RADIATION EDUCATION

放射線教育

2010

VOL. 14 NO. 1

放射線教育フォーラム

Radiation Education Forum

放射線教育
Radiation Education
Vol. 14　No. 1

目　次

【巻頭言】　リスクとベネフィット　村主　進__ 1

【総　説】　地球の、日本の明日を考える　山寺　秀雄__ 3

【研究報告】　放射線教育に関する高校教員への第２回アンケート調査の結果及び記載意見の紹介
田中　隆一、黒杭　清治、辻　萬亀雄、松浦　辰男__ 7

【研究報告】　「あらゆる物に電気が含まれる」を基礎にする放射線教育の試み　大野　新一__17

【実験報告】　紫外線を用いたレントゲン撮影模擬実験について　早川　一精__27

【実践報告】　青森支部 2010 年度の活動の記録
笹川澄子，津島園子，高橋有史，境谷葉子，種市治雄，大森勝良__37

【実践報告】　中学校における放射線教育と道徳教育の連携の試み
原口　栄一__49

【解　説】　水の起源ものがたり―水はいつどのようにつくられたか
大野　新一__59

【ノート】　ボランティア活動としての「エネルギー・放射線セミナー」開催報告　森　千鶴夫__69

【ノート】　山寺秀雄先生を囲む放射線教育フォーラム　愛知・岐阜・三重地区の会　森　千鶴夫__71

【資　料】　原子力・放射線利用の進展と啓発活動の変遷―科学技術の社会的受容を目指した教育啓発活動の３４年―　大島　浩__73

「放射線教育」投稿規定、原稿の書き方__81
編集後記__85

発行：2011 年 3 月 31 日，NPO 法人　放射線教育フォーラム
〒105-0003　東京都港区西新橋 3-23-6　白川ビル 5F
Tel: 03-3433-0308　FAX: 03-3433-4308
E-mail mt01-ref@kt.rim.or.jp, *HP*：http://www.ref.or.jp

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 14, No. 1, p. 1－2 (2010)

【巻頭言】

リスクとベネフィット

村主　進
原子力システム研究懇話会　フェロー

エネルギーの資源に恵まれない日本が、今後ますます繁栄するためには、科学技術立国を目指すほかはない。その科学技術の中で放射線利用、原子力利用は重要な役割を担っている。

放射線利用では、医療分野における診断、治療、放射性医薬品、工業分野における高分子材料の改質、放射線滅菌、農業分野における食品照射、品質改造、害虫防除、環境分野における排煙処理、汚泥処理及び生命科学分野における細胞構造の解明など、国民はその恩恵（ベネフィット）を大きく受けている。国民の生活の安定と向上に寄与する所は非常に大きい。

例えば、重粒子治療によって今まで不治と考えられた重篤なガンにおいて著しく延命効果が改善されている。他の放射線治療でも放射線被ばくによる寿命短縮に比べ延命効果が高い。他の例として、自動車のラジアルタイヤは電子線照射で品質の改良されたものを使用して、国民生活に大きく寄与している。

また原子力利用としては、原子力発電による電力供給（エネルギー供給）は、現在総発電電力量の 3 割を超え、原子力発電なくしては産業基盤および生活基盤の確保はできない現状である。

エネルギー消費は平均寿命にも関係する。すなわち、各国の平均寿命を見てみると、一人当たりのエネルギー消費量が非常に低い国（日本の 1/3 以下の国）では平均寿命が低下しており、一人あたりのエネルギー消費量が低くなるとともに平均寿命が短くなっている。これらの国はエネルギー消費が少ないために一人あたりの所得が少ない。このため、貧困、食糧不足、不衛生な生活と医療費に支出する余裕が少ない等のために平均寿命が低くなると考えられる。

一方放射線利用および原子力利用におけるリスクは、国民が想像しているよりも非常に低い。例えば、IAEA のチェルノブイリ事故 20 年報告によれば、高被ばく住民グループでもガン発生は、死亡リスクの低い甲状腺ガンを除けば、自然発生の統計的変動を乱すものではない程度である。

このような現実にも拘わらず、いまだに国民は放射線に対して誤解と偏見を持ち、大きい恐怖心を抱いているのが現状である。したって、放射線、原子力に関する正しい知識の

普及は重要な課題である。

放射線、原子力に関する正しい知識を普及するために、放射線教育フォーラムは1994年に設立され、雑誌「放射線教育」は1997年に第1巻が発行されてから15年弱経っている。そしてこの間、放射線の知識の普及に関するもの、学校教育における放射線教育に関するもの、放射線・原子力利用の安全性に関するものなどの分野で多くの発表があった。

しかしこの約15年間の間に、高校、中学の先生の放射線知識の改善があったか、国民の放射線への理解がどれほど進んだか反省してみると、あまり進展がなかったように見受けられる。

もちろんこのフォーラムに参画している先生方への、正しい放射線知識の普及には役立っているものと考えるが、この方々は全体の学校教員から考えるとほんの微々たるものである。

重要な事業は10年に1回くらいは見直す必要がある。すべての会員が、このままでよいのか、そうでなければどのように改善すべきか、を考えて欲しいものと考える。

私は次のようなことを主眼に置いて正しい放射線の知識を普及することを提案する。

（1） 放射線の被ばくによる健康への悪影響について線量の関数として示し、大量被ばくならば直接死亡に至るが、被ばく線量の減少と共にガン発生頻度は低くなること。
放射線によるガン以外に自然に発生するガンのあること。
現状の放射線・原子力の利用においては、自然のガン発生頻度の統計的変動に隠れて放射線被ばくの影響は認められないこと。

（2） 上記の自然のガン発生頻度を定量的に説明すること。

（3） 原子力発電所の事故による住民被ばくとその影響（健康被害）をはっきり示すこと（これはチェルノブイリ事故20年報告が発表されて明らかになっている）。

（4） 放射線・原子力利用による社会への貢献（ベネフィット）を正しく示すこと。

（5） 放射線・原子力利用のリスク・ベネフィットを国民自身の視線で考えてもらうこと。

私の考えでは、当放射線教育フォーラムでは主として上記（1）に注目して活動してきていると考える。（2）～（5）に関してもっと積極的に取り上げてもらいたい。おそらく国民はリスクが少なく、ベネフィットの大きいことに驚くであろう。

また「放射線教育」誌が会員のみならず、広く他分野の専門家にも読まれる方法はないものであろうか。一般社会の放射線・原子力に対する誤解・偏見を是正するためには広く国民に読まれるものでなければならない。

放射線教育フォーラムがこのような観点から活動し、「放射線教育」誌が広く国民に普及して、国民の放射線に関する正しい知識が養成されることを期待するものである。

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 14, No. 1, p. 3－6　(2010)

【総　説】

地球の、日本の明日を考える

（平成23年1月4日、名古屋大学医学部保健学科における講演要旨、3月1日一部加筆）

山寺　秀雄
NPO法人放射線教育フォーラム
〒105-0003　東京都港区新橋西新橋3-23-6　第一白川ビル
（2011年3月4日受理）

［要約］　リーマンショック以来の世界同時不況で，日本を含む世界の先進諸国は景気対策におおわらわである。その陰で，景気よりもっと大切なことがおろそかにされているのではなかろうか。

気象災害と地球温暖化

先進諸国では景気が悪くなっても，仕事を分け合い、生活水準を下げればしのぐことができ、餓死者が出るとは考えられない。しかし地球環境の劣化によって大規模な気象災害が頻発すれば、多数の犠牲者が出るであろうし、また干害や洪水で農作物の収穫が減れば、食糧不足で飢える人が増えるであろう。統計（IPCC資料）によれば、1990年代10年間の主要気象災害の損害総額は1950年代に比べて10倍に増えた。気象災害増加の原因が地球温暖化のためであるとするなら、そうして温暖化の主原因が大気中の二酸化炭素濃度の増加である（IPCC報告書）とするなら、二酸化炭素排出量削減は緊急の課題である。

そのための国際的取り組みとして、1992年の地球サミットに始まり、1997年京都会議（COP3）において2008－2012年の温室効果ガス削減目標が決められたが、米国は京都議定書を批准せず、日本は努力不足で目標達成が危ぶまれている。さらに京都議定書後の目標を決めるために、2007年ハイリゲンダム・サミット、2008洞爺湖サミット、2009年COP15、2010年COP16と国際会議を重ねたがまだ具体的な目標を決めるに至っていない。日本は2020年までに1990年比25%削減するという目標（鳩山前首相）を出しているが、米・中などが参加しない協定は認めないという態度である。EUは他国が参加しなくても20%（すべての国が応分の削減を約束すれば30%）の削減を言明している。日本もEUを見習って独自の削減目標を示して努力すべきではなかろうか。

限りある地球の資源

これまで先進諸国の人びとは貧しい国の人びとの犠牲のもとに、物を浪費する贅沢な暮らしをしてきた。しかし発展途上国が豊かになるとともに、限りある地球の生産力では、地球の人類を養うことが不可能になってきた。世界自然保護基金（WWF）によると、人類の自然資源消費量は、1980年代に地球の生物生産力を超え、2007年には生産力の1.5倍に達している（Ecological Footprint Atlas 2010）。現在は地球の生産力不足分を、森林・化石燃料等、地球の貯金を取り崩してしのいでいるが、この状態は持続可能でない。破局に至る前に、資源を公正に配分して効率よく利用すると同時に、未利用資源の活用により貯金の食いつぶしを防ぐように努力すべきであろう。

そのような努力をしても、途上国の発展に伴う需要増を賄うことはできないであろう。究極の解決は、ものの豊かさから心の豊かさに価値観を転換することではなかろうか。最近ヨーロッパの指導者の間で「幸福度指数」が重要視され、日本人の間でも「物質的な豊かさよりこころの豊かさやゆとりのある生活に重きを置きたい」という考えを肯定する者が多数を占めている（20歳代・30歳代で約70%，50歳以上

では 80%以上、労働政策研究・研修機構調査)。人々は問題の解決に向かって歩みはじめているように思われる。2011 年 1 月 1 日の日本経済新聞によると、内閣府は国民の「幸福度」を測る新しい指標の原案を４月に公表するということである。教育水準や治安、健康寿命などを数値化し、国内総生産（ＧＤＰ）だけでは評価しきれない国民の豊かさを客観的に測定するのが狙いで、同府内に昨年末に設けた有識者研究会で具体的な指標の中身を検討、原案公表後に国民の意見を聞き、最終案をまとめる。

幸福度に関しては、英国 Leicester 大学 White 教授の研究（2007）がある。多数の指標の総合評価として、1 位デンマーク、2 位スイス、3 位オーストリアなどヨーロッパの小国が上位を占め、大国は 23 位米国、35 位ドイツ、41 位英国、62 位フランスと順位が低い（中国は 87 位、日本は 90 位)。小国においては国民の間に家族的な感情があり、互いに助け合うからであろう（因にブータンは８位)。日本でもかつては親族や隣人の間の助け合いがあったが、最近は疎遠になっているのではなかろうか。

特に日本について

上記のように、人類の生物資源消費量は地球の生産力の 1.5 倍であるが、日本人は日本国土の生産力の８倍もの資源を消費している。そうして食糧もエネルギー資源もその大部分を外国からの輸入で賄っている。食糧問題とエネルギー問題は日本にとって死活問題である。

食糧問題

日本の食糧自給率（カロリーベース）は 40%、穀物自給率（飼料を含む）は 26%（2009 年）であって、先進国の中では異常に低い。発展途上国における人口増と生活水準の向上により、食糧の需要は増えると予想されるので、食糧安全保障のために自給率を高める必要がある。耕作放棄地の活用、技術革新と大規模化による生産性向上と同時に、流通過程や調理における無駄の排除にも努めなければならない。鎖国の江戸時代の人口が約 3000 万人であったこと、昭和初期（人口は 7000 万程度と考えられる）に毎年多くの人（多い年には２－ ３万人）が移民として海外に出て行っていたことを考えると、農業技術の進歩を考えても、１億を超す人口を養うことは不可能であろう。そこで、食糧輸出国に品質の良い工業製品を安く供給して、代わりに食糧の供給を受けるというような友好関係を築く必要がある。日本と同様、食糧自給率が低い韓国がロシアの沿海州に土地を借りて農業生産に乗り出すという話もある。日本も考えてはどうだろうか。

エネルギー問題

エネルギーの自給率は食糧よりさらに低い。純国産エネルギーは僅か４%、原子力を加えても 18%に過ぎない(エネルギー白書 2010)。国産の水力・風力・太陽光などのエネルギーの開発が急務である。

水力は長年開発されてきたので、適地はほとんど残っていない。しかし灌漑用水などを利用する中小水力、ダムからの放流水、水道水配水の際の落差の利用など、未利用の資源は残っている。

