射線教育も，市民の科学的教養と専門家養成の二面から推進してゆくべきであろう。特に前者の教育においては，専門的知識の詰め込みは妥当性を欠き，日常生活との関連が重視されなければならない。一方，後者の教育に対しては，科学技術社会を支え，高い経済的競争力を維持し，世界へ貢献できる人材の育成を目標にして，個性に応じて深く学べるような教育課程を工夫することが必要であると考えられる。

３．科学の応用について学ぶ新しい教科

日本の教育課程には，科学の応用としての，あるいは技術に支えられた科学という意味での「科学技術科」という教科は，これまで存在しなかった（拙稿 1997)。現状では，技術的な内容を持つ教科として，中学校に「技術・家庭」が設けられているが，この技術に係わる部分の内容は，木材加工，電気，金属加工，機械，栽培，情報基礎から構成されていて，このような趣旨からは離れている。中学校の技術科と「理科」における目標や内容の隔たりは大きい。放射線教育を「理科」ばかりではなく，高等学校の「科学技術」科のような新しい教科の中で展開してゆくことも考えられる。ただし，現在，いろいろな分野からの学校教育への期待は大きく，それらをそのまま受け入れてゆくと教科・科目数が増大して，学校の機能は破壊されてしまう恐れがある。現状では，むしろいかに教科・科目を削減するかが問われているので，「科学技術科」のような科目の新設は容易ではない。

また，各教科には独自の目標や特性がある。理科では，観察・実験を通して科学的自然観を養うことを目標とし，一方技術科では，生活に必要なものをつくるという実践的な態度の育成を目標としていて，両者の目標は異なっている。このように，「科学技術科」の開発に当たっては，学習内容は教科として成立するか，教材開発，シラバス，教師養成，教育職員免許の改定など，検討すべき課題が多いことも事実である。

４．理科教育思潮の変化

次に，理科教育の思潮が，知識重視から資質重視へと近年変化してきており（拙稿 1998），そうした新しい理科教育思潮の中で放射線教育を考えてゆくべきだと考えられる。

情報化，国際化，産業構造の変化，環境保全など変化の激しい時代状況の中で，学校教育を含めた場の中での基本的な課題として，実践的な力，問題解決の力，判断力と感性，全人的な力が求められている。こうした力の育成は，理科教育と深く関わっている。時代状況への適応能力は，広い資質に関係していると考えられる。そうした能力の育成のためには，理科においても，主に既にできあがった知識を伝える知識注入型の教育から，より基本的な資質育成教育への転換をはからなければならない。従来，中等理科では，高等教育の基礎としての知識の伝達が主になってきた傾向がある。

科学技術の進展に伴って，その領域も拡大し，深さも増している。これらの知識や技術を学校で学習させようとすると，学習内容が増大してゆく。学校現場では，これまで学習内容の量の多さに悩んできた。科学教育の分野では，量的増大の背後にある基本的なものを常に拾い出すようにしたり，新しい教育課程を研究して，学習内容の量的拡大に対応しなければならない。もし，これを怠ると，学習内容はたちまちに陳腐化するばかりでなく，創造性，思考力の育成などの本来の教育目的を達成できなくなる。放射線教育も，基本的な知識は重要だが，知識のみを伝えようとすると，生徒の理科離れを促進することになり，理科としては失敗する可能性が高い。

一方，旧来より，理科教育では，科学的な思考や態度，科学的技能，意欲の増進などを目標の一部にしてきた。科学的な思考や態度の中身は，合理的・論理的思考，事実に基づく冷静な判断力，データに基づく客観的見方，批判的思考力，課題を見いだし，辛抱強く解決する力などである。科学的技能としては，探究能力を育てるプロセス・スキルズがある。それらは，観察，分類，数の使用，測定，空間・時間関係の利用，推論，伝達，予測，仮説設定，操作的定義，条件統一，データの解釈，モデル作成，実験など，探究の過程に必要とされるスキルである。これらは，数十年前に米国で研究されたものであり，現代的視点からは不十分で，

理科においても「情報の活用」などの新しいスキルが必要となろう。

しかし，さらに，探究のスキルの定着でも不十分である。スキルに埋没して，事象に対する解釈的な能力を育てることを忘れてはならない。解釈的能力を高めるには，科学の性質や，発見がなされた社会的文脈まで取り入れた科学史も必要とみなす意見も出現してきた。すなわち，知識の伝達から探究のスキルへ，さらに科学的発見の社会的文脈を通しての科学の性質の理解へと理科教育の思潮が変遷しつつある。

こうした転換は，国際的なものである。例えば，米国では，科学教育課程の改革が進められつつあり，その理念は，「米国科学教育標準(National Science Education Standards)」に結実した（National Research Council 1996)。その学習内容としては，従来の物理科学，生命科学，地球科学的内容に加えて，科学と技術の関係，科学の性質と科学史，科学の個人的・社会的側面が包含され，拡充されている。ここで，科学の個人的・社会的側面の内容は，個人の健康，人口，資源・環境，天災，危険と便益，社会における科学技術など，いわゆるＳＴＳ(Science-Technology-Society)的な内容である。さらに，これらの内容を小・中・高等学校を通して一貫して学習するようにしている。特に，米国ジョージア州では，教授と学習の要素として，思考習慣（問題解決，コミュニケーション，推理判断，関連づけ)，重要なアイデア（物理環境，生物界，人間の努力としての科学と技術)，理解と行為への伝達手段（システム，不変と変化，モデル，計測とスケール）を考え，学力をそれらから構成される立方体として捉えている。

このように，世界各国では，科学教育の目標が広げられ，資質をのばす方向で新しい理科教育が模索されつつある。また英国では，近年，国定の教育課程を策定実施したが，「理科」を「英語」や「算数・数学」と共に中心教科として据えている（木村誠 1997)。これらの動きに共通していることは，全ての青少年に対する科学教育の重要性の認識と，初等・中等教育を通した内容の一貫性と広さである。

理科教育の国際的な動向をみると，戦前の米国では，哲学者Ｊ．デューイの哲学に基づいて，社会の中でよりよく生きてゆくための学習という立場から，生活との関連を重視した理科が展開されていた。これは，人間の精神的能力を高めるという形式陶冶といえる。戦後，科学技術爆発の時代を迎え，こうした教育では実力がつかないという批判が生まれ，米国で巨大な科学教育課程改革運動が始まった。これは，日本では「現代化運動」と呼ばれている通り，現代科学の本質を構造化して教える，また教えることができるいう信念に基づいていたもので，実質陶冶といえる。これは多額の予算に支えられ，日本では到底なしえなかった運動であり，日本を含む諸外国に影響を与えた。しかし，この期に開発されたプロジェクトは，一般に難解すぎたようで，不成功に終わったとされている。近年の

新しい改革の動向，すなわち資質重視への転換，科学リテラシーの育成は，科学技術時代であることを踏まえた新しいデューイ主義，あるいはデューイ哲学の新しい見方や発展とも考えられる。これは，生活理科に墜しない理科教育であり，形式陶冶と実質陶冶の止揚とも考えられる。

５．系統性と総合性－総合的理科の実現性

市民にとっての放射線教育は，技術的内容を包含する総合的な内容の教育がふさわしいと考えられ，そのための研究が待たれている。市民のための科学と専門家養成のための科学とにおいて，いつも見え隠れしてる課題は，「系統性と総合性の葛藤」である。市民の科学リテラシー育成に対しては，総合的な科学教育が必要であろう。しかし，総合的教育については，科学は積み重ねが大切だから，基礎ができた上で実施すべきである，あるいは，かなり上の学年でないと無理であるという考え方がある。また，学校の時間数が不足（週５日制）するのなら，なおさら，基礎をしっかり学習させるべきであるという意見である。この考えの欠陥は，専門家養成主義に陥りやすいことであり，子供は学習内容に興味を喪失する傾向があることである。一方，総合化では，資質を重視し，物事を総合的に把握して判断し，学びの動機を子供自身が感ずるようにすることを重視している。こうした総合化の背景には，環境問題を始めとして，狭い学問領域からはアプローチできない問題が多く発生している事実がある。しかし科学教育課程の開発面では，総合化のための知識構造分析，学習法などの方法論もほとんど未知である。また広範にわたる内容を誰が総合化できるのかという問題もある。

もっとも，総合的理科については，戦前にも旧制中学において「一般理科」として置かれたり（1931 年），国民学校の下で理科の内容が「物象」と「生物」に２分された時期もあった（1941 年）。さらに，戦後は，1970 年（昭和 45 年）告示の学習指導要領で「基礎理科」が選択科目の一つとして置かれ，1978 年（昭和 53 年）告示の学習指導要領では「理科Ⅰ」が必修となり，さらに 1989 年（平成元年）告示の学習指導要領では「総合理科」が選択科目の一つに置かれているなどの歴史を持っている。しかし，科学リテラシー育成を強く意識し，しかも科学技術的内容を含む総合的理科は，まだ未開発である。

専門家養成のための教育は，伝統的な諸科学の基礎を重視し，系統性のきわめて強いものでよいであろうが，市民のための理科教育は，それとは別のアプローチがあるはずで，むしろ定性的だが本質的な理解が重要である。市民が，科学の基本的アイデアや生活との結びつきの理解と共に，科学とは何か，どのようにつくられるのかという科学の性質を理解し，科学が係わる社会的課題を認識し，生活の中で判断する力を持つことが必要である。

6．新しい問題解決能力

これまでの学校教育では，主として「良く構造化されている問題解決」が扱われてきたといえる。しかし社会の複雑化に対応して，これからの学校では，「良く構造化されていない問題解決」も扱われなくてはならないと考えられる。それは，解決のために用いる概念や技能，それらの適用の仕方が不明確であり，解答も一つとは限らないような問題解決である（Jonassen 1997)。それは，環境問題，エネルギー，資源などの現実的で総合的な内容に関連している。これには，「良く構造化されている問題解決」に必要な領域的な概念や技能に加えて，知識を構造化する能力，議論を構成したり，アナロジーをつくったり，推論したりという拡充的能力，積極的に課題と取り組み解決を試みようとする動機・態度，および自分自身の既有知識などについて知ることなど，いわばメタ認知が必要である（下條・他 1998)。放射線教育を通して，こうした新しい問題解決能力の増進が，特に科学リテラシー育成に関連して必要とされる。

7．おわりに

放射線関係の専門家諸氏に，上に述べてきたような理科教育・科学教育が抱える問題について御理解頂き，また理科教育思潮の変遷をも考慮して，専門家養成と同時に市民的教養の教育を行うことが国民的課題であり，放射線教育をそうした枠組みのなかで考えて頂きたい思う。

[参考文献]

Jonassen, D. H., 1997, Instructional Design Models for Well-Structured and Ill-Structured Problem-Solving Learning Outcomes, ETR&D, **45**(1), 65-94

木村誠, 1997, イギリスにおける普通教育としての技術教育の動向，日本科学教育学会年会論文集 21，課題研究D：「科学教育と技術教育の総合化カリキュラム」29-1D3

国立教育研究所，1997, 「中学校の数学教育・理科教育の国際比較－第３回国際数学・理科教育調査報告書－」，代表者 菱村幸彦，国立教育研究所紀要 127集，平成９年３月

近藤次郎， 1984,「環境科学読本」，東洋経済新報社

Miller, J. D., 1996, Public understading of science and technology in OECD countries: a comparative analysis, Synposium on Public Understanding of Science and Technology, Tokyo, 5-6 November 1996

National Research Council, 1996, National Science Education Standards, National Academy Press.

産経新聞社会部編 1998, 「理工教育を問うーテクノ立国が危ういー」，新潮文庫

さ-33-2，新潮社．
下條隆嗣・内藤誠一，1998, メタ認知，「キーワードからさぐるこれからの理科教育」，日本理科教育学会編，東洋館出版社，164-169.
拙稿，1996, 小・中学校レベルの科学技術教育カリキュラムの開発，日学選書３「21 世紀を展望する新教育課程編成への提案－理科教育，数学教育，技術教育，情報教育－」，日本学術協力財団，162-178
拙稿，1997, 21 世紀における科学カリキュラムの開発をめざして－開発の理念と課題ならびにカリキュラムの枠組み－，日学選書９「「21 世紀の教育内容」にふさわしいカリキュラムの提案」，日本学術協力財団，69-95
拙稿，1998, ［生きる力］を育てる理科の指導，中等教育資料 No.715, pp.10-15, 1998. 8, 文部省中学校課・高等学校課編集，大日本図書発行

中学校教育における放射線教育の試み

平田俊治
岡山県吉永町立吉永中学校
（受理1999年1月4日）

現在，小・中学校の理科教育のなかで放射線はほとんど扱われていない。わずかに平和教育のなかで，「原子爆弾による放射線障害」が取り上げられているに過ぎない。

広島・長崎の被爆体験を持つ国民として“核アレルギー”をもつのは　当然といえるが，ガン治療をはじめ，工業，農業などの分野でも幅広く利用されていることも事実である。無用な被爆を減らすためにも，放射線に対する科学的な知識は欠くことができない。

本研究では,生徒が、実際に自然放射線を測定するという科学的な体験により，放射線に対する意識がどのように変容するか，また，その変容が保護者にどのように影響を与えていくかについて考察をした。

1　はじめに

我が国は，科学の力で戦後の動乱を乗り越え，国を復興してきた。しかし，最近の生徒の学力の低下，特に理科系教科を中心とする学力の落ち込みは日本の将来を不安を感じる。この原因は知識のみの詰め込みに一因があるのではと考え，できるだけ実体験を重視した理科の授業をこころがけてきた。

ここにその一部を発表し，ご指導を仰ぎたいと思う。

2　中学校教育における放射線教育の目的

我々日本国民は，先の戦争で原子爆弾を投下されるという体験を持つ。それゆえに，国民は「核」という言葉だけでなく「放射線」という言葉に対しても強いアレルギーを持っていることは否めない。

しかしながら，放射線や核エネルギーの利用などの分野で，　わが国は世界有数の水準を誇っている。また，医学の分野における放射線診断や放射線治療，食品の放射線照射による殺菌，金属材料の非破壊検査など，生活に密着した分野で放射線が広く有益に使用されていることも事実である。

従って，好むと好まざるとに関わらず，我々は放射線と共存していかねばならないし，正しく放射線というものを認識する必要がある。放射線へのアレルギー

を乗り越えて，正しく放射線というものを認識し，放射線の有用性を大衆に説くにはどうしたらよいか。これは，理科教育における重要な問題でもあると考えられる.

中学校教育における環境教育の一環として，放射線教育への取り組みを紹介し，問題を提起したい。

３　本校における取り組み

（１）　平成８年（１９９６年）の取り組み

主な取り組みは次の通りである。

①環境教育の一環として，はかるくんを３２台借用した。

②「はかるくん」を用いて，生徒自身で学校内のいろいろな地点を測定し，もっとも数値が高いところを見つける。

校内を４（い～に）×７（１～７）=２８個のブロックに分け，測定した結果が表１である。

「はかるくん」（中央は線源）

校内測定風景（１）

表１　吉永中学校の放射線分布（平均値）

エリア名	い	ろ	は	に
1	-	0.057	0.042	-
2	-	0.092	0.060	-
3	0.061	0.046	0.072	-
4	0.068	0.075	0.061	0.057
5	0.058	0.055	0.050	0.061
6	0.056	-	0.053	-
7	-	-	-	-

単位（μＳｖ／ｈ）

この数値を用いて学校内の放射線強度分布図を作製したのが図１である。

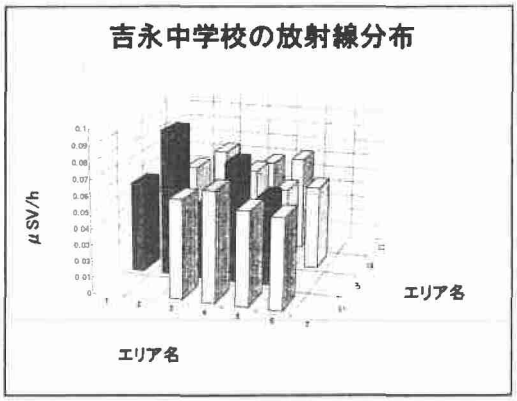


図１　学校内の放射線強度分布

③以上のような取り組みの中から，さらに詳しく調べてみたいという生徒が
出たので，自分たちの町の放射線強度を調べることにした。生徒自身が「はかるくん」 を自宅に持ち帰り，家のまわりを測定することにした。

また，生徒がいない地区については有志の生徒が直接測定に出向き，町内の強度分布を作成し，一連の測定の後，放射線に関する考察をし，レポートを作成した。

④測定を行う前と測定後の生徒の放射線に対する意識の変化をアンケートから考察した。また，保護者の意識についても考察した。

データ集計風景

校内測定風景（２）

⑤　この取り組みにおける成果

測定にはいる前と測定後，生徒に放射線という言葉から連想するもの答えてもらい，意識の変化を考察した。

生徒のイメージの変化は次のとおりである。

＜生徒のイメージの変化＞

ア　測定前

・　レントゲン，放射線治療に代表されるプラスのイメージを持ったもの
９人(21%)
・　危険なもの，原子爆弾に代表されるマイナスのイメージを持ったもの
15人(35%)
・　わからない，ゴジラなど無回答，意味不明のもの
19人(44%)

イ　レポート作成後

・　レントゲン，放射線療法に代表されるプラスのイメージを持ったもの
24人(44%)
・　危険なもの，原爆などマイナスのイメージを持ったもの
27人(51%)
・　放射能，熱などの科学的なイメージを持ったもの
３人(6%)

この結果をまとめたものが表２である。

表２　測定によるイメージの変化

	プラスのイメージ	マイナスのイメージ	わからない
測定前	21	35	44
測定後	44	50	6

単位（%）

この数値を用いて生徒の放射線に対するイメージ変化を図にしたものが図２である。
機器を用いて測定することによりプラスのイメージが大幅に増加し，またマイ

ナスのイメージもわずかではあるが，上昇した。

わからないという回答がすくなくなり，一人ひとりのイメージが確立されたといって良い。

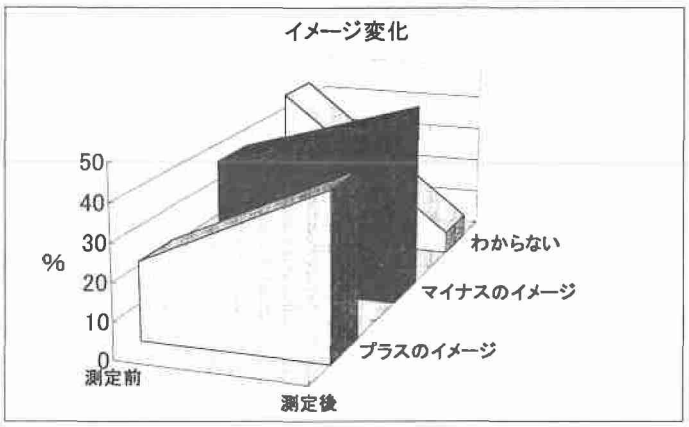


図2　測定によるイメージの変化

＜測定を終えての生徒の感想＞

- 身の回りに，それもごく身近なところに放射線があることにとても驚いた。今までは，原子力発電所とか，そういうところにしかないと思っていたのです。

- 「はかるくん」を使って，調べることが楽しかった。同じ地球なのに，出ている放射線の量が場所によって違うのが面白かった。

- 私は今まで，放射線が少しでも出ているところに近づくと，死んだり体がおかしくなったりすると思っていた。でもこの調査で，放射線が出ているところで暮らしていることがわかった。ちょっと恐くなった。

- この調査をする前は，放射線のことを何も知らなかったけど，いろいろ調べてみて，放射線の多いところ，少ないところ，水の影響などたくさんのことがわかっておもしろかった。

＜保護者の放射線に対するイメージ＞

また，保護者の意識についても観察をした。放射線という言葉から連想するのは，がん，白血病といったマイナスのものから，放射線療法，コバルト６０など専門的なものまで多岐に渡るが，結果はつぎのようになった

プラスのイメージを持つもの	３４人	５２％
マイナスのイメージを持つもの	１６人	２５％
科学的なイメージまたは両方のイメージを持つもの	１５人	２３％

＜保護者の感想から＞

- 身の回りに測定できるくらいの放射線があるのだと思うと心配です。
- 科学をしっかり勉強して，正しく使わなければと思いました。
- 放射線というものは，今まで危険なものというイメージがありましたが，身の回りのものから出ていることを知り，勉強になりました。
- 現代では，多くの企業が放射線を利用しており，多少なりとも放射線に関心を持つことはよいことだと思う。

（２）　平成１０年（１９９８年）の取り組み

① 本年の修学旅行は，長崎市内の自主行動を大幅に取り入れた。そのため事前に５時間を取り，原子爆弾に関するいろいろな資料や史跡について，調べ学習をした。その後，学習した内容を班ごとに発表した。

平和学習発表会のようす

原爆による被害について生徒が発表した主なテーマは次のとおりである。

- 平和公園にある碑文についての調査
- 放射線による人体の影響
- 長崎で被爆した韓国人について
- なぜ長崎・広島に原子爆弾が落とされたか
- 原子爆弾のしくみについて
- 永井博士について

② 6月（修学旅行実施後1か月），放射線に関するアンケート調査を行った。
結果は次のとおりであった。

表3 平和教育後の放射線のイメージ

	プラスのイメージ	マイナスのイメージ	わからない
男子	9.8	78.0	12.2
女子	0	84.6	15.4
合計	6.0	80.6	13.4
		総数72名	単位(%)

プラスのイメージを持つ生徒
- レントゲンなど便利なもの
- 弱いものならレントゲンで使用している
- 癌の治療に必要

マイナスのイメージを持つ生徒
- 体に害を及ぼす
- 光のような危険なもの
- 核兵器

わからないと答えた生徒
- 光みたいなもの
- 強いエネルギーをもつもの
- 必要だが恐ろしい

4 考察

中学校における理科教育，環境教育の中で，放射線の学習を行うことについて

は賛否両論があるが，たとえわずかな時間であっても，生徒が自らの手で測定を行うことで生徒自身の意識が大きく変化することが明らかになった。放射線に対するイメージの変化からもわかるように，単純にイメージが良い方向へ変化するわけではない。

しかし，「わからない」と答えた生徒が大きく減ったことから、この取り組みを通して、放射線に対して自分なりの判断を示すことができるようになったといえるわけで、ようやく科学の土台に乗ったといえる。この認識を，どう変容させるかは，今後の高等教育にゆだねるわけであるが，中等教育でのこうした探求的な取り組みの影響力の大きさを改めて痛感した。

また本物の測定器を自ら操作することにより，想像力が喚起され，さまざまな試行錯誤や仮説が生まれたことは特筆に値する。自らの手で新たな発見をする喜びを生徒自身が持つことは，自然科学の基本であり，そのような体験を通じてこそ，放射線というものが正しく認識されるものと考えられる。

本年の修学旅行では，長崎市内での自主研修を中心に体験学習的なものを多く取り入れた。その準備として，平和学習にも時間を割いた。班ごとにテーマを決めて，書物やインターネット等で調べ，その結果を学年の生徒の前で発表するというものであるが，いくつかの班では，原子爆弾による放射線障害をテーマにその悲惨さについて発表があった。

表３のマイナスのイメージの高さはそのあらわれとも考えられる。このイメージが自然放射線を測定するという実体験と結びついてどう変容するか，今年のテーマである。

５　おわりに

「放射線に対してのイメージはそんなに悪くない。」という指摘を勉強会に出席された方からいただいた。放射線に関するいろいろな啓発活動に参加してくる小学生は，放射線に対して悪いイメージを持っていないそうだ。ところが，少なくとも私の勤務する吉永中学校の生徒たちは量の多少にかかわらず放射線に対して「こわい」といったイメージを持っている。

これは，平和教育の副産物なのか，あるいは吉永町に持ち上がった産業廃棄物処理場建設計画を契機とする，住民運動の高まりや環境問題への関心が深まったことに拠るものなのか，それとも他の要因によるものなのか，意見の分かれるところである。

いずれにせよ，今年も，「はかるくん」を借用して，自然放射線を測定する予定である。自然放射線測定を通して生徒の意識がどのように変容するか，また，わが子が自然放射線の測定するという経験を通じて，保護者がどのように変容するか，興味深いものがある。

高校物理の中の放射線教育

竹中　功
石川県教育委員会事務局学校指導課
（受理１９９８年１１月２４日）

「放射能・放射線」の学習は，目に見えない現象を扱うので，実験を取り入れた教授方法をとらなければ，本質的な理解は得られない。近年，この分野の教材研究が進展し，放射線測定器の自作方法や教材用放射線源の工夫が示され，実験が容易に実施できるようになった。しかし，放射性物質を使った製品を，製造目的を越えて利用することや，漏洩Ｘ線による被爆の問題が指摘されており，実験にあたっての指針を明確にする必要がある。

１．はじめに

私が昨年まで勤務していた学校は，２学年時に北九州方面への修学旅行を実施していた。あるとき，長崎市を訪れた折りに，被爆体験者の吉山秀子氏に講演をしていただいた。生徒は長旅の疲れも見せず真剣に耳を傾けていたが，「21世紀には核兵器のない世界をつくってほしい。」という迫力のある吉山氏の願いをしっかりと受け止めていたようだった。とても，充実した講演会で，吉山氏も生徒の様子をご覧になって，「こんなに真剣に話を聞いていただけて，感激しました。」という感想をもらしておられた。ところが，理科系で物理を選択しているある男子生徒が，ホールから出るときに，「先生，正直なところ，今日の講演で分からないところが一ヵ所あったんです。」と言うのだ。私が，「なんだい。言ってみろよ。」と言うと，「先生，放射能って何ですか。放射線って何なのですか。」と言う。私は，少し唖然としてしまって，返す言葉もなかったが，とりあえず「物理の教科書の終わり頃に出てくるから，しっかり勉強しなさい。」とだ　け答えた。私はこのとき，理科系に所属していて物理を選択している生徒は，まがりなりにも「放射能・放射線」について学習する機会を与えられるが，文科系の生徒や，私が若いころ担当した生徒のように就職希望者が多くて物理を選択せずに高校を卒業する　生徒は，おそらく一生涯，まとまった知識を得る機会は与えられないだろうと思った。そう考えると，ほんとうにこれでいいのかという思いがした。私は，物理教育の中の放　射線分野が，諸々の社会的要請があるにしても，他の分野より強調して教えられなければならないとは思っていない。しかし，これまで，高等学校の物理では，単元「原子と原子核」の終わり頃に放射線教材が登場していたことと，大学入試の時期との関係から充分な時間がさけず，満足な教育が成されてきたとはいえないと思っている。「原子と原子核」の分野は20世紀初頭の物理学において，

最も実りの多かった時期の内容を含んでおり，生徒の興味・関心にも極めて高いものがある。だから，物理学の他の分野と同程度には，しっかりと教える必要があると思うのである。

2．指導事例

これまで，この分野の教育がゆきとどかなかった理由の一つに，測定器の不備があった。さらに，教育用に開発された放射線源が高価で，生徒実験の班の数だけそろえようとすると，高等学校の予算ではなかなか実現できないということもあった。しかし，近年，多くの先生方の手によって，それも克服され，簡単に放射線測定器が自作できるようになった。また，線源についても，身のまわりにある，放射性物質を利用しているさまざまな製品を利用できることが分かってきたので，ずいぶん実験がやりやすくなってきた。私は，昭和62年から平成４年まで，石川県立津幡高校で物理の授業を受け持った。そこでは，理科系の進路を選択する生徒はまれで，ほとんどの者が就職希望者であった。物理に関していえば，将来，非専門家の道を歩む者ばかりだった。当時，北陸電力が石川県初の原子力発電所を能登半島の中ほどに位置する志賀町に建設し，間もなく営業運転にとりかかるという時期であったので，市民的素養の育成という意味から，放射線に関する学習に多くの時間をさくことにした。平成５年より昨年度までは，石川県立金沢錦丘高校で勤務した。ここでは，物理の選択者は全て理科系の大学へ進学を希望しているので，直接，放射線を取り扱う立場になることは少ないだろうが，一応，専門家の養成を意識しながら授業を行っている。特別に力を入れて授業をしているわけではないのに，ここのところ毎年，「将来，放射線をやってみたいのですが，僕の進学しようとしている学部でいいですか。」というような質問を受けるようになってきた。以下は，この２校で行った，生徒実験・演示実験の実践事例[1)]である。もちろん，毎年この実験すべてを実行できるわけではなく，授業の進度を考えながら，その年ごとに取捨選択をした。

3．扱った実験

(1) α線の検出

①洗剤の泡を使ったα線の検出

台所用洗剤の泡がα線の電離作用でできたイオンの働きによって破壊されることを利用して，α線の飛ぶ様子を調べる。

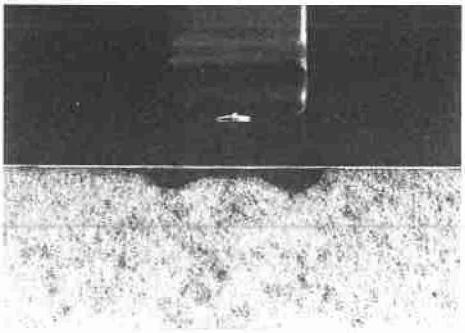
②放電箱[2)]を使ったα線の検出

放電箱を使って，α線の持っている様々な特性を調べる。

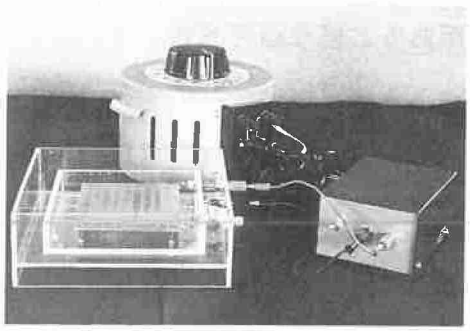
③拡散型霧箱[3)]を使ったα線の飛跡観察

ドライアイスを使った霧箱を使って，α線の飛跡の観察を行う。生徒実

験用に10台そろえた。



①



②

(2) β線の検出

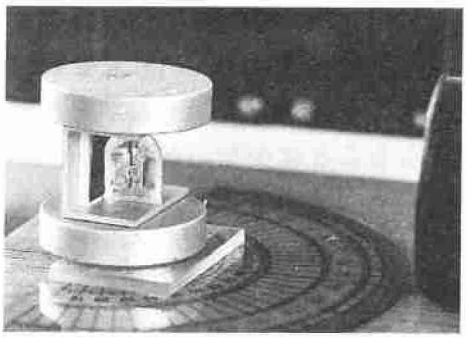
①β線の磁場による偏向

自発光塗料を内蔵した深海玉という釣具とネオジム磁石を利用して，β線を磁場によって偏向させ，β粒子の持っている電荷の種類を調べる。

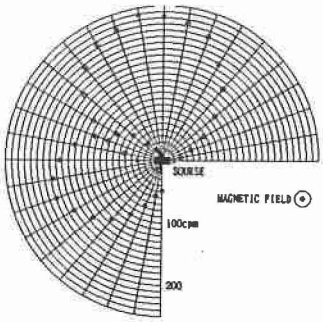
②β線の物質への吸収

β線の遮蔽効果を，種々の厚みのアルミ板で調べる。

①－1



①－2



①－3

(3) γ線の検出

①ポケット・ガイガーカウンタを使ったγ線の検出

秋月電子通商で売り出されたＧＭ計数器を利用して，^{241}Ａｍから放射されるγ線を観測する。

②γ線の透過力と物質への吸収

薄い鉛板を使って，γ線の遮蔽実験を行う。

(4) Ｘ線の検出

①テレビ・ブラウン管からの漏洩Ｘ線の検出

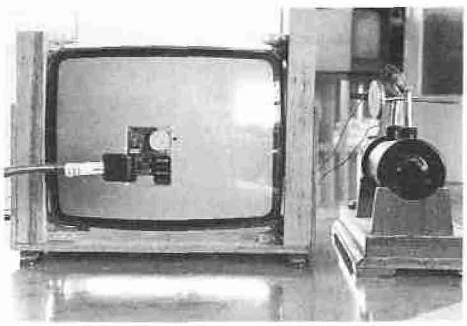
誘導コイルを使ってブラウン管に高電圧をかけて，Ｘ線を漏洩させ，ＧＭ計数器で調べる。実験は短時間で終わらせ，生徒は，実験台からできるだけ遠ざける。

②漏洩Ｘ線によるＸ線撮影

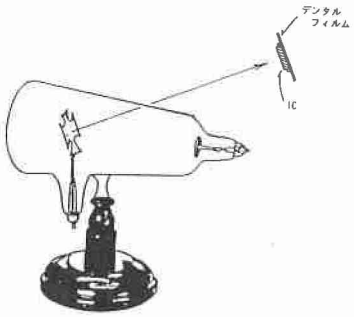
生徒の居る教室ではできないが，無人になった部屋で十字板入りクルックス管に誘導コイルで高電圧をかけてＸ線を漏洩させ，デンタルフィルムを使ったICのＸ線撮影をする。

③ソフテックスを使ったＸ線撮影

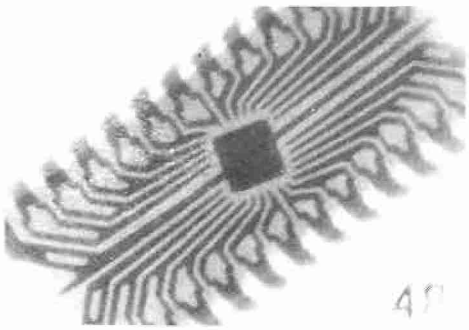
ソフテックスを使って，ICのＸ線撮影を行う。



(3)－①



(4)－①



(4)－②

(5) 半減期の測定

①拡散型霧箱を使ったトロンのα崩壊の観察

モナズ石の放出する，放射性の ^{220}Ｒｎのα崩壊を霧箱で観察する。ト

ロンの半減期は約55秒なので，α線の飛跡の数がしだいに減少していく。

②パルス電離箱[4]を使ったトロンの半減期の測定

パルス電離箱とコンピュータ計測を使って，トロンの半減期の測定を行う。

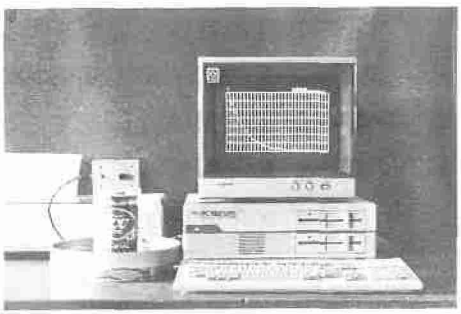
③シンチレーションカウンタを使ったトロンの半減期の測定

ZnS(Ag) をシンチレータに使ったシンチレーションカウンタを自作し，より精度の高いトロンの半減期の測定を行う。

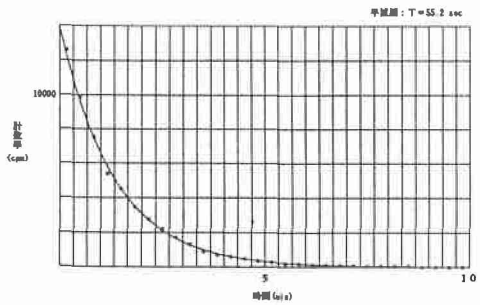
④サイコロを使った半減期のモデル実験[5]

サイコロを使ったシミュレーションを行い，半減期の存在理由を考える。

①



②



③

(6)身近にある放射線

①ポケット・ガイガーカウンタを使った自然放射線の計測

秋月電子通商のＧＭ計数器を10台稼働させ，教室内の自然放射線を計測する。

②NaI シンチレーションカウンタを使った自然放射線の計測

近所の病院が廃棄処分にしたNaI シンチレーションカウンタを修理して，オッシロスコープに接続した。ものすごい数のパルスが観測される。

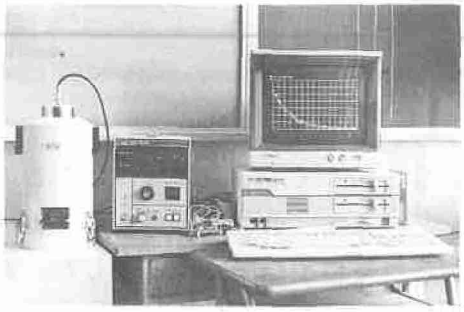
③大気浮遊塵の放射能自動計測

掃除機を使って大気浮遊塵を捕集し，塵が持つ放射能を調べる。コンピ

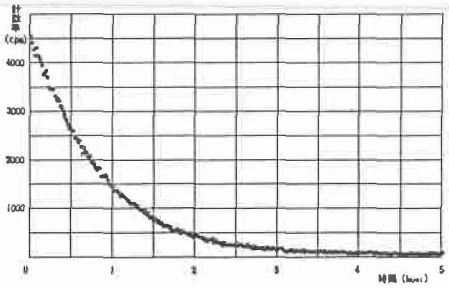
ュータ計測を行い，２種類の半減期の存在を確認する。

④航空機内での宇宙線計測

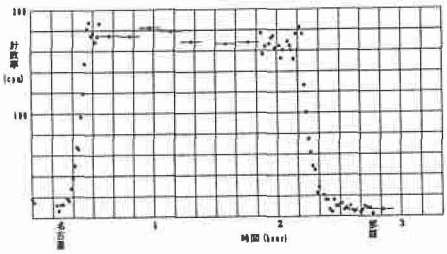
修学旅行のときに，ＧＭ計数器を航空機に持ち込んで，１分ごとの計測を離陸前から着陸後まで継続して行った。授業ではそのデータをもとに考察を行う。



③－１



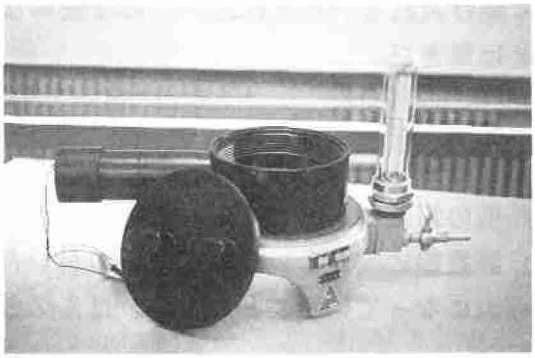
③－２

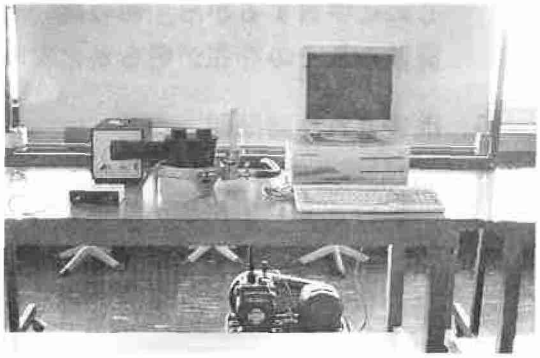


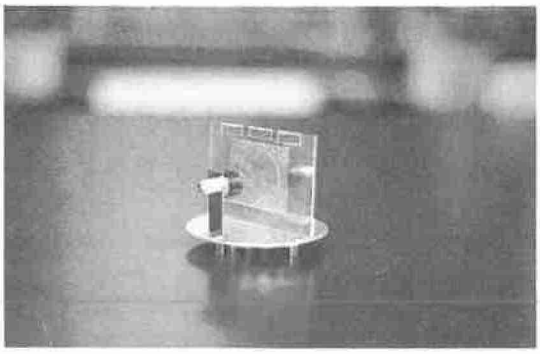
④

(7)シンチレーションカウンタを使ったラザフォードのα散乱実験

厚さ約２μmの金箔にα粒子を衝突させ，その散乱の様子をシンチレーションカウンタで調べる。原子核の存在を知らせ，最近接距離を計算して，この実験から分かる原子核半径の上限を求める。







4．生徒の反応（感想）

・　ラドン温泉のラドンが放射能を持っていると知って，温泉に入ったことのある自分の身体がちょっと心配になりました。また，テレビからもガイガーカウンタでピッ，ピッと次々にX線が観測されるのでびっくりしました。霧箱でα線を見たのも楽しく，興味がわきました。火災報知器にRIマークが付いていて放射性物質が使われていたり，冷蔵庫の脱臭剤の中，深海玉，いろんなところに放射性物質が使われていることを知り，これからこの力をうまく利用していかなければいけないと実感しました。また，原子の力で世界が滅びることのないようにしたいと思いました。

・　私たちは日頃，何気なく「放射線」という言葉を見たり聞いたりしている。私は授業を受けるまでは，ただなんとなく怖いものなんだなと思っていた。しかし，放射線にはγ・α・β線などがあって，それらは普段，実際に目で見ることはできないけれど，本当は身のまわりにたくさん飛びかっていることを知って，真剣に怖いものだと感じました。しかし，身体に悪いと分かっていても，人間の身体を検査したり，治療するのにX線や放射線が必要です。私は将来，歯科衛生士になりたいと思っています。歯医者という所でもX線を使用するでしょう。私は，このような現代に生きる一人の人間として，放射線について他人事のようにしていられないと思いました。

・　ラザフォードのα線の散乱実験を見た。原子核については化学の授業のはじめに学習するから，何の疑いもなく受け入れていたけれど，こんな簡単な実験からその存在が明らかになったとは驚きだ。

5．改善された諸問題

(1)放射線測定器について

学校にある放射線の測定器は，膨脹型の霧箱か，たいていが真空管式のGM計数器である。GM計数器などは，計数部に懐かしいデカトロンの付いた器械が，全く使われることなく埃まみれになっていることが多い。ほんの数

年前まで，測定器は自作できず，教材会社の高価な製品を使うしかないと思われていたため，実験器具のある限られた学校でだけ，簡単な演示実験が行われていた。しかし，多くの先生方の努力により，今日，精度を問わなければ，比較的簡単に測定器を自作できるようになった。私は，実に多くの先生方から，測定器の製作方法を教えていただいた。α線観察用の拡散型霧箱は後藤先生から，放電箱は横田先生から，パルス電離箱は矢野先生から直接手ほどきをしていただいた。シンチレーションカウンタは，たまたま秋葉原で入手した中古品の光電子増倍管を使って製作した。前任校にあったＧＭ計数器はかなり古かったので，長時間の運転に耐え切れず，煙をあげて故障をしてしまった。教材会社に修理を依頼したが，真空管が入手できないとかで断られ，ＧＭ管のみ残して，後は自作した。また，秋葉原の秋月電子通商からは，数年前から５千円程度の安価なＧＭ計数器キットが売り出されている。

このように，今では測定器の入手に関する苦労は全くしなくてすむようになった。渡辺文夫先生のα線電離箱[6]，矢野先生の空気ＧＭ管[7]を筆頭に，米村傳治郎先生の矢野・米村式ＧＭ管[8]，三門正吾先生のトロンの半減期測定システム[9]，森雄兒先生の液体窒素を使った霧箱[10]，北村俊樹先生のＧＭ計数器[11]，岸沢真一先生の簡易放電箱[12]など，最近発表されたものだけでも枚挙にいとまがないくらいである。

(2)実験用放射線源について

放射線を扱った生徒実験や演示実験を計画する際に，放射線源の入手に関わる問題が出てくる。高等学校で使用される実験用放射線源の価格は，たとえば ^{226}Ｒａを密封したもので１台11,000円，^{241}Ａｍ，^{147}Ｐｍを使ったもので15,000円もする。また，放射能鉱物として売り出されている岡山県人形峠の燐灰ウラン鉱石が，１セット3,400 円という価格である。大学の先生にはなかなか理解していただけないかと思うが，一般に高等学校では１万円を越える物品は備品として扱われるので，物理・化学・生物・地学の４科目を含む理科の予算では，十分な購入ができなかった。それでも，燐灰ウラン鉱石は比較的安価であるため，消耗品として霧箱実験用に学校の予算で購入してもらった。しかし，実験用放射線源は購入してもらえなかった。こういう場合，実験をやろうとする教員は，どうしても私費をはたいて物品を購入することになる。教員の小遣いの範囲で線源を買うとなると，なんとかして安くあげようと努力をするのが人情である。こういう経緯から，私は以下の各種線源を，一部が法律に触れることも自覚しないまま手に入れ，授業で利用することになったのである。線源の使用法については，私の授業では線源を直接生徒に扱わせなかったので，不注意な事故は起こらなかったと確信しているが，そういうこととは別に，重要な問題が内包されていたのである。

しかし，当時，私は「これで放射線源の入手に関する問題は、処理できた。」とかなり安易に考えていた。

①燐灰ウラン鉱石

平成４年に東京で催された鉱物販売フェアで購入した。20,000円

②α線源

^{241}Ａｍ（秋葉原の店頭で購入した煙感知器を慎重に分解して取り出した。）2,000円

③β線源

^{147}Ｐｍ（釣具店で見つけた，自発光塗料入りの深海玉という釣具を分解した。）245 円

④モナズ石[13)]

砂礫状のモナズ石を軟質ビニール管に密封したもの。注射器で ^{220}Ｒｎを取り出す。

⑤キャンプ用ランタンのマントル[14)]

ガス灯用のマントルを注射器に密封して、放出される ^{220}Ｒｎを放射線源として利用する。400 円

⑥テレビのブラウン管

誘導コイルで高電圧をかけ，Ｘ線管として使用した。廃品である。

6．新たに起きた問題

放射性物質を使った製品や，Ｘ線を発生する可能性のある製品（テレビのブラウン管等）は，物理の授業であっても，本来の製造目的を越えて使用してはいけないのだという。そのような行為が違法であることを，平成５年になって，初めて故・名古屋光男 氏[15)]から指摘され，大変驚いたとともに困惑した。従来より，線源として，自発光塗料を使った目覚し時計の時計皿を取はずしたものを利用したり，壊したグローランプの電極を利用することは，伝統的に高校の物理の授業で行われていたと思うが，これもいけないのである。深海玉については，製造会社から目的外の使用は避けていただきたいとの申し入れがあった。煙感知器については，アイソトープ協会の方からも個人的に注意をされた。さらに，クルックス管からの漏洩Ｘ線による被爆の可能性ついては，大森儀郎先生[16)] による指摘がある。このように，充分に気を付けていたとはいえ，放射性物質を使った製品を分解して授業に利用したり，製品を製造目的を越えて使用することについての問題や，漏洩Ｘ線による被爆の問題をいろいろな方面から指摘さるようになってきた。よって，これからは，従来通り，教材会社から教育用の放射線源や実験機器を購入して実験をすべきであるといえる。しかし，身近な所で放射性物質が使われている例を示すデモ実験や，Ｘ線発見の過

程や発生原理を示すクルックス管の実験も，興味深くなかなか捨てがたい気もするので，教育現場で放射線の実験を行う場合に気を付けるべき基準のようなものを，専門家の方に作っていただけたらありがたい。また，より扱いやすく，安全で，安価な線源の提供を望みたい。市場へ出して，採算ベースに乗せるには，現状が精一杯なのかも知れないが，もう一工夫できないものだろうか。アイソトープ協会の方々や，原子力研究所の研修センターの方々から，協力したいとの意向を表明していただいているが，いまだ具体化はされていない。

7．おわりに

現在私は，石川県金沢市に在った旧制第四高等学校の物理実験機器の調査をしている。金沢大学の移転に伴い，大学から石川県へ 809点もの物理実験機器が譲渡された。その中に，「ウヰルソン・ウルフ氏装置」「放射能試験験電器」「レントゲン管」「クーリッジ管球（モリブデン極）」などの放射線に関する実験機器が見つかっている。旧制のナンバースクールは，エリート養成の教育システムではあったが，物理教育の方針は，「高等学校では，将来，工医理農の学問を修めるため，物理学などをきちんと教える必要があり，理論だけではなく実験的な基礎も整備しておかなければならない。」というものであったらしい。この考えは，現代においても全く古びて聞こえることはない。逆に，新鮮でさえある。

［ 参考文献 ］

1）竹中　功　　石川県立金沢錦丘高等学校紀要　第 22･24号
2）横田穣一　　第14回東レ理科教育賞受賞作品集　放電箱
3）後藤道夫　　SUT BULLETIN （1985.6） 60
4）矢野淳滋　　物理教育　36-3(1988)　229
5）後藤道夫　　SUT BULLETIN （1989.6） 60
6）渡辺文夫　　物理教育　36-4(1988)　363
7）矢野淳滋　　物理教育　38-4(1990)　312
8）米村傳治郎　物理教育　41-2(1993)　192
9）三門正吾　　物理教育　41-3(1993)　262
10）森　雄兒　　物理教育　42-4(1994)　423
11）北村俊樹　　物理教育　41-1(1993)　34
12）岸沢真一　　物理教育通信　第78号(1994)　23
13）矢野淳滋　　物理教育　41-2(1993)　172
14）菊池文誠　　物理教育通信　第79号(1995)　5
15）名古屋光男　全国理科教育大会論文集(1995)　72
16）大森儀郎　　物理教育　43-1(1995)　29

空気GMカウンターの製作と高校での放射線教育

三門正吾
千葉県立鎌ヶ谷西高等学校
（受理１９９８年１１月４日）

矢野・米村式の空気ＧＭ管を用いて教育用のＧＭカウンターを自作した。空気ＧＭ管は測定器としては限界があるが、環境等の低線量の測定や教育用としては優れた側面を持っている。安価に製作できるので複数台製作し、物理ＩＢの放射線についての授業の中で、生徒用のグループ実験として使用した。この実践も併せて報告する。

１．はじめに

一般市民の放射能に対する意識は「放射能＝恐いもの」というのがおおかたの反応だと思う。一方で医療、工学、農業などで数多く放射線が利用されている。日常の中で上手に放射線とつき合えるように、またいざというときにもパニックに陥ることなく対処できるように、放射線の実践的な知識を身につけることは市民にとって大事なことである。しかし放射線検出器は高価なので、簡易測定器として空気ＧＭカウンターを自作した。身近なところに普通に存在する安全な微量放射線源を用いて、実験を通じた放射線教育を、高校の物理の授業の中で試みた。

２．空気ＧＭカウンターの製作

(1) 矢野・米村式空気ＧＭ管とその特徴

プラスチックの円筒の内壁に沿って紙を入れ、これを陰極にする。陽極は直径0.15㎜の銅線（ごく普通のビニール被覆線の内部にある細い線）を二つ折りにして、図１のようにゴム栓にとりつける。窓はラップフィルムにする。放電は先端放電になる。また連続放電にならないように、高抵抗物質の紙を用いて放電をとめる。陰極に紙を用いるというのは矢野先生のアイデア、心線を二つ折りにするというのは米村先生のアイデアである。内部のガスは空気以外に、ガスライターに用いるブタンガスを測定の前に注入する。ブタンガスのような炭化水素は、電子の衝突によって励起された原子から放出される紫外線（連続放電の原因になる）を吸収する効果がある。また、普通のＧＭ管は管内を1/10気圧程度にに減圧してあるが、空気ＧＭ管では減圧はしない。その特徴は以下の通りである。

図１．空気GM管

① 動作電圧が高い

3000V～4000Vの高電圧をかけなければならない。

② 分解能が悪い

外部消滅型のＧＭ管の宿命で、強い線源の測定には不向きである。

③ 感度は高くできる

ＧＭ管の感度は窓の口径で決まるが、かなり大きくできる。

④ 製作が容易である

⑤ 安価に製作できる

⑥ 低線量の測定に適している

感度を上げられるので、環境にある低線量の線源の測定に向いている。

(2) 基本設計

図２のように、ＧＭ管の筒の側面に、銅板またはアルミホイールをまきつけ、放射線の入射にともなう放電によって変化する電場の変動をとらえる。この放射線パルス信号を10倍程度増幅し、さらにパルス幅を20msec程度にパルス整形する。この信号をコンピューターのマウスに入力して、放射線の数を数える。簡便な方法としては、コンピューターの代わりに万歩計を利用することもできる。ただし、特に最近の万歩計はこの種の目的のためには感度がよくないし、また、分解能も悪い。ウインドウズで使用するときはマウスに入力することはできないので、別の方法を考える必要がある。図３に空気ＧＭ計数装置の回路ブロック図を示す。

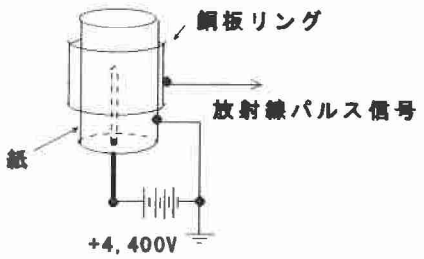


図2. 放射線の検出

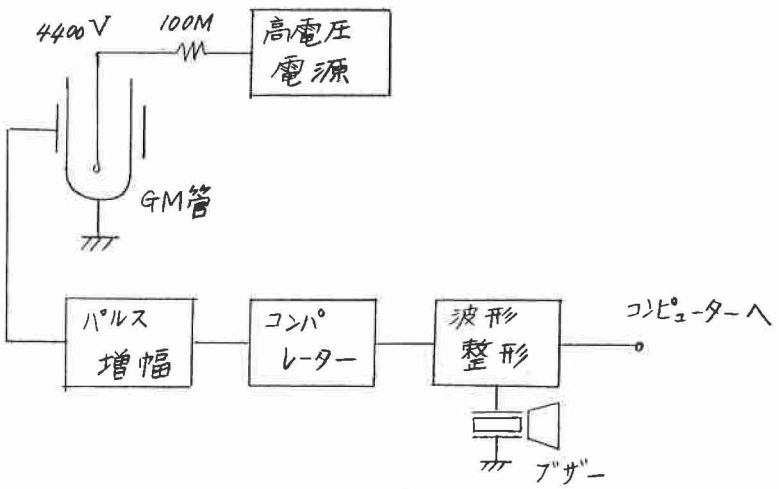


図3. 空気GM計数装置の回路ブロック図

(3) 実際の空気ＧＭ管の作成

作成の仕方を図４に示す。ＧＭ管が高電圧発生回路（ＨＶ回路）での発振信号を拾わないように、ＧＭ管の外側をしっかりとシールドする必要がある。心線にゴミが付着すると連続放電を起こしやすくなるので、ときどき心線をアルコールで拭く。また、陰極の紙とGND線の接触が悪くなると不安定になるので、そのときはしっかりと接触し直す。

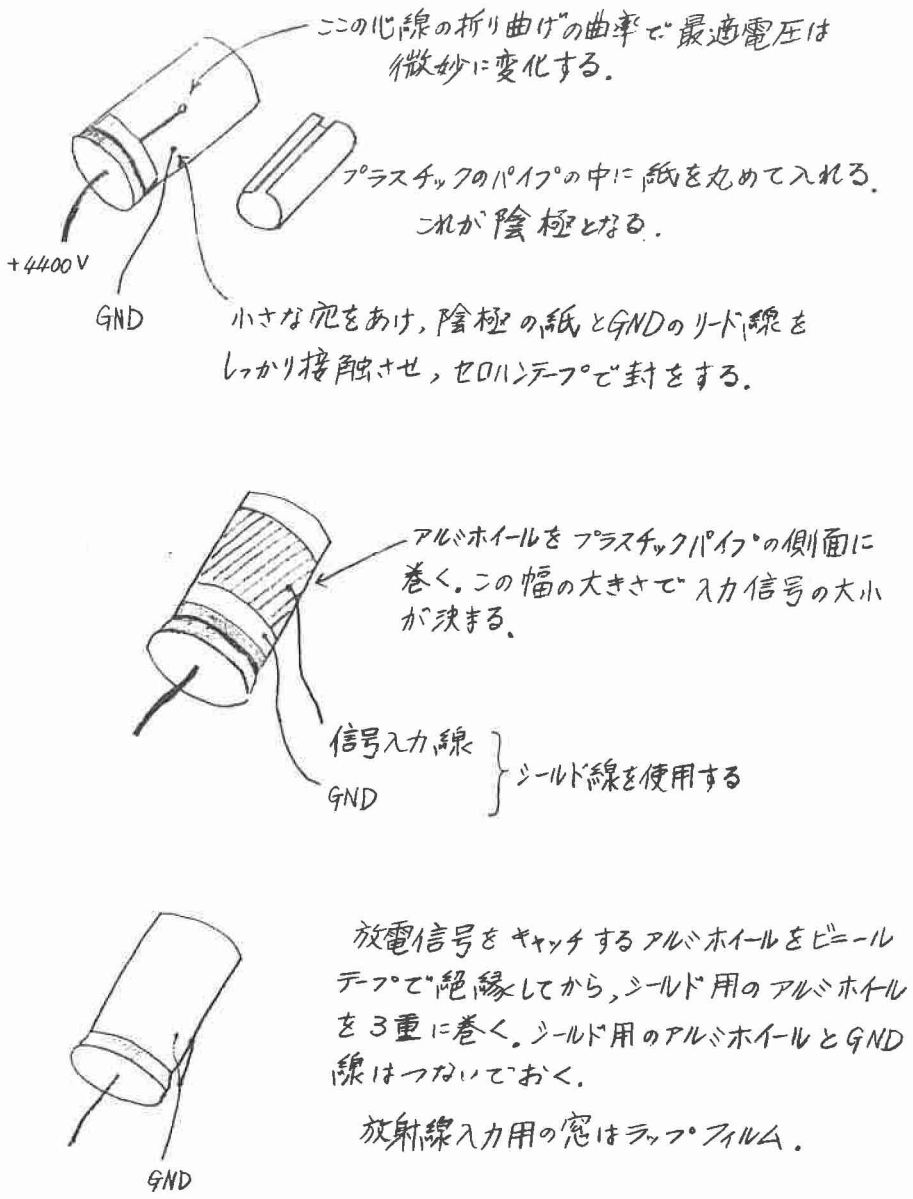


図４．実際のGM管の作成方法

(4) 高電圧電源の製作と高電圧の測定方法

図５のように、4000V程度の高電圧を達成するために、トランジスターとトランスを組み合わせて発振させ、昇圧した電圧をダイオードとコンデンサーによるコッククロフト倍電圧回路でさらに昇圧する。トランスには巻き線比の高いサンスイのドライバートランスST-26を用いる。図の赤とか緑と書いてあるのは被覆線の色である。12VのACアダプターを電源とし、電源コントロール部の半固定抵抗で、最終的に最適な電圧が得られるように調整する。コンデンサーとダイオードの組み合わせは9段連結とする。コンデンサーは0.1μFで耐圧630Vのものを用い、ダイオードは耐圧1000Vの10D10または1N4007を用いる。100MΩの抵抗はＧＭ管が発振信号を拾ったとしてもその振幅が放射線パルス信号よりも小さくするのに必要である。

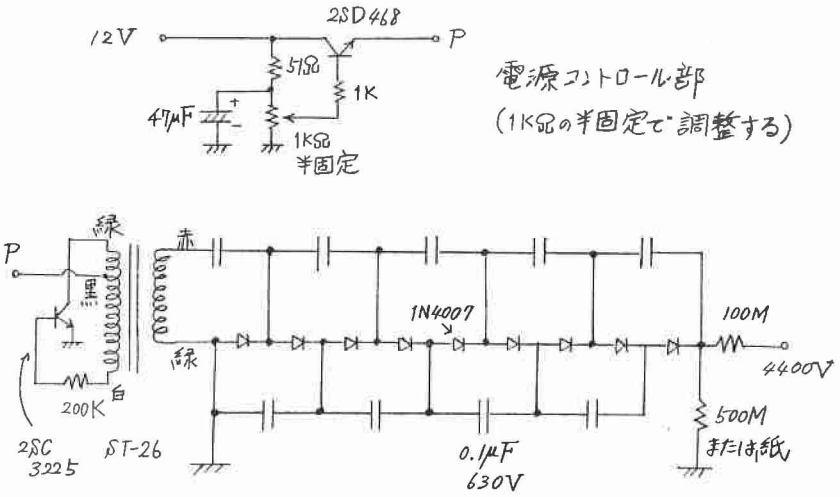


図5. 高電圧電源回路

空気ＧＭ管を正常に動作させるときの最大のポイントは、適正な高電圧を安定して与えることである。そのためには数千ボルトまではかれる電圧計が必要であるが、一般にはそのような電圧計は市販されていない。そこで、高電圧を正確に測定する簡便な方法を図６に示す。抵抗を1000：1に分圧して高入力抵抗電圧計で1MΩの両端の電圧を測ると、その 1000倍が測定すべき電圧となる。高入力抵抗電圧計の代わりに、入力抵抗の高いデジタル型のテスターを用いてもよい。

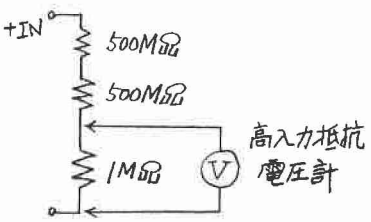


図6. 高電圧測定の原理

(5) 放射線検出回路

図７に、回路図と放射線パルスの信号が各回路でどのように変化して行くかを示す。LMC662は片電源オペアンプICが2個組になっている。一つを放射線パルス信号の増幅に、もう一つを信号とノイズを分離するコンパレーターとして用いる。4528はパルス整形用のICが2個組になっている。一つだけ使う。パルス幅は時定数0.1μFのコンデンサーと200kΩの抵抗の積で決まり、20msecである。この信号をコンピューターのマウスまたは万歩計に入力する。

できあがった空気ＧＭカウンターの全体写真を写真１に示す。

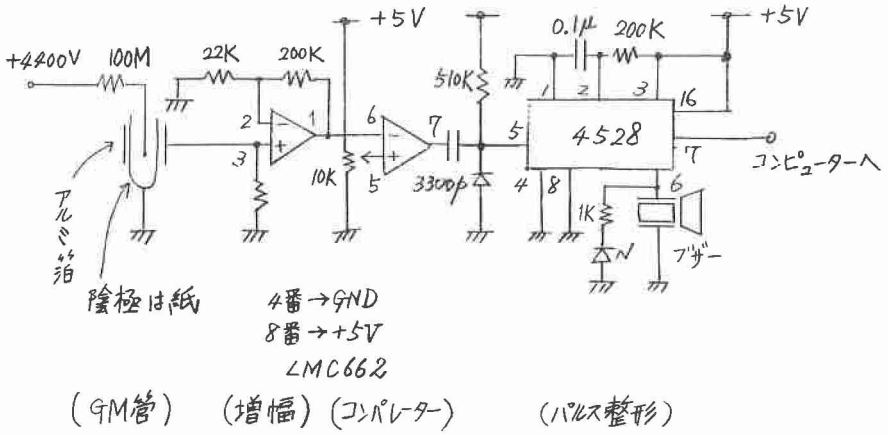


図7. 放射線検出回路

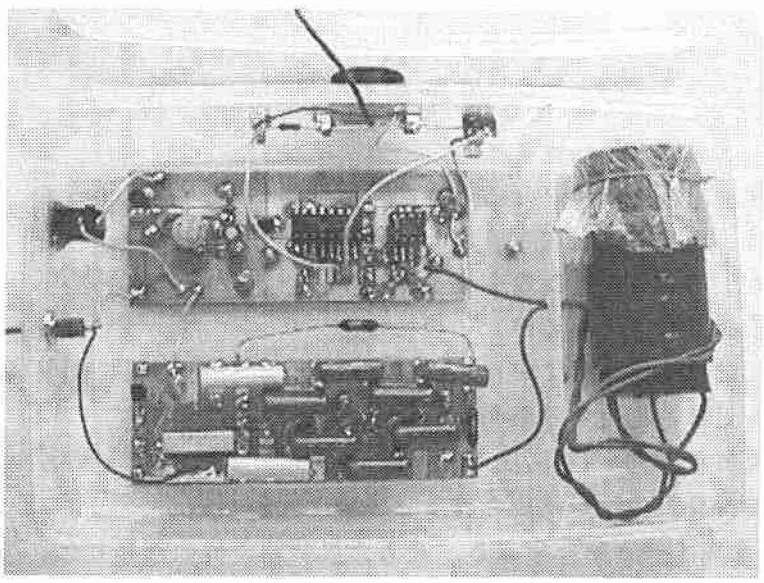


写真1. 装置の全体写真

(6)　空気ＧＭ管の動作特性

①　電圧動作特性

ＧＭ管の前方に、グローランプの電極（半減期2.6年でベータ崩壊するプロメチウム１４７が塗られている）を置き、200秒間の放射線の数を数え、１分あたりの放射線計数値（放射能強度、単位cpm）を求めた。その際、ＧＭ管の陽極の芯に加える電圧を3000V～5400Vまで約100Vおきに変化させて測定した。その結果が図8である。4000V～4800Vの間がプラトー領域と考えられる。使用電圧を4400Vにとると、放射能強度は100Vあたり0.75%ずつ増加している。プラトー特性としてはなかなかよい値である。芯線の太さや二つ折りの曲率に依存するが、空気ＧＭ管は動作電圧がおよそ4000Vと高いが、プラトー領域は約1000V程度もあるという特徴がある。したがって、静電気ＧＭ管という使い方が可能なのである。

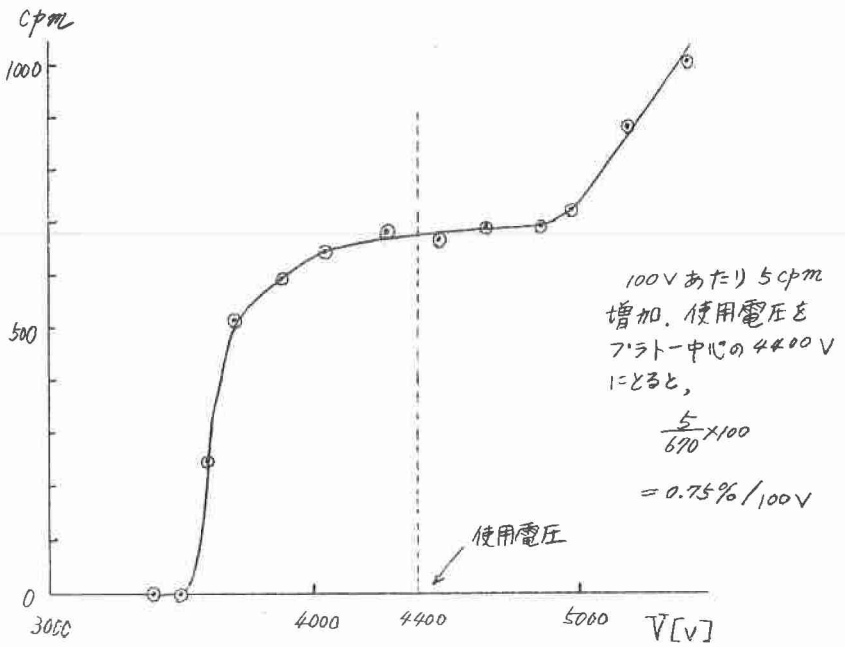


図8．空気GM管の電圧動作特性

②　放射線の統計分布

原子核の崩壊は確率の法則にしたがうので、放射能強度を測定するときに値にばらつきがある。放射能強度が大きいときはそのばらつきぐあいは正規分布という左右対称の分布になり、平均値が小さいときはポアソン分布になることが統計学からわかっている。そこで、空気ＧＭ管の測定値もポアソン分布にしたがうような特性を持っているかどうか調べてみた。ＧＭ管の前方にプロメチウム１４７の線源を置き、２秒ごとにＧＭ管に入射する放射線の数を1000回測定する。そしてそれぞれの放射線パルスの個数の度数をグラフにした。例えば、２秒間に２回放射線が入射した場合が30回、３回入射した場合が48回等々であった。そこで、放射線パルスの個数を横軸に、その度数を縦軸にプロットした図が、図9である。実線は平均値7.1に対するポアソン分布の理論曲線である。測定値はかなりよくポ