風力発電に関しては、日本はたいへんおくれており、世界全体の僅か 1.3%である（REN21 2010)。日本は山地が多く、平地には空き地が少ない。風力発電に適する土地が少ないが、東北北部や北海道には適地が多く、開発の余地が大きい。銚子沖で始まった洋上風力発電の実証研究が、速やかに実用化されて、欧米で行われているような大規模洋上発電に発展することを期待したい。

太陽光発電の導入量において日本は 2004 年まで世界の半分近くを占め、太陽電池の生産において日本企業が世界の上位に並んだ。しかし現在は、導入量の首位はドイツ（日本は 3 位)、太陽電池の生産において、国別の首位は中国（日本は台湾、ドイツに次ぐ４位）（仏 Yole Developpement 2009 年予測)、企業別では米国の First Solar が首位（かつての首位シャープは中国の Suntech に次ぐ 3 位）（iSuppli 2009 年予測）になった。日本は世界から後れつつある。太陽光発電の投資額回収期間（20 年くらいといわれる）は、石油価格が高騰すれば縮まる。住宅や工場の屋根を利用すれば、新たに土地を取得する必要もない。太陽熱の利用は太陽光よりも効率が高く、特に中国で利用が進んでいて、世界の 80%を占める。

食糧輸入国である日本はサトウキビやトウモロコシを燃料の原料にすることはできないが、古来の燃料である木材（間伐材、廃材など）の利用を進めたい。ゴミ焼却の熱も利用したい。

日本は地熱資源に恵まれているにもかかわらず、利用は進んでいない。米国の環境学者 Lester Brown 氏は「日本は地熱発電で国内電力の半分、もしかして、全部を賄えるかもしれない」といっている。地熱をもっと利用したいものである。

日本は海に囲まれているので、海流、潮汐、波力、温度差など海のエネルギー資源を活用したい。しかし今のところ、どれも単独では採算が取れない。洋上に総合エネルギー基地をつくり、海流、波力による発電、上層と下層の温度差発電のほか、風力発電、太陽光発電も行うようにしてはどうだろうか。

これらの自然エネルギーの開発が進まないと、将来石油など化石燃料の需給が逼迫した時、エネルギー安全保障の観点からたいへん心配である。産油国アブダブは将来の石油枯渇に備えて、太陽光発電による「ゼロカーボン都市・マスダールシティ」の建設を計画している。欧州諸国の大手企業 12 社はアフリカ北部のサハラ砂漠などに大型の太陽熱発電および風力発電の施設を設置して欧州に送電する「デザーテック」の実施で合意した（総事業費は４千億ユーロで、将来は欧州の電力需要の 15%を賄う計画）。東アジアでも、中国・モンゴルの砂漠で「デザーテック」アジア版を考えてはどうだろうか。

自然エネルギーの開発が急には進まないとすれば、頼むは原子力である。核燃料は単位重量当たり得られるエネルギーが大きいので、備蓄に都合が良い。高速増殖炉と核燃料再処理施設が機能すれば、準国産エネルギーになる。これらの早期実用化が望まれる。問題の一つは放射性廃棄物の最終処理である。例えばモンゴルに原子力発電の技術を提供して、砂漠に発電所とともにその廃棄物最終保管施設をつくり、そこに日本の廃棄物も保管してもらうようなことはできないだろうか。

これからの世界

最後に、これからの世界の進化の予想と、日本の対応について考えたい。地球温暖化問題および有限の地球資源の問題についてはすでに述べた。

国際化（globalization）

国際化は着実に進むであろう。例えば、日産自動車、ソニー、ラオックス（家電量販店）のトップは外国人であり、多くの企業は多数の外国人社員を雇用している。そのために社内公用語を英語にした企業（楽天）もある。外国への進出あるいは外国企業との取引のために英語（あるいは現地語）が必要になると同時に、相手国の歴史・慣習・宗教などに対する理解も必要になる。国内においても、理科離れによる人材不足のため、優秀な外国人技術者などを雇用する企業が増えている（例えば東芝）。このような状況にあって日本の若者が内向きになっている（例えば外国に留学しようとする若者が減っている）ことは問題である。就職に当たっては、外国人とも競争しなければならないであろう。特に日本語ができる外国人留学生との競争では、外国語以外の学力において彼らよりも優れていなければ競争に負けるであろう。外国企業に就職してその企業の幹部を目指すくらいの心意気をもってほしい。

情報化

情報化は極めて速い速度で進んでいる。日本はたいへんおくれている。世界経済フォーラム（WEF）の報告書 “The Global Information Technology Report 2009-2010” において、「日本政府の取り組み」は 38 位、「政府での IT の活用」は 22 位と評価は低い。また IT 支出の内、固定的支出と戦略的支出との割合は、世界平均１：１に対し、日本では３：１という調査（アクセンチュア）もある。例えば、（旧）社会保険庁ではコンピューターを紙台帳代わりに使っていて、その機能を活用しようとしなかった。理科離れで、優秀な IT 技術者が不足しており、インドなど外国の技術者の助けが必要になっている。

女性の進出

女性の進出が進むであろう。ドイツのメルケル首相、米国のクリントン国務長官の活躍が目立っている

が、経済や科学の世界でも女性のいっそうの活躍が期待される。日本では女性の進出が後れており、例えば、女性研究者の割合は EU 諸国では 20%台あるいは 30%台であるのに対し、日本では 14%である (Women researchers 2010 - OECD iLibrary 2009)

日本は衰退する？

次に特に日本に関して心配なことを指摘しよう。

1. 国際競争力の低下傾向： IMD（国際経営開発研究所）の競争力ランキングにおいて、1990 年前後には日本は世界のトップであった。それが最近は 20 位前後に低迷し、2010 年のランキングでは 27 位と中国（18 位）や韓国（23 位）より下になった。(2010 年には、先進国は軒並み順位を下げ、アジア勢が躍進した。米国も指定席の 1 位をシンガポールに譲り、3 位に後退した。）挽回したいものである。
2. 労働生産性の伸びの低迷： 1989- 2008 年の 20 年間の伸び率は、年平均 1.2%で、米国の 1.8%、韓国の3- 5%に比べて低い（(財)日本生産性本部、労働生産性の国際比較･2009年版による）。米国には離され、韓国には追い付かれる。（あるいは追い越される？）
3. 先見性のない政策、外国の後追い： IMD の競争力ランキングにおいて、科学インフラでは毎年 2- 3 位の高い評価を得ている。しかしその高い科学技術が生かされていない。学校での学習が受験を目的にしていて、理系進学者以外では理科離れが進み、科学技術の素養の乏しい人たちが政策や投資の決定において力をもつ地位に就くからではなかろうか。
4. 頑張り屋が減り、のんびり屋が増える傾向： 高校生の場合 1982 年の調査でほぼ 1：1 であったものが、2002 年には約 1：2 と頑張り屋が減る傾向が見られる（NHK 放送文化研究所)。
5. 勉強時間とテレビを見る時間： 勉強時間が少なく、テレビなど受動的に過ごす時間が長い。中学生の場合、日本では宿題をする時間は 1.0 時間と世界で最も短く、テレビなどを見て過ごす時間は 2.7 時間で世界一長い（国際数学・理科教育調査（TIMSS）2003 による)。憂慮すべき状態である。また国内の学力テスト最上位の秋田・福井の両県は体力テストでも上位にあり、学力テスト下位の県では体力テストも下位にある。学力低下の一因は受動的に過ごす時間が多いことにあるのではなかろうか。子供は身体を動かして遊ぶことを奨めたい。脳科学者久保田競・京大名誉教授によると、走ると脳の働きが活性化される（走っている時には考えている時と、脳の同じ部分（前頭前野）が使われる)。また走ると脳細胞が増え、海馬（記憶に携わる部位）が大きくなる。(「ランニング」2010.12.10 日経 BP 社に掲載)
6. 教育費への少ない支出： 教育費支出の GDP に対する割合（OECD 調査）が 4.9%で、米国・韓国・EU 諸国に比べて、また OECD 平均（5.7%）に比べて低い。特にその中の公費負担分は 3.3%で、デンマーク（6.6%）の半分である（OECD 平均は 4.8%)。教育費への公的支出の増額が望まれる。
7. 大学の授業料と奨学金受給率： 大学の授業料が一番高いのは米国であるが、8 割近くの学生は奨学金を支給されている。米国に次いで授業料が高い日本の学生の場合、3 割弱（日本学生支援機構 2008 年調査では 43%）しか奨学金を受けていない。これに対し北欧諸国では授業料は無料でしかも半数以上（スウェーデンでは全員）が奨学金を受けている。他の EU 諸国では、授業料は日本の 1/4 程度あるいはそれ以下である(OECD Education at a glance 2008 による)。大学に対しても公費支出増が望ましい。

まとめ

(1) 地球にとって温暖化防止、従って二酸化炭素排出量削減が緊急の課題である。(2) 限りある地球資源を公正に配分し、無駄なく利用し、未利用資源の開発を進めるとともに、ものの豊かさよりもこころの豊かさを求めるような暮らしを目指したい。(3) 地球の今後の進化に対する日本の対応は遅れている。いろいろな指標は、日本が衰退に向かっていることを示唆している。日本の復活は子供たちにかかっており、教育に物心両面の注力が必要である。

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 14, No. 1, p. 7 － 16 (2010)

【研究報告】

放射線教育に関する高校教員への第２回アンケート調査の結果及び記載意見の紹介

田中　隆一、黒杭　清治、辻　萬亀雄、松浦　辰男
NPO 法人放射線教育フォーラム

（2011 年 3 月 14 日受理）

【要旨】学習指導要領の改訂を踏まえて放射線教育の現状を把握することを主目的に全国高校の理科教員を対象として行った第１回アンケート調査に引き続いて、2010 年 10 月に第 2 回アンケート調査（回答数 402、回答率 16.0%）を実施した。本報告ではその調査結果を粗くまとめるとともに、自由記述欄に記載された意見のうち、今後の放射線教育を考えていくうえで有益と思われるものを中心に紹介し、若干の考察を加えた。調査の結果、学習指導要領に基づいて放射線学習をカリキュラムに組み入れることについて、教育現場において様々な問題があることが認識できた。

１．はじめに

放射線教育に関するアンケート調査については、学習指導要領改訂 [1]に伴う放射線教育の現状を把握するとともに学習指導資料の作成に反映させることを目的として、2008 年の中学校理科の学習指導要領公布後に放射線教育フォーラムは全国の中学校の理科教員を対象として実施した。その結果は放射線教育フォーラムのホームページ(http://www.ref.or.jp)に紹介されている。これに引き続いて全国の高校教員を対象とする第１回アンケート調査を 2009 年 8 月に実施した（回答数は 614、回答率 20%)。その結果、回答者の大部分が放射線・放射能について教えた経験があることがわかった（同上ホームページに紹介)。実習を行った教員の割合及び中学校理科で放射線の扱いが復活することを知っている教員の割合は少なかった。また、放射線・原子力教育においてリスクという視点を取り入れようとするとき、教育現場には様々な問題があるので、学校でのリスクに関する教育については慎重な扱いが必要であることがわかった [2]。

こうした結果及び改訂された学習指導要領に基づいて放射線に関わる授業をどのように計画しているかを主眼として、第 2 回のアンケート調査を 2010 年 10 月に全国の高校 2520 校を対象に実施した。回答率は 16.0%であり、前回調査より 4%低かった。調査のために配布したアンケート調査の設問を本報告の末尾に添付した。

２．第２回高校理科教員アンケート調査の結果

回答者が担当することになる科目の比率は前回調査とほぼ同様であった。放射線や放射能について授業で教えた経験をもつ回答者の割合は約 90%であり、前回と同じであった。教えた経験をもつと回答した人のうち、放射線や放射能を扱った年間の授業時間は、1 時間が 30%、１～3 時間が 30%、3 時間以上が 9%であり、それらの比率は無

回答を除いて前回とほぼ同様であった。授業のなかで放射線の実習・演示の年間時間については、1～3 時間と答えた回答者が約半数を占めた。実習・演示では霧箱、GM 計数管、はかるくんの 3 教材がほぼ同じ割合で使用されていることがわかった。

学習指導要領の改訂によって中学校理科（第一分野）「エネルギー資源」の内容として 30 年ぶりに放射線が取りあげられることについては、30%の回答者が知っていると答えており、1 年前の前回調査時に比べて 5 %増えた。これに関連して、高等学校の学習指導要領改訂によって、現行科目「理科総合 A」の学習内容が中学校理科に移行することについては、回答者の 3 分の 2 が知っており、関心が高いことが示された。

新しい学習指導要領に基づいた理科授業で放射線を扱うかどうかについては、扱うことを予定している回答者が 27%、教科書を見てから決める回答者が 11%だった（回答なし 59%）。

新科目「物理基礎」では、「エネルギーとその利用」に関わる内容の取り扱いのなかで「放射線の利用や安全性に触れること」と示されているが、これを念頭においた放射線の扱いに関して、放射線を原子力エネルギーの内容に含めて扱うと答えた回答者は 31%、科学技術の発展と生活とのかかわりを学ぶために放射線の利用を扱うと答えた回答者は 34%、放射線もエネルギーの一形態であるので、広く「エネルギーとその利用」に関わる内容として扱うと答えた回答者は 16%であった。原子力エネルギーの内容に含めて扱うと答えた割合が多くなかったのは、放射線学習の位置づけを科学技術の幅広い視野から判断している教員が多いことを示していると考える。

「物理基礎」では「放射線の利用と安全性の問題にも触れること」、「化学基礎」では「放射性同位体とその利用に触れること」と新学習指導要領に示されている。具体的にどのような利用例に触れるとよいと思うかについて、利用例一覧から選択していただく設問については、「物理基礎」と「化学基礎」に共通して、放射性炭素を使った年代測定を選んだ回答者が最も多く、続いて多かったのは癌の放射線診断・治療であった。利用例の選択については広く分散する傾向を示すが、「物理基礎」では空港などで行う手荷物検査、「化学基礎」では植物の品種改良が他よりも多かった。

放射線の実験・実習で使用される放射線源はほとんどの場合放射性同位体に限られるが、医療、産業、及び学術分野における放射線利用では、X線発生装置、加速器などの人工放射線源の方が広く使われているという実態がある。そこで、放射線にかかわる学習のなかで扱いたいと考える放射線源を放射性同位体、X線発生装置、加速器、及びその他から選んでいただく設問を設けた。その結果は、放射性同位体 47%、X線発生装置 23%、加速器 21%であった。これまで授業で取り上げられる機会が非常に少なかった加速器についての理解が予想以上に高いことが分かった。

最後の二者択一の設問として、原子力・放射線の学習において外部からの協力･支援（講師派遣を含む）を受けたいと思うかどうかを尋ねた。その結果は、受けたくない(57%)が受けたい(40%)を上回り、前回とは逆の傾向を示した。

３．アンケートに記載された意見について

1）外部からの協力・支援について

原子力・放射線学習への外部からの協力･支援を受けたいと思うかの質問については、

前述のように前回とは逆の結果となったが、これは前回調査から 1 年を経過して、カリキュラムの具体化が迫ってきたことによって、教育現場での様々な制約が現実的に反映したためであると推察される。肯定的と見るか否定的と見るかは微妙であり、否定的意見のうちかなりの割合は強い条件付きの肯定的意見と考えるべきかもしれない。外部からの支援についての肯定的意見よりもむしろ否定的意見を通して学校現場が置かれている様々な制約が見えてくるので、ここでは、否定的意見に重きを置いて紹介する。

(1) 外部からの協力・支援への肯定的意見

実験教材や視聴覚教材に関する協力・支援や専門的に学んだことがない教師自身に知識を身につけさせる機会を設けてほしいという要望が前回と同様に肯定的意見を代表するものである。理系志望の生徒にとって、進路意識を高める効果を指摘する意見も多い。一方、興味・関心が薄い生徒の実態を理解している講師に協力してほしいという意見もあった。条件付きの肯定的意見としては、費用とカリキュラムの制約があることを強調する意見が最も多いが、生徒に分かり易く説明できる講師あるいは興味・関心が薄い生徒の実態に合うレベルの話ができる講師ならば有意義であるという意見もかなりあった。

また、具体的な要望として、理系教員の多忙を配慮したような、準備が楽な教材を支援する仕組みがほしいという意見や、放射線利用のような新しい科学技術を発展的な学習内容として簡単に扱いたいので、資料集などの副教材を提供してほしいという希望もあった。また、放射線利用の学習に着目した観察・実験に関わる新しい可能性として、X線のような人工放射線の利用に関わる実験のための協力・支援を望む意見もあった。

(2) 協力・支援の問題点を指摘する意見

協力・支援に否定的な意見の半数近くがその理由として、カリキュラムのなかで放射線学習を割り当てる時間的な余裕がないことを挙げている。具体的には、実施までの手続きや調整にかかわる負担が重いため積極的になれない、外部講師を招く準備をするのが面倒でその余裕もない、打合せの時間が取れない、通常の授業の中で実施できるようなスケジュールを事前に組むことが困難である、2 単位授業の基礎科目では協力・支援を実施する余裕がないなど、前回調査の段階でははっきり表れなかった教育現場の苦しい実情を強調する意見が顕著に表れた。その背景には受験指導や校務が多忙であること、予算的な制約があることなどが窺がえる。また、学校の機材が限られていることや受け入れ体制が整備されていないという指摘もある。

時間的な余裕がないという意見とともに多かった意見は、協力・支援の必要性への疑問及び否定である。専門性の高い話は馴染まない、オプションとしての支援はわずかにある程度でよい、手間がかかるにしては内容が生徒の実態に合わない、外部支援を要するほど深く扱う必要がない、教科書の内容以上に深く教える必要はない、教員として話をすることを第一優先としている、等々の経験に基づく意見が目立つ。

扱う科目や分野に関連しては、放射線に関わる内容の比重は小さい、発展学習に適しているがこの分野に多くの時間は取れない、他の基本事項に十分な時間を取りたい、物理を選択する人数が少ないので協力・支援までは踏み切れない、物理に時間をかけることが日に日に困難となってきた、物理や化学の内容が多くて原子力には時間が取れない、生徒の興味・関心が低く支援の効果が薄い、本校では基本的な事項を重視するので

原子力・放射線は軽く扱うなど、その背景には大学入試をなによりも重視しなければならない事情や放射線については触れる程度でよいという学習指導要領における軽い扱いが影響していることも窺がえる。

時間的な余裕がないという厳しい教育現場のなかであっても、協力・支援の活用を期待する意見も出されている。手間のかからない支援として、たとえば、多忙を配慮して、1時間を要しないような準備が楽な教材を求める意見、特殊な器具を用いた大掛かりな実験支援よりもビデオ教示くらいに留めたいという意見、情報量が多い優れたビデオ教材の提供を望む意見など、学習効果や実験の安全性を重視した協力・支援の仕組みにも課題がある。

「原子力・放射線」の置かれた社会的な特殊性を示す否定的な意見として、推進、賛成、反対など立場の異なる団体があるので外部支援には慎重になる、扱う内容が偏っている可能性があるので不安を感じる、特殊な団体あるいは企業に都合のよい内容になることを危惧するなどの意見もあった。理科の教員のなかにも「原子力」や「放射線」に否定的な考えをもっている場合が多いために、チームとしての教科指導が難しい場合もあるが、様々な面からの支援体制が教育現場で整うことによって「放射線・原子力などの新しい科学技術」を生徒に伝えことができることで支援の重要性を指摘する意見もあった。

2) 放射線に関する教育について意見・要望(自由記述)

第10問では、科学の原理や体系を学ぶことに主目標を置いている理科教育のなかで科学技術としての放射線の扱いをどのように考えるかということにポイントをおいて、放射線教育についての意見・要望を自由に述べていただく欄を設けた。以下にそのうち主なものを幾つかの視点ごとにまとめてみた。

(1) 理科教育の視点から見た「放射線」の扱いについて

放射線や原子力の学習は科学技術と人間生活のかかわりを知ることに目標を置いており、原理や体系を学ぶことに主眼を置く自然科学中心の理科教育よりも、むしろ技術教育としての性格をもつ。しかし、中高の技術教育は体験や観察・実験を通して習得することに重点を置いている。実験しにくい内容、高度な内容、領域横断的内容などは理科、技術の教科(工業科を除く)のどちらでも扱いにくいという問題がある[3)]。この問題を念頭においたうえで、理科教育での放射線の扱いについて意見を述べていただくことに焦点をあててみた。その結果、20数名の回答者から貴重なご意見をいただいたが、それらは大きく3つの異なる意見グループに分けることができた。

原理や体系を学ぶことを重視する第1のグループの意見例は、①科学の基礎ができていないのに、放射線や原子力の安全性の問題を扱っても、身につかないばかりか、不安を煽るだけである、②新しい科学技術は基礎・基本をしっかり教えて、上級学校で新しい技術を学べるようにした方がよい、③科学原理や体系があったうえで放射線・原子力のような新しい科学技術があるので、理科の授業時数が増えない限り、この領域に時間を割けない、④現在の理科の学習内容からすると、新しい科学技術は主流から外れ、参考程度に示される程度となる、などである。

原理や体系にこだわらない第2のグループの意見例は、①原理や体系を学ぶことも

さることながら、社会人としての教養も必要であり、身近な生活の中で放射線との関わりは多いので、全ての生徒に教えておきたい、②広く社会で利用されているものを知らないではすまされないので、原理や体系のみに限らず学ぶべきである、③原理、体系重視のもとでは扱いにくいが、生活には密接な関係があるので必ず話題にする。実際の利用例に生徒も関心をもっているが、現状ではあっさりした扱いにならざるをえない、④今まで特に扱いにくいと感じたことはなく、原子核物理と絡めて放射線や原子力についての授業を進めているが、扱いにくいといわれるのは、教員の知識が不足したり、偏っていたりするからではないか、⑤理科で扱いにくいと誰が言っているのか、理科できちんと教えることこそ重要だと思う、⑥扱いにくいと考えたことはない。社会科の分野と協力することで、より深く、身近に生徒たちに分かってもらえるが、中途半端に扱うと誤解を招きやすい内容であると思う、などである。

第３の原理・体系よりも基礎科学と放射線の関わりを重視のグループの意見例は、①原子核物理との関連を重視して放射線を扱っている。扱いにくさは乗り越える必要があり、それが将来のためになる、②放射線は基礎科学でもポピュラーである。物化生地の全ての分野において必須なものであり、十分な教育が必要、③放射線は原理･体系に必要であり、扱いにくいものではない。原子力や原子力発電所のほうが扱いにくい、④原子構造探求の歴史過程を追う学習から入っていけば生活との関連項目を学習するのに特に支障はない、などである。

３つの意見グループの間には基本的な考え方の違いが明瞭にある。大雑把に分ければ、従来からの体系的な理科教育を重視する第１グループ、社会や人間生活との関わりを重視する第２グループ、及び基礎科学との関わりを重視する第３のグループということになろう。このような意見の多様性を通して、放射線が、原子力エネルギーだけでなく、他の広い分野と関わりをもつことの認識が多くの理科教員のなかにあることがわかった。このことは、放射線の扱いを原子力エネルギーの内容に含めて扱うと答えた割合がそれほど多くなかったというアンケートの結果とも一致する。

(2) 放射線実験・実習について

理科授業の基本である実験・実習に関する記述は比較的少なかったが、そのなかで最も多い意見は、放射線源の入手、安全な取扱や保管などについての不安である。具体的な問題点の指摘はされなかったが、実験・実習に対する消極的な気持ちが顕著に示されている。霧箱実験に使用する放射線源による被ばくに関する不安まで記されていたのには少々驚いた。放射線被ばくによる健康リスクは線量に依存するが、霧箱実験における被ばく線量は健康影響が顕在化する線量レベルよりもはるかに低いことは明白である。実験指導を行う教員が前もって正しい知識を身につけるべきであり、こうした不安が教育現場に強くあるのならば、理科教員のための放射線実験・実習に関わる研修が事前に必要であろう。

基礎知識が不足したままの段階で実験・実習を行うと学習効果が上がらないという当然の指摘もあった。そもそも実験・実習の目的は何か？目的意識の明確化は実験・実習にかぎらず、新学習指導要領のなかで強調されている。また、実験・実習に絡む様々な負担が、生徒自身による実験・実習に代わる次善策としての演示実験や動画による学習という選択に傾かせているという意見もあった。

(3) 放射線利用に関する意見

放射線は新科目「物理基礎」の学習指導要領ではエネルギー利用の項目で扱われているが、放射線利用の学習は、原子力エネルギー利用ではなく、「科学技術と人間生活」に直に結び付いているので、扱い方に戸惑う教員もいるかもしれない。しかし、放射線利用に言及した回答者は放射線利用の特異性をよく理解していることが窺がえた。

代表的意見は、我々の身の回りで放射線が使われていることを考えるならば放射線教育は必要である、目に見えないため理解は難しいが生活の技術面で利用されていることを知れば親近感も湧くと思う、放射線はわれわれの生活に必要なものだが使い方を誤れば人体に影響を及ぼすので正しい知識を身に付けさせたい、などである。放射線利用の扱い方については、「基本的な理論は物理で、その利用は物化生地で必要に応じて学ばせればよい」、「生物を専門としているので、突然変異、品種改良、病気の治療などの分野で説明しているが物理が専門ではないので指導に不安がある」、「科学などの年代測定や品種改良などに用いられていることなど、人間生活に利用されていることが教科書に取り上げられることはいいことだが、感覚的に分かりにくい分野なので何か実感のもてるもの(視聴覚教材)がほしい」、などの意見があった。