アソン分布にのっている。このことは空気ＧＭ管が測定器として信頼できることを示している。

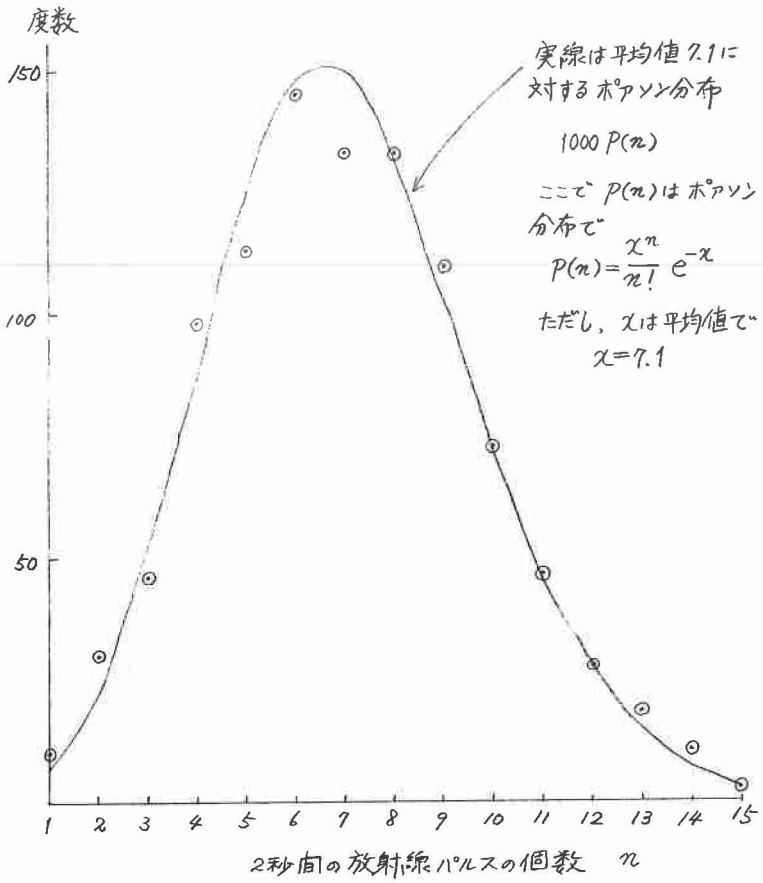


図9. 空気GM管による放射線の統計分布

３．身近な放射線の測定

(1) 塩化カリウム

カリウムは半減期1.3×10⁹年でβ崩壊するカリウム40という放射性の同位体を含む。したがって、カリウムを多く含むようなカリ肥料や、昆布などの海草からは放射線が検出される。ここでは、見かけ上どちらも白い粉のように見える食塩と塩化カリウムの放射能強度の違いを測定する。以下が測定例である。

バックグランド	14cpm
食塩	9cpm
塩化カリウム	160cpm

これから、食塩ではバックグランドと同じ程度だが、塩化カリウムはバックグランドの10倍以上あることがわかる。

(2) グロー管とマントルからの放射線の透過力

マントルというのは、キャンプなどで夜使用するガスランタンの芯に使う網袋である。これにトリウム化合物を染み込ませてあるものがある。トリウムは輝度を増すものとして使われているらしい。これはトリウム系列という放射性系列の線源になる。この両者を用いて、遮へいの実験を行う。以下が測定例である。

バックグランド	7cpm	
遮へい物	グロー管	マントル
なし（空気）	452cpm	675cpm
薄紙	218	637
厚紙	9	544
下敷き	7	369

この結果を見ると、グロー管からの放射線は厚紙もしくはプラスチックの下敷きで完全に遮へいされてしまうが、マントルからの放射線は透過力が大きく、あまり遮へいされていないことがわかる。グロー管の電極の線源はプロメチウムである。これはβ線を出すが、このβ線のエネルギーが弱いからである。私はこの線源をフィルムケースに保存している。ここから漏れ出る放射線はほとんどない。比較的安全な放射線源といえる。半減期が２年半位で、蛍光灯の点灯管に使用するのにはちょうどよい線源なのであろう。ただし、放射性物質を利用した機器を分解することについては、その行為が違法になるという問題点があるようである。

一方、マントルはトリウム系列の放射線源を含んでいるので、ここからはα線、β線、γ線の全てが放射され、しかも放射線のエネルギーもいろいろあるので、透過力はグロー管よりもずーっと大きい。

(3) 空気中の浮遊塵の放射能強度

なるべく閉め切った部屋で、二つ折りにしたキッチンペーパーを掃除機のホースの先に着け、輪ゴムで止めて、10分から20分空気中の浮遊塵を吸引する。これをＧＭ管に密着させて測定すると、かなりの放射能強度を持っていることがわかる。私の前任校では、浮遊塵の放射能強度は顕著には測定されなかったが、鎌ヶ谷西高校の物理実験室で測定したところ、大変大きな値を持っていたのでびっくりした。以前の経験から、あまり期待していなかったので、最初はキッチンペーパーがかなり黒くなるまで吸引して測定したところ、測定器が暴走したのではないかと疑うほどの測定値が得られた。空気ＧＭ管の性質で、あまり強度が強いと測定の精度を欠くので1000cpm程度になってから測定した。また、データに多少のばらつきがあるので、前後3分間の平均をとって片対数グラフにした。その結果が図10である。半減期が約45分という結果になった。ラドンの娘核種、鉛214とその娘核種ビスマス214のβ崩壊による、複合成分の見かけの半減期と思われる。ラド

ンは気体なので、コンクリートなどに含まれる石がウラン系列の放射性元素を含んでいて、そこから浸みだしたものが、空気中でα崩壊する。その娘核種が浮遊塵に付着したものと思われる。建物によって大きな違いがあるのは、コンクリートの材料の違いによるものと思われる。最近、木造家屋（私の家）での測定で、浮遊塵の放射能が検出された。石膏ボードが原因ではないかと思われる。高校生の課題実験や、クラブ活動の実践として、いろいろな建物の中の浮遊塵の放射能強度を測ってみるのもおもしろい。

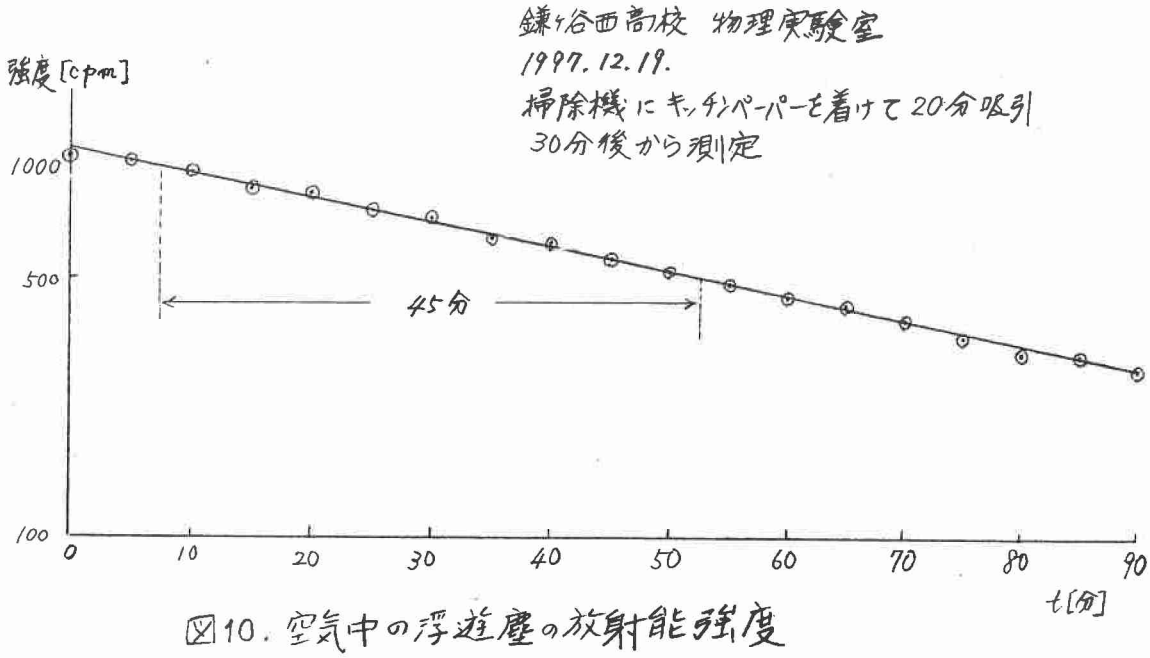


図10．空気中の浮遊塵の放射能強度

(4)　トロンの半減期の測定

トリウム系列のラドン220、通称トロンの半減期は56秒である。トロンは気体であるから、この放射性元素だけ独立に取り出すことが可能である。トロンはα崩壊であるが、これを空気ＧＭ管の中に直接注入すれば、半減期を測定することができる。原子核や放射線の教育の中で崩壊と半減期の概念は重要であるが、今まで手軽に実験する方法がなかった。マントルはトリウムを含むので、これを５枚ほどフィルムケースに詰め込んでおくと、数分で中にトロンが充満してくる。この中の空気を注射器で引き出せるようにすれば、トロンだけを抜き出して実験することができる。実

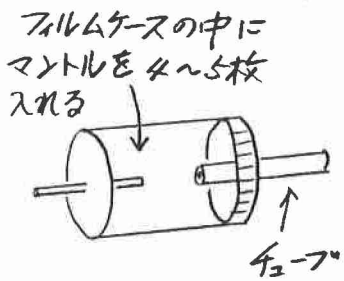


図11．トロンを集める容器

験に使う、マントル入りのフィルムケースの格納容器を図11に示す。崩壊原子の数を累計し最初のトロンの原子数と仮定する。次に各時刻の残存原子を求め、片対数グラフにしたものが図12である。正確に測定された半減期は56秒であるが、図12によると、約60秒である。かなり満足のいく値であろう。

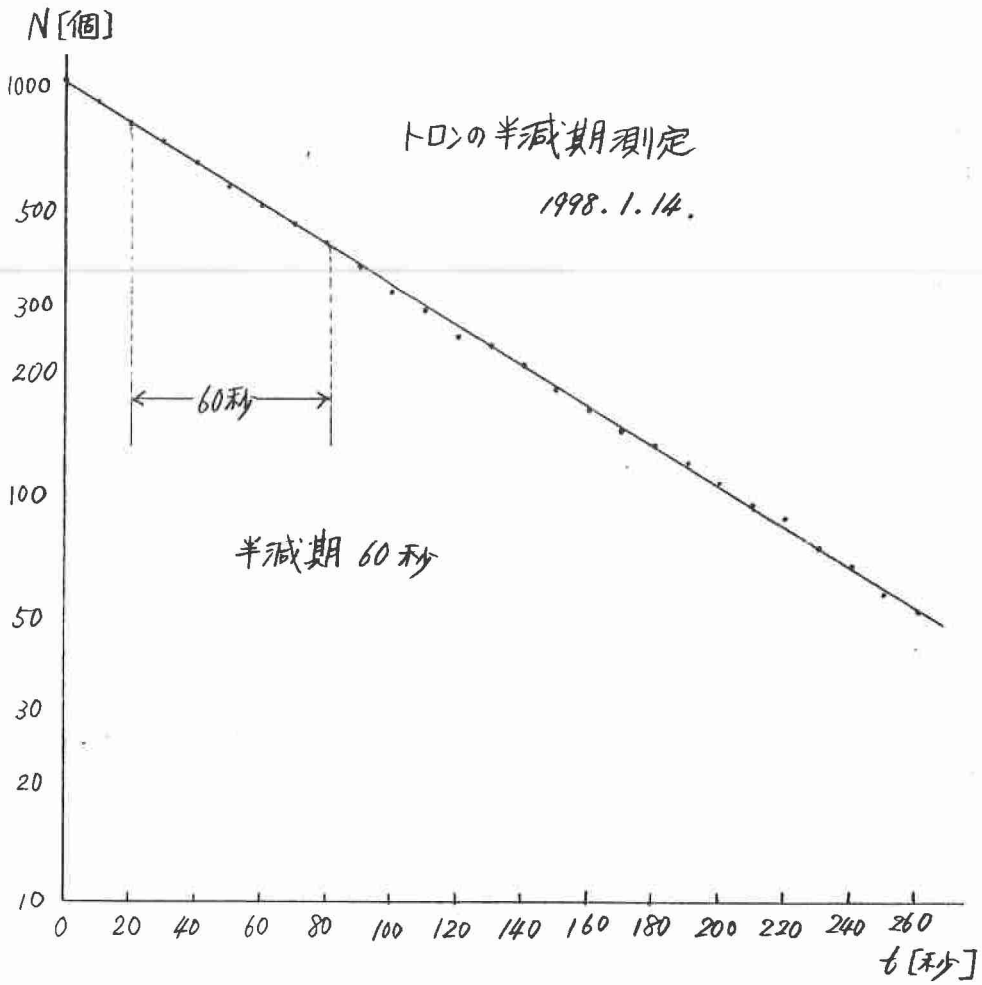


図12. トロンの半減期の測定

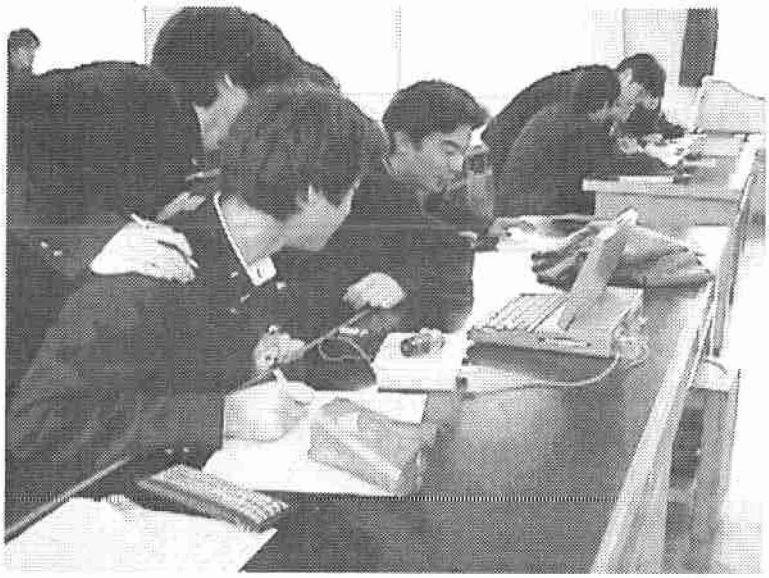
(5) X線と紫外線の検出

空気GM管はX線や紫外線にも反応する。紫外線光子のエネルギーはX線やγ線よりもずっと小さいが、光子の数は多いので、GM管を晴れた空に向けるだけで激しくブザーが鳴る。紫外線をカットするためには、窓のラップフィルムを黒のマジックインクで塗りつぶしておく。

クルックス管の実験や放電実験で誘導コイルを使うときにもX線が発生している。これらは放射の方向に偏りがあることがわかる。また、演示実験用の誘導コイルから出るX線は人体や、2.5cm以上の水の層などではかなり遮へいされるが、1cm程度の板ではほとんど透過することなどもわかる。

４．鎌ヶ谷西高校での授業実践

鎌ヶ谷西高校は、就職・専門学校進学・短大進学希望者が主で、4年生の大学に進学を希望する生徒はわずかの学校である。理系の4年生大学に進学するのは3%にも満たない。進学校ではない普通の学校というところである。



トロンの半減期測定の授業風景

空気ＧＭカウンターは以前の装置の改良も含めれば10台作ったが、コンピューターは自分のコンピューターを含めて５台しか調達できなかったので、40人クラスでは８人ずつの班を組んで５台で実験することにした。もっとも、放射線源の用意や、慣れないコンピューターの扱い方の指導を考えると、10台分の指導はかなり難しいこともわかった。高校物理ＩＢには、新しく放射線の学習が義務づけられている。そこで、1998年の１月に８時間のプランで授業を組むことにした。授業プランは以下の通りである。

１時間目：放射線の基礎知識（講義と演示実験）
　原子核の構成・放射線と放射能・放射線の測定・放射線の種類とその透過力
２時間目：身近な放射線源を用いた放射線の実験（生徒実験）
　バックグランドの放射能強度測定・グロー管とマントルの遮蔽実験
　食塩と塩化ナトリウムの違い・空気中の塵の放射能強度測定
３時間目：原子核の崩壊（講義）
　原子核の崩壊・放射性系列・半減期
４時間目：原子核の崩壊の模擬実験（コンピューターを用いた生徒の模擬実験）
　崩壊確率を与え、モンテカルロ法で模擬実験。グラフから半減期を求める。
５時間目：トロンの半減期の測定（生徒実験）
　前記測定法参照
６時間目：「放射線を目で見てみよう」（ビデオと補足の講義）
　原子力研究所製作のビデオを視聴し、内容を補足する。

7時間目：「放射線と人体」（講義）
電離作用と生体への影響・Ｓｖの説明・自然放射線による被爆と医療被爆
放射線の量と影響の関係
8時間目：原子力発電の是非（ビデオと若干の補足）
原研製作ビデオ「あなたもディベートしてみませんか」の視聴

鎌ヶ谷西高校に赴任して２年目で、生徒の実状をつかみそこねているところがあり、計画した内容が多く、特に１時間目のγ線の距離依存性の演示実験などはできなかった。しかし、放射線は目に見えないもので危険なものであるが、身の回りにありふれているものでもあり、物理の法則にしたがっていて、決して神秘的なものではないということがわかってもらえたのではないだろうか。生徒にとくに好評だったのは、２時間目の身近な放射線測定だったようだ。生徒からアンケートをとり、授業の効果を客観的に分析できたらもっとよかったと思うが、すべてが初めての試みであったため、私にとってはここまでが限度であった。

５．おわりに

私が空気ＧＭ計数管の研究に最初に取り組んだのは、今から６年前であった。それまでに物理教育学会誌に先駆的な研究が発表されていたが、実際にまねをしてみるとなかなかうまく動作しなかった。私自身が演示実験するのでなく、生徒に使わせるというレベルに達するためには、装置が安定して動作しなければならない。陰極に紙を用いること、4000Vという高電圧を安定して加えること、炭化水素ガスを充填することなどのポイントをクリアして初めて安定して動作することが可能になった。さらに、ＧＭ管をシールドすること、ＧＭ管の陽極には100MΩ程度の高抵抗を介してつなぐことなどの、技術的な発見が加わり、使いやすい手軽な装置になったと思う。

放射線教育に耐え得るものになるためには、実験材料として適当なものをうまく配置する必要がある。まだまだ改良が必要だろうと思われるが、今回の身近な放射線の実験やトロンの半減期の測定は、私なりの一つの答案である。

今回の放射線教育を実践するための資金として、鎌ヶ谷市の奨励金研究の制度を利用させていただいた。ここに改めて感謝申し上げます。

参考文献

矢野　淳滋：物理教育38-4(1990)312
米村傳治郎：物理教育41-2(1993)192
三門　正吾：物理教育41-3(1993)262

ラジオアイソトープを用いた日用品

村山義彦
根本特殊化学株式会社
（受理１９９８年１２月９日）

（要　約）
日用品の中には、法による規制量以下の微量の放射能を利用して日常生活に大いに役立っているものがある。我が国においてはその代表的なものとして、夜光時計、蛍光灯のグロースタータなどの放電管類と煙感知器があり、利用されているラジオアイソトープ核種は、^{3}H、^{63}Ni、^{85}Kr、^{147}Pm、^{241}Am である。ここではそれらの利用の実態とこれからの動向について述べた。また、最後に IAEA のラジオアイソトープについての基本安全基準にも若干觸れた。

１．はじめに

日用品として流通しており、われわれが日常生活で使用している物品の中には、ラジオアイソトープ（以下 RI）を含んでいるものがある。そして、そうした RI は人工的に加えられたものもあれば、また、原料の中に自然に含まれていて必然的に製品に含まれてきたものもある。ここでは、ある特別な目的を達するために意図的に RI を加え、その放射線の作用を利用したものについて解説することとする。

RI 利用日用品の利用状況は国によってかなりの相違があるが、国連の科学委員会では世界各国の状況を調査し、1977 年報告の中でその実態を表１に示すように、①自発光製品、②電子電気機器、③静電気除去器、④煙検出器、⑤陶磁器、ガラス、合金類、⑥科学装置の六つに分類し、全部で 64 品目をリストアップして示している。（表中放射能 1mCi は現行単位では 37MBg となる）それから 20 年以上も経った現在でも、二、三のものを除き、その利用の状況には大きな変わりはない。しかし、我が国においては、RI の利用は放射線障害防止法により規制されているばかりでなく、行政的にも厳しい指導がなされているため、規制対象外の日用品として実際に工業生産されて流通しているものは、僅かに夜光時計や蛍光灯のグロースタータ、ネオングローランプ等の放電管類と、煙感知器などの数種類に過ぎない。本稿ではこれらについての RI の利用実態を述べ、今後の動向について考察した。

表1　RI利用コンシューマープロダクト

製品			核種	放射能
1 自発光製品	自発光塗料塗装製品	時計	^{3}H	1～25mCi
			^{147}Pm	65～200μCi
			^{226}Ra	0.1～3 μCi
		航空機用計器	^{3}H	<10 Ci
			^{147}Pm	<0.3 Ci
			^{226}Ra	<20μCi
		コンパス	^{3}H	5～50mCi
			^{147}Pm	10mCi
		計器盤,標識類	^{3}H	25mCi
			^{147}Pm	0.75Ci
		自動車錠表示器	^{3}H	2～15mCi
			^{147}Pm	2mCi
	ガラス封入発光製品	時計	^{3}H	0.2～0.4 Ci
		コンパス		0.2～0.4 Ci
		航海用コンパス,計器		0.2～ 2 Ci
		発光標識	^{3}H	4 Ci
			^{85}Kr	0.3 Ci
		非常口標識	^{3}H	2～30 Ci
		階段標識		2 Ci
		電話ダイヤル		0.5 Ci
2 電子、電気機器		電子管	^{3}H	$1～10^{4}$μCi
			^{63}Ni	1～ 5μCi
			^{147}Pm	1μCi
			^{85}Kr	1～ 5μCi
			^{60}Co	0.15～ 5μCi
			^{226}Ra	0.1μCi
			^{137}Cs	5μCi
		グロー放電管	^{85}Kr	0.01～10μCi
		定電圧放電管	^{147}Pm	3μCi
		高圧電圧灯		6nCi
		真空管	天然Th	0.8～1.2wt%
		電灯		50mg

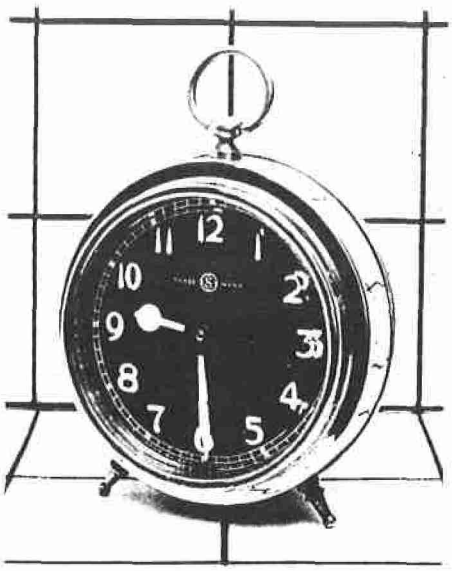
製品		核種	放射能
	火花ギャップ管	^{60}Co	5μCi
		^{63}Ni	5μCi
		^{137}Cs	5μCi
	冷陰極管	^{3}H	90μCi
	蛍光灯スタータ	^{226}Ra	1μCi
	高電圧防止装置	^{147}Pm	3μCi
3 静電気除去器	避電針	^{226}Ra	0.1～1mCi
		^{241}Am	0.06～0.7mCi
	静電気除去装置	^{226}Ra	10μCi
	静電気除去ブラシ	^{210}Po	0.05～0.5mCi
		^{241}Am	2～2.5μCi
4 ガス、煙検出器	煙,火災感知器	^{241}Am	1～100μCi
		^{226}Ra	0.01～15μCi
		^{85}Kr	7mCi
		天然,劣化U	7.5mg
		^{238}Pu	20μCi
5 陶磁器、ガラス、合金類	陶磁器製品	天然U	10^{-2}μCi/cm^{2}
	陶磁器類,ガラス製品,上薬	天然Th	10～20wt%(上薬)
		天然,劣化U	10～20wt%(上薬)
	ガラス製品,ガラス上薬	天然Th	10wt%
	上薬用フリット	天然,劣化U	10wt%
	光学用レンズ	天然Th	<30wt%
	マグネシウム-トリウム合金		< 4wt%
	ランプマントル	天然Th	< 0.5 g
	溶接棒	天然Th	1～2wt%
6 科学装置、他	カスクロマトグラフ	^{3}H	250mCi
		^{63}Ni	12mCi
	静電気計	^{241}Am	0.5～50μCi
	自動販売機用コイン	^{14}C	2μCi
	銀行小切手	^{14}C	0.01μCi

（国連科学委員会1977レポートより）

2．夜光時計

夜光時計は、RI の工業利用の中でも最も古くから、また、最も広く使われてきたものである。それは、1898 年キューリー夫妻によってラジウム（^{226}Ra）が発見され、工業的に利用されるようになると、そのラジウムとラジウムのα線によりよく発光する硫化亜鉛銅蛍光体とを組合せて夜光塗料が造られた。そして、それを時計に塗布した夜光時計が生まれたのは 20 世紀初頭のことである。

1908 年頃からアメリカでは大量のラジウム夜光塗料が時計に使われ、ある工場では年間約 2g（74GBq）のラジウムを消費していたとの記録がある[1) 2)]。日本における夜光時計の生産はそれほど古くなく、セイコー時計資料館の資料によると、1895 年に時計の生産を始めたセイコーでも 1927 年以降のようである[3)]。



1933 年製造国産夜光目覚時計
（セイコー時計資料館蔵）

夜光時計に用いられる RI は、ラジウムの場合、時計一個当り 3.7～18ｋBq 程度であるが[3)]、1960 年以降はラジウムより安全性の高いプロメチウム夜光塗料やトリチウム夜光塗料の開発によってプロメチウム（^{147}Pm）とトリチウム（^{3}H）に代わった。そして現在は ISO3157 に規定する基準によって生産管理されている。しかし、我が国においては、RI の利用は放射線障害防止法に規制されるので、密封線源の範疇に入る夜光時計は RI の核種にかかわらずすべて放射能は 3.7MBq／個以内でなければならないため、^{3}H は使用できず ^{147}Pm に限定されている。表２に各種夜光時計の ISO 基準と日本基準を対比して示した。筆者らがかつて市販されている夜光時計の代表的腕時計、目覚時計各 14 個について含まれる RI を調べた結果では、核種はすべて ^{147}Pm で、放射能は腕時計 890～2920kBq、目覚時計 400～1850kBq の範囲で基準内にあった。

表2　夜光時計の許容放射能基準

時計の種類	核種	ＩＳＯ	日　本
		最大　　（平均）	
腕時計	^{3}H	278MBq　（185MBq）	3．7MBq
	^{147}Pm	5．55MBq　（3．7MBq）	3．7MBq
置時計	^{3}H	370MBq　（278MBq）	3．7MBq
	^{147}Pm	7．4MBq　（5．55MBq）	3．7MBq
特殊時計	^{3}H	925MBq	3．7MBq
	^{147}Pm	18．5MBq	3．7MBq

夜光時計の国際基準と日本の規制の矛盾は永らく問題となっていたが、ようやく最近になり、科学技術庁において ISO 基準に従って造られた夜光時計は日本の法規制の適用除外とするよう検討が進められている。

RI を利用した夜光時計の使用者の被ばく線量については多くの報告があるが、筆者らの測定による推定では年間線量当量はプロメチウム夜光時計の場合腕時計で、0.2μSv、目覚時計で 0.05μSv であった[4) 5)]。また、トリチウム夜光時計ではその装着者は時計から洩れる ^{3}H を摂取することにより 2～18μSv／年の被ばくがあるとの報告もある[6)]。

我が国の時計産業は著しい発展を遂げ、世界の時計王国となったが、夜光時計も年々生産量を伸ばし 1980 年代の最盛期には年間 2000 万個を超える生産をしていた。

しかし近年は生産拠点が海外にシフトし急激に生産量を減少した。さらに、1993年、環境保全の社会的ニーズのもとに、RI を含まなくとも一度光を照射すると一晩中高い残光輝度を持続する長残光性夜光塗料が開発され、夜光時計に利用出来るようになったことにより、表３に示すようにプロメチウム夜光塗料の生産は年々減少し、1998 年には国内ではもはや RI 利用夜光時計の生産はゼロとなると推測されている。

表3　夜光時計用　自発光塗料の使用統計

（単位　Kg）

用途	核種	1993	1994	1995	1996	1997
腕時計	^{147}Pm	28．1	28．7	21．6	21．7	7．0
置時計	^{147}Pm	97．5	23．2	0．8	0．1	0

この傾向はいま世界的に進んでおり、特にスイスにおいては、一昨年のスイス製のトリチウム夜光時計からのトリチウムガスの漏洩事件を契機に、長残光性夜光塗料の使用を積極的に進めており、RI の工業利用の草分け的存在の夜光時計も、特殊なものを除き RI の利用がなくなるのもそう遠くないと思われる。

3．放電管類

放電管の中には、その用途特性の必要から微量の RI を使っているものがある。それは RI からの放射線の電離作用によって、放電遅れの防止、放電電圧の安定化、暗所特性の改良などを目的としたものである。例えば、蛍光灯に RI を用いないグロースタータをつけると、昔、感度の鈍い人を“蛍光灯のような奴”と比喩した通りなかなか点灯しないが、RI を用いたものは殆ど瞬時に点灯するようになる。

我が国で現在生産されている RI 利用放電管類は、具体的には、蛍光灯グロースタータ、ネオングローランプなどのグロー放電管類が主で、僅かながらアレスター、放電表示管、メタルハライドランプなどがある。

放電管類への RI の利用方法は、大部分がその安全性のために 1974 年に開発された ^{63}Ni、^{147}Pm を用いた密封線源を電極として使用しており、その RI 電極線は図１に示すような断面構造で、JIS Z 4821（密封線源）の等級２に合格するものである。一部にガス状の ^{85}Kr を直接放電管に注入する方法、放電時にかなり高温となるものにはセラミックに ^{147}Pm を混入焼結したものを用いる方法がとられている。

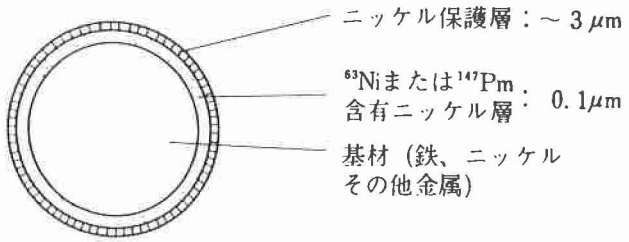


図１　放電管用密封 RI 電極の断面

放電管に含まれる放射能は、グロースタータでは ^{85}Kr が２kBq、^{147}Pm が 10kBq、ネオングローランプでは ^{63}Ni が２kBq、^{147}Pm が 13kBq 程度である。また、アレスターは種類により ^{147}Pm が 5～20kBq、放電表示管は ^{147}Pm が 18kBq、メタルハライドランプは ^{147}Pm が 10kBq 程度である。

放電管用の RI はいずれもβ線放射核種であり、ガラス管により遮蔽されるので、それらによる放射線被ばくは小さく、年間実効線量当量は 2×10^{-4} μSv 程

度と報告されている[7]。

放電管類に用いられるRI利用電子部品の生産実態を表４および表５に示した。放電管にはそれぞれ１個の部品が使用されるので、これらの表から我が国におけるRI利用放電管類の生産量が推定できる。ただ、グロースタータ用に関してはほぼ同量が海外に輸出され利用されている。表に見られるようにここ数年アレスターへの利用が激減したことのほかはあまり大きな変動もなく推移している。これは今後新たな技術開発がなされて、RIなしでも放電特性を改善できる手法が見出され、しかも、それがコスト的にも充分有利であると判断されない限り、まだまだこの分野でのRI利用は続くものと考えられる。

表4　放電管用RI電極部品生産統計

（単位　百万個）

用途	核種	1993	1994	1995	1996	1997
グロースターター	^{147}Pm	91.3	88.8	90.4	92.0	85.9
ネオングローランプ	^{63}Ni	7.0	7.0	8.8	14.2	9.1
	^{147}Pm	92.8	90.1	116.4	123.6	80.1

表5　その他のRI利用電子部品生産統計

（単位　千個）

用途	核種	1993	1994	1995	1996	1997
アレスター	^{147}Pm	4.524	2.806	270	335	270
放電表示管	^{147}Pm	52	85	99	62	15
メタルハライドランプ	^{147}Pm	451	520	501	580	657

４．煙感知器

煙感知器は、火災の初期に発生する煙を感知して、早期に火災を報知するためのものであり、その作動原理の面からイオン化式と光電式の２種類がある。その中でRIを利用したものがイオン化式煙感知器である。

イオン化式煙感知器は、組込まれたRI線源からの放射線によって内部の空気を電離するイオン化室があり、そこに入ってきた煙によって起きる微弱なイオン電流の変化を捕らえて煙の発生を感知するという原理を利用したもので、煙の種類や色等による影響が少なく、微細粒子の煙にも感度が高いなど、光電式に比べて利点をもっている。