(4) 大学入試・センター試験について

放射線・原子力は授業で扱わないという選択肢もあると言われているが、その最大の理由は大学入試やセンター試験において放射線・原子力が出題されないことである。今回の意見記述にもその実情がよく表れている。受験対策で教科書の内容を追っていくだけで時間が尽きるので放射線・原子力をやっているひまがない、進学校ではせいぜい理科の中の一つのトピックのような扱いしかできない、放射線・原子力の重要性は認識しているが入試がすべてに優先するという実態がある、入試に出題されなければ外部講師を招くだけの効果もない、などの意見もあった。

(5) 学習指導要領との関係について

中学校理科で放射線が取り上げられることに関する意見は少なかったが、中学校で扱うことになったことを歓迎する意見として、「放射線が中学校で教えるべき内容として位置付けられたことを評価する。しかし、中学校では実験・実習が十分にされない恐れがあるので、高校で実験を含む学習をしっかり行う必要がある」、「進学のためというよりは、生活に必要な知識とも言えるので、放射線が中学校の学習指導要領に入ったことはとてもよかった。」という意見があった。しかし、これに関連して、「放射線について教員が学べるセミナーや実習の機会が激減した。何とかしてほしい。放射線を扱いにくいといわれるのは、教員の知識不足や偏りのためではないか」という注目すべき指摘もあった。

学習指導要領のなかでの放射線の位置付けに関しては、放射線の内容が第3学年の最終単元にあり、年によって授業時間が変動することも考えると、力が注げない、という意見はこれまでと変わらない。

(6) その他の建設的な意見

上記以外の建設的な意見として紹介したいものを以下に列記する。

・資源の乏しい日本にとって、原子力技術の発展は重要なことと思うが、負のイメージが先行し学習したいと思う生徒が減ってしまうのが心配。

・原子力発電行政の推進、反対のどちらかに安易に結論をもっていくことのないよう総合的な判断能力を育てることを意識しながら理科教育に携わっていきたい。
・石油などのエネルギー資源が枯渇すると言われるなかで、放射線・原子力について理解することは必要不可欠。そのため学校ではできる限り関係する授業を行うべき。
・放射線・原子力は身近なものであるが、生徒はそう感じていない。多くの生徒は教科書に載っている知識からしか情報が入っていかないので、生徒が興味・関心をもつ情報の提供が必要。
・社会との関係が深い科学技術についてはある程度触れるべき。生徒の進路選択に役立つ程度の知識・情報は必要。触れないことが偏見・誤解を助長する。
・放射線に絡む風評被害が起きないように正しい知識を高校では学ばせたい。
・放射線についての基礎的な知識を身につけることが必要。生徒たちの中には放射線技師を志す生徒もいるので、深い知識を養う動機付けになる。
・医療放射線や自然放射線など身近なところに放射線が存在していながらも、現状では誤った理解や言葉の使われ方がされている。正しい理解を促す教育が不可欠。
・あまり難しいことを話しても消化不良になる。興味をもたせることを中心にいろいろな画像を見せて教えていきたい。
・生徒の体験と絡めていかないと興味を喚起して理解させることが難しい。放射線・原子力についてどのような知識やイメージを生徒が持っているかを把握することから始めたい。
・物化生地の新しい基礎科目の履修において放射線・原子力に関する内容は全生徒に必要な知識。
・これからは、「判断、決断の力」を生徒につけさせたい。「原子力・放射線」は良い面と悪い面をもつ。生徒たちが 20 年後の世の中を背負うことを想像して、原子力を使うかどうかを考えさせたい。
・教科書の範囲に留まっていれば、多くは伝えられない。教員が高い意識で学び、それを教員間で共有できるようになれば嬉しい。放射線教育フォーラムの「指導の手引」を参考にしてみたい。

(7) 指摘されたその他の問題点

上記以外に指摘された問題点のうち紹介したい意見を以下に列記する。

・教科書 1 冊を標準単位数で終わらせることにも無理がある現状では、教科書の最終章に出てくる原子力・放射線は扱われないことを懸念。
・生徒は放射線・原子力を身近に感じていない。多くの生徒は教科書の知識からしか情報が入ってこない。
・エネルギー問題に関心をもつ生徒にできる限り情報を与え、的確に判断できるようにしてやりたい。しかし、時間の制約もあり、放課後の部活動対応に留まっている。
・原子力や放射線の基礎知識の重要さに異存はないが、体系のなかに取り入れて主目標の一つにするのは難しい。
・科学の基礎知識がないまま、放射線や原子力の安全性の問題を扱っても、なぜかわからないので不安を煽るだけ。
・新学習指導要領には、放射線の安全性にも触れるとあるが、これまで学校に届いた資

料にはほとんど触れられていない。
・放射線について説明してもなかなか理解されない。広島、長崎の原爆による悲惨な写真を見せると納得する。実際に原子力発電所を見学することによって、身近なもので、かつ、必要なものであることを体験させたい。
・きちんと学習しないために放射線について間違った知識やイメージをもつ人が多い。放射線技師を目指しながら放射線について何も知らないまま進学する生徒もいる。

4．まとめ

学習指導要領の改訂を踏まえて放射線教育の現状を把握するため、全国高校の理科教員を対象として 2010 年 10 月に第 2 回アンケート調査を実施した（回答数 402、回答率 16.0%）。回答者の理科の担当科目は様々であり、新学習指導要領に沿った授業の実施にはまだ 1 年以上の間はあるが、調査の結果、放射線学習をカリキュラムにどのように組み込もうと考えているかなど、自由記述欄に書かれた様々な意見も含めて、その実態がかなり把握できた。

放射線学習に関わる外部からの協力・支援については、その必要性を多くの回答者が認めているが、カリキュラムのなかに協力・支援を組み込める時間的な余裕がない教育現場の事情を指摘する意見が非常に多かった。中学校の場合と同様に、放射線に関わる授業が入試やセンター試験と時期が重なる最終学年の最終学期に組まれていることが余裕のない実態に拍車をかけていることが窺がえる。学習指導要領に基づいた放射線学習それ自体についても、カリキュラムに組み入れることについて、教育現場において様々な問題があることが認識された。

放射線に関する教育についての自由記述欄には、理科教育の視点から見た「放射線」の扱い、放射線実験・実習の扱い、放射線利用の扱い、大学入試等に関わる問題、カリキュラムにおける時間制約の問題などにわたって、様々な意見・要望が出された。

特に理科教育における放射線の扱いについては、放射線・原子力の学習が科学技術と人間生活の関わりを知ることに目標を置いているので、原理や体系を学ぶことに主眼を置く自然科学中心の理科教育では放射線・原子力は扱いにくいという問題が指摘されている[3]が、調査ではこの問題についての理科教員の意見を求めた。その結果、従来からの体系的な理科教育を重視する意見、社会や人間生活とのかかわりを重視する意見、及び基礎科学と放射線の関わりを重視する意見の 3 つのグループに大きく分かれ、基本的な考え方の違いが明瞭に表れた。これによって、放射線が原子力エネルギーだけでなく、他の広い分野と関わりをもつことの認識が多くの理科教員のなかにあることがわかった。

一方、記載された意見・要望の内容から示唆される問題点としては、筆者が期待していた放射線の性質と人体影響及び「総合的な学習の時間」の活用に関する言及が全くなかったことである。特に、放射線の「性質」は、1958 年版の学習指導要領から半世紀もの間消えていた[4]ので、現在の理科教員にとっては馴染みのない新指導用語であることが、問題点として具体的に出てこない原因であろう。この問題は新学習指導要領の実施段階で表面化していくと思われる。また、中学校理科の学習指導要領との接続や「物理基礎」に関して指導されている放射線利用の安全性に関する意見が少なかったこ

とも今後の問題点として留意しておく必要があろう。

終わりに、ご多忙にもかかわらず貴重な時間を割いてアンケート調査に協力していただいた多くの先生方にあらためて感謝する。

参考文献

1) 文部科学省：高等学校学習指導要領(2009)

2) 田中隆一：「放射線教育に関する高校教員へのアンケート調査で表わされた意見の紹介と考察」、放射線教育 Vol.13, No.1, p27-54

3) 小倉康：「科学技術値教育を考える　科学技術はなぜ『理科』から消えたのか」、科学技術と社会安全の関係を考える市民講座 2009 p154-161

4) 田中隆一：学習指導要領の改訂と放射線の扱い、F B News　印刷中((株)千代田テクノル)

添付資料

高校の理科教員への第 2 回アンケート調査の設問

1．以下にあげる理科の現行科目のうち、あなたが現在担当している教科に○印、専門科目に◎印を付けてください。

a 理科基礎　b 理科総合Ａ　c 理科総合Ｂ　d 物理Ⅰ　e 物理Ⅱ　f 化学Ⅰ
g 化学Ⅱ　h 生物Ⅰ　i 生物Ⅱ　j 地学Ⅰ　k 地学Ⅱ

2．あなたはこれまでの授業のなかで放射線や放射能（放射性同位体を含める）について教えたことがありますか？　　a　ある　　b　ない

2－1．（「ある」と答えた方に）以下の内容のうち、あなたが教えた内容として該当するものに○印を付けてください（複数回答可）。

a 原子力エネルギーの利用　b 放射線の利用(医療、製造業、農業、学術等)
c 物質・原子核・素粒子科学　d 自然放射線・放射能　e 放射線の性質
f 放射線による人体への影響　g その他（　　）

2－2．（2．で「ある」と答えた方に）あなたが放射線や放射能を扱った年間の授業時間として合致するものを下表記入欄から選んで○を付けてください。また、授業のなかで放射線の実習・演示を行った場合は、その下の空欄内に○を記入してください。

年間授業時間の程度	≦1 時間	1～3 時間	3 時間以上
放射線実習・演示を行った			

2－3．（2．で「ある」と答えた方に）放射線の実習ではどのタイプの教具・教材を使いましたか。また、その教具・教材はどのように用意しましたか？使用した教具・教材にチェック印を付け、どのよう用意したかの選択肢（ⅰ～ⅳ）のうち該当するものに○印をつけてください。

ⅰ．学校の備品　ⅱ．公的機関から借用　ⅲ．自作　ⅳ．その他

a．□ 霧箱　ⅰ．ⅱ．ⅲ．ⅳ．
b．□ GM 計数管　ⅰ．ⅱ．ⅲ．ⅳ．
c．□ はかるくん　ⅰ．ⅱ．ⅲ．ⅳ．
d．□ X 線フィルム　ⅰ．ⅱ．ⅲ．ⅳ．
e．□ その他（　　）　ⅰ．ⅱ．ⅲ．ⅳ．

3．学習指導要領の改訂によって中学校理科（第一分野）「エネルギー資源」の内容として 30 年ぶりに「放射線の性質と利用にも触れること」の項目が取りあげられることになったのを知っていますか。　　a　知っている　　b　知らない

４．新しい学習指導要領では、現行科目「理科総合 A」の学習内容が中学校理科に移行することを知っていますか。　　a　知っている　　b　知らない

５．新しい学習指導要領での理科授業で放射線を扱うことを予定していますか。

a 予定している　　b 予定していない　　c 教科書を見てから考える

d その他（　　）

６．新科目「物理基礎」を担当する場合についてお尋ねします。「物理基礎」では、「エネルギーとその利用」にかかわる内容の取り扱いのなかで「放射線の利用や安全性に触れること」と示されて います。このことを念頭において、以下に挙げる放射線の扱いのうち、あなたの考えに合致するものに○を付けてください。複数項目に○印を付けてもかまいません。

a　放射線を原子力エネルギーの内容に含めて扱う。

b　科学技術の発展と生活とのかかわりを学ぶために放射線の利用を扱う。

c　放射線もエネルギーの一形態であるので、広く「エネルギーとその利用」に関わる内容として扱う。

d　その他（　　）

７．新科目「物理基礎」を担当する場合についてお尋ねします。放射線の実験・実習で使用される放射線源はほとんどの場合放射性同位体に限られますが、医療、産業、学術分野における放射線利用では、X線発生装置、加速器などの放射線源の方が広く使われています。以下に示す放射線源のうち、あなたが放射線にかかわる学習で扱いたいと考えるものに○印を付けてください。

a 放射性同位体　　b X線発生装置　　c 加速器　　d その他（　　）

８．新科目「化学基礎」を担当する場合についてお尋ねします。「放射性同位体とその利用」は、どのような単元(8-1,2,3)及び項目（a,b,c・・・）のなかで教えるとよいと思いますか。該当するものに○印をつけてください。

8-1　化学と人間生活	a　化学と人間生活のかかわり　b　物質の探究 c　化学と人間生活に関する探究活動
8-2　物質の構成	d　物質の構成粒子　e　物質と化学結合 f　物質の構成に関する探究活動
8-3　物質の変化	g　物質量と化学反応　h　化学反応 i　物質の変化に関する探究活動