煙感知器用のRIは、開発当初（1960）から暫く^{226}Ra（6～11kBq）が用いられていたが、現在は専らアメリシウム（^{241}Am）が使用されている。この^{241}Am線源は図２に示すような断面構造で、円盤状に密封状態として用いられている。密封線源としての安全性は、Hallらによって詳細な試験報告[8]があるが、筆者らは火災の際に煙感知器が焼かれたときにRI線源がどうなるか試験した結果、1000℃では^{241}Amは基板金属である銀の中に包み込まれてしまうためほとんど飛散せず、イオン化室を耐熱性金属で作った場合は、火災時に空気中に飛散する量は１万分の１以下であることを確認している[9]。

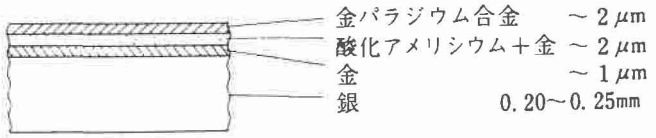


図２　イオン化式煙感知器用密封RI線源の断面

煙感知器のRIの放射能については、OECDの原子力機関（NEA）の勧告[10]により、工業用用途の場合^{241}Am 0.74MBq、家庭用では^{241}Am 37kBq以下と定められている。またその使用による年間実効線量当量は0.1μSv以下であるとしている。

煙感知器の生産量は、日本国内では家庭用煙感知器の市場はほとんどなく、法規制で設置が義務づけられている産業用用途が主体で、年間100～150万個と推定されているが、それも光電式のものが大部分でイオン化式のものは僅かに5％程度である。そしてその放射能は業界の自主規制により0.18MBq以下としている。一方世界的には、特に米国等を中心に家庭用煙感知器の市場が大きく、産業用と合わせた市場規模は4000万個を上廻ると考えられている。図３に世界における煙感知器のイオン化式と光電式のものとの生産量の比率を工業用と家庭用に分けて示した。このように世界においてはイオン化式のものの方が全体の85％を占めており、我が国とは大きな相違のあることがわかる。

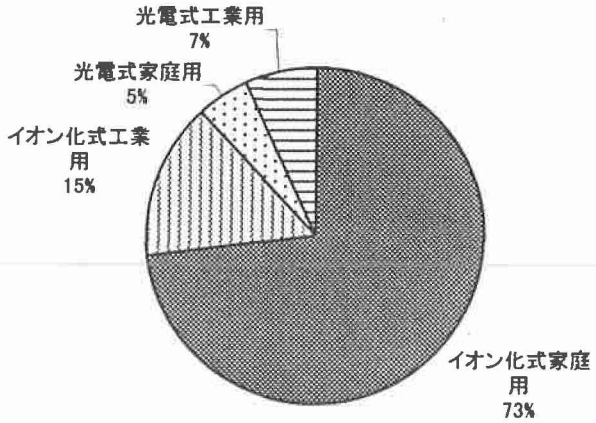


図３　煙感知器の種類と用途

イオン化式煙感知器に使用する RI の量はできるだけ少なくすることが望まれており、最近では、図４に示す原理で１線源２イオン化室のものが開発され、従来の２線源２イオン化室のものに比べて放射能を半減することができ、^{241}Am 18kBq の量で性能もよく実用的なものが生産されるようになった。今後も RI を利用した煙感知器は、性能ばかりでなく価格的優位性もあり当分使用が続くものと考えられ、発展途上国のこれからの需要を想定すれば、更に生産量が増大することも予想されるところである。

新型煙センサ

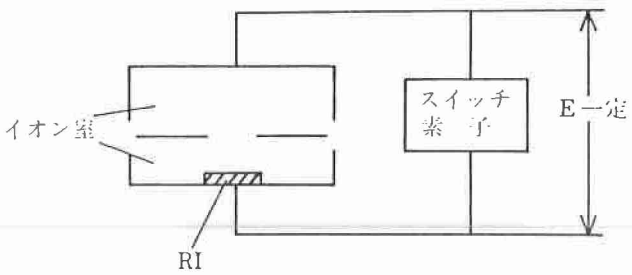


図４　１線源２イオン化室型煙感知器原理図

５．おわりに

RI を生活日用品に利用することは、それによるリスクと便益とのバランスの中で、その時代の生活者のコンセンサスを得たものが存在権を得て存続するものである。そうした市場原理により現在我が国において生産され使用されている３種類のものについて解説した。これからの時代においては、微弱な放射能の影響についての考え方が変わるかも知れないし、また、地球の環境保全や省エネなどを徹底していく中で、新たな RI の利用が創生されることもあり得ることと考えている。

最近、IAEA（国際原子力機関）は RI の基本安全基準（BSS：Basic Safety Standard,1996）を発表し、核種毎にその規制免除レベルを濃度と量について示した[11]。この規制免除レベルは非密封状態での使用を前提に、種々の被ばくシナリオを想定し、年実効線量当量が 0.1μSv を超えないよう合理的に評価して算出されている。また、規制値を超える密封線源等については、各国の規制機関が規定する条件下で個別に免除してもよいとしている。表６には RI 利用日用品に用いられている RI の核種と放射能を BSS 免除レベルと比較して示した。夜光時計やグロー放電管等に多く使われている ^{3}H、^{63}Ni、^{85}Kr、^{147}Pm 等の核種については、いずれも BSS による規制免除レベル以下であり問題ないが、煙感知器については、最新のものでもまだ規制免除レベルを若干超え規制免除対象とするには、いま一歩の改善が必要となる。

このように IAEA の基本安全基準の発表は、これからの RI の利用を進めていくためにタイムリーな一つの指針となるものと評価している。

いずれにしても、世のため人のためになる RI 利用を進めるには、放射能というものがすべて危険で恐ろしいものだという間違った一般認識を改めることが必要で、そのためにはやはり小さいときからの教育が大切なことであることを痛感している。

表6　放射性日用品とBSS規制免除レベル

核種	放射性日用品	放射能	BSS 免除レベル	規制
^{3}H	夜光時計	925MBq以下	1000MBq	規制対象外
^{147}Pm	夜光時計	3．7MBq以下	10MBq	規制対象外
	放電管	3．7MBq以下		規制対象外
^{63}Ni	放電管	3．7MBq以下	100MBq	規制対象外
^{85}Kr	放電管	3．7MBq以下	100GBq	規制対象外
^{241}Am	煙感知器	740kBq以下	10kBq	規制対象

参考文献

1)H.S.Martland　: Am.J.Cancer, 15, 2435～2516 (1931)

2) 館野之男　: 保健物理, 30, 193～204 (1995)

3) 村山義彦　: Isotope News, 11, 8～9 (1980)

4) 村山義彦　: 保健物理, 16, 237～246 (1980)

5) （財）放射線影響協会, 国民線量推定のための基礎調査(Ⅱ),152～156 (1978)
(Ⅲ),90～91(1979)

6) NCRP Report, No56, 19 (1977)

7) 村山義彦　: 第 11 回理工学における同位元素利用研究発表会要旨集,
78 (1974)

8) E.Hall　: NUREG/CP-0001(U.S.NRC), 398 (1978)

9) 村山義彦　: 第 15 回理工学における同位元素利用研究発表回要旨集,
141 (1978)

10) Recommendations for ionization chamber smoke detectors in implementation of radiation protection standards ,NEA OECD (1977)

11)IAEA Safety Series No.115, International Basic Safety Standards, 81～89
(1996)

小学生に放射線をはからせる

播磨良子
ＣＲＣ総研
（受理１９９９年2月１７日）

平成７年度から東京都練馬区光が丘第四小学校の５、６年が理科の時間に簡易放射線計測器「はかるくん」を用いて小学校校内及び周辺の自然放射線を測り、身の回りに自然放射線があり、高い所や低い所があり零の所はないことを実験を通じて学んでいる。食物を撮ったイメージングプレートで食べ物からも放射線が出ていることを知る。霧箱でアルファ線の飛跡も観察している。この体験授業は、予備知識がなく好奇心の旺盛な時代に自然放射線の存在を素直に認識させるのに非常に有効である。さらに、子供たちの家族にも理解が広まり相乗効果がある。

Ⅰ．［はじめに］

高校生が修学旅行中『はかるくん』という簡易放射線計測器で場所場所での自然放射線の変化を測定しているという話をしたところ、当時の小学校長井上先生（現開進第四小学校長）に『小学生に自然放射線が測れますか』と聞かれたのがきっかけとなり、東京都練馬区光が丘第四小学校で平成八年の三月に、日本ではじめての放射線の授業が理科の２時間の授業として６年生の３組に行われた。「開かれた学校」に向けた取り組みが全国で進められているが、東京都練馬区でも数年前から「地域に根差した教育」を目指して、その地域に在住する人材を学校の裁量で招き、特別な授業を行っている。校長先生は『小学校では目に見えないものは教えられないのですが、「地域に根差した教育」としてお願いします。』と話された。私は小学校の西隣の高層住宅に住んでおり、運動場で元気よく走り回る子供たちを毎日ベランダから眺めている。小学校の先生の中にも、原子力反対の人がおられ、転居して１年余りの私には周辺の人々の考えが分からず、どのような妨害があるか予測もできなかった。

授業を始めるに当たり、今は故人となられた日本アイソトープ協会の一宮氏の助言があった。『もし、播磨さんが授業をやって、周囲の反対があってそこに住めなくなったら大変だから、子供の扱いも上手だし、反対の対応のできる後ろ盾のある日本アイソトープ協会の池田先生に日本原子力文化振興財団からの派遣講師として授業をして頂いた方が良い。又、測定器は放射線計測協会から「はかるくん」が全員に無料で借りられる』と。簡単な放射線の授業は池田先生にお願いし、「はかるくん」の使い方を説明し、学校内の自然放射線を測る、測定結果を拡大した校内のマップに付箋に書いて貼りつける。最後に感想を書く。最初の年は、３０分余り、子供たちは「はかるくん」で校内好きな所を測って回った。二年目は「はかるくん」の測定に加えて、イメージングプレートで撮られた野菜や豚肉などで食べ物からも放射線が出ている様子をＯＨＰで見せた。三年目は、さ

らに放射線計測協会のお勧めで霧箱を加えた。四年目の今年はキュリー夫妻のラジウム発見１００年にあたり、子供むけのキュリー夫妻の伝記を池田先生が日本アイソトープ協会で用意された。授業の終わる前にこの授業の感想を書いてもらい、記録用紙をお借りして、私がレポートにまとめている。次章から、小学校の対応や、授業の内容を項目ごとにくわしく述べる。

ＩＩ．［小学校側の対応］

放射線の授業を始めるに当たり、平成７年暮れ井上校長と理科担当の坂本先生と私で話し合いを持った。その前に放射線計測協会から身の回りの放射線についてのパンフレットをいくつか送って頂いた。それらは皆小学生には難し過ぎるものばかりであった。先生方と小学生で理解できること、子供の興味の持ち方、授業の進め方等を話し合った。坂本先生は新しい授業に尻込みしておられたが、いろいろ資料を差し上げて冬休みの間に勉強していただいたところ、段々乗り気になってこられ、”実験：身近な場所の放射線を測る”の記録用紙を作ってくださった（表１）。「はかるくん」の測定は３回測って合計と平均を計算させる。（注：高校生は１０回測っているそうだが、小学生ではとても１０回の繰り返しは無理ということだった）子供たちに「はかるくん」の値段をあてさせるのも坂本先生の発案である。今の子供たちは、ファミコンに親しんでいるので、興味の引き出しと、高価なものは慎重に扱うことに役立つということであった。授業の終わりに坂本先生は『「はかるくん」で測って”０”だった人は手を上げて』　誰も手を上げない。　『何処にでも放射線があるのがわかったね』と授業をしめくくられた。この素晴らしい授業のしめくくりは今も継承されている。授業のあと、校長先生からは『子供たちがこんなに大喜びした授業は初めて』と評価していただいた。小学校では、一人一人に実験器具を使わせてもらうような授業はないということで、普段、おとなしくて、活発な子の影にかくれていたと思われる子が嬉しそうな顔で測定していたのが、印象的だった。主事さんの一人が『トイレを掃除していたら、生徒さんが放射線の測定に入ってきて、トイレに放射線がいっぱい出ているって教えてもらいました。身の回りに放射線がいっぱいでていると知りませんでしたので良い勉強をさせ

実験　：　身近な場所の放射線を測る

（1時間に どれくらいの放射はしろいか）

		「はかるくん」測定値（マイクロ・ベルト・スケット・ハ・ヤ）				
測定場所		理科室	校庭	石がき	プールの水の上	トイレ
測定回数	1	0.044	0.019	0.080	0.022	0.054
	2	0.041	0.020	0.081	0.020	0.058
	3	0.042	0.019	0.080	0.023	0.060
合計		0.127	0.058	0.241	0.065	0.172
平均		0.042	0.0195	0.08	0.022	0.057

わかったこと・質問したいこと

○放射線は、身近にあることが分かった。
○放射線は、さえぎる物があったり、遠くなったりすると、少なくなったりすることが分かった。
○放射線はふきそくにでていて、アルコールの気体をきゅうげきにひやしてみるとその放射線の通ったあとが見れた。とてもおもしろかった。

測定器番号	
測定者氏名	6年 組

測定年月日	
平成10年11月5日11時	
天気	晴れとまたくもり

表１：記録用紙

て頂きました。』とお礼を言われた。原子力反対の先生からも父兄からも反対の声は無かった。

記録用紙は、私が預かって帰り、この新しい授業の結果をまとめ、子供たちの小学校時代の思い出に、また子供たちのご両親にこの授業をご理解いただく為に、レポートを作ることにした。現在のレポートの形式は校長先生のご提案で子供たちに呼びかけるように”「はかるくん」で自然放射線を測ってわかったこと”、”考えよう”、”しらべよう”、”答”、”比べてみよう、”おぼえておこう”、”わかったこと、質問したいこと”が構成された。同じ場所を複数の子どもが測っている場合、平均値を記載し測定結果には括弧の中にクラス名を入れた。『これは子供たちが喜びますよ』と校長先生。レポートは記録用紙と共に子供たちに返され、関心のある人にも配られている。

放射線をどのくらいあびると死ぬのかなという質問には、教頭先生の助言があった。ーーー死ぬことはないという表現がよいということだった。「理科室に１年間いたとして受ける放射線の量の２万倍の放射線を一度に全身に受けないと死ぬことはない。同じ量の放射線を体の一部に受けても死ぬことはないと。　この時期、丁度簡単な理由で小中学生が自殺する時期だった。

平成８年校長先生も理科の先生も他校へ転勤されたが、申し送りで、新しく来られた服部校長と理科担当の大竹先生のもと自然放射線を測る授業は継続された。両先生に授業を理解して頂くため、池田先生と授業内容や子供たちの反応、他の職員、父兄の反応等をお話し、ご理解頂いた。大竹先生には資料をお届けしながら放射線に関係のあるお話をしたり、栽培委員会を手伝ったりした。

３年目は、放射線計測協会のお勧めで霧箱を加えた。計測協会の職員から霧箱の作り方の講習を受け、大竹先生とご一緒に小学校で練習してみた。『これは子供がすごく喜びますよ』とご自分でも試みて同僚に見せたりしておられた。この年の夏休みには、３月に実験した６年生でもっとやりたいと言っていた１０数人が自由研究に光が丘の周辺の自然放射線の測定を行った。１１月の授業から受け持ちの先生も授業に参加されるようになり、他の先生方も霧箱は初めてと見て下さるようになった。子供たちと一緒に「はかるくん」をもって走り回っておられる先生、霧箱を子供たちと歓声挙げて見ておられる先生の姿を拝見して、やっと定着してきたなという感触を掴んだ。この授業の様子や子供たちを取材したナショナルピーアールの記者が当社の"ENERGY for the FUTURE" に「小学生、放射線を測る、学校と専門家が模索する新たな教育」という見出しで1998 No.1 に取り上げられている。また、三菱重工業株式会社、原子力ＰＡ推進センターの”あとむぱわー” Vol.42　に「僕ら放射線探偵団」として授業が紹介されている。

４年目の今年は大竹先生が３年の担任になられ、理科は転勤してこられた松田先生に変わった。松田先生には、６月に行なった光が丘第三小学校の授業を見学

していただいたり、資料持参でお話に伺ったりした。同じ学校に経験のある大竹先生が居られるので、先生の興味が上がるのに役立った。最初に放射線の授業のきっかけを作って下さった井上先生が、光が丘のお知り合いの校長先生に声をかけてくださったので、一度に２校も増えた。そして、それらの小学校では、『５、６年生をお願いします』といわれて、一度に忙しくなった。新しく加わった小学校は担任の先生が理科を教えておられるので、前もって授業内容の説明に池田先生と伺った。授業には担任の先生も参加され、霧箱ではお手伝いも頂いた。

2002年小学校も週休二日制にむけて、総合学習が導入されることになるが、カリキュラムは各学校に任されており、どのような授業をするか、先生を悩ませている。この放射線の授業は「環境とエネルギー」の分野に相応しいということで関心が高まっている。

ＩＩＩ．［自然放射線の存在を知る］

ＩＩＩ．１「はかるくん」で自然放射線を測る

放射線は地球ができたときからでている。宇宙から、大地から、建物の壁から出ている、というお話を聞いた。　放射線の多いところ少ないところがある。建物の中と外と比べるとか、トイレのタイルとプールの水の上や屋上を測って比較してみよう、と語りかけられた。その時点で放射線を測る「はかるくん」の器械が一人一人に配られた。この『「はかるくん」はいくらするか』と聞かれて、てんでに値段を付けた。安いのは２，９００円、高くても６５，０００円だった。１３万円もすると聞いて『高いなあ。大事にしなくちゃ』と一気に緊張感がただよった。「はかるくん」の使い方を聞く（写真１）。待時間の表示が消えて数字がでる。理科室では４人が一つの机に座っているが夫々の数値が違うので『どうして』とか『器械が故障かな』と騒ぎ出す。ここで放射線の出方はばらつきがあることを説明する。今の子供には”ばらつき”をどのような経験で理解させればいいのであろうか。４人１組の各グルー

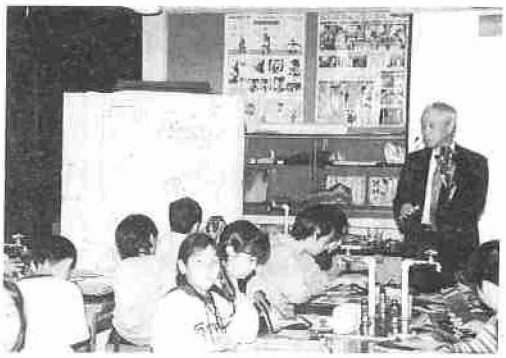


写真１「はかるくん」の使い方を聞く

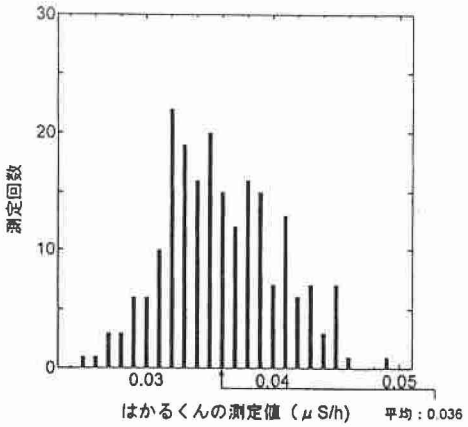


図１理科室の自然放射線の棒グラフ

プのデータの平均値を表にし、９グループの平均値は0.036 と0.037 で一人の３回の測定より４人の平均値の方が差が小さくなることを説明する。このように自然放射線の測定値にばらつきのあるときは、大勢で測るか、何回も測って平均するとばらつきを小さくすることができる。今年からクラスの測定値を棒グラフにすることにした（図１）。ブザースイッチを押すとピッピッという放射線の入射音で放射線の存在感が更に深まる。平均は５年生で習うが、実験する時期に習っていない場合もある。しかし、平均という言葉は日常生活やスポーツの得点でもよく出てくるので、誰かが３で割ればよいんだよといい出す。電卓で計算する子、筆算で計算する子もいる（写真２）。四捨五入は４年生で習っているのだが、忘れている子がかなりいる。基本的なことも繰り返し出てくると身につくのであろう。「はかるくん」の表示はμＳｖ／ｈであるため、値は小数以下になる。子供は小数は習っているが、ｎＳｖ／ｈで表した方が身につくのではないかと思う。表示が0.040 であれば、0.04と書き、小数以下３桁の数字を無視してしまう。これが４０円だったら、０を忘れないだろうに。『小学校ではそこまで教えません』と小学校の先生のお言葉。このままで大学生になり、大事な”０”を無視して間違った結果を出した学生を思い出す。その後、第一回目は『校内なら何処測ってもいいよ』という校長先生のお声を頭の後ろで聞きながら教室からくもの子のように飛び出していった。教室外の危険と思われるところ、例えば、屋上とかプールとかには教頭先生、理科の先生、主事さん、私など、監視に立った。３０分程であったか子供たちは満足気に理科室に戻ってきた。池田先生から、放射線の多そうなところ少なそうなところを聞いていたが、校内くまなく測られていて、私たちが予想もしていなかった新しい発見もあった。そのひとつが焼却炉のレンガで、『オーイ、たかいぞー』と叫んだ男の子の声に、数人が走って行った。焼却炉の中まで手をいれたのかすすだらけになって宝物をみつけたように興奮して戻ってきた。池田先生も私も煉瓦が高いというのに気付いていなかったので、良い勉強になった。３日のうち一日、朝、雨が降った。屋外の放射線の量は理科室より高くなった。これは、雨の降り始め、ラドンやトロンと埃が雨と一緒に降り、高くなるのだが、いい経験ができた。将来の科学者の卵かと思わせるような綿密な測定をした子供。例えば、教室の日の当たる場所と当たらない場所を比較したり、廊下の両端を比較したり、各階の教室、トイレ、廊下を高さで比較したり。繊細な神経の持ち主なのか、図書室の本の間を測ったり、下敷きの両側を比

写真２：平均を計算する

較したり。好奇心の旺盛な子供は、普段入れない場所、例えば、校長室、給食調理室、エレベータの中、体育館の上によじ登って測ったり。優しい心の持ち主は、飼育室の兎や鶏を測ったり、自分の靴の中を測ったり。理科室に戻り、平均値を求めた後付箋に数値を書き、校内の拡大されたマップの上に貼って行く（写真３）。最後に”わかったこと、質問したいこと”の欄に感想を書いてもらった（写真４）。

写真３：測定値をマップに貼る

写真４：感想を書く

写真５：理科室を測る

写真６：運動場を測る女の子

写真７：運動場を測る男の子

写真８：トイレのタイルを測る

二年目の授業は５年生の３組に行われた。肥料や温泉の華からも出ているのを中身のみえるＧＭ管を使って音とともに実演してみせる。光が丘はモニュメントや石垣に花崗岩が多く使われていて、小学校の隣の保育園の石垣も花崗岩である。「はかるくん」の測定を放射線の高いところ低いところを体験できるように、理科室（写真５）、運動場（写真６，７）、トイレ（写真８）、プール（写真９）、歩道橋の上（写真１０，１１）、花崗岩の石垣又は焼却炉のレンガと限定し、時間も短くした。しかし、それ以上測りたい子は、余白に測定値を書いてもらうことにした。花崗岩の石垣は0.100 μＳｖ／ｈぐらいもでていて、理科室に比べてかなり高いので、子供の印象が多きかったのか、大竹先生が書かされた絵に女の子が（写真１２）のようなすばらしい絵を描いてくれた。測定記録のあちらこちらにマンガがかかれていた。

写真９：プールの水の上を測る

写真１０：歩道橋の上で測る

写真11歩道橋の測定を終わって教室に戻る

写真12石垣を測る（女の子の絵）

自由研究の測定では、水で放射線がさえぎられていることを確かめるために夏休みのプールの水がぬかれたときに測り、プールサイドと同じであることを確かめ、水で放射線がさえぎられることを実験で確認している（写真13,14 ）。

写真13：プールの水を抜いた時に測る

写真14：プールサイドを測る

ＩＩＩ．２　食べ物に自然放射線が含まれている

子供の理解力に合わせて「はかるくん」の測定以外に名古屋大学の森先生がイメージングプレートで撮られた野菜や豚肉などで食べ物からも放射線が出ている様子をＯＨＰで見せた。食べ物の放射線は肥料に含まれているカリウムで野菜から放射線が出ている。それを食べている豚肉からも放射線が出ていると説明している。子供たちにとってインパクトが大きかったのか感想に殆どの子供が驚きを伝えている。豚肉の脂身のところは放射線の出方が少なかった訳を聞く子がかなりいた。またたけのこは放射線がほとんどでなかったのも不思議だったらしい。お母さんに豚の脂身とたけのこばかり食べるといったら困るなと思った。

ＩＩＩ．３　霧箱で放射線の飛跡を見る

三年目は、さらに放射線計測協会のお勧めで、サマルスキーという鉱石からでるアルファ線の飛跡が見られる霧箱を加えた（写真15）。霧箱は飛跡しかみえないが、放射線を見たと感想を書いている子もかなりいた。まがりなりにも、放射線が見えたことで、自然放射線の授業は小学校で行える大義名分ができた。感想には子供らしい表現で飛跡をみた感想を書いている。例えば、ときどきびよっときりがでてくるのがわかった／ふわふわしているようにみえた／放射線がまがったりまっすぐいくのがおもしろかった／白い線のようなものがいっしゅんスーとして見れた／まるでおいておいたみそ汁をはしでかきまぜたみたいだ／ピュンピュン飛んでいたのでちょっとちがうけどオーロラみたいでした／放射線を見て生きているみたいで感動した。

写真15：霧箱で放射線の飛跡を見る

ＩＩＩ．４　放射線に関係したお話

最初の年の池田先生の放射線の授業は『レントゲンって知っている？』という問いかけで始められた。レントゲンという言葉は胸の集団検診で知っていた。その年はレントゲンのＸ線発見１０１年であった。レントゲンの顔写真を見て、人の名前だと聞いてびっくり。ノーベル賞の物理賞の第一号をもらった人、ベクレルやシーベルトも彼らの功績により単位に名前が使われていると聞いて、「僕の名前も残るかな」と発言した子供がいた。校長先生が「一生懸命勉強して立派な研究をしたら君の名前も残るよ」と声をかけられた。

「お父さんが放射線科に勤めているので、僕も一度測ってみたかった」と感想を書いた子供がいた。

３年目には池田先生が小学校の授業の経験から日本アイソトープ協会で「放射線探偵団」というパンフレットを作られた。この冊子は子供むきにまる文字でかかれており、放射線のことが易しく書かれている。先生は小学生を対象にしておられたが、一般の人、特に家庭婦人にこれなら放射線のことがわかる、と好評である。考えてみれば、放射線について何も知らされていなかった人には、新しい知識の導入は小学生と同じようなレベルで始めるのが、拒絶反応がなくてよいのではないか。この表紙の絵は子供たちに返すレポートの表紙に借用させて頂いている。

４年目の今年はキュリー夫妻のラジウム発見１００年にあたり、子供むけのキュリー夫妻の伝記も池田先生が日本アイソトープ協会で用意された。最近はキュリー夫人の伝記は、小学校の教科書から消えてしまっているということだが、名前だけは知っている子供がかなりいた。感想にキュリー夫人がノーベル賞を２度も受けた話を聞いて彼女の功績を書いた子供がかなりいた。ただ、キュリー夫人のあの血のにじむような研究を支えたのが、祖国の独立への強い願をこめた小さい時からの不屈の精神があったことは、豊かな日本で育った子供たちにはわかってもらえたであろうか。

ＩＶ．［今後の問題：小学生に理解できる内容を検討］

放射線を測らせる授業は「はかるくん」で測るだけから始まって、食べ物に放射線がはいっていることを知らせる、霧箱で放射線の飛跡を見せると増やしていった。子供たちは今まで学校で教えられていなかったこと、子供の周囲の社会や家庭でも知らされていなかったこと、まさに初体験の授業にびっくりしながら、しかし抵抗なくはいっていった。この初体験の授業は予告なしに行われる方が効果がある。予習している子供がいると、予習の中で自分が持った興味や疑問が邪魔して初体験の感激の度合いが分散し、授業中に話を折るような質問がでて全体の緊張した雰囲気を壊してしまう。一度こういう事があったので、学校にはお心ずくしを辞退している。私どもは小学生では「自然放射線は０でない、高いとこ

ろ低いところがある」を理解してもらえばよいと考えている。小学校の間は学校で習ったことを親に話すであろうし、レポートも読んで頂けるであろう。最近授業を受けた子供の祖母が孫から放射線授業のことを聞いたという話を聞いた。おかしなもので子供や孫が学校で習ってきたことは簡単に受け入れられる。それは長い教育の歴史の賜物ではなかろうか。これが常識になれば、”日本は変わる”。授業内容の量は小学校の２時間の理科の授業としては、これが限界ではないかと考える。これ以上になにか増やせば、消化不良を起こすであろう。
同じ光が丘の中でも、子供たちの家庭環境により、また指導される先生方の影響もあるのか、子供たちの授業の受け止め方に変化のあることがわかり、この授業を広げていくのには臨機応変の対応ができるような準備が必要である。

レポートを書く時、使っている漢字を子供が習っているか、使っている言葉が子供に理解できるか、小学生にわかる表現をしているか、をチェックして頂いている。その交流を通じて子供の今の関心の対象や考え方など小学校の先生方に教えて頂いている。

総合学習が導入され、時間に余裕ができたら、「はかるくん」で測る時間をもっと増やしたい。最初の授業のように、高いところ低いところを捜している子供の目は輝いている。またどうして高くなるのか低くなるのか説明してあげたい。その中で、子供たちは、地球規模でものを考える力をつけるだろう。

自分の理科室の測定結果をクラスの友達全体で集めるとガウス分布に近いグラフになり、平均の意味を理解したり、全国の測定値と比較したりもできるだろう。これを通じて物事を一点で判断せず、広く眺めて物事の判断をする習慣がつけばと考える。

また、放射線が認められれば、原子力発電の勉強もできるだろう。放射線が回りの生活にいかに多く使われ、自分の生活を快適にしてくれているかを受け入れられるだろう。将来、放射線を利用した技術革新をする子供がこの中にいるのではないかと夢が膨らむ。

関西地区での「みんなのくらしと放射線」展と放射線意識調査結果

朝野武美、古田雅一、林　壽郎、細川　康
大阪府立大学先端科学研究所
（〒599-8570 堺市学園町 1-2）
（受理 1999 年 3 月 4 日）

「みんなのくらしと放射線」展（１９９７年、第１４回）が大阪市内の百貨店において開催された。本放射線展は、放射線教育の立場から、放射線に対する正しい知識の普及を目指して、１９８３年に初めて開催された。時代背景、放射線展の始まり、開催状況の１４年間の推移、第１４回放射線展、放射線展の工夫について紹介する。最後に、本放射線展の効果的な活動を目指して行われた、１９９６年のアンケート調査の結果について述べる。会期中、３５６８通が回収され、回答者全体の約６０％が小学校時代に「放射線」という言葉を知り、その言葉が入って来た経路のほぼ９０％が学校の授業またはマスコミであった。

１．時代背景

放射線に関連する色々な出来事について詳細に記述することは紙面に限りがあり出来ないが、表１に戦後５０年に渡るの放射能・放射線に関する歴史のごく一部を示す[1,2,3,4]。

最初の１０年間は放射能・放射線の平和利用の開始時期であり、その為の国際的国内的な体制づくりがなされた（１９５７年に我が国の放射線障害防止法が制定）。我が国に研究用原子炉ＪＲＲ１が建設されたのもその年であった。国産のラジオアイソトープが初めて生産され、放射能・放射線の研究が始まった。

第２次世界戦争での広島・長崎における原子爆弾投下の恐ろしい最初の経験の為に、社会において、放射線のイメージに対して、マイナスのレッテルが張られたのは不幸なことであった。１９６２年、環境放射能汚染をもたらした米ソの地上核実験もようやく終わった。その頃から、放射線の平和利用が社会において急速に普及し始めた。

我が国に初めての原子力発電施設が設置されたのは１９６３年であった。それから２０年過ぎた第１回放射線展が開催された頃（１９８３年）には、原発施設は既に２４基になった。人々のエネルギー需要の伸びと共に原発施設はその後も次第に増加していった（１９９７年の原発：世界４４２基、日本５２基）。現在、我が国では原子力発電施設から出る放射性廃棄物の処理・処分が実行（１９９５年）され、さらに合理的なそれらの方法の研究・技術開発が進められている。

しかし、世界で初めて原子力発電実験に成功（１９５１年）してから３６年過

ぎた、今から１３年前（１９８６年）、原子炉運転者の重大な過失と旧ソ連の原子炉設計の欠陥が重なり、チェルノブイリ原子力発電所爆発という残念な事故が起こった。

一方、核科学の歴史は、５０年前、湯川秀樹博士のノーベル物理学賞受賞という朗報で再スタートした。その後の物理、化学、生物学の研究やその利用技術（特に放射線産業、核医学、農業や考古学）における進歩において、目ざましいものがある。また、１９５６年、Ｐ．Ｋ．黒田博士が天然原子炉の可能性を予言し、１９７２年、アフリカで１７億年前の天然原子炉発見された。このことは、壊変系列をつくる天然の放射性核種や宇宙線による核反応でつくられる天然放射性核種のみならず、原子炉でつくられる核種の生成も、かっては自然現象のひとつであったことが証明された。また１９５０年代に入ってから、加速器技術の進歩に伴って、続々と発見されてきた新しい１０１番から１０９番の超ウラン元素の正式名称も、１９９７年にようやく決定した。

以上のような核科学の進歩や放射線エネルギー利用の多様な展開のなかで、社会人や青少年に対する正しい放射線の知識普及は重要である。

２．第1回放射線展（１９８３年）のはじまり

放射線利用が始まった１９５０年代は、放射線は人類文化の向上に貢献できるものとして大いに期待された。以来、我が国では多くの研究所が設立され、原子力発電施設の誘致も相次いだ。大阪府立放射線中央研究所が１９５９年（昭和３４年）に発足した。放射線利用が普及して３０年過ぎたが、学校における放射線教育は充実しておらず、放射線を取扱う側も放射線教育の重要性にそれ程関心を示さず、社会人や青少年の放射線に対する知識は不十分であった。放射線利用の長所ばかりが提唱されていた頃であった。かって公設究所に所属していた我々は科学者としての社会的使命を感じ、放射線利用ばかりでなく放射線教育の立場から、社会人や青少年に対して、放射線の長所・短所（利益・損益）を教え、放射線に対する理解力を与えようと考えた。斯くして、１９８３年（昭和５８年）に、１）放射線のはたらきについて人々の理解を深め、２）日常生活、産業、医療などの様々な分野で貢献する放射線利用について正しい知識を普及するために、関係団体との連携のもとに、第１回放射線展が実施された。放射線の課題も科学一般の課題の一つと考え、放射線展に科学的な要素も取り入れた。翌年、昭和５９年、大阪府立放射線中央研究所を活用する企業が中心となって、同研究所との連携を密にし放射線利用技術の普及と向上のため、「大阪ニュークリアサイエンス協会：ＯＮＳＡ」が設立された[7]。それ以降、ＯＮＳＡの他いくつかの団体により「みんなのくらしと放射線知識普及実行委員会」を組織し、大阪府立放射線中央研究所に事務局を置き、放射線展が実行された。

表1．放射能・放射線の５０年史

●核科学■原子力発電▼核実験◆社会★その他；
（太字の人名はノーベル賞受賞者）

★核1945 S20　原子爆弾投下、広島（U型15kt）・長崎（Pu型22kt）
●科1949 S24　**湯川秀樹**中間子理論の研究でノーベル物理学賞受賞
◆社1950 S25　国際放射線防護委員会の発足
■原1951 S26　アメリカで世界初の原子力発電の実験に成功
●科1952 S27　A.D.ハーシー、P-３２を用いＤＮＡを遺伝子と断定
●科1954 S29　M．**カルビン**ら、Ｃ－１４を用いる植物の光合成反応の解明
▼核1954 S29　ビキニ環礁での水爆実験、第五福竜丸乗組員の被曝
◆社1955 S30　第１回国連原子力平和利用国際会議（ジュネーブ）
◆社1955 S30　原子力基本法成立（平和利用三原則、民主、自主、公開）
●科1956 S31　Ｐ．Ｋ．黒田、天然原子炉の可能性を発表
◆社1956 S31　国際原子力機関ＩＡＥＡ設立、日本参加（１０月２６日）
◆社1957 S32　放射線障害防止法の制定
●科1957 S32　研究用原子炉ＪＲＲ１臨界に達す（国産ＲＩの初生産）
●科1959 S34　Ｓ．Ａ．バーソン、Ｒ．**ヤーロウ**がラジオアッセイ法を開発
▼核1962 S37　地上核爆発実験終わる（３３５回目）
■原1963 S38　原子力発電による動力試験炉の初発電成功（１０月２６日）
◆社1964 S39　第１回「原子力の日」（１０月２６日）
●科1972 S47　N.G.**ホーンズフィールド**のＸ線ｺﾝﾋﾟｭｰﾀ断層撮影法の開発
●科1972 S47　フランス原子力庁、アフリカで１７億年前の天然原子炉発見
◆社1972 S47　厚生省が照射ジャガイモの放射線照射を許可
●科1980 S55　Ｔ．Ｄ．ラッケイによる放射線ホルミシス効果の提唱
■原1986 S61　チェルノブイリ原子力発電所爆発事故
■原1995 Ｈ７　高速増殖炉「もんじゅ」のナトリウム漏れ事故
■原1995 Ｈ７　高レベル放射性廃棄物ｶﾞﾗｽ固化体の海上輸送、仏→六ヶ所村
●科1997 Ｈ９　播磨・高輝度光科学研究ｾﾝﾀｰで世界最高８ＧｅＶ電子を実現
●科1997 Ｈ９　１０１番から１０９番までの新元素名がＩＵＰＡＣで決定
　101番メンデレビウム　102番ノーベリウム　103番ローレンシウム
　104番ラサホージウム　105番ドブニウム　106番シーボーギウム
　107番ボーリウム　108番ハッシウム　109番マイトネリウム

第１回放射線展は、３団体の主催（大阪府、（社）日本アイソトープ協会、（社）日本原子力産業会議関西原子力懇談会、（社）大阪府放射線技師会）と６団体の後援（科学技術庁、大阪通商産業局、大阪府教育委員会、（社）日本放射線技師会、（財）大阪２１世紀協会、サンケイ新聞社）と５０団体の協力（原子力、アイソトープ関連産業、商・工業団体、消防局、国公立大学・研究所、民間企業、新聞社、テレビ局）の元に、大阪府の７団体（大阪府立放射線中央研究所、大阪府企画部、近畿大学原子力研究所、京都大学原子炉実験所、日本原子力産業会議関西原子力懇談会、大阪府放射線技師会、サンケイ新聞社）により実行委員会が組織され、事業計画全般について検討された。さらにワーキンググループを設置して、具体的に企画立案・作業の実施が行われた。パネル、機器、実物展示などを用いて、放射線の基礎知識や、考古学・医療・品種改良・産業における放射線利用などの、社会生活と放射線との結びつきを分かりやすく紹介した。開催の２週間前に科学記者クラブに概要説明を行った。開催期間中（５日間）、サラリーマン、主婦、学生、生徒、消防、警察など４４４８名が来場した。会場の一隅に「健康と放射線の相談コーナー」を開設し、来場者からの質問や相談に応じた。来場者にアンケートを実施し、放射線についてのこれまでの知識、認識やフェアの感想などについて回答を求めた。「放射線が日常生活のいろいろな部分に、これほど深く係わっていることを知って驚いた」「ＧＭサーベーメーターをはじめて使い、身近に放射線があることを実感してよかった」「このような催しは度々やるのが良いと思う」など好意的な反響がほとんどであった

３．放射線展の経過と第１４回放射線展（１９９７年）の開催

放射線展の開催は１９８３年から毎年続けられた。１９９０年に大阪府立放射線中央研究所が大阪府立大学附属研究所（１９９５年に現在の大阪府立大学先端科学研究所に改称）に変わった。地域社会に対する放射線に関する正しい知識普及活動の重要性が認められ、大学が参加する「放射線展」として続行されることとなった。「みんなのくらしと放射線」展の開催状況を表２に示す。第５回放射線展の頃から、会場を公共施設から、多くの来場者数が期待出来る百貨店のフロアーに代え、開催期間をこどもの夏休み中とした（注１）。こどもたちにとって楽しく分かりやすい放射線展として、放射線に関するゲームやクイズなどを企画し、遊びの要素も取り入れられるようになった。（注１、放射線展とは別に同展の資料の一部を利用した「移動展」が、大阪府下の複数の府民センターを利用し、毎年、開催されるようになり、現在も続けられている。）

第１４回放射線展は９団体（注２）による「みんなのくらしと放射線」知識普及実行委員会で、事業内容を検討し、さらに、放射線フェア専門部会を設けて実施細目について検討し、具体的な活動を進めた。

表２．「みんなのくらしと放射線」展の開催状況

回	年度	期間	会場	来場者（人）／日数
1	1983 S58	10.18 ～ 10.22	公共施設A	4,448／5日
2	1984 S59	8.23 ～ 8.28	百貨店B	7,519／6日
3	1985 S60	10.22 ～ 10.25	公共施設C	2,913／5日
	1986 S61	中止		
4	1987 S62	10.23	公共施設D	1,218／1日
5	1988 S63	8.18 ～ 8.22	百貨店E	9,500／5日
6	1989 H 1	8.11 ～ 8.16	百貨店F	10,000／6日
7	1990 H 2	8.10 ～ 8.15	百貨店G	20,600／6日
8	1991 H 3	8. 9 ～ 8.14	百貨店G	16,500／6日
9	1992 H 4	8.14 ～ 8.19	百貨店G	17,300／6日
10	1993 H 5	8.13 ～ 8.17	百貨店G	15,600／5日
11	1994 H 6	8.12 ～ 8.16	百貨店G	16,000／5日
12	1995 H 7	8.11 ～ 8.16	百貨店G	24,600／6日
13	1996 H 8	8. 9 ～ 8.14	百貨店G	20,154／6日
14	1997 H 9	8. 8 ～ 8.13	百貨店G	21,083／6日

（注２、［実行委員会構成団体］：大阪府立大学先端科学研究所、日本原子力研究所、（社）大阪ニュークリアサイエンス協会、（社）大阪府放射線技師会、（財）電子科学研究所、（社）日本原子力学会関西支部、（社）日本原子力産業会議関西原子力懇談会、（財）日本原子力文化振興財団、（社）日本アイソトープ協会）

第１４回放射線展の概要は次の通りであった。

場所：百貨店の７階のワンフロアー（10m X 25m）

期間：８月の６日間

主催：上記実行委員会構成９団体

後援：科学技術庁、近畿通商産業局、大阪府、大阪市、大阪府教育委員会、大阪市教育委員会、（財）大阪科学技術センター

協力：近畿百貨店上本町店、東洋ゴム工業（株）

周知：学校関係（ポスター５０００枚、リーフレット２６０００枚）、構成団体（ポスター１６００枚、リーフレット２２０００枚）、

新聞折込（５０万部）、新聞記事、ラジオ、テレビ大阪、交通（車内）
広告、大阪科学技術センター誌、インターネット
hhtp://www.threeweb.ad.jp./~gcroskoo/raykids2/raykids.html

会場の概況：入場者数２１０８３名

展示テーマは、「夏休みこども勉強博、科学探検隊レイ・キッズ２」であった。１００年前（１８９６年）に放射線の放出を発見したベクレル博士が、日本にタイムスリップして、科学伝道師Ｘという青年科学者に変身して現れたという設定で、こども達と一緒に科学探検隊レイ・キッズ（参加者自身）を結成して展示会場を廻り、科学に対する興味や発見する喜びを感じさせようというものです。こども達に５つの探検課題を与え、展示パネルや実物展示を使って基礎的な放射線の勉強したり、放射線の医学利用、産業利用を勉強したり、手作りガイガーカウンターを作成したりして、最後に勉強したキーワードを正しくパソコン入力すると、記念品が与えられるという構成になっている。放射線が身近にあることを知るために、岩石・食物・体の中にあるカリウム・生活用品を測定試料に用い、放射線測定器「はかるくん／γ線用」「ベータちゃん」を使用して、放射線計測を行ったり、科学実験として霧箱実験の見学した。展示物には大人向けとこども向けがある。大人の希望者に骨密度測定サービスを行った。また、自動車産業における放射線利用を紹介してから、アトラクションとして、こども達各自に模型自動車ミニ四駆を持参させ、設けられたサーキット会場で、フィールド１周のタイムトライアルを行って楽しんだ。（ISOTOPE NEWS ９７年１１月号参照 [6]）。

４．放射線展の工夫[5]

来場者の関心を引き出すようなテーマを掲げて、その年の放射線に関連した話題をとり上げるなどして、毎年、開催される放射線展の新鮮さを保つようにした。それらの概要は次のようである。

１）展示テーマ

ふしぎらんど～放射線のたのしいパワー～（７回）
タイムトリップ・ビックリ探検隊（８回）
放射線おもしろ縁日（９回）
ベータ伝説・見えない放射線を探せ（１０回）
謎ときめきワールド～天文衛星「あすか」で探る放射線の世界～（１１回）
ようこそＸ線の森へ～二人の偉人（種）と放射線の世界（森）～（１２回）
夏休みこども勉強子博・科学探検隊レイキッズ（１３回、１４回）

２）取り上げた話題

放射線（文化遺産、自然放射線、ＳＰｒｉｎｇ８、ラジアルタイヤ、
放射線滅菌、レントゲンの放射線発見１００周年、

ベクレルの放射線発見１００周年）
地球と宇宙（宇宙・元素・地球創生、生命の進化・恐竜時代、向井千秋さんの宇宙旅行、インターネットによる火星の映像）
自然災害（地震の予知）
3）来場者参加・体験コーナー
科学実験ショー（手作りＧＭウンター・霧箱の作成／液体窒素を用いた実演）
工作教室（恐竜の骨格模型、空気自動車、ゴム動力船）
体験学習（ＧＭサーベ－メータ、はかるくん、ベーターちゃん、ウイルソン霧箱、マルチチャンネルγ線測定器、プラズマ放電ボール、ファイバースコープ、ホログラフィー、厚さ計）
パソコンゲーム（放射線知識クイズ、自然放射線測定、宇宙飛行士）
ゲーム　（放射線利用製品熱収縮チューブ輪投げゲーム・発泡ウレタンサケ釣りゲーム、放射線機器を使った宝探し）
質問シート（クイズを全部解き、係員に報告すると賞品が貰える。）
アトラクション（上方漫才・放射線知識紙芝居屋さん）
ミニ四駆サーキット競技会、Ｘ線搭乗ゲートチェック、メールチェッカー、
超音波骨密度測定コーナー、ミラクルミラーのトンネル、
4）実物展示
科学（カラー線量計、リヒテンベルグ放電図形、オートラジオグラフ、空気膜構造ロボット、恐竜ロボット、宇宙食、Ｘ線天文衛星「あすか」模型・打ち上げ用ロケット模型、スーペースシャトル模型、宇宙服、レントゲン・キュリー夫人の肉声再現、宇宙めだか）
文化遺産（稲荷山古墳出土鉄剣象眼エックス線写真、古墳出土刀剣エックス線写真）
生活（煙感知器、高分子製品、難燃性カーテン、三朝温泉の水、真珠・宝石・ガラス装飾品）
農業（照射ジャガイモ、照射香辛料、 放射線新品種しらさぎの夢、研究用照射飼料）
産業（耐熱性電線、電子線硬化塗装、発泡ポリエチレン、熱収縮性チューブ、牛乳紙パック、フロッピーディスク、電子線硬化塗装、蛍光灯グロー球）
医療（滅菌医療品（糸、針）、人工臓器、Ｘ線ＣＴ写真）
スポーツ芸能（ゴルフボール、弦楽器、サーフーボード）
5）パネル展示（４０枚）：基礎知識、放射線利用、健康・医学診断・治療、
6）くらしと放射線相談コーナー：大阪府放射線技師会担当
7）その他：ＶＴＲと映画、アンケート用紙、記念品（放射線照射マドラー・灰皿・球根・花の種子・ジャガイモ・解説小冊子）

５．放射線意識調査結果[8)]

目的）我々は放射線展において種々の工夫を行ってきた。さらに、放射線展を実りあるものにし、放射線についてのマイナスイメージの改善に役立たせるために、放射線意識調査を行ってきた。ここでは、１９９６年に行われた、参加者が放射線展に来場する以前に、放射線についてどの程度の知識があり、どのような意識（イメージ）を抱いてたか、またこれらの知識は何を通して入り、放射線についてイメージが醸成されたかについての調査結果を報告する。

我が国において、原子力発電などの原子力に対する国民の意識については、マスコミや種々の機関において多くの調査が行われたが、国内での国際会議やセミナーにおいて、食品照射などの放射線利用技術について、消費者団体の指導者やマスコミ関係者からの意見発表はあったものの、放射線についての大規模な意識調査は行なわれていなかった。

上述のことを考慮して、参加者を対象に以下のようなアンケート調査を行った。

方法）アンケートは対象を小中学生以下（１５歳以下）と高校生以上（１６歳以上）に分け、両者のための２種類の設問用紙を用いて行った。会期中に３５６８通のアンケート用紙（小中学生：２１５３通、高校生以上：１４１５通）が回収された。

結果１）男女別、年齢、同伴者、本展の情報源などを共通の質問項目とした。回答者の男性・女性の比率は、小中学生以下が４８％・５２％、高校生以上が　２９％・７１％で、小中学生以下のほとんどの参加者は母親同伴であった。本展の情報源については、”百貨店に来て知った”と回答した人が半分以上であった。

結果２）小中学生に対しては、放射線展に参加する前の”放射線の知識の有無”や”放射線についてのイメージ”、”面白かったコーナー”について設問した。”放射線という言葉を聞いたことがある”と回答した小中学生の比率は、小学校低学年（７～９歳）では４３％に過ぎなかったが、年齢とともに増加し、中学生では９５％に達した。

放射線についてのイメージは、小学校低学年では約半数が無回答であったが、”レントゲン”、”原子力発電”、”キュリー夫人”を選択した比率が高学年になるにつれて増加し、中学生ではそれぞれ２３％、４４％、１６％に達した。”こわい”を選択した比率が小学生低学年、高学年のいずれも１０％を超えなかったが、中学生になると１４％に増加した。”役に立つ”、”おもしろい”を選択した比率が小学校、中学校ともに約１０％で顕著な変化は見られなかった。

本展に参加して”放射線のことがよく分かった”と回答した小中学生の比率は、小学校低学年（７～９歳）では２１％にとどまったが、年齢の上昇とともに増加し、中学生では５２％であり、”すこしわかった”と回答した比率をあわせると約９０％に達した。

結果３）高校生以上に対しては、「放射線」という言葉を知った時期、知った経路、放射線展に参加する前の放射線についてのイメージ、自然放射線の存在、芽止めジャガイモや食品について設問した。

「放射線」という言葉を知った時期は小学校時代と回答した比率は５９％で、その経路は学校が４７％、マスコミ（テレビ、新聞、雑誌）が４０％であった。

放射線についてのイメージは、”レントゲン”、”原子力発電”、”キュリー夫人”を選択した比率はそれぞれ４９％、３０％、１５％となり、中学生より相対的に増加した。”こわい”を選択した比率は２１％で、この値も中学生より増加した。

放射線展に参加する前に自然放射線の存在については、”知っていた”と回答した比率は６５％であった。”知らなかった”と回答した比率は３５％であった。”知っていた”と回答した人の放射線についてのイメージは、”役に立つ”、”おもしろい”が２０％、”こわい”が１０％であった。”知らなかった”と回答した人の放射線についてのイメージは、”こわい”が２０％で前者より増加した。

放射線照射による芽止めジャガイモの存在については、”知っていた”と回答した比率は３９％にとどまり、まだ、良く知られていないことがわかった。
食品照射の知名度も低かった。芽止めジャガイモの説明パネルと実物展示を見た後の印象については、”説明がよくわかった”と回答した比率は５７％、”食べてみたい”と回答した比率は１５％、”説明は理解できたが、食べる気がしない”と回答した比率は依然として多く３４％であった。しかし、”放射線照射は有害なので食べたくない”と回答した比率は５％にとどまった。興味深いことに芽止めジャガイモを知っていた人の８５％は自然放射線の存在も知っていた。

結論）「放射線」という言葉を知ったのは主に小学校時代であり、その言葉が入って来た経路としては、マスコミに加え、学校が重要な役割を担っていることが明らかになった。また、放射線のイメージについて、小学生において、”無回答”または”わからない”を選択した回答の比率が学年が高くなるほど減少し、中学生ではほとんどの学生が具体的なイメージを選んだことから、小学生時代に放射線のイメージが形成されはじめ、高校に入学するまでにイメージが確立することが推測された。放射線のイメージについて、”こわい”を選択した比率が中学生において増加したことは、小学校高学年から中学校にかけての教育が重要であることを示している。また、放射線について何らかの知識を有する参加者は放射線についてより好意的なイメージを持っていることが分かった。

６．結び

１９８３年以降、放射線展は毎年開催され、色々な視点から放射線の基礎知識

や放射線利用について紹介されてきた。教科書における、原子力エネルギー、放射線関連の記述の不備が指摘されているが[9]、今後、放射線展は、学校教育を補完して放射線教育に寄与するものとして、期待される。

毎年開催されて来た、色々な数多くのパネル展示、実物展示や体験コーナ、工夫された会場作りの調和によって生まれた、楽しい教養に満ちた放射線展の詳細な報告は、本報の主旨とは異なるので、出来なかった。しかし、１４回続けられてきた放射線展の経過より、放射線の基礎知識や利用を紹介する媒体（テーマ、話題、パネル表現、実物展示、体験コーナ）は数限りなく有ることをが分かった。

最後に、次の事を付記する。上述の放射線展の開催の原動力は、毎年展示テーマを改めることにより出展物にマンネリズムを感じさせないようにした歴代の「みんなのくらしと放射線」知識普及実行委員会および主催者の熱意に依るものであった。また、社会の動向を察知して同実行委員会の下部組織であるワーキンググループまたは放射線フェア専門部会によって提案された、新しい企画に対して、関係機関や各種企業による放射線や科学関係の物品や資料の好意的な出展協力があった。後に続く主催する側の人々や支援団体が代わっても、それらが先人の熱意や好意に応えて努力したことが、毎年の放射線展の盛況につながったものと考えられる。

文献

１）科学年表（丸善）1993

２）科学者人名事典（丸善）1997

３）新版原子力ハンドブック（オーム社）1989, p.918

４）放射線と放射能、宇宙・地球環境におけるその存在と働き　I.G. Draganic Z.D. Draganic, J.P. Adloff（松浦辰男等共訳）, 学会出版センター、1993.

５）細川　康、「みんなのくらしと放射線」展資料（1983～1997）、1996

６）林　壽郎、Isotope News 1997 年 11 月号、 p. 34.

７）大阪ニュークリアサイエンス協会設立１０周年記念誌、1994 年

８）M. Furuta, T. Hayashi, Y. Hosokawa, T. Kakefu and H. Nishihara "Consumer Attitudes to Radiation and Irradiated Potatoes at "Radiation Fair" in Osaka, Japan", Abstracts of 10th International Meeting on Radiation Processing, May 11-16, 1997, California. pp.92.

９）松浦辰男、飯利雄一、放射線と原子力教育と教科書、研成社、１９９２.

Takeyoshi ASANO, Masakazu FURUTA, Toshio HAYASH, Yasushi HOSOKAWA

物理学者列伝(2)ルイス・ハロルド・グレイ

竹沢攻一

県立新潟南高等学校

(”物理教育通信”物理教育研究会 1999 年 No.95　63 頁より)

1 はじめに

物理学者列伝（1）では国際単位系になっているシーベルトを紹介した[1]。（2）では同じく，国際単位系になっていながら，その人となりがほとんど知られていないグレイを紹介したい。単位としてのグレイは，放射線の吸収線量の目安を与える量で，これはシーベルトとは異なり物理的な量で，比較的理解しやすい量である。

J・F・ルティットとO・C・スコットによるロイヤル・ソサイアティの伝記[2]を中心に，文献３）と山崎岐男（やまさきみちお）先生（北海道大学名誉教授）の論文[4),5)]を織りまぜて，以下に簡略にグレイ（1905-1965）の生涯を紹介することにしたい。主要なものは文献２）で，それに主に文献４）を挿入し，ほぼ年代順に並べた。

シーベルトのところでも触れたが，人名に由来する固有の名称をもつ単位を制定する場合には，生存者は対象とならず，故人から採用することになっている。グレイが亡くなってから数年後，とくに1973年から1974年にかけて吸収線量のSI単位〔J/kg〕に対する固有の名称を獲得する問題がI.C.R.U.（後述）によって熱心に議論され，その名称の候補としてすんなりグレイ〔1Gy＝ある物質がある点において，その物質1kg当たり1Jのエネルギーが吸収されるときの放射線量〕に決まったそうである。もしグレイが存命していたら，ブラッグになっていたかも知れないという。グレイの方がふさわしいことは以下の紹介から

L. H. Gray.

図1　グレイと署名[1]

了解されることであろう。

物理の専門家は病院物理学のことはほとんど知らない。実は論文２），３）は1986年夏にイギリス・ノリッジ市にあるイースト・アングリア大学に滞在中だった，新潟大学理学部教授田巻　繁先生にお願いして探していただいたものである。先生も物理固有の領域でなかったので，唐突な私の依頼に戸惑われ，手間取ったそうである。また，山崎先生はＸ線医療が御専門で，先生が訳出された『シーベルトの生涯』[6]が縁でレントゲンについて御講演をいただき，いろいろとお教えいただいた。また，先生はグレイの論文をかなり入手し，それに基づいて文献４）をまとめられていることを申し添えておきたい。お二人に心より感謝申し上げる次第である。

２　グレイが果たした歴史的意義

ルイス・ハロルド・グレイ Louis Harold Gray （愛称ハル Hal；本稿では以下ハルまたは単にグレイと称する）は，同時代の産ではなかった。つまり自分の才能を小器用に流行に合わせるような御都合主義者ではなく，科学の歴史を作っていく人であった。彼の天才はもっと別の世代になって明らかになるような類のものだったのである。

ハロルドの家は３世紀も前からロンドンに住んでいた。そのロンドンでは，実験学とか新哲学と呼ばれていた科学的な事柄に関心をもつ学究が小グループをつくり，時折ロンドンで泊まり込んで話したり，議論したりしたが，それが王立協会のはじまりであったと記録されている。科学的な事柄について議論することによって同好の士相互の利便を図ろうという強い衝動は，ハル・グレイにも特有のことだった。新哲学は今日の科学的方法に等しく，それはイングランドのフランシス・ベーコン（ケンブリッジのトリニティ・カレッジに学んだ）に多くを負っていて，17世紀のグレイ〔達〕をとても喜ばせたのだった。新哲学は単に一つの科目に限定されず，広い科目（物理学，解剖学，幾何学，航海術，統計学，磁気学，化学（Chymicks），自然実験等）で通用するものであった。

20世紀のグレイは，これまたケンブリッジのトリニティ・カレッジの産で，ますます細分化された事柄をますます専門的に学ぶ熱情に支配されていた時代に育った。グレイと家族は本能的な過程によって，このような制約から逃れるために２０世紀の新哲学を取り巻くものを理解したり，物理的，化学的，生物学科学の発展を新しい概念と同調させたりするべきことを予見していた。この過程の中で新しい秩序が定義され，示されるのである。皮相的な批評家はこの過程を科学の受容されている分野の分裂だと見誤るかも知れないが，実際には融合が起こっているのである。放射線生物学と分子生物学がその適切な例である。そして，グレイこそは放射線生物学を創始した人物なのである。

３　幼年時代

グレイは，1905年11月10日ロンドンに生まれ，両親は貧乏だったと書いている。おそらくこの家族を讃える伝承などは，彼の祖父母より遡ることはないと思われる。父ハリ・グレイ（Harry Gray）はロンドンのバーンズ〔Barnes；リッチモンド公園の北東2.5kmの地〕居住の市の吏員で，母はアミィ・ボーエン（Amy Bowen）と言い，ハルは１人っ子だった。

彼は母とともに，壁紙張りだとか，上げ下げ窓用の吊りひもだとか，本からではなく職人の仕事を見よう見まねで覚えたいろいろな技術など，実用的なものを楽しんだ。貧乏だったから彼らは家全体を手入れした。父からは外気を愛することやゲームや散歩を植えつけられた。まだ小さかったころ，日曜の朝になると，バーンズ，ウィンブルドン，コモン，クィーンズミア，リッチモンド公園を経て家へ帰るという長い散歩をしたことがあった。

父は話をすることより，風景を好んだ。このような散歩の時に，グレイは，息子の方だが，暗算の練習としてりんごやみかんの売り買いをする問題を出されるのを喜んだ。彼はもっとほかの問題をだしてくれとせがんで大いに楽しんだのだった。

彼は最初ラティマー（Latimer）スクールにあがったが，13歳の時，キリスト病院〔パブリックスクール〕への奨学金を得た。同校は1552年，エドワード6世がロンドンに孤児養育院として設立したものが発展し，1902年にサッセクス州ホーシャムに移転したという[4]。以後，両親には休日にしか会えなかった。これは彼の父が第1次世界大戦（1918年）後，非常に長時間働いていたころのことである。彼らは半学期毎に学校へ行くのを楽しみにしていたが，母は最初小さなお気に入りの妹（サラ・ブラウエン）の面倒を家で見ていたのでほとんど行けなかった。妹は癌でついに亡くなってしまった。この叔母はハルにとって極端に利他的な見本であった。彼女は，さながらスミス・ドーリアン夫人の小間使であり，夫人からとても愛された。彼が砂糖入れの箱を半分に切り，釘付けし，ペンキを塗るという最初のちょっとした大工仕事を一緒にしたのは，彼女とであった。それは後に彼のホビーに吸収された。

学校のクラスでは，科学で時間を費やすことが彼の喜びであった。科学と数学は彼にとって唯一の重要なものであった。ラテン語やフランス語や英語等は彼の科学の進歩を妨げるものでしかなかった。（彼は大学を終えるまでに，科学以外の読み物は半ダースも読まなかった。）彼に格別の影響を与えたキリスト病院の恩師はC.ブラウン（Chas.Browne；科学部長）と彼に数学を教え，後に寮長（B棟；Barnes B）になったハイド（'Dido'）〔おどけ。名前を言い換えたあだ名か。ローマの伝説では Dido はカルタゴの創始者といわれる女王〕とであった。二人とも大好きな先生であった。ブラウンは彼にとっていくつもの理由で特に重要であった。ハルは，自分の化学的な知識が不足していることを知ったが，ブラウンは実験をしてくれたり，休日に家庭でそれを詳述してくれて彼を励ました。ブラウンも教養があり，広い視野を持っていて，それは日曜の夜，彼の家で催された「（科学最上級生のための）哲学協会（Philosophycal Society）」の会合で特別に示された。少年たちはブラウン夫人お手製の紅茶とケーキを運ぶのを手伝ったものだった。ある休日に，チャールズ・ブラウンは多くの科学最上級生がフルハム通りの癌病院に行くように手はずを整えた。グレイの唯一の記憶では，メイジャー・フィリップスは液体空気中にバナナを落とし，それを取り出してまったく脆くなっていることを示してくれた。グレイが学校を終えた後，ブラウン夫人は癌で亡くなった。このような初期のころに癌に直面したことが，後年，彼の経歴に影響を与えたということに彼は気づかなかった。グレイは，教科書的な問題を解くコツを会得し，理科の実験方法を独自に案出したと言われ，その点をブラウン先生に可愛がられたものであろう。

18歳になって，彼は科学，とりわけ『分子物理学』という本に興味を奪われた。クラウザーの優れたその著書を彼は夢中になって読んだのだった。彼の物理の先生であるケルズイ（Kelsey）がそれに気づいた。彼は大変な厳格主義者だったので，グレイを無慈悲にしごくのだった。とはいえ，ケルズイは立派な講義ノートを書いた優れた物理学者であった。グレイはこれらを学ぶことを楽しんだ。それらは教科書よりはもっと該博で，完全で，直接的であり，しかも洗練されていたので，グレイが1923年12月のクリスマスに行われたトリニティ・カレッジの奨学金をかち取るのに，助けとなったことは疑いない。計算を含む数学を適切に使っているという点でも（理解困難な場合ですら）彼はそのノートを好んだ。実用物理は画板の上にピンを立てプリズムを置いたり，自作の電池や検流計を使ったりすることによって行った。ケルズイは一夏に少なくとも1週間から2週間は彼をワイト島(Isle

of Wight)の自分の小屋に招待したものであった。

4　トリニティ・カレッジ時代

グレイはケンブリッジに行って生物学にはあまり興味を持たず，その科目を無視した。チャールズは休日に読むようにとグレイに一般生物学の本を与えて，物理科学を好む彼の偏見を正そうとした。当時，原子物理学が刺激的だったので，生物学に関心をもつ余地はなかった。ある休日に彼はたまたま障壁整流素子の原理を発見した。なぜなら彼は(結晶上ではなく)真鍮の上に‘猫のひげ’を置いただけの結晶受信機に‘２ＬＯ’(?)を得たからである。彼は偶然の観察を慎重に調べることによって，電解質銅箔に先の尖った電解質銅を軽く触れさせることによって２ＬＯが得られるように発展させた。彼はこれを「公表」しなかった。彼は，整流は不純物原子の偶然の集合（原子集団，クラスター）に基づくものに違いないと考えていたので，銅をさらに化学的に堆積させたいと思ったのだった。

ケンブリッジでは，２学年の終わりにある自然科学優等試験の第Ｉ部を選ぶことをねらったので，１学年ではグレイは物理学や数学，化学を勉強し，（おそらく彼が原子物理学の知識に強かったので）‘上級生奨学金’をかち取ることができた（1926年）。しかし彼は５月試験には不完全だったので，第２学年で鉱物学を加えるよう勧められた。彼はそれに従ったので第２学年の終わりには第Ｉ部の第１級（首席か？）に入ることに成功した。「鉱物学」は次年度の第Ⅱ部物理学の「古典的」論文に役だち，直交３軸の屈折率係数が異なる物質の波状表面に含まれる問題を思いつくという，よい出発点が得られた。後に似た経歴をたどるリー（Douglas Edward Lea）が4級下にいた。彼も卒業後，キャベンディッシュ研究所に入り，後，放射線生物学に研究方向を転換したのである。

1927年に第Ⅱ部で第１級に入ったので，グレイはキャベンディッシュ黄金期（Augustine period）1928-1933年の間，同研究所のメンバーに加わるという栄誉を得た。そこには専制君主としてのラザフォードやトムソン，ウイルソン，ブラケット，コッククロフト，チャドウィック，エリス，アストン等といった霊感を受けたサークルがあった。チャドウィックがグレイの公の監督者で，エリスは優秀な指導者だった。この二人とは，皆が一緒に研究したがっていた。