９．新学習指導要領の「物理基礎」では「放射線の利用と安全性の問題にも触れること」、「化学基礎」では「放射性同位体とその利用に触れること」と示されています。具体的にどのような利用例に触れると良いと思いますか。「物理基礎」を担当する場合、あるいは「化学基礎」を担当する場合について、扱いたいと考える利用例を a,b,c･･･の記号で所定の空欄に記入してください。その他の利用例を扱いたい場合は利用例をそのまま書いてください。両科目について記入してもかまいません。

a 放射性炭素を使った年代測定　b 癌の放射線診断・治療　c 医療器具の滅菌　d ジャガイモなどの食品放射線照射　e ウリミバエなどの害虫駆除　f 植物の品種改良　g ラジアルタイヤなどの製造　h 半導体部品の製造　i 製鉄所などにおける工程管理　j 空港などで行う手荷物検査　k ラジウム温泉とその効能　m その他（　　）

物理基礎	
化学基礎	

９．原子力・放射線の学習で外部らの協力･支援（講師派遣を含む）を受けたいと思いますか。

a　ある　　b　ない

９－１．上記の理由についてあなたのお考えをお聞かせください。

１０．放射線・原子力のような新しい科学技術は、科学の原理や体系を学ぶことに主目標をおく理科では扱いにくいと言われていますが、このことも含めて、放射線に関する教育についてあなたのご意見を以下にご自由にお書き下さい。また、このアンケートに関連して、なにかご質問、ご意見、ご要望があればお聞かせ下さい。

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 14, No. 1, p. 17 ー 26 (2010)

【研究報告】

「あらゆる物に電気が含まれる」を基礎にする放射線教育の試み

大野　新一
理論放射線研究所
〒227-0054 横浜市青葉区しらとり台１２－５
Mail: ohno-trl@01.246.ne.jp
(2011 年 3 月 15 日 受理)

【要旨】身のまわりの自然現象を観測することから物質が電気をもつ微粒子の集まりであることを推理する、さらに物質中の電子の流れ（電流の熱作用）に注目し、電場によって高速化された電子の挙動を予測することから始める放射線教育を提案する。この方法は観測結果の整理・規則性の発見・自然のしくみの推理を話し合う授業を目指すものであるが、このようにすれば自然界における放射線の存在、物質に対する放射線作用、さらに線量概念の理解がより容易になるであろうと考えられる。

1. はじめに

「身のまわりのすべての物質は原子や分子からつくられている」というと、「いや、ちがう。有機物質を除けばほとんどの固体には結晶が混じり合っているものであり、その結晶はといえば正と負の電荷をもつイオンが規則正しく配列しているものだ」という反論を受ける。さらに「金属はどうか？金属は正のイオン（金属イオン）と少しばかりの電子からつくられている。プラズマはどうか？などなど」。それらを承知の上で「すべての物質は原子からできている」はよく使われる表現であり、また一般的に認められている。

ここで報告することは、「あらゆる物に電気が含まれる」という表現の有用性と発展性について検討した結果である。現在の小・中・高校の理科教育で電気について学習が行われており、ここに電気をもつ実体が微細な粒子であり、その粒子が電場によって加速されることを学習すれば、自然に放射線教育に移行できることを示したい。これによれば、放射線が自然界に広く存在すること、放射線となるにはエネルギーが必要であること、この放射線が原子と原子を結合させている（化学結合に関わる)電子をクーロン力ではじき飛ばすと物質中の化学反応が開始されるなどの理解が、より容易になると思われる。

2. すべてのものに電気が含まれている

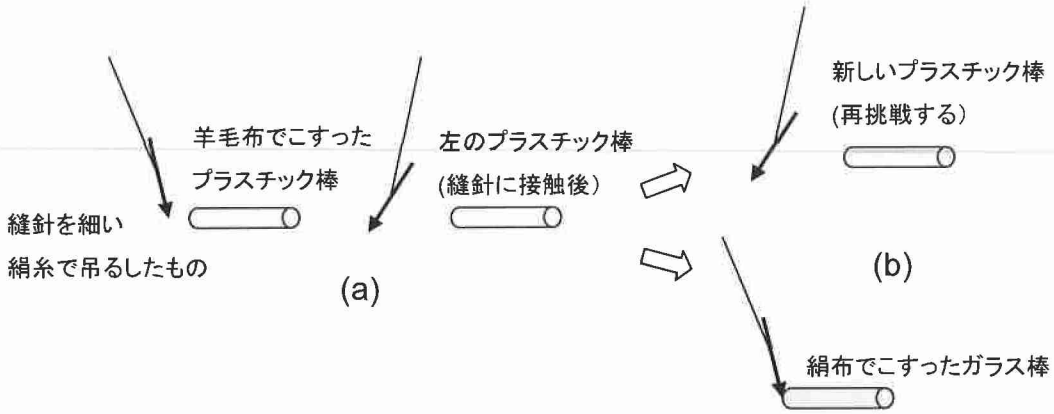
2.1. 摩擦電気 [1)]

（＋）毛皮 ガラス　絹　羊毛　金属　ゴム　コハク(樹脂）プラスチック(硬質ゴム）(－)

これらの物質群から２つを選んで互いに摩擦すると電気が発生する。ここで掲げた（＋）から(－) に至る系列のなかで互いの位置が離れているもの同士ほど電気が発生しやすい。摩擦するのは接触効果をよくし、接触面積を大きくするためである。電気の発生を確認す

る方法は、小さい紙片の付着からでもよいが、それよりは吊るした１本の縫針が引き寄せられるかどうか、さらには簡単に製作可能な箔検電器（物理 IB)[2]を用いるなど、色々と実験を展開させることができる。実験の結果を整理する：

(1) 電気に２種類が存在することを示唆する実験（図１）：プラスチック棒と羊毛布、ガラス棒と絹布のそれぞれの組み合わせで発生する電気を上から絹糸で吊るした縫針を用いて調べる例 [3] がある。どちらの場合でも同じ現象、すなわちこすった棒を縫針に近づけると縫針は引き寄せられるが、棒が接触すると途端に離れていく。ところがこの離れていく状態になった縫針に対してあらためてプラスチック棒（羊毛でこすったもの）を近づけても相変わらず遠ざかるだけであるが、絹布でこすったガラス棒を近づけると、逆に引き寄せられ、接触しても逃げていくことはない。



(a) 左：プラスチック棒を羊毛布でこすると、プラスチック棒は電気を帯びて吊るした縫針に近づけると縫針はひきつけられる。プラスチック棒が縫針に接触すると途端に離れる。
(b) 右上：プラスチック棒で繰り返しても離れた縫針は引き付けられないが、(右下)ここでガラス棒を絹布でこすって同じ事を行うと縫針は引き付けられる。

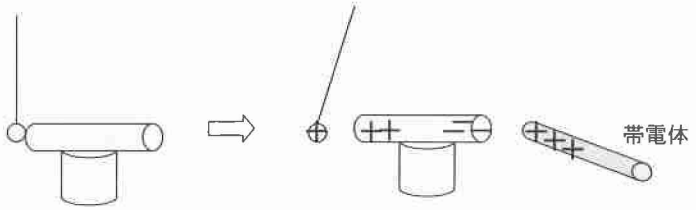
図 1. 電気に2種類があることを示す実験；朝永：物理学読本[3] より

つまり２本の棒に帯電した電気は異なるのである。ここから「電気には２種類のもの（仮に正と負とする）があり、同種のものは互いに反発し合い、異種のものは互いに引き合う」ことが分かる（DuFay, 1733)。

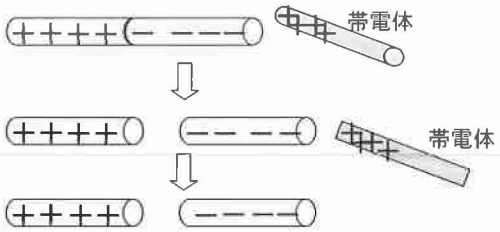
(2) 物体の中を電気が移動する場合もあるが、物体によっては電気を移動させないものがあることを示す実験（図２、PSSC 物理図 26－2 の実験)[4] ：すなわち「電気はある物体からそれとは異なる物体へと移動するが、物体の種類によっては移動する(導体とよぶ）ことも、また移動しない(絶縁体とよぶ）こともある。たとえば金属棒をとりあげれば、その一端に正または負に帯電した物体を近づけると金属棒の中に静電誘導が起こる。ところがプラスチックのような絶縁体の棒では、静電誘導は起こらない。

(3) クーロンの法則に関係する実験 [2]：一定の長さの糸で上から吊るした軽い金属球をいくつか用意しておく。その一つを帯電させ、別に帯電した棒を球に近づける（棒の先端と球の中心までの距離に対して球に働く力をしらべる（吊るされた糸の垂直からの傾きと球の重さから横方向に働く力を求める)。可能であれば、帯電した金属球に別の金属球を接

触させることで電気の量を 1/2 に、さらには 1/4 にすることが出来るので、２つの電気をもつ物体に互いに働く引力あるいは反発力の大きさを物体間の距離と電気の量を変えて求めることもできる（クーロンの法則、1790)。



(a)吊るされた軽い金属球と金属棒が接している。金属棒に帯電体を近づけると



(b)2本の接した金属棒に帯電体を近づける。つぎに2本の棒を引き離し、さらに帯電体を遠ざける。

図 2. 金属棒に帯電体を近づけて2種の電気を分離する (絶縁棒では起きない)

電気をもつ粒子(あるいは物体）が存在すると考えて、その粒子(あるいは物体）がもつ電気の量を電荷と呼ぶことが多い。以下では、電荷と言う言葉も適宜に用いる。上記の(1)〜(3)の実験結果から物質がどのようにできているかを推理することが重要であり、また興味深いことである。これらのことから正と負の２種の電気はあらゆる物質に同数ずつ含まれていて効果は打ち消しあっているが、その結びつきの強さは物質によって異なる。他の物質と接触させると一部の電気（特に負の電気）が移動するが接触する物質との組み合わせで異なる。また電気は目には見えない微細な粒子である。さらに推理を働かせるため、以下では先人たちが何百年もかけて推理し続けてきたもう一つ別の道を辿ることにする。

2.2. 物体はどのようにつくられているか

もう一つ別の道とは、2500 年前のギリシャ人たちから始まり 100 年ほど前まで続いた原子論の論争である。教師と生徒が対話を通じて、物体がなぜ微細な原子から成り立つと考えなければならないかに至る。この授業では、何よりも教師の力量が重要となる。

エジプト、メソポタミア、インダス、黄河などいわゆる四大文明の時代には、自然に関する人類の知識・経験が増大し、採集・採掘から農作・牧畜・金属の使用などの技術革新が起こった。ギリシャ時代には、豊富になった自然現象の観察結果に対する考え方が論じられ、自然のしくみを理解するための科学が誕生した。

a. 元素と原子の概念（イオニア自然哲学）　万物はどのようにつくられているかについて、タレース(Thales、BC 600）は、神を立ち入らせることなく、水を基本にした世界像をつくった。水さえあれば植物が成長し、植物を基に動物が育ち、動植物が死んで土を残す。

また燃えて火と空気ができる。かれは「万物は水からできる」という言葉を残した。つづいてエンペドクレス(Empedokleis、BC 450）は水、空気、火、土を永遠不変の基本実体として「自然」がつくりだされるとした。これが元素の概念の誕生である。