グレイは，1929年にγ線に関する最初の論文を Proceedings of Royal Society of Rondon に発表した。Ｗ・Ｈ・ブラッグ（Ｌ・ブラッグの父）は1912年に，RaC′（^{214}Po)のα線１個により標準状態の空気中に作られるイオン数とその放射体からの距離との関係を測定し，ブラッグ曲線を得た[7]。これから照射された固体内にある小気体充満空洞中に生じる電離と媒質中に吸収されるエネルギーとの間の数学的関係が示唆されたが；グレイは最初の論文で，その問題を独立した観点からさらに発展させたので，ブラッグ－グレイの法則あるいは空洞原理と呼ばれるようになった。これは空洞電離箱の原理となっており，また外挿電離箱（Gioaccino Failla，1937年）もこの原理から開発されたものである。致死量程度の放射線を人体や物質に照射しても，吸収されるエネルギーは少ない。したがって，それを熱量的に絶対測定しようとすると，装置が膨大なものとなり実用的でない。これを解決したのが，ブラッグ－グレイの法則なのである[5]。

グレイは自分の理論をＸ線にあてはめ，後に中性子線にも適用した[3]。一般に吸収線量Dは，質量dmの物質に放射線によって付与された平均エネルギーをdεとするとき，$D=d\varepsilon/dm$　と表される。ブラッグ－グレイ関係式では，物質のグラムあたりの吸収線量Dは　$D=J_m W S_m$　と表される。J_mはイオン密度（気体のグラムあたりのイオン対の数），Ｗはイオンを１対作るのに気体中の電離粒子によって消費された平均エネルギー，S_mは荷電粒

子（X線の場合には２次電子）の媒質中での質量阻止能の比を表す（質量阻止能＝荷電粒子が単位長さあたり消費するエネルギー／その媒質の密度）。実用面では，W＝33.7 eVの空気が使用される。

ケンブリッジで同時代を生きたクールソンは，大学院生としてのグレイの研究活動をこう記している。

「グレイは物質と放射の相互作用の研究に突き進んだ。最初，彼は宇宙放射を研究した。当時はまだそのようには名づけられていなかったが。この放射が高速β粒子からなるのか，超硬γ線からなるのかという悩ましい問題に光を与えるために，彼はクライン－仁科の公式の理論的な予言を立証する，既知のγ線の吸収について研究した。この公式は間もなく発展させられてディラックの相対論的電子論になった。

次ぎに博士論文に導く彼の主要な研究を始め，硬いγ線の吸収についての研究で1930年にトリニティにおけるプライズ・フェローシップ〔試験成績の優秀な学生に与えられる奨学資金〕を与えられた。タラッタントは電子１個あたりの吸収係数は元素の違いにより不規則に変化することを示していた。最初に，トリウムC″から出るγ線とラジウムCから出るγ線を比較することによって，グレイは電子に対するクライン－仁科の公式が記述している機構に何かをつけ加えねばならないことを示した。次いで，これが電子を原子に結合する力に明確には影響されないことを示した。それはあたかも入射γ線が原子核を高エネルギー準位に励起し，原子核が基底状態に戻るときに特徴的な二次放射を放出しているように思われた。中性子の発見を報じた有名なチャドウィックの論文の直前に印刷された論文の中で，グレイとタラッタントは，普通のコンプトン散乱が小さくなる大角度での場所の散乱放射線の観察によって，この二次放射の存在を示したのであった。それはほとんど等方的のように思われた。

後の研究から，それは吸収系の“特性放射”ではないことが示された。というのは，それは線源がラジウムの場合とトリウムの場合とで差があったからである。それは中性子でもありえなかった。それは電子－陽電子消滅であると同定された。さらにこれらの電子は最初に対創生されたに違いなかった。吸収の測定からこれはそのエネルギーと一致することが示されたし，１年前にブラケットとオッキャリーニがこの対消滅が起こると提案していたこととも一致した。さらにその１年後に，グレイがヘリウム原子で同じような対消滅は生じないことを示してしめくくったとき，物理学の新たな１章が完成されたのであった」。

彼は大学の奨学資金で，さらに３年間核物理学の研究に留まれることになった。論文を書いている間に，彼に息抜きとして文学に興味を持つようにしてくれたジャートン〔・カレッジ〕の盲目の少女（Girtonian）と婚約した。その旧姓はフリーダ・マルジョリー・ピコットと言い，チャネル諸島のオルドニー島獲得王〔procureur du roi of Alderney；ノルマンジー（コタンタン半島）沖合い10kmの英国領〕ウイリアム・ジョン・ピコットの娘であった[3)]。彼女は病気で失明し，点字（Braille）の本と読み手の助けでジャートンで英語と神学を勉強した。その後，彼女はニューンハム〔・カレッジ〕の‘員外学生’としてケンブリッジで英語の優等生試験（Ⅱ，１）の勉強をした。今度は神学の勉強でケンブリッジに戻ってきて，２年の終わりに，神学の優等生試験第Ⅱ部で第１級を授与された。この読み手の中にグレイがおり，彼は新約聖書の生活の仕方に献身することになった。彼が結婚するとき，周囲の人から見合わせてはどうかとすすめられたというが，彼は前からの約束だし，彼女を限りなく愛しているといって結婚に踏み切り，生涯を通じて盲目の夫人に尽くしたという。

彼にとって研究室においても銃後としての家庭においても，人生はたいへん幸せであった。コッククロフトーウォルトンの実験が行われ，チャドウィックが中性子を発見したキャベンディッシュの大実験室の一部を彼は占有していた。カリフォルニアでアンダーソンが陽電子を発見したのもこの時期であった。ディラックはケンブリッジの著名な人物で，キャベンディッシュにいた。

5　転回点と中流生活

核物理学に熱狂がなくなったわけではなかったが，明らかにグレイはそれが完全に満足すべきものではないと感じ始めていた。当時メソディスト教会の平信徒説教師になっていた妻を通して，彼はあるメソディスト若手グループのメンバーになった。彼らはその基準に従って，新約聖書の教義に一致するよう厳密に生きようとしていた。彼らは法人として（corporately）各種の社会活動を行い，実際の放浪者ではなかったが困難な時代に遭遇して（1932年）移動住宅の強烈な“悪臭”の中で生活していた人々に，小屋を建てて１つの家庭を営ませたりした。それは彼ら自身を大きく改造することになった。グレイが世界には核物理学よりもっと急を要するものがあることに気づくようになったのはこのころのことで，1934年，チャドウィックを通して，ロンドンのある病院でガンの治療で使用するラジウムとＸ線の測定を手伝う物理学者を探しているというメッセージを受け取った。彼は少なくともこれを研究することに決め，同病院はロンドンの西北に当たる郊外ミドルセックス州ノースウッド〔Watford の南8km；1965年に Greater London の一部となった〕にあ

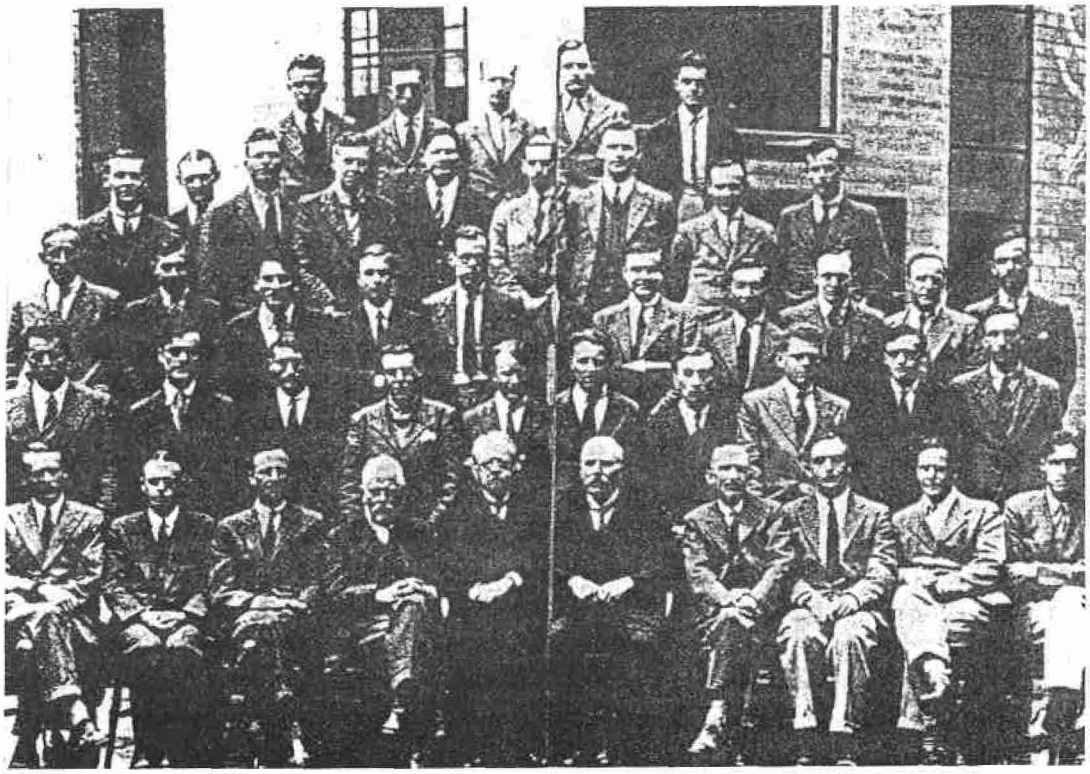


図２　1933年撮影のキャベンディッシュ研究所のスタッフと学生。最前列の左から3番目チャドウイック，5番目J.J.トムソン，6番目ラザフォード，7番目ウィルソン。2列目のラザフォードのすぐ後で矢印の人がグレイである[4)]。

ったマウント・ヴァーノン（Mount Vernon）病院に行き，院長のカスバート・ウォレス卿と病理学者Ｊ・Ｃ・モットラムに会って惹きつけられた。モットラムは安価で信頼性のあるソラマメ（Vicia）の種を使ってＸ線とγ線が生物に及ぼす効果の違いを比較しようとしていた。根の先端が吸収するＸ線とγ線のエネルギーを測定する問題は１つの挑戦であった。それは'空洞理論'の方法に従うかも知れないと思われた。その病院はその当時，結核（tuberculosis）からガン（cancer）へと専門を変えたばかりで，彼以前に物理学者のスタッフはいなかったので，彼が面接を受けたとき任用の範囲はまったく曖昧だった。バーツ医学校（Medical school of Bart's）の物理学教授ホップウッドとミドルセックスの物理学教授ラスと議論した後，彼の日常の業務の義務がきわめて少なく，時間の大部分を研究に割くことができることを理解したので，彼は（ケンブリッジでの総収入より少ない給料で）その任用を受け入れたのであった。こういう理由から，彼は残りの４年目もトリニティ奨学金を継続することが許され，これが彼の給料に加わった。給料は最初，大英帝国対ガン協会(British Empire Cancer Campaign; B.E.C.C.)基金から支給された。１，２年後に，彼は少壮物理学者(senior physicist)として王立外科大学のプロフィット(Prophit)給費生になり，B.E.C.C.からの支援は，病院に対するキャンペーンで作られたブロック毎の補助金によるごく小規模な装置の支給に制限されるようになった。

マウント・ヴァーノン病院での最初の年には技術者はいなかったので，彼は自ら装置を製作し，組み立てた。

彼に病棟の巡回を依頼していたカスバート・ウォレス卿と，Ｊ・Ｃ・モットラムから話を聞いて，彼はガンについて理解し始めていた。彼はこの二人にはたいへん恩義を感じていたが，特にそれが顕著だったモットラムは，成長過程における動力学についても，顕微鏡下における染色部分の観察による病気の分類についても，まだそれほど興味を持ってはいなかった。グレイは，役立ちそうな予備のスライド標本で，モットラムが薦めた本と照らし合わせてみたり，豆の根に沿う生物ー電気ポテンシャルの分布の（リンデマンの電気メーターを使った）不変な記録のように，確実な生物・物理学的測定を試みたりすることによって，生物学の勉強を開始した。これはモットラムとなされた協同研究とは別のもので，本質的に放射線の線量計測（dosimetry）という純物理学に分け入るものであった。

自分の仕事の将来の方向を念頭に置いて，彼はケンブリッジを去る前に，鶏卵におけるオリファントの（Ｄ－Ｄ）中性子の効果を探すべく，Ｆ・ゴードン・スピア博士の協力をとりつけた。その効果は観測されていなかったので，中性子の生物学的効果が研究されるようになれば，もっと強力な中性子源が必要になるはずだと彼は確信していたのだった。そこでロンドンにあるラジウム・ビーム治療研究部門（Radium Beam Therapy Research Unit）のスタッフであったジョン・リードと，マウント・ヴァーノン病院に高電流加速器のような建物を建てる計画に参加できるかどうかについて議論した。リードは1936年1月にこれに同意したので，グレイはまったく大胆にも，第１段階として400ｋＶ（Ｄ－Ｄ）中性子発生装置の部品購入としてB.E.C.C.に合計400£を請求した。すでに実験室の技術者に加わっていたＪ・Ｇ・ワイアットの協力で，さらにB.E.C.C.から100£を得て，彼らは機械を組み立て，1938年までには最初の生物学的成果が得られるようになった。ほとんど同時期に，ジョン・ローレンス（Lawrence）とポール・イーバーソールド（Aebersold）はＥ・Ｏ・ローレンスの33インチ・サイクロトロン（カリフォルニア）で作られた中性子を使った生物実験の結果を公表した。マウント・ヴァーノン病院の中性子のＸ線やγ線に対する生物学的効率は，その平均エネルギーがかなり低いおかげで，カリフォルニアの中性子のそれよりずっと高かった。リードとグレイによってどんな種類のイオン化のための照射にも

あてはまる照射単位が定義されたが，概念の点でも大きさの点でもそれはほとんどradと同じであった。しかし彼らは不適切にもそれを‘エネルギー単位’で表してしまったので，1953年に国際放射線単位・測定委員会（International Commission on Radiological Units and Measurements；I.C.R.U.）が吸収される放射線量（dose）の単位として‘rad’を定義するまでに15年も経過したのであった。今日，国際単位系を通して委員会は，放射線量の物理的単位をグレイ(＝100 rad)と再定義している（Resolution 9 of the 15th Conférence Générale Poids et Mesures, 1975）。

1937年8月と10月に「放射線線量測定（上）」「同（下）」を発表した[4]。

1938年，グレイは蓄電式電離箱法とその応用に携わっていたスウェーデンの放射線物理研究所とシーベルトを訪ねた。訪問後，グレイとシーベルトは特に蓄電式電離箱法のことで手紙で連絡を取り合い，シーベルトは自分が考案したラジウム砲をヘムリンス機械製作所を介してグレイのもとに送り届けさせたりした[6]。1939年の早い時期にグレイはマウント・ヴァーノン病院で実験室を設立する資金を獲得し，シーベルトにいろいろな問い合わせたとき，シーベルトの祝福と支援を得たのだった。

図３　グレイとシーベルトが並んで写っている（後列の円柱の前に，シーベルトの向かって左側にグレイがいる）。この写真はグループ写真の一部で，1952年ストックホルムでの放射線生物学会議の際のものである[6]。

1939年1月には，「波長が放射線生物学的効果に及ぼす影響」を発表。低温で照射時間を延ばすことで，ラットの網膜に細胞の糖分解桟構への傷害を増加し得るとし，糖分解などの代謝に放射線が影響することを証明した。また，β線，γ線，X線でその影響に差があることもつきとめた。（以下，論文の紹介は文献４）による。）

1940年1月には，「硫黄光電子のX線イオン化への物理学的研究」および「マウス皮膚のX線およびγ線照射による反応比較」を発表した。前者は放射線測定に関係し，後者はγ

線の方がX線よりも紅斑と落屑をきたすには1.3倍，脱毛と滲出では1.6倍の線量が必要とし，X線の方がγ線より皮膚反応を起こし易いとした。同年3月には，「生物学的研究用中性子発生装置」を書き，２年有余を費やして作ったその装置にはコッククロフトとウォルトンの回路を組み入れて400kVを発生し，重陽子で重水素に衝撃を与えるのに適したイオン管を装填していた。同年3月には，「300kVで作動させた発生装置からの中性子放射」を発表。中性子放射の測定には，①熱中性子への変化とロジウム元素中で熱中性子により生ずる放射能，②熱中性子が重水素原子核を作るために陽子と結合する際に放射するX線の強さ，③空気中で速中性子線により生ずるイオン化　のいずれの方法でも可能であると報告した。同年11月には「速中性子の生物学的効果に関するいくつかの実験」を書き，鶏の胚線維芽細胞の組織培養およびソラマメの根での細胞分裂を2.8MeVの速中性子とγ線でその抑制力を量的に比較している。そのことから逆に，単位組織容積あたりに吸収されるγ線および中性子エネルギーの同一量の効果を比較することができるようになった。両者の細胞分裂－線量曲線の違いは，γ線では数100の２次電子により，中性子では単一反跳電子によるものと説明している。

1941年3月に，「膠質状黒鉛粒子の電気泳動度に及ぼす中性子およびγ線イオン化の影響の比較」を発表している。末尾で，この研究は戦争による中断を余儀なくされたが，定性的には両者は同じであり，おそらく中性子の生物学的作用が関係するであろうと言っている。

リードとグレイは戦争の間，交わりを絶った。グレイは調停委員のメンバーとして軍部への協力を要請されたとき拒絶した。彼はそれより何年も前に，戦争方法の放棄の誓約をし，‘裁判’を要求していたからであった。しかし彼は少なくとも‘召集’年齢を超えて間もないころであった。それで中性子研究を行うことが‘戦争努力’になるからと招かれたけれども，ケンブリッジに行くことは断った。

グレイの性格のこの側面を理解するために，ジョン・リードを引用するのがよい。

「グレイが私に与えた多大な影響は，他の人と振る舞うときの彼のある非実際的な性格によっていくぶん弱められた。1936年に彼はババリアで休日を過ごす計画を立て，しきりに国家間の友愛を促進したがった。田舎を何マイルも放浪して，背に大荷物を背負ってとぼとぼ歩いている農家の婦人に出くわした。グレイは彼女の所に走って行ってそれを運ぶのを許してくれるよう頼んだのだった。彼女の眼から見れば，異国風の衣服を身に着け，たちの悪いデザインと聞き慣れぬアクセントのドイツ語を話す男が荷物に手をかけて話しかけているのであった。彼女は荷物をしっかりとつかみ，できる限り急いだ。また，仲間でザルツブルク近くの岩塩坑行きの旅行を計画し，案内人からトンネルを連れて回ってもらった。最後になって，明らかに案内人はチップがもらえるものだと思っていた。グレイの強烈な個性がわれわれに何もさせず，彼がものごとを計画するという点は別として，グレイにチップを集めさせるべきだという理由は特になかった。しかし，案内人がその務めに対してチップを期待しているという考えはグレイには思い浮かばず，われわれが彼に任せっきりにしていたので，この男が示した意地悪い態度から，この場合国際的な友好を促進するという点で成功しなかったことは明らかである。また，グレイはナチと交渉することを強要された。彼は，彼らが光明を見てこなかったのでただわれわれと対立する見解を持ち，異なった振る舞いをしているのだと信じ，世界を自分のような人間で満たそうと夢想する誤りを犯した。つまり，このことを彼らに明解に辛抱強く説明すれば，彼らはそれに応ずるようになるだろうというように」。

グレイは一人で仕事をしている間，一様性の特徴として単純に放射線を当てた場合の根

の成長の抑制効果と，２通りの条件で照射した場合のこの抑制効果との違いから，この効果の細胞学的な基礎を発見したいという衝動に駆られていた。これを行う上で彼はスコールズ夫人（Mrs Scoles）という熟達した仲間を得た。彼女は技術者としての役割を果たしたとはいえ，植物学で学位を得て技術と知識を得ていたのである。彼らは一緒になって巨視的にも微視的にも膨大な量の観測データを集積した。それは，グレイがハマースミス病院付属医学研究施設放射線治療部門（Medical Research Council's Radiotherapeutic Research Unit at Hammersmith Hospital）のスタッフとして異動するまでは刊行されなかった。

６　壮年期

第２次世界大戦の間に，大きな技術的発展がもたらされて，直接の核分裂や高確率でより信頼性のある高エネルギー機械が導入された。戦後，医学研究施設（Medical Research Council(M.R.C.)；秘書はエドワード・メランビイ卿，王立協会会員(F.R.S.)）は，新しく拡張しつつある平和時の研究の必要性から急いでその方針を変更した。核物理学における発展の生物学的な側面に配慮して，ハマースミス病院付属放射線治療部門は拡張され，多方面に広がった。新たなユニットやグループが作られて放射線による生物学的作用（放射線生物学）の研究を強化し，利用可能な新放射線や放射性物質を臨床に使えるようにした（これはしばしば核医学 nuclear medicine と呼ばれている）。グレイは，放射線治療部門（所長はコンスタンス・ウッド博士）の古株物理学者であり千里眼だったメランビイによって，特別にそのメンバーに引き入れられた。明らかに，放射性アイソトープを利用する技術を発展させ，ボーグとハワード・フランダースによって作られた静電発生機を放射線生物学の研究に応用したのはグレイだった。

グレイが迎えられた研究所の新たなスタッフは，放射性アイソトープのノーマン・ヴィールや自動放射線透過写真のステフェン・ペルク，細胞学のアルマ・ハワードとシャーリー・カーターであり，後からティクヴァ・アルパー，マイケル・エバートおよびオリバー・スコットが加わった。彼らと他の名前との組み合わせは，今やイギリス放射線生物学において歴史的意義をもつようになっている。

同部門の装置のもっとも重要な項目は，医学用サイクロトロンである。それは次の３つの目的に資するものであった：

(a) 原子炉で利用されないような（最も短い寿命の）アイソトープを製造すること。
(b) 放射線生物学の研究のための静電発生機から利用しうる高ＬＥＴ放射線〔LET(linear energy transfer)；物質中を通過する荷電粒子の運動経路に沿っての単位長さ当たりにその周囲の物質の特定範囲が受け取るエネルギーのこと〕の領域を追加し拡張すること。
(c) 中性子線治療の臨床試験に適した中性子線ビームを作ること。

新しい建て屋は，明らかに（適当に遮蔽した）サイクロトロンを入れる建物とアイソトープを処理し，短寿命のアイソトープを臨床に使用し，中性子線治療を臨床に施すための部屋を必要とした。超高電圧Ｘ線治療の実験的試みに対して8MeV線形加速器をこの建物に据え付けることも決定された。加速器に対して次の２つのデザインのいずれかが選ばれねばならなかった。すなわち１つはニューベリー（M.R.C.自身の物理学スタッフの１人）とG.E.C.のウィルショーが共同して提案した空胴共振器のタイプであり，もう１つはモルヴァーン（Malvern；Hereford and Worcestor 州）にある遠距離通信研究会社にいたＤ・Ｗ・フライ指導下のチームが提案した搬送波のタイプである。実験的な仕事が何年もなされた後，後者のタイプが選ばれた。機械の建造に対してフライが提供した明細を設計するた

めに，メトロポリタンとヴィッカースの２人に接触がもたれた。サイクロトロンの建築に対して，古参のサイクロトロン技術者（ジョン・ギャロップ）と彼の最初の助手（デリー・ヴォンバーグ）およびそのチームのさらに多くのメンバーが任命された（1948年）。これらのプロジェクトのすべてを計画したり，土地を交渉したり，ラムゼイの会社に情報を提供したりするため，この建物のために選り抜かれた建築家マレイ＆ホワイトは多くの時間を割いたので，個人的な研究の時間はほとんどなかった。部門の所長であったコンスタンス・ウッド博士は訓練された放射線治療士だったので，自然と技術者や物理学者のアドバイスを強く期待するようになった。グレイは古参として，概して彼女の代弁者となった。

1948年1月に「マウス腫瘍に生体内移植腫瘍の照射と試験管内腫瘍片照射とによる中性子とγ線の致死効果の比較」を発表。この研究はマウント・ヴァーノン時代に行ったものだという但し書きがあり，生物学的研究を担当してくれたモットラムが1945年に死去したこともつけ加えているという。ガン2146に中性子およびγ線を照射した際の平均致死線量を生体および試験管内で測定し，生体内では1/24，試験管内では1/9.5，中性子の方がγ線より致死線量が少なかった。ソラマメの放射線照射実験の結果とあわせて，致死効果は主として染色体とか染色質の変化によるものと結論づけた。

1949年，３つの事件が同時に起こった。M.R.C.の秘書の職からエドワード・メランビイ卿が退いたこと，通貨切り下げに伴う一般的な財政危機に見舞われたこと，および提案されていた新造建て屋の最終的な図面の提案と見積り額が最初見積もられていたものよりずっと高額になることが分かったのである。

提案された３つの目的への利用の各々が見えるように経費の正当な事由を別々にして，サイクロトロン・プロジェクトを最初から再調査することが求められた。膨大な報告書と多くの議論の結果として，このプロジェクトは医学研究施設（M.R.C.）にふさわしい委員会としてはぎりぎりの最低線だとして正当化されてきたと思われたのに，機械の明細は60インチから45インチに格下げされていた。このプロジェクトを続行するという決定は，ほとんどグレイとスピアの啓示を受けた唱道に基づくものであった。

このストレスと遅れの時期の後で，グループはサイクロトロンを建造したり，アイソトープの方法論を発展させたり，放射線生物学の研究を指揮したりする仕事を進めた。容易に想像されるように，ある人には部門の科学的な仕事が重い財政的委託に相応する医学的な発見には導かないように思われたであろう。実際は，ＤＮＡの合成サイクルをG_1期，Ｓ期，G_2周期（細胞周期の間期）に分ける古典的な成果と同様に，最も引用された論文と（露出フィルムを使った自動放射線写真術のような）最も広く使用された技術のいくつかは，その当時の研究所のメンバーの寄与によるものであった。サイクロトロンの建て屋の中で進行していた日一日と卓越していく技術を見た人々は，支出額が医学研究に対する堅実で総合的な投資であったことが長期にわたって証明されたことをまったく疑わなくなった。1949年の財政危機がサイクロトロンの即時着工を阻害し，グレイはその完成をみることはなかった。

このような大規模な技術プロジェクトには遅滞はつきものだが，以上のようなフラストレーションを引き起こしたのである。そのような状況では臨床所長ウッド博士と数年間そこで働いてきた非臨床副所長グレイの間には背景と抱負の違いがあり，人格的困難と緊張をもたらした。1953年までにこの意見の相違は深刻になった。そのころまでにグレイは，放射線治療には酸素が重要になるに違いないと確信していた。

1949年12月には「放射性物質のβおよびγ線エネルギー放射率のイオン化法による測定実験」を発表。放射性同位元素を用いた測定にはかなりの精度があることを実証した[4]。

1950年11月，「医学放射線学の非医学的な面」を発表。これはイギリス放射線学協会の会長演説をもとにしたもので，病院物理学士協会に参加する人数の著しい増加とそれまでに果たしてきた業績をＪ・Ａ・クロウザーとＤ・リーなどの例をあげ，さらに放射線生物学の今後の発展には医者でない生物学者と化学者の活躍に期待されることが多いと結んでいるという。同年5月に，「ソラマメの根の成長に及ぼす電離放射線の影響」を発表。ソラマメの根にラドン液中の浸漬で出るα線を照射し，細胞分裂の残った細胞の数を比較した。1951年には連続5回にわたり連載した「ソラマメの根の成長に及ぼす電離放射線の影響」を発表。彼の放射線生物学者としての地位を確固とした論文であった。

1952年に彼は，５種類の植物と昆虫の筋肉の放射線照射後の反応に対して酸素の効果にある類似性があることに思い当たった。それは彼がレビューを書いているときに気づいたのである。彼は，研究の方向を化学溶液や培養した哺乳類の細胞，動物の腫瘍における酸素の効果に変えるべきだと提案した内部文書（そのコピーは現存している）を回覧した。少なくとも研究所の５人のメンバーがそれに注目した。1953年の初めまでに，これらの研究の原理的な結果が知られるようになった。これらの結果は医学仲間とは広範に議論されたけれども，その問題は臨床レベルでは取り上げられなかった。

1952年5月に，「1946年とそれ以後における生きた細胞に及ぼす放射線の作用」を発表。これは第２回ダグラス・リー記念講演会に話した内容を論文にしたもので，リーとの交友関係，リーが標的説にたどり着くまでの経緯，その業績，リー死後における放射線生物学の進歩などを語っている。リーは1947年，グレイ研究所２階の研究用植物が栽培してあったベランダから誤って墜落して37歳の若さで亡くなったということである。リーは1946年に『生きている細胞に及ぼす放射線の作用』という著書を著し，その中で放射線の生物学的作用は細胞内の“かけがえのない本体”を傷つけるためで，その本体は遺伝子であるという仮説に基づいて，微生物から高等動物にわたる多種多様な放射線効果を集めて記述した。自然の奥にひそむ複雑な根本原理へのリーの洞察力は師匠のラザフォード譲りであると高く評価された。惜しみても余りある人物であった。

1953年に，グレイは国際放射線単位・測定委員会のイギリス代表委員に選任され，後に副委員長に選任された。

1953年12月，「電離放射線による細胞レベル傷害の始まりと進歩」および「放射線治療１因子としての照射時の組織内溶解酸素濃度」を発表した。前者は放射線による細胞の傷害は，個々の放射線粒子の飛跡に沿って起こり，また組織内酸素濃度により修飾されるなど，化学的要素が加わってきたことなどが述べられていた。後者は腫瘍細胞のＸ線感受率は無酸素状態より加圧酸素化した場合の方が3倍くらい高く，速中性子線に対する腫瘍細胞の感受率は酸素圧にはほとんど影響されないことなどを報告し，放射線治療中に患者に酸素を吸わせると効果が上がるかも知れないと言っている。

所長と副所長の間が不仲であるという困難な状況になったので，グレイは彼の立場を医学研究施設に表明した後に，1953年に辞職した。彼は６カ月の有給休暇を与えられた。同施設は，グレイに研究所のもう１つの地位に応じてくれると有り難いのだがと表明し，ただちに研究所からそのような申し出が来た。しかし新たな提案が舞い込んだ。

ある匿名の篤志家のおかげで，大英帝国対ガン協会はマウント・ヴァーノン病院に放射線生物学研究所を設立することができた。さらに同協会は，６カ月の休暇の終わりの1953年11月にナフィールド特別研究員の地位をグレイのために設けた。それは一部をリエージュ（Liège；ベルギー）で，一部をストックホルム（スウェーデン；シーベルトがいた）で過ごすというもので，科学をするための理想の地位に置くという委任事項つきで放射線

生物学研究部門所長（Director of their Research Unit in Radiobiology）に任命するというものであった。彼の見解では，その所長職は外部には何の義務も持たないで，ガンの一般的な問題－その治療と理解－に関する放射線生物学の基本的な研究を行うものでなければならなかった。ハマースミスでの優秀なチームを解散することで彼が感じた悲しみは，チームのあるメンバーが放射線生物学の側に移籍してノースウッドで彼に加わったことと，他のある人々が核物理学の医学生物学への応用に宛てられた部門に好条件で適切な地位を得たことによって埋め合わされた。彼はその主たる関心を，放射線生物学におけるＬＥＴの影響から超高電流線形電子加速器を使ったマイクロ秒という時間スケールでの初期事象の研究へと移すことを決意した。それは当然，1952-1953年期にハマースミスのチームによって開始されていた，腫瘍（tumours）の放射線治療における酸素の影響という課題の検討すべきたくさんの問題点のいくつかを研究していくということになった。

7　放射線生物学における大英帝国対ガン協会（B.E.C.C.）付属研究施設

グレイは1954年9月に新しい研究所を設立するためにマウント・ヴァーノン病院に戻った。当時のチームは，Ｊ・Ｗ・ボウグ（設備と放射線源がないバーソロミュー病院医学校のロトブラト教授と仕事をするためマウント・ヴァーノンに出向していた）とＯ・Ｃ・Ａ・スコット（ハマースミスでの研究生，秘書；後のオリバー卿），Ｒ・Ｒ・ランスレー（技術者）であった。それにアメリカからの訪問研究者エリーナー・デシュナー博士を加えてグループが完成した。施設は極めて粗末なものだった。グレイは，適当な暖房系統を欠いた，戦時中に応急病棟として建設された建物をあてがわれた。最初の冬には，首にスカーフを巻きオーバーを着て机に向かっている彼の姿が見られたが，衰えることのないユーモアをもって長時間仕事をしたのであった。

グレイの寄与は，1954年の「B.E.C.C.年報」を依然としてもっとも興味深い読み物にしていた。そこには‘生殖の完全性’（reproductive integrity）という術語の定義が見いだされるだろう。それは細胞の放射線生物学で用いられている最も重要な概念で，哺乳類（mammalian）の正確な細胞生存曲線が利用できるようになる以前に，グレイが注意深く考え出したものである。

翌年３月にグループにサバティカル・イヤー〔７年毎に与えられる１年または半年間の有給休暇〕でアメリカ合衆国から来たアーネスト・ポラード博士が加わった。デシュナーと協力してグレイは，エールリッヒ腹水の腫瘍の染色体破損の最も詳細な研究を始めた。使用した方法は，ハマースミスに滞在していたアメリカの細胞学者アラン・コンジャー博士が開発したものであった。この仕事は，退屈で膨大な量の，時間を食う実験を要し，これは新しい仕事に着手する前の基本線を確立するときに必要な類のものだった。酸素が細胞に及ぼす効果を調べるこれらの実験には気体相と液体相の完全平衡が必要で，さらにグレイの注意深い実験能力を課すものとなった。不幸にも，彼の最初の年の仕事は正しい実験条件を得るのに失敗したために無駄になってしまった。実際，バクテリアに関するハワードーフランダースとアルパーの仕事が行われるまでは，エールリッヒ腹水の腫瘍を扱うこのプロジェクトは確固とした基礎の上に据えられることはなかったのである。