一方、ピュタゴラス(Pythagoras、BC 560 生）は、宇宙は数の原理にもとづく秩序と調和であるという世界観をもち、「万物は数である」と称えた。パルメニデス(Parmenides、BC 500）によれば、宇宙の本質は「不変」であり、物事が動き、雑多に見えるのは感覚の幻想に過ぎないと論じた。こうした 150 年間にわたる議論の終着として、物質の動的な変化に注目したデモクリトス(Demokritos、BC 400 頃）の原子論：「万物は原子と真空から成る」が生まれた。原子はパルメニデスのいう「不変」であり、不生不滅、中身は充実して均等、微細である。そして「真空」は原子が絶え間なく動くことを可能にする。原子が高密度になったり希薄になったり、原子同士の再配列(種々の結合と分離)などにより、万物流転の世界が繰り広げられる。たとえば肉眼で見える食塩の塊も塩の原子（原子一個一個は微細で見ることはできない）と真空からできている。食塩を水に溶かすと水の真空部分に塩の原子が入りこみ見えなくなる。それを室内に放置すると、水の原子が空気中の真空部分に移動し、再び食塩の塊があらわれる。また、岩石(鉄鉱石）と木炭を混ぜて高熱にするとドロドロに熔けた液体が流れ出る。これを型（粘土）に入れて冷やして農具や武器をつくる。しばらくして赤くボロボロに錆びる。が再び加熱して使用できる（化学反応)。このような議論を通して、めまぐるしい物質変化のなかに「不変なもの」の存在を信じ、原子論として後世に引き継がれたのである。

b．19 世紀化学者の努力　ギリシャ人たちが自然現象（鍛冶・手工業の現場で目の当りにする物質変化）を観察したのに対して、産業革命以後の化学者はさまざまな道具（測定機器や計量器具）を使って定量的な観察を行った。ラボアジェ(Lavoisier、1743-1794）は、天秤を使って化学反応の前後で全体の質量が変わらない(＝質量保存則、1774)こと、また空気が酸素と窒素の混合物であることを示し(1777)、さらに水が水素と酸素から成る化合物(混合物でない！)であることを報告した(「化学要論」、1789)。ここに至ってギリシャ人の元素は完全に退けられ、どのような手段を用いてもこれ以上に分割できなくなった物質を元素と呼ぶように提案した。ドルトン(Dalton、1766－1844）は、２種の元素 A、B が化合して２種以上の化合物ができるとき、各化合物における A の一定量にたいする B の量が簡単な整数比となる(=倍数比例の法則、1802）ことを発見した。またゲイ・リュサック（Gay-Lussac）は、反応物も生成物も気体であるような反応において、等温・等圧で測定した気体体積の間に簡単な整数比が成り立つ（=気体反応の法則、1805）ことを見出した。これらは (i)単体の気体（酸素，水素）も分子からできている、(ii)化学反応は原子と原子の組み合わせの変化である、(iii)原子は不変である、などを仮定することによって理解できる。さらに気体の種類によらず、等温・等圧のもとで同体積のすべての気体は同数の分子を含むとするアヴォガドロ(Avogadro）の仮説(1811)が提出され、物質の粒子的性格が鮮明になってきた。つづいてマクスウェル(Maxwell、～1860）やボルツマン(Boltzmann、～1870)は、剛体球モデルの分子と壁との衝突による撃力の平均値が圧力であるとして理想気体の法則が得られることを示し、また剛体球同士の衝突に基づいて分子の大きさ、気体中の近似的な分子数を説明した。こうして今から 100 年ほど前までは、原子は硬くて丸くて決して壊れることのない微細な粒子であり、質量と化学的性質が異なる 100 種類近い原子が存在し、原子同士が結合して無限と言える種類の分子が形成されると考えられていた。

c. 原子核の発見と陽子・中性子・電子の発見　原子の中を走り抜ける放射線の発見(~1900）をきっかけとして原子の内部構造を調べる手段が得られ、ラザフォード(Rutherford、 1911）はアルファ線の飛跡を調べるという方法により、原子の内部には正の電気を帯びた原子核と呼ばれる小さい箇所があり、しかもその正の電気量は一定の電気量を単位(陽子の電荷）としてその整数倍（この整数が原子番号に等しい）であるということ、原子の質量はほとんどこの原子核(陽子と電気をもたない中性子の集まり）脚注*1、*2に集中しており、その周辺に負の電気を帯びた電子がちょうど原子核の電気を中和するだけの個数だけ存在することを明らかにした。結果として原子が電気的に中性であることがわかってきた。

原子核は強い力が働く２種類の核子（中性子と陽子、その個数 N と Z）によって特定される。安定な原子核の N/Z 比は、軽い原子核では 1 に近い値、重い核では 1.6 に近い値になるが、これは核力以外に次第に陽子同士によるクーロン斥力の効果が現れるからである。ウラン、ラジウムなどの重い核は、大きくなったクーロン斥力のために自然にα粒子（陽子２個と中性子２個からなるヘリウム原子核）を放出（α崩壊）するか、あるいはβ線を放出（β崩壊）して安定化する。またいずれの場合でもγ線の放出が見られる。

表 1.　物質をつくる基本的な粒子がもつ主な性質脚注 1)

名称	陽子	中性子	電子
質量	1	1	～0.0005
電荷	＋1	0	－1
作用する力の種類	強い力 クーロン力	強い力 ――	―― クーロン力

注）質量の単位 1.67×10^{-27} kg，電気量の単位 1.6×10^{-19} C

d. 分子の形成、そして金属の場合　つぎに原子核中の陽子の数と等しい数だけの負電荷を帯びた電子がクーロン力によって集ってくることは自然の成り行きと言えるが、一つ一つの原子核に電子が集って中性の原子が出来るだけでなく、複数の原子核の集合に複数の電子が集って中性の粒子集合（この場合は分子と呼ばれる）を形成することに注目したい（図. 3）。分子としては簡単なもの（水素分子 H_2, 水分子 H_2O, メタン CH_4, アンモニア NH_3, グリシン H_2NCH_2COOH、ベンゼン C_6H_6 など）から複雑なもの（タンパク質、

脚注*1）電子の（電荷 e/質量 m）の値は Thomson の陰極線(電子線）の電場・磁場による屈曲の実験（1899）から、また陽子の（電荷 E/質量 M）の値は電気分解の実験(1832)から求められた。電子の電荷 e と陽子の電荷 E の絶対値は等しいものと考えられ、さらに Milikan の油滴の実験(1910）で e が決まり、表 1 の値が定められた。

脚注*2）「微細な粒子は，他の粒子と相互作用しないでひとりで運動している間は波動のように振る舞うが，他の粒子と相互作用(=エネルギーのやり取り)するときは粒子のように振舞う。」原子核に束縛された電子の場合では，エネルギーのやり取りなく狭い空間に閉じ込められたまま運動するが，そのときの波動は定在波（＝定常波）としてのみ存在する。ひとつの定在波から別の定在波への移り変わり(＝遷移)は，電磁波の吸収・放出を伴っても起こるが、入射してきた高速の荷電粒子（電子や陽子）と定在波をつくる電子が衝突してエネルギーをやり取りすることによっても起こる。入射してくる電子などと相互作用するときは粒子と粒子の衝突である。

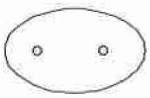
DNA, など）までさまざまである。

(a) 水素原子

原子核の正電荷に束縛された負電荷の電子は定在波を形成する。
電場の中（帯電体が接近する）では軽い電子だけがずれる（分極する）

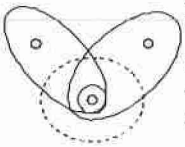
他にもd波、f 波などがある。

(b) 水素分子



2個の原子核の正電荷に束縛されて2個の負電荷の電子が定在波をつくる。
2つの正電荷の中間に存在する確率が高く、安定な分子として存在する。
この分子内電子が飛ばされると、2個の原子核が反発しあい分子が壊れる。

(c) 水分子



水分子は2個の水素原子核と1個の酸素原子核と10個の電子からできる。電子のつくる定在波は5種類あり、複雑である。主として酸素原子核に束縛される定在波、酸素と水素の1つに束縛される定在波、また、紙面に垂直に伸びる酸素p波と呼ばれる定在波などから成る。水分子は全体で電気的に中性であるが、水素側に＋電気、酸素側（左図の下方）に－電気に分極している。

図 3. 原子及び分子を模式的にあらわした図
（原子核の位置 ○ と電子の定在波の形に注目すること）

ここで簡単な水分子の場合を例にして分子の安定性についてもう少し考えてみたい。室温付近の気体中で分子が走る平均の速度は約 600 m/秒であるが，この速さで互いに衝突しあっても分子自体は壊れることはない。水分子は３個の原子核と 10 個の電子の集合であるが，これらの粒子は相互に働く静電力のもとで定常的な運動状態にある。また水分子と水分子、あるいは窒素や酸素分子などと相互に衝突しあっても，壊れることなく，安定である。このような原子・分子の安定性は電子が波のように運動すること，そして原子核によって狭い空間に閉じ込められることから定在波（定常波ともいわれ、安定で時間と共に形が変わらない）を形成することとして理解される。脚注*2) これらの安定な分子では、電子が強く各原子核に束縛されているので脱出できない。その分子の集合体は絶縁物質と呼ばれる。帯電体の影響下 (＝電場の中）にある絶縁物質では、図 3 (a)水素原子の例で説明するように、特定の原子・分子に束縛されたままではあるが分子の分極が起こる。これを全体としてみると正の帯電体の近い側の表面に負の電荷が、そして反対側の表面に正の電荷が現れたときと同じ状態になる（＝誘電分極)。

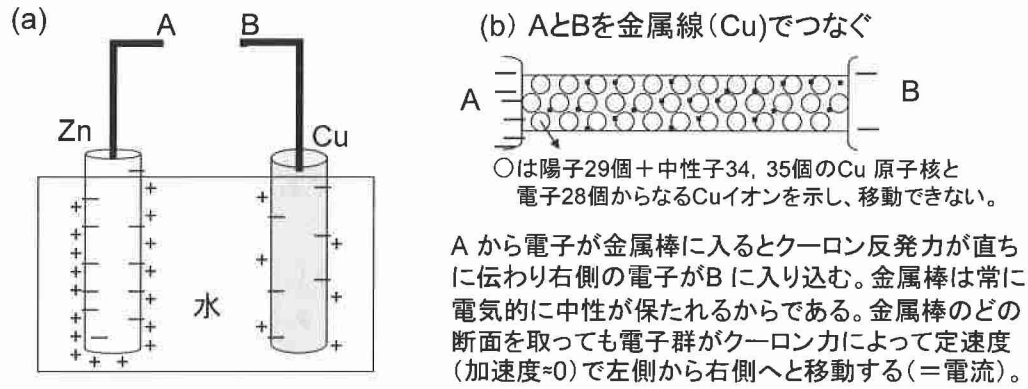
金属では、含まれる電子の数が多く、定在波も多種多様でしかも原子が密に規則正しく配列していることが多い。各原子は放出されやすい１～数個の電子を出し、残りの電子は原子核に強く束縛された状態で規則正しい結晶をつくる。そして放出されたわずかの電子が非常に多数の原子核（原子核＋強く束縛された電子から成り、全体で陽イオンになるもの）に同時に束縛され、特定の原子核に束縛されないまま結晶内を自由に移動できる。

3. いろいろの金属を水中に入れると

異種物質が接触した場合、物質間に電荷が移動することは普遍的に認められる現象である。水と金属を接触させた場合に、何が起こるかが詳しく調べられている。金属、たとえば亜鉛の棒を水中に入れたとする(図４)[5]。亜鉛 Zn のごく一部が亜鉛の陽イオン Zn^{2+} として水に溶けて電子が金属棒に残される。亜鉛の陽イオン Zn^{2+} は周りに 6 個ほどの水分子に取り囲まれると水中でも違和感なく存在できる。亜鉛の金属棒から亜鉛が溶けだす反応が起こり、水中に亜鉛イオンが存在するようになると、その亜鉛イオンが負に帯電した亜鉛金属棒に引き寄せられ金属棒上に戻る逆反応も起こるので、際限なく亜鉛が溶け、水中の亜鉛濃度が上がり続けることはなく、濃度はある一定の値になる。つぎに亜鉛の代わりに金属銅の棒を同じように水中に入れたとする。銅の陽イオンが溶けて電子が金属に残されるが、亜鉛の場合に比べてはるかに溶けにくい。多くの金属を同じように水に挿入して金属に残される電子の数に関わる量 (電位) を測定して次ぎの系列が得られる：

K Ca Na Mg Al Zn Fe Ni Pb (H_2) Cu Hg Ag Pt Au

最初の方(左側) に位置する金属ほど陽イオンになって溶けやすく、右側の Au などは溶け難い。そこで今度は亜鉛 Zn と銅 Cu の 2 本の棒を一つのビーカーの水に入れ (図 4) 金属棒の間を適当な金属線、例えば銅線でつなぐと亜鉛の側から銅の側に電子が瞬時に伝わり同じ電子密度になる。このとき電子は互いに反発するので、2 本の金属の棒や繋いだ電線の表面に均一に負電荷が分布するものと考えられる。すると電線で繋ぐ前の状態と比べると、水中の Zn 側では表面の電子密度が減少し、平衡が破れ金属表面の Zn イオンを引き込んでいる力が弱くなり、亜鉛イオンが表面から離れ、新たに次つぎと金属亜鉛の溶解が進むようになる。ところが一方の銅金属の方では電子密度が前よりも大きくなるので、



(a)水中に入れると金属表面のごくわずかの原子の1個ずつが水分子に取り囲まれ、金属イオン(＋)として表面をわずかに離れる。このとき電子(－)が金属中に残される。金属中の電子は互いに反発しあい、金属棒表面、さらに接続した電線の表面に均一に広がる。
金属イオンの溶け易さは金属の種類によって異なるので、A とB で記した部分の空間に電子をおくと、例えばA(Zn) からB(Cu) に向かって力が働く(＝電場)。

図4. 水中に金属(たとえば亜鉛と銅)の棒を挿入し、定常電流をつくる

すでに溶けて表面に付着していた銅イオンが金属に引き込まれ元の銅が析出する。しかし元もと銅イオンはわずかしかないので反応はすぐに停止する。そこで水の中に硫酸を入れて水素イオン濃度を大きくすると水素イオン H^+ が銅金属の表面で電子と反応して水素ガ

スを生成し、電子を除去してくれる。こうして亜鉛の溶解と水素ガスの発生が続く限り、両金属をつなぐ電線を一定個数の電子が定常的に流れるようになる(ヴォルタの電池、1800)。

4. 物体の中を走る電気[2, 6]（電流の熱作用）

電流の流れを具体例にそって整理する。断面 1 mm^2(=$10^{-6}m^2$)、長さ 10 cm(=0.1 m)の銅線中を走る電子の速度を見積もってみよう。図 **4 (b)**の説明のように、A からの電子がいきなり B に入るのでなく順送りされて B に最も近い電子が B に入るので電子の移動する速さは極めて遅い。電子の電荷を e [C]、単位体積中の自由電子数を N [個/m^3]、電子の速さの平均値を v [m/s]、銅線の断面積を S [m^2]と改めておく。すべての自由電子が同じ行動(同じ速度）を取るものとして、時間 t [s] 間に A から B 方向に走る距離は vt [m] 、したがって

任意の断面 S [m^2] を t [s] に通過する電子数＝N・vtS [個]　　(a)

であり、その電荷の総量は e・NvtS [C] 、よって次式を得る：

毎秒流れる電荷量（＝電流）＝eNvS [A]　　(b)

われわれは平均の速度 v を見積もりたい。(b)式で e = 1.6×10^{-19}C、S＝$10^{-6}m^2$、N= 8.5×10^{28} 個/m^3(Cu 原子が 1 個ずつ自由電子を提供する：Cu の比重から Cu 8.93×10^6 g /m^3、Cu 原子数は$(8.93\times10^6/63.5)\times6.03\times10^{23}= 8.5\times10^{28}$)。(b)式の左辺に電流値を代入すれば v が求められる。それには電気を一定時間だけ流して反応した物質量（たとえば溶解する亜鉛や生成する水素ガスの量、あるいはよく使われるのは水に硫酸を加える代わりに硫酸銅水溶液を用いて反応後に析出する Cu の重量増加量）を測定し、そこから反応する原子数、さらに反応する電子数をもとめ、毎秒あたりの電子の流れ、すなわち電流を測定することができる[5]（もちろん電流計を使用してもよい）。実験でよく遭遇する電流値は数 A 程度なので、いま 1 A として(b)式に入れる：

1 [A] = eNvS [C/s] = 1.6×10^{-19}C・8.5×10^{28}[個/m^3]・v[m/s]・10^{-6}[m^2]

ここから v = 7.4×10^{-5} を得る。すなわち毎秒 0.0074 cm である。10 A としても毎秒 0.74 mm で殆ど動かないと言っていいほど遅い。

しかし図 **4** のヴォルタ電池で、A と B の間の金属線を外してその空間に電子（電荷 e = 1.6×10^{-19}C) をおくと A から B の方向へ働く力を受ける。あるいは B から－e の電荷を A まで運ぶときにエネルギーが必要であることに注目する。AB 間の電圧が 1 V（ボルト）のとき（Zn-Cu/硫酸水溶液の系で 1.1 V の値である)、必要なエネルギーは 1 eV であると定義される。逆に考えると A から B まで引き寄せられるままに移動した電子は 1 eV のエネルギーを金属中で失う。ちょうど高さが h の坂道を転げ落ちる質量 m の物体が坂下まで来ると mgh の位置エネルギーを失い、そのエネルギーを途中の坂道や石ころに与えるようなものである。石ころが充分に多い坂道で上から落ちる石は地球の重力にもかかわらず同じ速度で落ちる。金属中を走る電子群も金属中の電子や原子と衝突しながら 1 個あたりで 1 eV を失う。断面 1 mm^2、長さ 0.74 mm のわずかな部分のなかに含まれる自由電子数は$(0.74\times10^9$ m^3・8.5×10^{28} [個/m^3] =) 6.29×10^{19} 個であり、これだけの膨大な数の電子が流れるので観測にかかるのである。1 個の電子のもつエネルギーが 1 eV でわずかでも移動した電子全体では 1 eV × 6.29×10^{19}=1 eV × 1.6×10^{-19} [J/eV] × 6.29×10^{19} = 10 J である。つないだ金属線(断面 10^{-6} m^2、長さ 0.1 m、質量 8.93×10^{-4} kg) のエネルギー吸収量は 10

J/ 10^{-7} m^3、あるいは 10 J / 8.93×10^{-4} kg と表現できる。つないだ銅線に与えられた 10 J のエネルギーは亜鉛を亜鉛イオンに、水素イオンを水素に変える化学反応を組み合わせて得られた。エネルギーを受け取った銅線がどうなるかを調べるときに、銅線の長さや断面積の数値に関係なく、一定の質量あたりのエネルギー付与量から考えるのが各種のデータを参照できるので便利である。この場合も 10 J / 8.93×10^{-4} kg＝11.2×10^{3} J/kg という数値を報告する。たとえば銅の比熱のデータ：385 J $kg^{-1}K^{-1}$（理科年表による 298 K におけるモル熱容量は 24.47 J $K^{-1}mol^{-1}$ であるが、Cu が 0.0635 kg/mol であることからこの値が得られる）から銅線は 29 K の温度上昇となる。もちろん発熱量がすべて外へ逃げないと仮定した場合の値である。

金属線でつなぐ代わりにプラスチックまたはガラス棒で繋ぐときは電流は流れないので、電流によるエネルギー吸収はない。

5. 高速電子が物体中でエネルギーを失う

まず 1 eV のエネルギーをもつ電子が真空中を走るときの速度を求めておく。(1/2) mv^2 =1 eV = 1.6×10^{-19}J とおいて電子の質量 m = 9.11×10^{-31} kg を代入する。v^2 = (2/9.11×10^{-31})1.6×10^{-19} J/kg = 35.1×10^{10} J/kg、よって v = 5.9×10^{5} m/s を得る（ここで [J] = [N(ニュートン)・m]＝[m・kg/s^2・m] を使う)。秒速 590 km の超高速であるが真空中であることに留意しなければならない。

家庭で使われる電気の電圧は日本では 100 V であるが、変圧器や整流器など簡単な器具を用いて、より高圧を得ることは容易である。研究機関では 100 万 V(＝10^6 V＝1 MV)、10^9 V(=1 GV)なども使われることが多い。こうした高電場で加速された電子は真空中でさらに高速になるが、相対性原理によって光速($c=3\times10^8$ m/s)を超えることはできない。また電子だけでなく、陽子や他の原子核など陽電荷をもつ粒子も同じように加速され高速で走ることができる。高速の電子や陽子などが分子の集団からなる絶縁体や金属に入るとどうなるか、想像することも楽しいであろう。

原子や分子(10^{-10} m)を仮に 1 兆(10^{12})倍すると、粒子の運動範囲は 100 m の大きさとなり、そのなかで電子は 1 mm、原子核も同程度か少し大きい程度、電子は猛烈な速さで原子核の周辺を動きまわる（1 秒間に 10^{16} 回)。高校物理では、ボーアの水素原子模型がでてくる。円運動する電子軌道の半径 0.053 nm と速度およそ 10^6 m/s、回転周波数 10^{16} Hz を学習する。このような原子･分子に対して分子外から高エネルギーの電子や陽子などの荷電粒子が入射する場合を考えよう。原子・分子内の電子の速度 10^6 m/s に対して、10 から 100 倍の速度の高速荷電粒子（高エネルギーの電子または陽子）は、標的の原子・分子内電子が静止しているところを真っ直ぐに通り抜けるものと考える。入射荷電粒子と電子の間に短い時間だけクーロン力が作用し（両者がもっとも接近したときの距離によって力の大きさが、そしてその持続時間が決まる)、運動量が移行する。すなわち入射荷電粒子の運動エネルギーの一部が原子・分子内の電子に移行し、これにより原子・分子内の電子が遠方に飛び去ることがある。すると分子では 2 つの原子核間の静電的なバランスが崩れ、残りの原子核同士のクーロン反発力によって化学結合が切れ、化学反応が始まるのである。これが高速荷電粒子による化学反応であり、この化学反応が細胞内の DNA 分子に起こると生物効果が顕著に現れる。分子内で束縛されている電子をはじき飛ばすにはそれなりのエネルギーを必要とする。炭素や酸素などの場合で、化学結合に関係する定在波をつくる

電子のはじき飛ばしエネルギーは 5～15 eV、その内側あたりで定在波をつくる電子では～30 eV、原子核の一番近くに強く束縛されている電子で 300～500 eV の程度である。これらのエネルギーは入射する高速荷電粒子が持っていた運動エネルギーが失われることでまかなわれる。高速荷電粒子（＝放射線）による物質の変化量は、物質が吸収したエネルギー[J/kg] 量に基づいて報告される。

6. まとめ

すべての物質は陽子、中性子、電子などの素粒子から構成される。陽子と中性子が「強い力」(=核力）によって集って原子核をつくり、その周りに原子核の電荷（=陽子の数で決まる）を電気的に中和するように電子が「クーロン力」によって引き寄せられて（＝束縛されて）原子や分子ができている。原子・分子の凝集体である物質を他の物質と接触させると、束縛され方の弱い電子が物質間を移動する。またこうした電子は「クーロン力」の場（＝電場）におかれると、ある一定の速度で物質内を移動する。物質内を走る（＝運動エネルギーをもつ）とき物質中の電子または原子と衝突してエネルギーを付与する（＝電流の熱作用；単位質量あたりに吸収されるエネルギーJ/kg であらわされる)。外から、とりわけ高エネルギーの電子が物質内に入射してくるときは、物質中の分子に束縛されていた電子をはじき飛ばしながら次第にエネルギーを失い、ついには電流の熱作用と同じようにエネルギーを与える。やはりエネルギー吸収量は J/kg であらわされるが、とくに放射線からのエネルギーであることをはっきり表示したいときにグレイ Gy(=J/kg)単位を使う。人体への放射線影響を問題にするとき、放射線の種類（電荷・速度などの違い）による効果を含ませたいときには補正係数を乗じた Gy 単位、すなわちシーベルト Sv（J/kg) もよく使われる。我々に向かって、あるいは我々が調べようとしている物体に向かって来る高エネルギーの電子、陽子あるいは原子核などは特に「放射線」と呼ばれることが多い。それらの出所は、(i) 不安定な原子核（地球に存在する主な不安定原子核は、46 億年前の超新星爆発の結果できた原子核のうち、地球の生成にあずかり、いまなお崩壊しないで残っているもの)、(ii) 遠くの星の内部の激しい活動（超新星爆発や銀河同士の衝突など）で発生し、宇宙空間を走る途中で磁場などで加速されながら長い時間をかけて地球まで到達する宇宙線、(iii) 人工的につくられる強い電場（加速器）によってつくられ、空間を走ってくるものなどである。放射線が物質中に付与するエネルギーはそのまま物質が吸収するエネルギーであり、[J/kg] 単位であらわされ、線量とよばれる。放射線が自然界に広く存在すること、放射線をつくるにはエネルギーが必要であること、放射線が原子と原子を結合させている電子を「クーロン力」によってはじき飛ばすことによって物質中で化学反応が引き起こされるなどの理解が容易になることを願っている。

参照文献

1. 高橋雄造：静電気がわかる本—原理から障害防止ノウハウまで、工業調査会、2007.
2. 高等学校理科用、物理 IB 改訂版、三省堂
3. 朝永振一郎：物理学読本（第 2 版)、みすず書房、1969.
4. 山内恭彦他訳：PSSC 物理（上下）（第 2 版)、付実験指導書、 岩波書店、1967.
5. L. ポーリング：増訂 一般化学(上・下)、岩波書店、1957、第 3 章
6. 黒沢達美：電流と電気伝導、物理学 One Point—23、共立出版、1983.