1955年10月にカナダのサスカチェワン州から来たジョン・ハント博士が，照射物質中のスピン共鳴の装置を発展させるためにグループに加わった。

グレイは研究スタッフに各自の考えを自由に推進させ，絶えず温かく激励し，それぞれの研究内容を十分に把握した質問や示唆をして助言した。人に対しては常に優しく寛大で，友人や研究スタッフには，親分は研究中のテーマに関し自分にすっかり任せきっていると

感じさせることで，信頼関係の強い絆を得ていた。彼の個性はいうに及ばず，研究へのひたむきな態度は，恩師ラザフォードと多くの点で一脈通ずるものがあり，彼の部屋にはラザフォードの写真が常に飾られてあった[4]。

1954年以後のグレイの研究は，放射線治療に際し，正常組織の細胞に放射線の影響の増加を来さず腫瘍細胞にだけ影響を増やす方法を見いだすことを目指していた。腫瘍効果のみならず他の修飾因子が研究され，たくさんの新知見が明らかにされた。

1954年にそれまでの放射線生物学的研究を集大成して，「電離放射線により生じた生物学的傷害のいくつかの特徴」を発表した。

1954年7月，「レントゲンからラドへの移行」という小論文を発表した。この論文が，後にラド単位に代わってグレイが使われるきっかけになったと考えられる。

1956年は，マウント・ヴァーノンにおける仕事に大きな展開が見られた年であった。B.E.C.C.は，本来，日本の文部省の科研費と同じように，研究費は出すが建物には金は出さぬというのが基本姿勢であったため，グレイの部門はマウント・ヴァーノン病院に間借りしていたが，グレイの弟子で後に２代目の所長になったＯ・Ｃ・Ａ・スコットの父が保険会社の経営でたくさんの財産を残し，建物の建築費用を出して造り，B.E.C.C.に寄付した（そのため世襲のSirの称号をもらっている）。

新しい建物が完成し，次の年まで公式には開所しなかったけれども居住が開始された。この建物のデザインとレイアウトは放射線研究所の最も経済的な利用に関するグレイの深い考えの結果であった。この建物はその後10年間使用されたが，デザインの基本的な欠陥が見いだされなかったことは，彼の計画能力への賛辞となっている。驚くことに彼の計画の１つの手抜かりは，彼が飲物を常用していたのにお茶を飲む部屋がなかったということである。（象徴になっていたお茶のポットは今でも彼の事務所の床に飾られている。）ペルクと自動放射線透過法を作ったアルマ・ハワードは，すでに広い関心をもっていた。もともとのハマースミスのメンバーであった彼は，1956年1月1日に彼らに合流し，細菌学者のデビッド・デューイは放射線に関係する生化学の問題を研究するために最初から招かれた。海外からの滞在者には，はつかネズミの皮膚と毛に及ぼす放射線の影響を研究していたブラウン大学のヘルマン・Ｂ・チェイス教授や酸素電極の研究を発展させていたＷ・ロジャー・インチ博士，豆の根に及ぼす放射線の効果に関する本を書くためにサバティカル・イヤーを使ってニュージーランドから来たジョン・レード博士がいた。ボーグは電子パルス発生器を組み立て始め，機械は翌年運転されるようになった。このときグレイは，この機械がパルス的な放射線〔化学〕分解（pulse radiolysis）だけでなく，電子スピン共鳴法と組み合わせて使えるように希望した。前者のテクニックは当然とてつもない成功を収め，放射線化学の革命をもたらした。後者のアプローチはマウント・ヴァーノンではあまり価値を生じなかった。

1957年5月20日，B.E.C.C.の会長であったデボンシャー公閣下（His Grace the Duke of Devonshire）が公式に新ビルディングを開所した。その後すぐさま，研究所は放射線研究訪問者クラブのホストとして振る舞うことになった。その組織はその後英国放射線研究学術協会へと発展した。

この年の9月，アメリカのウィートン（Wheaton）大学の化学者Ｆ・Ｏ・グリーンとカナダのオンタリオ州ハミルトン〔ナイアガラの滝の西方約100kmの地〕から来たＲ・Ｊ・ホースリイ博士が訪問者として研究所に加わった。

M.R.C.の実験放射線病理学部門（Experimental Radiopathology Research Unit）のＭ・エバート博士と共同して，ハワード博士は不活性ガスの放射線防護効果に関する彼女の研

究を始めた。ボーグとデューイは線形加速器から射出された2μsの単発電子パルスの栄養型バクテリアに及ぼす効果について実験を行った。アルゴンヌ国立研究所から来たＥ・Ｌ・パワーズ博士とボーグはバクテリア胞子について同様の実験をした。これらの実験は胸の踊るような新しい放射線生物学の位相を画するもので，それはパルス放射線生物学と呼んでよいかも知れない。

酸素の効果をシミュレートする放射線増感剤を見いだす試みで，常磁性イオンCo^{2+}が哺乳類細胞の好気放射線感受率（aerobic radiosensitivity?）に影響するかどうか見るためにテストされた。

1957年8月には，グレイはシンポジウムで発表した内容を「放射線治療中の酸素化　放射線生物学的な面」に要領よくまとめている。

1959年7月には，「細胞および組織に対する放射線作用に及ぼす酸素の影響」を書いている。

1960年は，腹水腫瘍細胞の照射前蓄電（storage；貯蔵?）が放射線の感受率に及ぼす影響に関する仕事が報告された。デューイは増感剤のＮ-エチル-マレイン酸イミドとプロテクターであるグリセロール（＝グリセリン）が霊菌（Serratia marcescens）に及ぼす効果について調べた。

何年もの間，グレイ自身は酸素圧（oxygen tension）に対してポール・ハーシュが発展させた電気化学セルに特別の関心を抱いてきた。彼が管理的義務やその他の義務をもっていたにもかかわらず，自ら溶解液中の酸素と気体相中の酸素の微量分析装置のこの特別な部分を扱うエキスパートになる時間的余裕を見いだすように努めた。この仕事の結果として，グレイとデューイは以前に倍する注意を払って各照射時間における酸素圧を制御することに成功し，世界中の多くの放射線生物学者に影響を与えた。

スタンフォード大学から来たＲ・Ｅ・スティール博士とボーグは，標本の放射線化学系の一時的にできる生成物を観察する予備実験を報告した。オンタリオ州から来たＧ・フレース博士（G.Froese）は，酸素電極を使って酸素圧と腹水細胞の呼吸の割合(respiration rate in ascites cells)の間の関係を測定して，酸化の物質代謝が放射線感受率の変化に対し臨界レベルより十分低いことを示した。

1961年にグレイは，マウスとラットの血液に対するヘモグロビンの解離曲線に関していくつかの実験をしたとき，またもや実験家としての彼の多才さと新しい訓練の本質を吸収する彼の能力を証明した。さらに彼は，放射線が‘反応開始剤’（initiator）とみなすことができるかどうかを調べる試みから放射線発ガン現象に関する仕事を始めた。

同年5月に「放射線治療における修飾因子酸素の放射線生物学的理論」をアメリカの雑誌に発表した。この年に，王立協会特別会員に選ばれている。

そうしている間に，1959年に放射線研究協会は，第２回目の放射線研究世界会議(International Congress for Radiation Research)を1962年に組織することを決定した。グレイは同会議の議長だけでなく，組織委員会の委員長にも選ばれた。そして彼は，この会合の詳細な計画立案に膨大な時間とエネルギーを奪われた。アルマ・ハワード博士は総括秘書に選ばれ，スコット博士は組織委員会のメンバーだった。だから，同会議と結びついた組織化のためのたくさんの仕事が研究所の中心になった。その不可避の結果として，実験的な仕事はある程度傍らに押しやられてしまった。議長としてグレイは，会議の成功のための義務の負担を自分自身で引き受け，ほとんど心配しすぎといっていい有り様だった。このストレスは２年間続いた。

この時期の間，同会議の事務によって〔研究に〕分裂がもたらされたにもかかわらず，アルゴンヌ国立研究所から来たＥ・Ｊ・ハート博士がＪ・Ｗ・ボーグと一緒に溶媒和した

（溶質が溶媒分子と結合した）電子のスペクトルを発見したと発表した。（しかしながらそれはマンチェスターで独立に観測されていた。）デューイは後に6アミノ-ニコチンアミドの明らかな放射線感受性を調べている。その物質は，それに続く注意深い仕事によって，最も興味深い実験的人工物に基づくものであることが示された。

グレイの友人達の多くは，ハロゲイト〔Harrogate；ヨークの20km西〕会議のために彼自身が荷重負担をしていると感じた。1962年の秋には彼が極端に消耗していることは明らかであった。1963年1月，彼は激しい苦しみ（脳溢血）に襲われ，5カ月の間研究所から遠ざけられた。彼の左手は完全には回復せず，長年の趣味と楽しみであった精巧な家具製作をもはややれなくなったことは，深い悲しみであった。彼は大変な勇気を振るってリハビリの訓練を始め，友人たちの忠告に反して1964年3月に日本各地で講義をするという申し出を受けると言い張った。ハンディキャップにもかかわらず，彼は一連の講義で計り知れない面倒を引き受け，日本のホストに深い印象を与えた。

彼は，国際原子力機関の技術援助の一環として3月16日から4月7日まで日本に滞在し，3月19日に放射線医学研究所を訪ね，24日と27日に同研究所で「放射線生物学における酸素効果に関する実験計画」について討論した。25･26日，4月1･2日と一連の講義“Fundamental Aspect of Radiobiology”を行った[5]。同研究所のほか，東大，遺伝研，京大，国立ガンセンターなどでも講演ならびに討論が行われた。飯田博美（当時の放射線医学研究所養成訓練部長）は，同研究所の物理系の研究者も，物理学者としてのグレイにまったく気づかなかったことを質問によってまとめ，報告している[4]。なお，グレイと呼ばれる生物学者は何人もいるということで，区別すべきだという。飯田自身はグレイがブラッグ－グレイの法則のグレイであることに気づいて仰天したといっている。体の不自由なグレイの国内での世話は，同研究所の仲尾善雄部長が同道して，万全を期したという。4月9日の東大医学部総合中央館で行われた講演“Some Recent Advances in Radiobiology”の要旨が日本放射線影響学会ニュースNo.9に掲載され，文献５）に転載されている。この縁で，日本の研究者がマウント・ヴァーノン病院を訪問したり，そこに留学したりしている。B.E.C.C.は1971年からグレイ研究所と名称が変わり，近年はCancer Research Campaign(CRC)と呼ぶそうである。1968～69年にグレイ研究所に留学した東北大学医学部教授の坂本澄彦は，すべての研究所員が自分の研究室や自宅にグレイの写真を飾っているのに強い印象を受けたという[3]。同教授は，グレイ夫人と何度も会い，シェイクスピア劇を見に行ったこともあるそうだが，盲目なだけに耳はたいへん鋭敏であったという。

グレイは早い時期にH・B・ヒューイットと近づきになり，その腫瘍の移植に関する正確で定量的な研究に強い印象を受けていた。ヒューイットは放射線生物学研究所に加わらないかと勧められたが，これが実現する前に新しい動物小屋が建てられねばならなかった。資金調達には長い遅延があった。その後，必要な新しい建物を建てるのが遅れ，1962年の終わりまでは完成しなかった。その時から，ヒューイットは動物コロニーを造り，生体に照射したときの生存曲線を得るという価値ある研究を続けたのであった。

人生最後の年に，グレイは初めて自身のパワーと研究所の将来に関する信念がなくなったところを見せた。のみならず研究所が閉鎖され，仕事が中断されるのではないかとさえ危ぶんでいた。かつては易々とこなしていた仕事が労働になり，試練に変わったのを見ることは，友人たちには悲しかった。この悲しみという底流にもかかわらず，彼は死の当日まで新しいアイデアを投げ続けたのであった。1964年のバートナー賞（アメリカのテキサス州ヒューストンにあるアンダーソン病院腫瘍研究所より授与された）授賞講演で発表された照射による発ガン現象に関する彼の考えは，すでにこの分野におけるデータの解釈に

際だった価値があることが証明されていた。1953年の酸素の効果に関する最初の論文以来，放射線治療に高圧酸素を使用することと関連して，彼は臨床の発展に密接に関わってきた。それは科学的な関心と同様に彼の人道主義に衝き動かされて発展したものである。

人生最後の数週間に彼は，子宮頚部の悪性腫瘍(ガン)の取扱いで，新しい機械（cathe-tron）と高圧酸素とを結びつけた臨床への可能性に強い興味を抱いた。そして死ぬ前の日（1965年7月8日）に，この結合は可能であるという胸踊るような知らせを聞いて喜んだ。

グレイの偉業を記念して，1967年に国際放射線単位・測定委員会（ICRU）は国際放射線医学会（ISR）および国際放射線医学会議（ICRR）と協同してグレイ・メダルを制定した。第１回は1969年に，第２回は1973年に，放射線生物学で大きな業績を有する学者に授与され，現在に引き継がれており，折々にグレイの名を冠した会議が催されているという[5]。

1953年からグレイが死ぬまでの間に公刊された論文のリストを見ると，彼の科学的関心の広がりについてかなり誤解を招きかねない印象を抱く。この時期を通して，彼は放射線生物学のほとんどすべての分野に誰よりも深い関心を持っていたのである。雑誌に投稿された論文の校閲と世界各地の科学者との個人的な議論を通じて，彼は放射線生物学のほとんどの領域に永続した有益な影響を及ぼしたのであった。しかしながら，この科学的真理に対する熱烈な関心にもかかわらず，彼には先ず人間性が前面に出てくるのであって，彼が最初の一撃で倒れた日の朝，病院に入る若い技術者の承認の準備をして過ごしていたということは，おそらく象徴的なことであろう。その仕事は容易に他の人に委託できたのに，彼は自分の義務であると感じていたのであった。

８　学界と委員会

グレイは，喜んで公共の福利に対する奉仕に自ら携わりたいと思っていたけれども，疑いもなく彼を最も魅了したのは議論し，アイデアを交換することであった。そのような活動を通して，いくつかの団体がつくられた。イギリス放射線学協会(The British Institute of Radiology)は多くの利益を賄う，長く常設されたカトリックの団体であった。グレイはそのメンバーで，あるときは会長になり，レントゲン賞とファラデイ・メダルを授与されるという栄誉を受けた。そのような団体にもかかわらず，もっと小さく，もっと特殊な団体も必要であった。そのようなものの１つが病院物理学者連合で，グレイはその創設者で，ある時期は会長であった。

特に第２次世界大戦後，照射効果について多国間の様子を交換するフォーラムを開く必要性が生じてきて，アメリカ合衆国では，放射線研究協会が創設された。グレイと結びつきが多く緊密だったＥ・Ｌ・パワーズはこう書いている[5]：

「放射線研究協会の最初の会合は，1952年の春にアイオワ市で開かれた。同協会に招待されて，ハル・グレイは２つの主要な演説の１つをした。その題目は『電離するような照射で誘起された生物学的損傷の特性について』で，当時の知識状況の優れた要約になっている。放射線研究協会はオベリン〔Oberlin；ルイジアナ州か〕で考えられてきて，ワシントンで誕生した。この会合はその最初のもので，照射効果に関心をもつ物理学と生物学における科学者を結びつけるという目標を実現する不確実な試みであった。この協会の多くの人々にとって，ハル・グレイを選んだことは当時なされ得る最も適切で，最も幸運な選択であった。しっかりした成果と評判をもつ物理学者が，照射された生物器官に現れる複雑な問題について，通暁し，共感的に話したのだった。彼は出席しているさまざまな科学者に向かって挑戦状を投げたのである。気分を高揚させる知的経験を提供するとき，彼は熱

中し，楽観的でほとんどはしゃいでいた。われわれの何人かがその会合以来首尾よく成長した協会の歴史を性格づけたとき，グレイは協会が意味をもつものであり，この目標が到達可能であるという風潮と展望を与えてくれたのだと考えている。確かにその晩にわれわれの多くは，われわれ自身と自分の因習的でややもすると狭くなりがちな関心とを超えた装いに影響を受けたのであった」。

同じようにグレイはイギリスの同名の協会の成長を促進した。何年かの間，放射線研究訪問者クラブは活動してきていた。グレイの方針は，照射の研究に着手する研究所は多くの外部のメンバーを招待するだろうから，それによって便利に泊まって議論したり，実演したり，夕食を共にしたり，懇親会（combibulation）をしたりできるようにするというものであった。このような非公式な会合は，物理学者や化学者，生物学者，放射線生物学の医学者の間ではきわめてありふれたものになっている。この訪問者クラブから，よりアカデミックな一連の規則と幹事を備えた放射線研究協会が創設されたが，それは訪問者に便利で特徴的な会合を組織するという点で訪問クラブの自由さを維持するものであった。グレイは同協会の初代会長であった（1958-1960）。

この最初の２年間の会長職の間に，新しい小さな協会の不確実な財政資力の下で，第２回放射線研究会議を英国で開催するための非公式な国際委員会が招請されたが，それは誠実だがかなり試験的なものであった。最初の会議は，1958年にアメリカのバーモント州バーリントンで成功裡にもたれた。他の国際的機関は，この２つの初期の企てが優先権を持つと一般的に考えている。しかし，実際には，他の２国が，比喩的にいうとこの赤子を開催していた放射線研究協会を脱退したのだった。そこでは彼のもっと用心深い仲間たちの何人かは財政的な障害で失望したが，組織委員会の会長に選ばれたグレイは，無邪気なくらい自信に満ちていた。委員会の非常に有能なメンバーの助けによって時とともに，グレイが正しいことが証明された。会議は1962年8月にハロゲイトでもたれた。詳細な点をもゆるがせにしない典型的な細心さから，彼は1962年春に委員会の他の人々が見落としていた予算面の誤りに気づいた。彼は個人的な努力の結果として，委員会を援助する追加の予算を調達したのだった。その大会がハロゲイトでもたれたとき，自分の努力がいささかでも役に立つと考えたときには，骨身を惜しまなかった。例えば，彼はディナー後のスピーチをすることは喜ばなかったが，大会に出席している多数のメンバーに宿所を４箇所に分けて宛てがう必要から，その会議の晩餐会を１晩に４部門を下回らないという重荷を自らに課した。この会議が彼の努力とハワード博士の協力のお陰で著しい成功を収めたと一般に受け止められた。そして報告担当者システムを開拓した最初の放射線会議として記憶されている。それは他の会議以上に多方面の題目をカバーする全体構成を可能にし，この大会で，グレイは国際放射線研究協会の成立に積極的な役割を演じたのである。

グレイほど人がよく，公共心のある人なら委員会の仕事を断ることはできず，彼にとってこれは国家的な委員会でも国際的委員会でも同じことだった。

第２次世界大戦直後の核エネルギーの物理学的，生物学的局面の強い関心については，すでに述べてきた。医学研究施設は，適当な政府部局，例えば核エネルギーの生産の物理的，化学的，工学的様相に責任をもつ供給省と，放射性物質と電離放射線の医学的使用に責任をもつ保健省に対して助言をしてきた関係で自然と重きをなした。この分野で施設の格別なエキスパートとして会員に補充されてきたグレイは，当時の施設の委員会－核物理学の医学的・生物学的応用委員会－の秘書と３つのサブ委員会－臨床，防護およびトレーサー元素の各委員会－のメンバーとして密接に関わってきた。数年のうちにこの委員会は，

臨床の問題を扱う部分と防護に関する部分の２つに分裂した。

電離放射線に対する防護は，手に負えそうにない問題を提出した。幸運にもイギリスは１０年以上も前に医学熟練工に対する放射線の危険性に気づいていた先進国の１つであり，イギリスＸ線・ラジウム防護委員会を通して職業的な被曝に対する防護規定を創始していた。国際的な水準では、国際放射線学会議(International Congress of Radiology)が２つの委員会を設置した。国際放射線防護委員会と国際放射線学単位・測定に関する委員会がそれである。

第２次世界大戦前の初期の仕事におけるこれら２つの委員会の勧告は，アメリカ合衆国における核分裂の戦時発展の間採用された，実際的規制の基礎を作ったのだった。平和的な発展への転換は合衆国によって先導されたが，次いでイギリスでは，前者の概念と実践を広範に修正していくだけでなく，新たな人工放射性物質と特殊労働者の小集団の被曝という限定された問題から全住民の潜在的な被曝という一般的な問題へとさらに発展させていくことが必要になった。グレイは M.R.C.の防護委員会とその許容放射線量審査委員団（Tolerance Doses Panel）に関するあらゆる活動に関わった。

時間の推移とともに医学研究施設の構造は一時的な必要性に従って変化した。防護委員会は，形はあれこれ変わったが，さまざまな名前と新しい議長の下で生き残り，グレイは10年以上にわたって主要なメンバーであった。1953年に彼が同施設の部門を去ってからは，委員会の彼の仲間によっても,高エネルギー放射線および重粒子に関する小委員会の議長に彼を招待した施設自体によっても,彼の勧告を求めて教訓にしようということはなくなった。

政府レベルでは，勧告は法律制定をもたらし，それがまた規制と慣例をもたらす。最初の「放射性物質法」の結果として，担当国務大臣とされてきた保健大臣は，規制法と慣例法のどれを除外（proscription）したらよいか勧告してくれるための諮問委員会を創設する必要に迫られた。再び自然な成りゆきとしてグレイが選出され，彼はその死まで歴代の議長や国務大臣，さらには対立する両内閣の下で働いたのであった。

彼が関係してきた国々の多くの委員会と彼を外すことはできないということと結びついて，特に後者の理由から，グレイはいままで述べてきた国際委員会やその各種（小）委員会に委員として引き込まれたのである。これらの機関は，そのメンバーが国を代表するのではなく，専門分野における専門的知識によって選ばれるという点で，国際的組織としては典型的なものとは言いがたいものであった。グレイは1953-1956年と1956-1959年の間の放射線防護国際委員会の委員会Ⅳ部会（3 Mev までの電磁放射線および電子，中性子ならびに陽子に対する防護）の委員であった。

放射線学での単位・測定委員会におけるグレイの活躍を，長年議長をしていたローリストン・テイラー博士は次のように書いている：

「グレイは1953年にコペンハーゲンの会合でI.C.R.U.のメンバー資格者に選ばれた。1956年に彼は委員会の副議長になった。1962年に引退するまで彼はその地位にとどまった。この時期を通じて彼はメンバーではなかったのだ。彼は終始活動的で，この時期を通じて委員会が達成した重要な決定のいくつかに主要な役割を果たした。実際，それは委員会の全歴史を通じてもっとも生産的な時期の１つであった。これは間違いなく，かなりの程度グレイの寄与によるものであると考えることができる。

私は，照射量と単位に関する基本的な科学と哲学を含む困難な問題にわれわれが直面したときのことを何度でも思い起こすことができる。最終的に私がハルに，その晩の質問を考えて，翌朝までに助けが得られるかどうか調べてもらえないだろうかと依頼するまで，

テーブルの回りの議論は果てしがないように思われた。彼は部屋に引き揚げ，窓を開けて考え始めるのだった。朝までに彼はほとんどいつも，それまで表明されてきた感情のほとんどを考慮し，すべての者の感情を十分満足させるような合理的な解に到達したものだった。

われわれの問題のいくつかを通して振り返ってみると，問題を考えるグレイの能力は，明らかに初期の訓練と興味と，彼自身が放射線の線量計測（radiation dosimetry）に対して最大の基本的な寄与をしてきたという事実にさかのぼるものである。その原理は今日ブラッグーグレイ原理として知られている。実際は，それはグレイ原理と呼ばれてきた。なぜならW・H・ブラッグはもう１つの関係からそれについて考えたけれども，長期にわたって重要性をもつ関係からは見なかったからである。これを見る能力をもち，この問題に関する第１論文を読みさえすれば誰でも確信するように表現したのがグレイであった。もしその類比を想起するならば，たぶんクルックスーレントゲン管をあげるべきであろう。

このような重大な寄与をしたグレイの経験の他の側面は，放射線生物学における仕事であり，そこで彼自身は線量計測の原理についての仕事をしたのであった。これは彼に，研究中の生物学的効果と照射の物理学的面の研究に必要な線量計測の間の関係を展望するのに強力な感覚を与えた。この経験が，彼をして物理的原理をまったくばかげたことにあてはめたり，それらのせいにしたりするといった，瑣末な深みにはまるのを防いでくれ，実際それらを価値あるものにしているのである。I.C.R.U.での彼の活躍を通じて，彼の寄与を無数の点で重要なものにしていたのは，彼の広いバランス感覚と判断であった。

もちろん，このことはすべて彼自身の人格と対をなしていた。しかし，彼は１つの問題について熱中して考えるとき，自分の考えを抑えて，明白で客観的に問題を考察することができたのである。これは言うまでもなく，彼自身の観点が考慮に入れられないというのではなく，誰に対しても不快にならないような方法で導入されるということなのである。世界を通じてグレイの判断には価値があり，重んじられたし，彼は常に人の相談にのっていたのであった」。

多くの賞と名誉がグレイに授与された。彼は1961年に王立協会会員に選ばれ，1962年にリーズ大学の名誉理学博士号を贈られ，アメリカ・ラジウム協会の名誉会員になっている。1960年にイギリス放射線生物学研究所のバークレイ・メダルを受け，1964年にバートナー賞を授賞している。1953年には，彼はイギリス放射線生物学研究所におけるシルバナス・トンプソン記念講演者であり，定期的にL・H・グレイ記念会議が開催されて栄誉を讃えられている。1962年に国際放射線研究会議の会長を務めたし，1950年にイギリス放射線生物学研究所の所長を，1946-47年に病院物理学者協会の議長を，1959-60年に放射線研究総合協会の設立者にして初代議長を務めたのであった[3)]。

９ 結論

物理学者にして放射線生物学者グレイは，当時の卓越した実験家であった。しかしながら，振り返ってみると，科学に顕著な重要性をもっていたのは，グレイの‘影響’であった。彼は彼自身の発展の多くを，洗練された散文や申し分のない雄弁術によってではなく，個人的な議論によって仲間に伝えることができた。膨大な通信者がたぶん気づかずにこのことを証言しており，彼の無類の爆発するような笑いはいくつかの曲がり角を通して廊下まで流れたとか，子供っぽいユーモアのセンスでよくおどけたとか，彼が人々のアイデアに関心をもっていたのと同様に，明らかに人々にも関心をもっていたとか，友人をつくり交友関係を保つ天賦の才をもっていたとか，変わることなくすりきれたトリニティ・タイ

〔トリニティ・カレッジのネクタイ。彼は母校愛が強かったという〕をしめていたとかいうような些細な性癖についてまでたくさん書き残されている。彼のジョークとか話にはとげがなく，自分を抑えていることが多かったといい，身なりには無関心で来日したときにも綻びたスーツを平気で着ていたという。おそらくこの男への最大の光明を与えている賛辞は，彼の妻がガーンズィ紙に書き送った次の文である。

「今日タイムズ紙に死亡記事が出たＬ・Ｈ・グレイ博士は，オルダニー島と密接に結びついている。彼の遺骨は，妻の祖先の一族の地下納骨所に安置するため，そこに運ばれることになるだろう。毎年，彼は心から愛するようになったこの島にやってきて，子ども達が多くの歴史が刻みこまれている土が静かにころがっている場所を故郷にすることに誇りをもって欲しいと願った。彼はスインジ（Swinge）の岩に腰をおろし海の波を見ながらこう言った。『私は世界各地の多くの美しい場所を見てきたが，これ以上の場所はなかったよ』と。彼はテレグラフ湾の水に仰向けになって横たわり，崖がいろいろな色に染まるのを見上げているのが好きだった。

島の人々は，大新聞で強調されてきた彼の知性の達成についてはあまり知らず，その人格の温かさと実直さを知っていた。世界中のすべてにメッセージで触れられるのは，インスピレーションと同じくこの温かさなのである」。

1965年9月19日のＥ・Ｌ・パワーズ教授が述べた頌徳の辞の抜粋が文献５）に収められているが，その一部を引くと，パワーズはハル・グレイを“学問の分野であろうとなかろうと，有徳の人生を厳しく送った人”として讃え，彼はあるアイデアの創始者や他人への貢献の真の意義を正しく評価し，顕彰したし，彼自身の発表の範囲限界に対しては謙虚に正直に表現したと指摘している。彼は生活様式が誰よりも崇高で，純真無垢で，弟子達を薫陶し，遥かな未来に想いを馳せるように仕向けてくれた，科学界で唯一の“聖者のような”人であった。まじり気のない純真さ，誠実さ，清廉さ，正義に立ち向かうしっかりとした支えは彼の内部で燦然と輝き，すべての人に感動を与えるものがあった。彼は，一緒に働き良き人々と研究室にいて，解かなければならない手ごわい問題をもって生き生きとしていたことで，弟子達に深い感動と幸福感を与えたという。単位に名を残したのは，その業績とともに，それにふさわしい人格者だったという側面もあったようである。

参考文献

1）竹沢攻一，物理教育通信　第87号，41-58，1996；放射線教育　VOL.1 NO.1，1997 に転載
2）The Royal Society，“Biographyical Memoirs of Fellows of the Royal Society”，vol.12，194-217，1966.
3）E.T.Williams and C.S.Nicholls ed.“The Dictionary of National Biography 1961-1970”，Oxford University Press，453-455，1981.
4）山崎岐男，「放射線単位に名を残した人々　その３　グレイ」，ユニカＸ－レイ写真研究 No.201/Vol.42 No.2，75-82，1991.
5）山崎岐男，「放射線単位に名を残した人々　その７　グレイ（補遺）」，ユニカＸ－レイ写真研究 No.208/Vol.43 No.3，126-133，1992.
6）Hans Weinberger著，山崎岐男訳，『放射線防護の父　シーベルトの生涯』，考古堂（新潟市），1994.
7）長倉三郎ほか編，『岩波　理化学辞典　第５版』，岩波書店，1998.

「放射線教育」投稿規定

1999. 6. 11

(1) 掲載論文の種類

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

(2) 掲載する論文の内容

①放射線，放射能に関する分かりやすい論説，解説，および関連の深い事項（エネルギー，環境，リスクなど。

②放射線教育に関する実践報告，提案，批判など。

③放射線教育に役立つと思われる論文，書籍などの紹介。

(3) 原稿の書き方

①原稿はそのまま印刷できるようにワードプロセッサーで作成する。

②用紙はＡ４，１ページに４０字×４０行　上下左右３０㎜空けて書く。

③文字の大きさは表題１６ポイント，その他本文など１０．５ポイントとする。

④第１行目に表題，２行目に氏名，３行目に所属を書く。

⑤本文の前に要約（１５０～２００字程度）をつける。

⑥原稿は原則として１０ページ以内とする。

⑦使用言語は日本語とする。

(4) 掲載までの手順

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

(5) 論文の版権

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

(6) 原稿の送付

本文およびフロッピーを同封して下さい。

（送付先）〒152-8550　東京都目黒区大岡山２－１２－１

東京工業大学原子炉工学研究所　　小髙 正敬

封筒の表に「放射線教育原稿」と朱書する。

見本

中等教育における放射線教育

－理科教育専攻の大学生へのアンケート調査から－

村石 幸正
東京大学教育学部附属中･高等学校
（〒164-8654 中野区南台 1-15-1）

〔要約〕理科教育を専攻している大学生へのアンケート調査を行った結果，①将来理科の教員になろうとしている学生の半数以上が放射線の影響についての学習経験がないこと，②放射線の性質や影響についての学習経験とそれらに対する知識量との関係をみると，学校外での学習経験は成果があがっているとはいえず，中等教育の理科での学習が成果をあげていることがわかった。

１．はじめに

筆者が「放射線の学習」の実践を始めたのは，ある時に筆者自身が放射線やその影響についてあまりにも無知であることに気がついたからであった。おくればせながらも少しずつ勉強し始め，改めて自分まわりの人達に注意を向けてみると，「歯医者で絶対にレントゲン写真をとらせない」同僚，「相手が長崎出身だからと結婚を反対された」妻の友人，「原子炉は原爆と原理が同じだから，いつ爆発するか分からないから恐ろしいものだ」と思っていた知り合いの化学の先生，などがいた。これには少しびっくりし，このままでよいのかという疑問を感じ，特別単元として授業実践を始めたのである。しかし，（エネルギー問題に絡む）原子力発電に付随する放射線･放射性物質に関して，あるいは，必要性･重要性が増すであろう医療放射線に関して，考え･判断することが求められていくであろうこれからの社会の中では，一教師の実践ということではなく一般的な知識･教養として，中等教育としての組織化された放射線教育が重要となっていくと思われる。この時重要になるのは，カリキュラムの内容だけでなく，理科教師が放射線についての知識と興味関心を持ってくれていることである。はたして中等教育の理科教師は放射線教育に関心を持っているのであろうか。そしてまた，これから理科教師になろうとしている人達は，どのような放射線教育を受け，そして，どの程度の知識を持っているのであろうか。このような疑問を抱くようになってきたおり，東京学芸大学の理科専攻の学生にアンケート調査をさせていただける機会を得た。そこで，理科教師になろうとしている人達の放射線に関しての学習の経験を調査してみることにした。

２．アンケート調査の概要

２．１．目 的

中学高校での放射線の種類性質について，あるいは，放射線の影響についての学習経験を調べる。また，放射線の種類性質や放射線の影響に関しての学習経験とその知識量との関係を調べる。

編集後記

放射線教育 Vol. 2, No. 1 がようやく出来上がりました。先生方から原稿をいただいてから発行までに長い時間がかかったことをお詫び申し上げます。

今年３月２９日に文部省から、平成１５年度の新入生から適用される新しい高等学校学習指導要領の告示がありました。この要領によると「理科総合A」という科目で、エネルギー資源の利用について教えるとき、原子力に関連して天然放射性同位体の存在やα線、β線、γ線の性質にも触れることとなっています。従ってこれから先、本誌のはたすべき役割がますます増えまた重要になることと思います。会員の皆様と共に誌面の充実をはかることにより、公に存在価値が認められる立派な学会誌に本誌を育てていかねばと考えています。

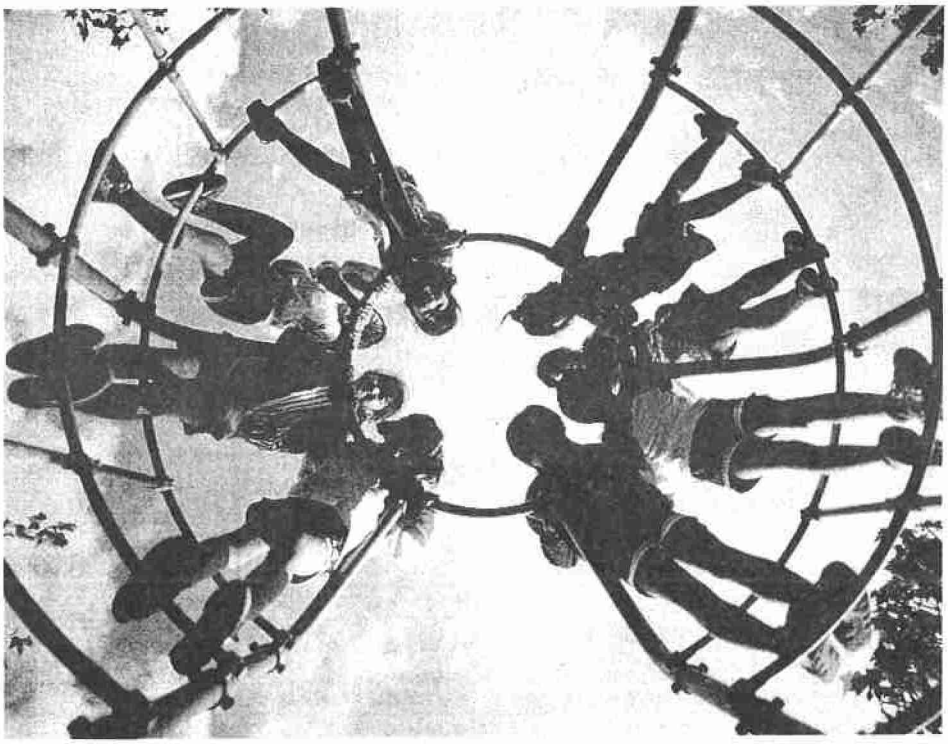
本号まではB5版ですが、次号からはA4版で発行することになりました。それにともない投稿規定の１部が改訂されました。これから投稿される方は、本号に記載されている新投稿規定に従ってください。

会員の皆様から放射線教育に関する論文がたくさん届くのを楽しみにしております。（小高正敬）

編集者　放射線教育フォーラム編集委員会
委員長　渡利一夫　（放医研特別研究員）
委　員　大野新一　（東海大開発技術研）
菊池文誠　（東海大理学部）
小高正敬　（東工大原子炉工研）
村主　進　（原子力システム研究懇談会）
中村佳代子（慶応大医学部）
村石幸正　（東大教育学部附属高）
顧　問　今村　昌　（理研名誉研究員）
発行者　放射線教育フォーラム（会長 伏見康治）
〒105-0003　東京都港区西新橋１－１７－２
三和第一ビル5F
Tel/Fax：　03 - 3591 - 5366
E - mail：　mt01-ref@kt.rim.or.jp

Japan Association for Promotion
of Science Education and Equipments

明日の地球を担うサイエンティストたち
みんなの好奇心を応援します。



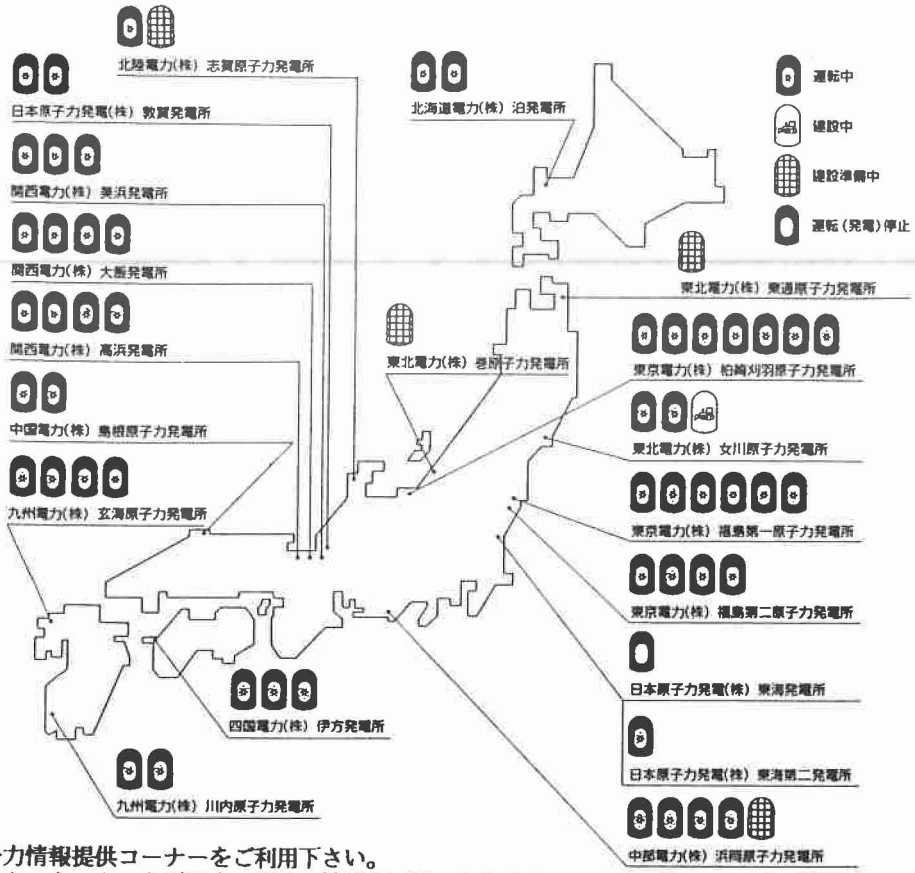
(社)日本理科教育振興協会は，学校教育用理科機器・算数数学機器およびそれらの関連教材の健全な発達と普及を図り，わが国の学校理科教育の振興に寄与する事を目的とする，文部省主管の公益法人です。会員数は全国約2,000社，文部省委託事業をはじめ各種展示会・講習会等，教育用理科機器の普及・啓発に関する幅広い活動を行っています。

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

社団法人 日本理科教育振興協会

〒101-0052 東京都千代田区神田小川町3-26
TEL. 03-3294-0715
FAX. 03-3294-0716

電気の１／３は原子力発電によるものです



各地の原子力情報提供コーナーをご利用下さい。
また、インターネットでも原子力に関する情報がご覧になれます。

会社・団体名・ホームページアドレス	原子力情報提供コーナー	問い合わせ先
北海道電力 http://www.hepco.co.jp	●北海道電力本店（原子力ふれあいコーナー）	011-251-1111（代）広報部
	●原子力PRセンターとまりん館（情報公開コーナー）	0135-75-3001
東北電力 http://www.tohoku-epco.co.jp	●東北電力本店（原子力情報コーナー）	022-225-2111（代）広報部
	●女川原子力PRセンター（原子力情報コーナー）	0225-53-3410
	●東通原子力建設準備本部（原子力情報コーナー）	0175-46-2225
東京電力 http://www.tepco.co.jp	●東京電力本店（原子力情報コーナー）	03-3501-8111（代）原子力計画部
	●福島第一原子力発電所サービスホール（原子力情報コーナー）	0240-32-0127
	●福島第二原子力発電所エネルギー館（図書コーナー）	0240-22-5500
	●柏崎エネルギーホール（情報公開コーナー）	0257-23-3138
中部電力 http://www.chuden.co.jp	●でんきの科学館（原子力資料コーナー）	052-201-1026
	●浜岡原子力館（原子力情報コーナー）	0537-86-3481
北陸電力 http://www.rikuden.co.jp	●北陸電力エネルギー科学館ワンダー・ラボ（原子力情報コーナー）	0764-33-9933
	●アリス館志賀（原子力情報コーナー）	0767-32-4321
関西電力 http://www.kepco.co.jp/knic	●関西電力本店(原子力情報センター)	06-446-1924
	●美浜原子力PRセンター（原子力情報コーナー）	0770-39-1210
	●高浜発電所ビジターズハウス（原子力情報コーナー）	0770-76-1221
	●大飯発電所エル・パークおおい「おおいり館」（原子力情報コーナー）	0770-77-3053
中国電力 http://www.energia.co.jp	●中国電力本店（エネルギア原子力情報コーナー）	082-541-5728
	●島根原子力館（エネルギア原子力情報コーナー）	0852-82-3055
四国電力 http://www.yonden.co.jp	●四国電力本店（原子力ライブラリ）	0878-21-5061（代）広報部
	●伊方ビジターズハウス（原子力ライブラリ）	0894-39-1399
九州電力 http://www.kyuden.co.jp	●九州電力本店（原子力情報室）	092-761-3031（代）広報部
	●玄海原子力発電所展示館（原子力情報コーナー）	0955-52-6409
	●川内原子力発電所展示館（原子力情報コーナー）	0996-27-3506

原子力発電所の運転・建設状況（1998年3月末現在）

	事業者	発電所名(号機)	所在地	型式	認可出力(万kW)	営業運転開始
運転中	日本原子力発電(株)	東海第二	茨城県那珂郡東海村	BWR	110.0	1978年11月28日
		敦賀（1号）	福井県敦賀市	BWR	35.7	1970年3月14日
		〃（2号）	〃	PWR	116.0	1987年2月17日
	北海道電力(株)	泊（1号）	北海道古宇郡泊村	PWR	57.9	1989年6月22日
		〃（2号）	〃	〃	57.9	1991年4月12日
	東北電力(株)	女川原子力（1号）	宮城県牡鹿郡女川町、牡鹿町	BWR	52.4	1984年6月1日
		〃（2号）	〃	BWR	82.5	1995年7月28日
	東京電力(株)	福島第一原子力（1号）	福島県双葉郡大熊町、双葉町	BWR	46.0	1971年3月26日
		〃（2号）	〃	〃	78.4	1974年7月18日
		〃（3号）	〃	〃	78.4	1976年3月27日
		〃（4号）	〃	〃	78.4	1978年10月12日
		〃（5号）	〃	〃	78.4	1978年4月18日
		〃（6号）	〃	〃	110.0	1979年10月24日
		福島第二原子力（1号）	福島県双葉郡富岡町、楢葉町	BWR	110.0	1982年4月20日
		〃（2号）	〃	〃	110.0	1984年2月3日
		〃（3号）	〃	〃	110.0	1985年6月21日
		〃（4号）	〃	〃	110.0	1987年8月25日
		柏崎刈羽原子力（1号）	新潟県柏崎市、刈羽郡刈羽村	BWR	110.0	1985年9月18日
		〃（2号）	〃	〃	110.0	1990年9月28日
		〃（3号）	〃	〃	110.0	1993年8月11日
		〃（4号）	〃	〃	110.0	1994年8月11日
		〃（5号）	〃	〃	110.0	1990年4月10日
		〃（6号）	〃	ABWR	135.6	1996年11月7日
		〃（7号）	〃	〃	135.6	1997年7月2日
	中部電力(株)	浜岡原子力（1号）	静岡県小笠郡浜岡町	BWR	54.0	1976年3月17日
		〃（2号）	〃	〃	84.0	1978年11月29日
		〃（3号）	〃	〃	110.0	1987年8月28日
		〃（4号）	〃	〃	113.7	1993年9月3日
	北陸電力(株)	志賀原子力（1号）	石川県羽咋郡志賀町	BWR	54.0	1993年7月30日
	関西電力(株)	美浜（1号）	福井県三方郡美浜町	PWR	34.0	1970年11月28日
		〃（2号）	〃	〃	50.0	1972年7月25日
		〃（3号）	〃	〃	82.6	1976年12月1日
		高浜（1号）	福井県大飯郡高浜町	PWR	82.6	1974年11月14日
		〃（2号）	〃	〃	82.6	1975年11月14日
		〃（3号）	〃	〃	87.0	1985年1月17日
		〃（4号）	〃	〃	87.0	1985年6月5日
		大飯（1号）	福井県大飯郡大飯町	PWR	117.5	1979年3月27日
		〃（2号）	〃	〃	117.5	1979年12月5日
		〃（3号）	〃	〃	118.0	1991年12月18日
		〃（4号）	〃	〃	118.0	1993年2月2日
	中国電力(株)	島根原子力（1号）	島根県八束郡鹿島町	BWR	46.0	1974年3月29日
		〃（2号）	〃	〃	82.0	1989年2月10日
	四国電力(株)	伊方（1号）	愛媛県西宇和郡伊方町	PWR	56.6	1977年9月30日
		〃（2号）	〃	〃	56.6	1982年3月19日
		〃（3号）	〃	PWR	89.0	1994年12月15日
	九州電力(株)	玄海原子力（1号）	佐賀県東松浦郡玄海町	PWR	55.9	1975年10月15日
		〃（2号）	〃	〃	55.9	1981年3月30日
		〃（3号）	〃	〃	118.0	1994年3月18日
		〃（4号）	〃	〃	118.0	1997年7月25日
		川内原子力（1号）	鹿児島県川内市	PWR	89.0	1984年7月4日
		〃（2号）	〃	〃	89.0	1985年11月28日
	小計			51基	4,491.7	
建設中	東北電力(株)	女川原子力（3号）	宮城県牡鹿郡女川町、牡鹿町	BWR	82.5	2002年1月予定
	小計			1基	82.5	
建設準備中	東北電力(株)	巻原子力（1号）	新潟県西蒲原郡巻町	BWR	82.5	2008年度予定
		東通原子力（1号）	青森県下北郡東通村	〃	110.0	2005年7月予定
	中部電力(株)	浜岡原子力（5号）	静岡県小笠郡浜岡町	ABWR	138.0	2005年8月予定
	北陸電力(株)	志賀原子力（2号）	石川県羽咋郡志賀町	ABWR	135.8	2006年3月予定
	小計			4基	466.3	
合計				56基	5,040.5	

運転(発電)停止	日本原子力発電(株)	東海	茨城県那珂郡東海村	GCR	16.6	1966年7月25日（営業運転停止 1998年3月31日）

（参考）原型炉

動力炉・核燃料開発事業団	ふげん	福井県敦賀市	ATR	16.5	1979年3月20日運転開始
	もんじゅ	福井県敦賀市	FBR	28.0	1994年4月5日臨界

（注）GCR：ガス冷却炉、BWR：沸騰水型軽水炉、PWR：加圧水型軽水炉、ABWR：改良型沸騰水型軽水炉、ATR：新型転換炉、FBR：高速増殖炉

提供　電気事業連合会　http://www.fepc.or.jp

青少年への情報発信地

原子力文化振興財団

〒105-0004
東京都港区新橋 1-1-13 東新ﾋﾞﾙ
TEL03-3504-1381/ FAX03-3580-8188

●原子力やエネルギーに関する情報は、東京、大阪にある各種施設や、インターネットのホームページから入手することができます。

●原子力関連の各種機関では、原子力やエネルギーの専門家の無料派遣、原子力関連施設の見学会、放射線量の計測装置の無料貸し出しなどを行っています。

●「原子力の日」を記念して、講演会、ポスターコンクール、作文・論文コンクールなどを実施しています。

東京・大阪には、エネルギー・原子力・宇宙・海洋・科学技術行政など、身近な話題から専門的な内容までの幅広い情報を発信する各種施設があります。これら施設では、パンフレットをはじめとする資料の閲覧サービスが提供されているだけでなく、講演会、実験教室などが開催されています。

未来科学技術情報館

ライブラリー、サイエンス・シアター、展示スペース、インフォメーション・デスクなどから構成されます。原子力施設の許認可申請書等の関係資料の閲覧、コピーができるのはもちろん、約 300 種類あるビデオを借りることができます。

開館時間●10:30～18:30

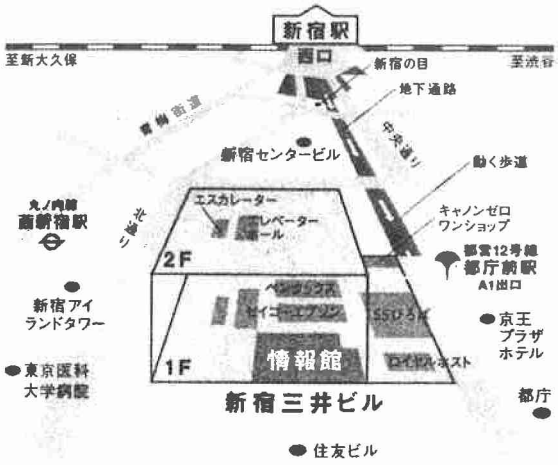
休館日●第２・第４火曜日
（祝日の場合はその翌日）
年末年始（12 月 29 日～１月３日）
新宿三井ビルの休館日
（２月の第１日曜日など）

入館料●無料

所在地●〒163-0401
東京都新宿区西新宿 2-1-1
新宿三井ビルディング１階

問い合わせ先● TEL 03-3340-1821　FAX 03-3340-3795

ホームページ● http://www.miraikan.gr.jp/



JR新宿駅西口から地下通路を歩いて7分

サイエンス・サテライト

サイエンス・ライブラリー、展示スペース、インフォメーションデスクなどから構成されます。「おもしろ体験広場」では、おもしろい科学実験や工作教室を体験できます。

開館時間●10:30～18:30

休館日●月曜日（その日が休日の場合は除く）

休日の翌日（その日が土日祝日の場合は除く）

年末年始（12月28日～1月4日）

入館料●無料

所在地●〒530-0025 大阪府大阪市北区扇町2-1-7

扇町キッズパーク3階

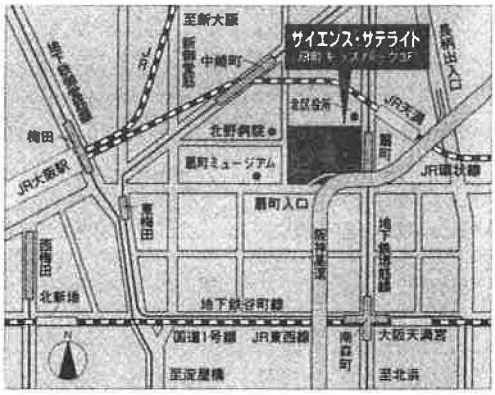
問い合わせ先●TEL 06-316-8110 FAX 06-316-8111

1999年1月より

TEL 06-6316-8110 FAX 06-6316-8111

駐車場●乗用車160台を収容可能（有料）

エネルギー・宇宙・海洋などの科学技術情報を書籍や資料の閲覧、体験型展示物、パソコン、インターネットを通して提供するとともに、青少年を対象とした工作・実験教室・講演会等を実施しています。



科学技術館　原子力展示室「アトモス」

科学や物理の視点に重点をおき、原子・分子の世界から原子力を理解することができます。大型スクリーンに投影される立体ＣＧ画像など、子供だけでなく、大人も楽しめる構成になっています。

開館時間●9:30～16:50　（入館は16:00まで）

休館日●年末年始（12月29日～1月3日）

入館料●

	大人	中・高校生	子供(4歳以上)
個人	600円	400円	250円
団体	500円	300円	200円

（団体は20人以上です。身障者割引制度があります。）

所在地●〒102-0091 東京都千代田区北の丸公園2-1

問い合わせ先● TEL 03-3212-2440 FAX 03-3201-3030

交通●電車の場合　営団東西線　竹橋駅下車徒歩7分

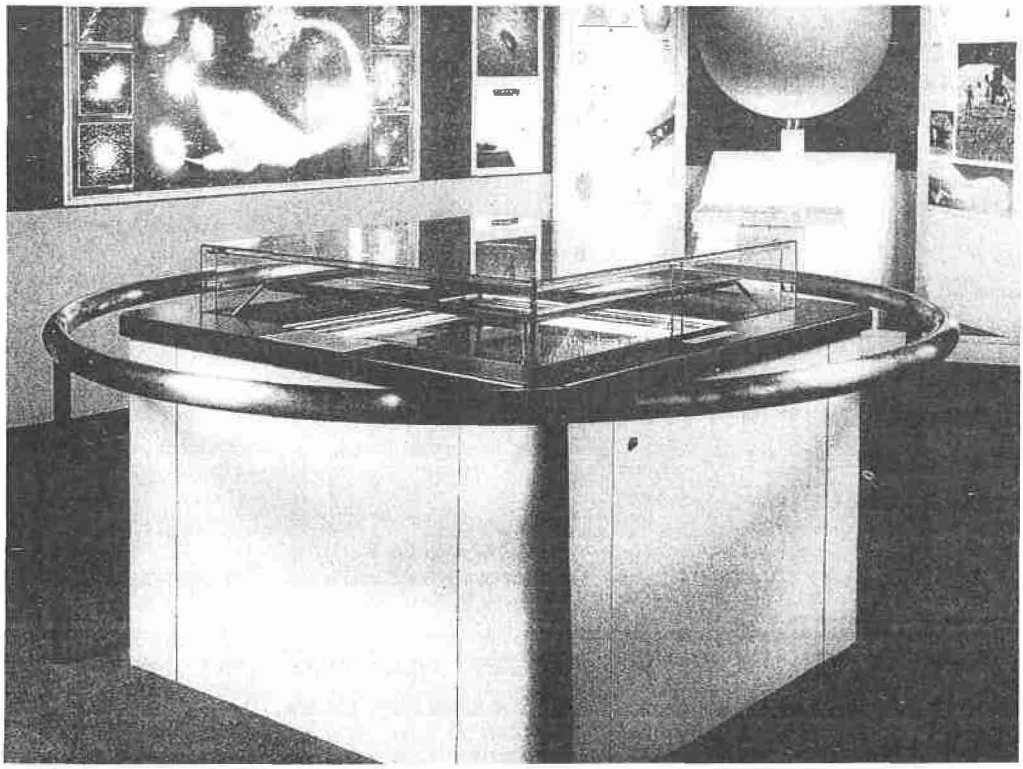
九段駅下車徒歩7分

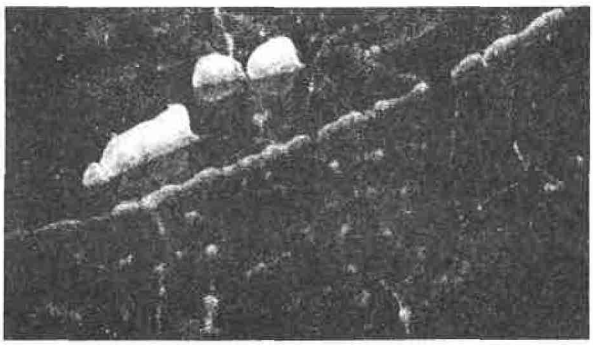
営団半蔵門線九段駅下車徒歩7分

都営新宿線　九段駅下車徒歩7分

UCHIDA

長年にわたって学校に実験器械や
教育機器を提供し続けてきたウチダは、今そのノウハウを
生かして科学館向けの大型実験装置を
つぎつぎと開発しています。





大型霧箱と宇宙線の飛跡

宇宙から飛来してくる宇宙線（放射線）を連続的に観察する装置

科学館向け事業の概要……

- ●設立準備コンサルティング
- ●展示計画、運営計画　●展示設計
- ●展示装置、模型、グラフィックパネル、サイン、造作、映像・情報システム（ハード、ソフト）等の設計・制作・施工
- ●メンテナンス

内田洋行
文化施設事業部

■東　京　〒135-8730　東京都江東区潮見2-9-15　☎03-5634-6331　FAX.03-5634-6849
■大　阪　〒540-8520　大阪市中央区和泉町2-2-2　☎06-920-2497　FAX.06-920-2723
■九　州　〒812-8692　福岡市博多区博多駅南1-14-14　☎092-482-5861　FAX.092-482-5895
■北海道支社　〒060-0041　札幌市中央区大通り東3-1　☎011-214-8630　FAX.011-214-8634

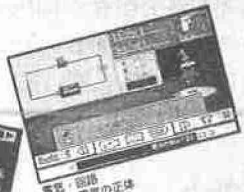
科学の不思議シリーズ③

POP サーカス

Win & Mac版 CD-ROM
マルチメディア物理ソフト

サーカスの離れ技、楽隊の演奏等に物理の法則・原理を発見
双方向的シミュレートで難解と思われがちな物理を楽しく解明

小・中学校の物理の「力」・「光」・「音」・「電気」の4テーマをやさしい操作性で誰にも分かるように3DCG、アニメーション、音声等で実験・解説・シミュレート各場からリンクし、調べ学習可能な「データ集」、学習定着を図る「クイズ館」付



光・光の進み方
・光の反射
・光と色、エネルギー
・光の屈折
・光とレンズ

堂々完成

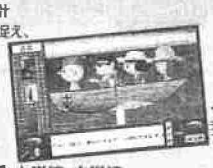
DATA POPのヒット商品　科学の不思議シリーズ第3弾

科学の不思議シリーズ①
「宇宙の不思議」 Win版 CD-ROM シミュレーション主体の天体ソフト

文部省学習ソフトウェア研究開発委託ソフト
困難な観測を画面上でシミュレート、難解な概念を3Dアニメーションで説明、発売以来大好評のマルチメディア天体ソフト

科学の不思議シリーズ②
「おもしろ化け」 Win版 CD-ROM Mac版 CD-ROM マルチメディア化学ソフト

文部省学習ソフトウェア研究開発委託ソフト
日常生活に潜む科学を喚起させ、
誰もが理科・化学に興味を持てるような設計
環境教育・家庭科・技術科など教科を横断的に捉え、
総合科に最適なソフト



■対応OS・Windows95,98/3.1,NT可　・Macintosh 漢字Talk7以上　■対応校種・小学校・中学校
■価格・単価 各19,800円(税別)　・スクールパック11本 各145,000円(税別)

販売方法 ★学校出入りのソフト取扱い会社等にお問い合わせ下さい。ご希望の方には体験版をお送りいたします。
★直販の場合:ご入金確認後商品発送とさせて戴いております。(現金書留送金、銀行振込さくら銀行赤坂支店　普通 3298623　口座名(株)データポップ)

(株)データポップ
〒150-0021 東京都渋谷区恵比寿西1-20-5-5F TEL(03)3770-1720 FAX(03)3770-1670
Home Page http://www.datapop.co.jp/　E-Mail:datapop@datapop.co.jp

２１世紀　人類の大テーマ
教育・環境・食糧・エネルギーを考える

広領域教育

〈昭和５１年創刊・年間２回発行・定価８００円〉

会誌「広領域教育」は教育現場につねに生きた教材を提供します

〈第４３号〉　７月３１日発行〉

●〈インタビュー〉今道友信氏に聞く
２０世紀の反省から
新しい知と道徳の創造を
●循環社会づくりへのアプローチ　加藤三郎
●総合的学習展開への期待と課題
児島邦宏　中野重人　安西和彦　徳武　靖
●２０世紀文明の大転換
ー新しい文明の扉を開こうー　古沢広祐

お問い合わせ
企画・制作　広領域教育研究会、㈱広領域教育研究所
〒105-0003 東京都港区西新橋1-17-2 三和第一ビル
PHONE 03 (3591) １ ０ ０ ３ FAX　03 (3591) １ ５ １ ６

AktivLab

放射能についての実験用デモンストレーションセット

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

AktivLabを使って次の実験を行うことが出来ます。

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

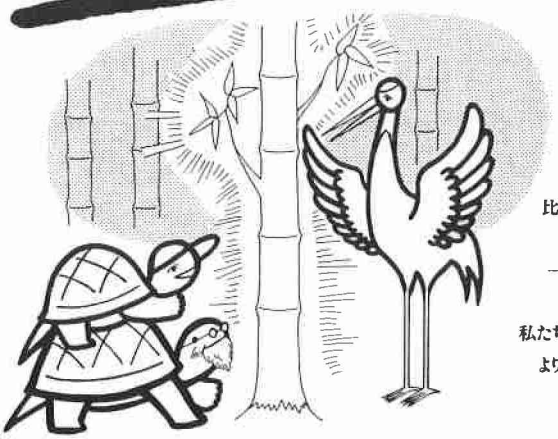
営業所■東京03-3816-2931／横浜045-821-6031／茨城029-266-3111／筑波0298-64-7304／大宮048-667-4412
千葉043-266-8241／仙台022-224-1113／福島0240-22-5541／新潟0257-22-3334／札幌011-621-8648
青森0175-72-3730／大阪06-369-1565／名古屋052-331-3168／敦賀0770-23-3466／静岡054-272-5882
金沢0762-31-6789／福岡092-262-2233／島根0852-22-0291／四国0894-24-4072
広島082-261-8401／鹿児島099-257-2541／大洗研究所029-267-5215

TECHNOL
CHIYODA TECHNOL CORPORATION

株式会社千代田テクノル 営業部
〒113-8681 東京都文京区湯島 1-7-12 千代田御茶の水ビル
TEL.03(3816)5971(代表)　FAX03(5803)1939

三菱重工

「千年以上も使えるってすごいね！」



古来長寿とされている鶴や亀ですが、
千年以上も命が続くわけではありません。
エネルギー資源も、石油や天然ガスがあと50～60年、
比較的豊富な石炭でも200年程度の埋蔵量しかないといわれています。
しかし、原子力発電の燃料となるウランは、
一度燃やしても再利用することで"千年"以上にもわたって利用できる
エネルギー資源なのです。
私たちは限りあるエネルギー資源をつぎの世代にきちんと残していくためにも、
より安全性・信頼性の高い原子力発電技術の開発に取り組んでいます。

技術で生み出すエネルギー・三菱PWR原子力発電プラント

三菱重工業株式会社　本社 原子力事業本部 〒100-8315 東京都千代田区丸の内2-5-1 TEL.(03)3212-3111　支社 関西/中部/九州/北海道/中国/東北/北陸/四国

放射能と人体 ——くらしのなかの放射線

渡利一夫・稲葉次郎編／Ａ５判／128頁／本体　価1600円

健康診断，ガン治療，食品保存などに使用されている放射線・放射能が人体に与える影響について，事実のままに解説し，生活環境の放射能や放射性物質の体内除去法にも言及し，身の回りの放射線を手軽に測れる手引も加えた。

〈主な目次〉　放射線と放射能の発見から／これまでの主な放射線事故と放射線障害／放射線に被ばくするとからだにどのような影響があらわれるか／地球環境に存在しているさまざまな放射線と放射能／日常生活における放射線と放射能／人工の放射能による環境の汚染／からだの中での放射能の動き／医療で利用されている放射線と放射能／身の回りの放射線を測る／放射線・放射能の基礎知識

放射線・原子力教育と教科書

松浦辰男・飯利雄一著／Ｂ５判／157頁／本体1165円

放射線・放射能・原子力に関する正しい知識を学校教育現場でもっと教えたい，教える必要があるという意見が強いにも関わらず，執筆者が必ずしもこの分野に精通していないなどの理由で，その記述が不充分で誤りが少なくない。本書は，最近の高校の理科・一般社会などのあらゆる科目の教科書で不適切な記述の個所を指摘し，訂正の仕方について的確に語る。

放射性元素物語

井上勝也監修／松浦辰男著／Ｂ６判／160頁／本体1165円

多くの人から警戒心を持たれている放射性元素について，基礎的なことと種々の利用を中心に，専門家以外にはあまり一般に知られていないことも加えてわかりやすく述べる。

炭素は七変化

井上勝也監修／石崎信男著／Ｂ６判／160頁／本体1165円

炭，活性炭，炭素繊維，ダイヤモンド，墨など我々の身近にある炭素物質を題材に，炭素誕生の話や歴史等も入れ，その特性人間との関わりにも言及する。

新ファラデー伝 ——19世紀科学は何を教えてくれるか

井上勝也著／Ｂ６判／204頁／本体1300円

「ローソクの科学」の著者として周知のファラデー生涯を飾りたてず，人間性豊かに綴る。彼の基礎研究に取組むときの姿勢とすばらしい着想の数々の記述から，現代人が忘れかけてしまったものが何であるかのヒントが伝わってくる。

研成社

〒103-0014　東京都中央区日本橋蛎殻町1－6－4／電話03-3669-1828／FAX03-3669-1850

科学技術のリスク

—原子力・電磁波・化学物質・高速交通—

H・W・ルイス 著　カリフォルニア大学サンタバーバラ校教官
宮永一郎 訳　日本原子力研究所理事、原子力安全委員、日本保健物理学会会長などを歴任、現在日本保健物理学会名誉会員

現代の生活を支える科学技術は，一方で生物の生命を危険にさらす大きなリスクを伴っている。複雑な社会的選択を要する科学技術のリスクの評価と管理をどう行うか，確かな議論と検証の必要性を説く。　**2200円**

創られた恐怖

—発ガン性の検証—

エリザベス・M・フェラン 著　科学と健康に関する全米会議会長
菅原　努 監訳　京都大学医学部教授、京都大学医学部部長、国立京都病院院長などを歴任、現在財団法人体質研究会理事長

マスメディアから“真実”として報道される環境と健康についての情報に誤りはないか？　情報先進国アメリカからの警鐘。　**2500円**

リスク対リスク

—環境と健康のリスクを減らすために—

ジョン・D・グラハム／ジョナサン・B・ウィーナー 編
菅原　努 監訳

ひとつのリスクを回避することで隠れたリスク「対抗リスク」が現れる。医薬品，化学物質などが健康にもたらすリスクをいかに軽減するかを検証する，リスク・トレイドオフの提言。　**2500円**

昭和堂

〒606-8311　京都市左京区吉田神楽岡町8-158
TEL 075（761）2900　　FAX 075（761）2960
振替01060-5-9347　　＊表示価格は税別です