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 14, No. 1, p. 27－36 (2010)

【実験報告】

紫外線を用いたレントゲン撮影模擬実験について

早川　一精
中部原子力懇談会
〒460-0008 名古屋市中区栄 2 丁目 10 番 19 号　名古屋商工会議所ビル 6F
（2011 年 3 月 19 日受理）

「要約」 出張授業等で実施する放射線に関する新規実験として、紫外線を用いるレントゲン撮影模擬実験を開発したので、その開発経緯、内容、学習指導要領との関連性、実践例を含めて報告する。

1. はじめに

中学校の理科の学習指導要領が改訂になり、30 年ぶりに放射線の記述が入ることになった。その中で理科第 1 分野 (7)科学技術と人間 ア.エネルギー（イ）エネルギー資源の所で「放射線の特性と利用についてふれること」と記述されている[1)]。また指導計画の作成上の配慮事項(5)博物館や科学学習センターなどとの連携の所では「他機関と積極的に連携、協力を図るよう配慮すること」と記載されている[1)]。したがって今後は、学校側から放射線に関する授業について協力依頼が増加する可能性があり、また我々も積極的に学校に協力出来る内容を提案していかなければならない。

中部原子力懇談会は、過去十年以上前から、中学校、高校等に出向き、放射線に関する実験や講義をいわゆる出張授業の形で実施してきた。具体的には霧箱による放射線の観察実験や、はかるくんを使った放射線の測定などを行い、身近に存在する放射線を実際に体感、理解してもらうことを行ってきた。このように次世代層に、放射線を正しく理解してもらうことが、いわれなき放射線アレルギーの解消に繋がると思っている。

放射線の取り扱いに関する規制や制約から、霧箱、はかるくんに代わる他の放射線に関する良い実験がなかなかないのが現状である。そのため当懇談会としても、学習指導要領の改訂に伴う状況の変化に対応すべく、提案できる新規の放射線に関する実験を模索することにした。当懇談会は、大学の先生、公的研究機関の研究者、高校の先生などからなる放射線に関する専門部会をもっており、その協力を得て新規実験の探索を行った。事務局を含めて各メンバーからいろいろな実験のアイデア、提案をしてもらい、実験が簡単にできること、なるべく日常の身近な材料が使用できること、放射線特性との関連性や学習指導要領との適合性等のさまざまな視点（全部で 9 項目）から検討を行った。その中で最も高い評価となったのがレントゲン撮影模擬実験である。そのほかにも放射線の特性と対応したいくつかの実験を提案した。これにつ

いても後で紹介する。

レントゲン博士は 1895 年に初めて放射線を発見したが、その業績は放射線を語る上で、きわめて代表的、エポックメイキングな内容である。また 2009.11.5 のインターネットニュース [2]によれば、英国ロンドンの科学博物館がこのほど創立 100 周年を記念して、重要な科学発明に関する投票を実施した。約５万人の人々が最も重要だと感じて投票したのは、エックス線を利用して体の内部などを調べることができる「レントゲン」だった。次点は、世界初の抗生物質「ペニシリン」の発見で、その次にＤＮＡの二重らせん構造の解明が続いた。

したがってレントゲン撮影の実験を取り上げることは、極めて意義深いことと思われる。以下に検討したレントゲン撮影模擬実験の内容などについて紹介する。

2. レントゲン撮影模擬実験の予備検討

2. 1　基本的な構成と課題

レントゲン撮影は、放射線の基本的な特性である透過性あるいは透過性の差や感光性を利用したものである。本模擬実験の目的は、これらの原理の理解にあり、特に透過性の差や感光性を理解していただくことにある。エックス線を使わずに、いかに実験を通じてその原理を理解させるかは、かなり難しい課題である。その解決のヒントは、エックス線の代わりに紫外線を用い、感光フィルムの代わりに市販の感光紙を使うことにあった。この基本的なアイデアは日本科学技術振興財団の掛布氏によるものである。ただ実際に実験を実施するためには、いくつかの解決すべき課題があった。どんな光源、感光紙を用い、どんな実験を行えば、レントゲン撮影の原理を効果的に理解させることができるか等である。また実際に出張授業に適用するには、より簡単な道具で、短時間に実験が行えるようにしなければならない。

2. 2　感光紙の検討

感光紙として初めに検討したのは、湿式のジアゾ感光紙である。この感光紙は、トナーを使う乾式のコピー機が今のように全盛になる前から使われてきた懐かしいものである。50 年以上前から、学校では鉄筆で半透明な用紙にガリ板で字を書いて版下を作成し、この感光紙を使って湿式のコピー機で印刷を行ってきた。この感光紙は現在でも入手可能である。紫外線で露光した感光紙を現像液に浸して乾燥することにより、字や像を現すことができる。ただこの方法は、液を用いるため実験では扱いにくいが、アイロンのような加熱した器具を感光

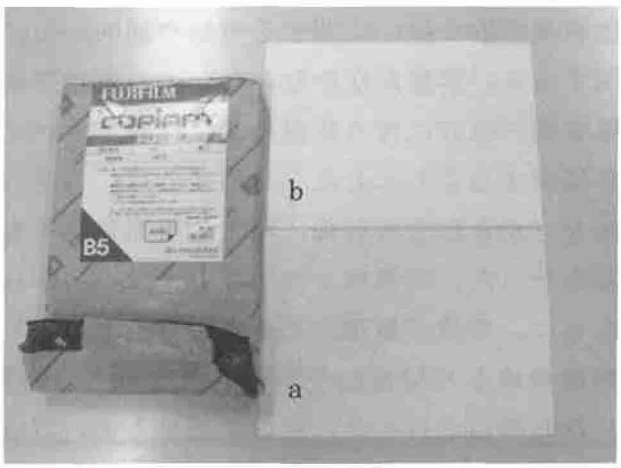
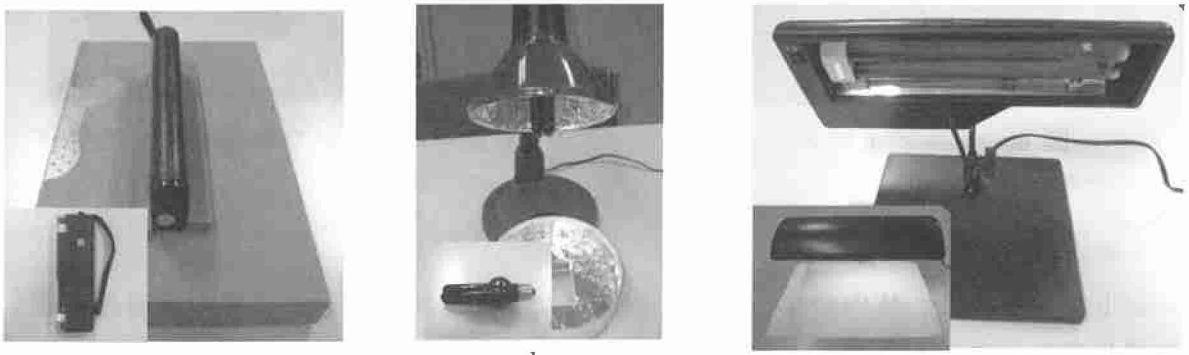


図１コピアート紙の.外観と用紙
「a. 感光面（表面　黄色）b. 裏面（白色）」

紙に当てることによっても現像することができる。実際に露出時間を変えて行ったが、青色の発色はいま一つであり、湿式で行ったものに比べると、その発色性、コントラストの点で明らかに劣る。次に検討したものが、富士フィルムから発売されているコピアートという乾式の感光紙である(図１)。 これはピンホールカメラの感光紙として用いることにより、風景等の写真を撮ることができ、アイロン等の加熱源の利用により、明瞭な像を得ることが可能である。風景等の撮影では長時間の露出が必要であるが、紫外光源を使うことにより、1～2 分で感光可能なことがわかった。これによりコピアート紙は実験に適用可能なことが判明した。

2．3　紫外光源の検討

次に紫外光源（ブラックライト）の検討を行った。①出力 4W のハンディタイプのブラックライト 型番 BL-141（図 2-a）②15W の電球型ブラックライト 型番 EFD15BLB-T（図 2-b）③27W 卓上型のブラックライト 型番 FPL-27BLB（図 2-c）について比較検討を行った。①のブラックライトでは、菓子箱の蓋の部分にこの光源のランプ部がすっぽり入る大きさの孔をあけ、光源をセットし、蓋を閉じた状態で感光紙に感光させた。この光源は手軽に利用できる反面、照射面積が限られており、大きな面積に対応出来ない欠点があった。②のブラックライトでは、出力は十分であるが光が照射方向と直角方向に広がりやすく、大きな面積の感光紙を均質に感光しにくい問題があった（図に見られるように、スリットや反射シートにより集光している)。③の 27W 卓上型のブラックライトが、以上の問題点を解決でき、比較的安価（約 13,000 円）に入手出来る点で最も適当と判断した。いずれの光源も、人体に有害な波長の紫外線を用いていないが、実験に使用する時はなるべく直接光源を見ないよう、また長時間皮膚に当てないように注意を喚起するのが好ましい。以上の結果を基に、実験装置、方法等を構築した結果について以下に詳細を示す。



a　　b　　c

図２　各種ブラックライト（a．4W ハンディタイプ
b．15W 電球型　c，27W 卓上型）

3．レントゲン撮影模擬実験の内容

3．1 実験装置と実験方法

実験にあたっては、図 3 に示すように、感光紙の上にサンプルを載せ、1～2 分程

度ブラックライトを当てた後、感光した感光紙上に加熱したアイロンを滑らせることにより現像する。通常のアイロンは重くて使いづらいため、旅行用のミニアイロンを用いる（図 4)。このミニアイロンは、1000 円程度で家電量販店や通販で購入できる。アイロンは、10 分以上通電し、十分温度が上がってから用いるようにする。そのため事前にアイロンの電源を入れておくと効率的である。アイロンのかわりに、ラミネーターを用いる事も可能である。

学校での実施にあたっては、アイロンで火傷をすることを防止するため、生徒に感光した感光紙をもってこさせ、実験指導者またはスタッフがアイロンで現像し，生徒に渡す方法がよいと思われる（図 5)。

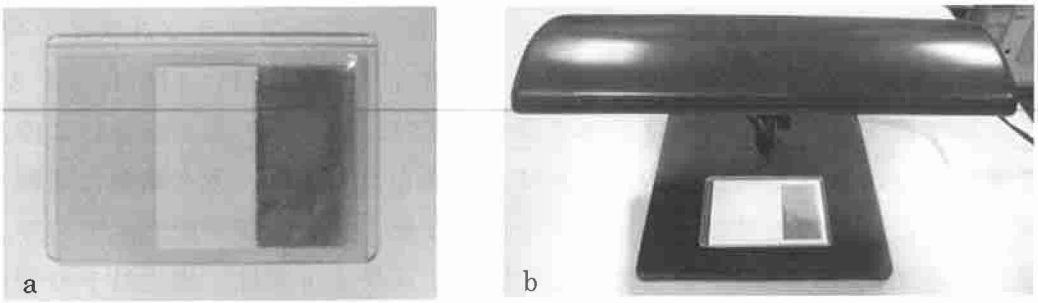


図 3　実験装置（a. サンプル　b. 感光紙の上にサンプルを載せて点灯している様子）

図 4　ミニアイロン

図 5　アイロンで現像している様子

3. 2　サンプルの準備

レントゲン写真は、体内の骨、臓器，空間部などに対するエックス線の透過性の違いが感光度合いすなわち明暗となって現れ、その明暗から逆に体内の様子を知るものである。したがって透過性の差が感光度合いに影響することを体験できるように、透過性の異なる材料を組み合わせたサンプルを用意する。例えば図 6 に示すサンプル A は、透過性の異なるアルミ、紙(コピーペーパー)、透明部分（空隙）からなる。

またティッシュペーパーに、日焼け止めクリームをつけたドラエモンの印を押し当て、全体を青いセロファンシートで覆ったサンプル B は，目で見ても全く何が押さ

れているかわからない(図７)。

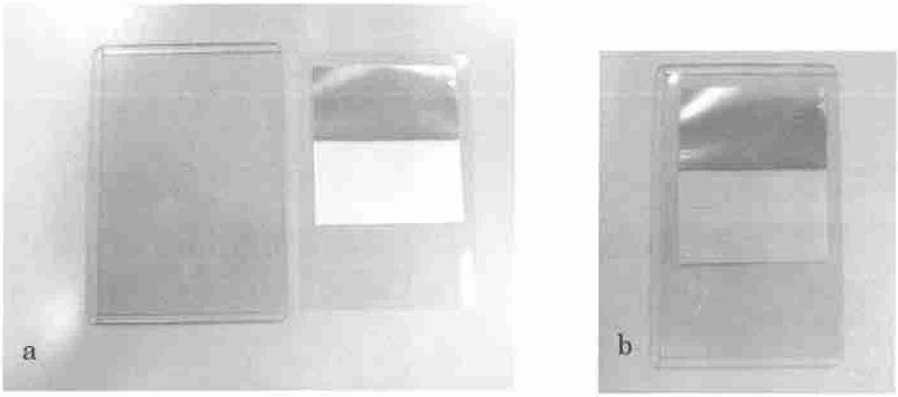


図６　サンプルＡ　〔a. 透明パスケース(左)とアルミ、コピーペーパーをラミネーターで封じ込め一体化したもの(右)　b. a のパーツを組み合わせたサンプルＡの外観〕

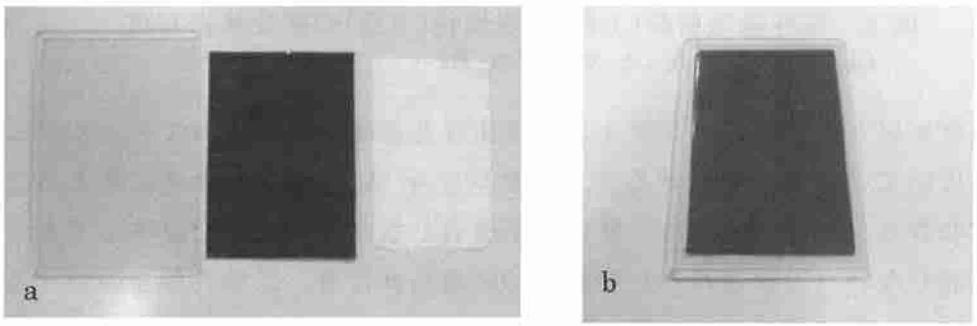
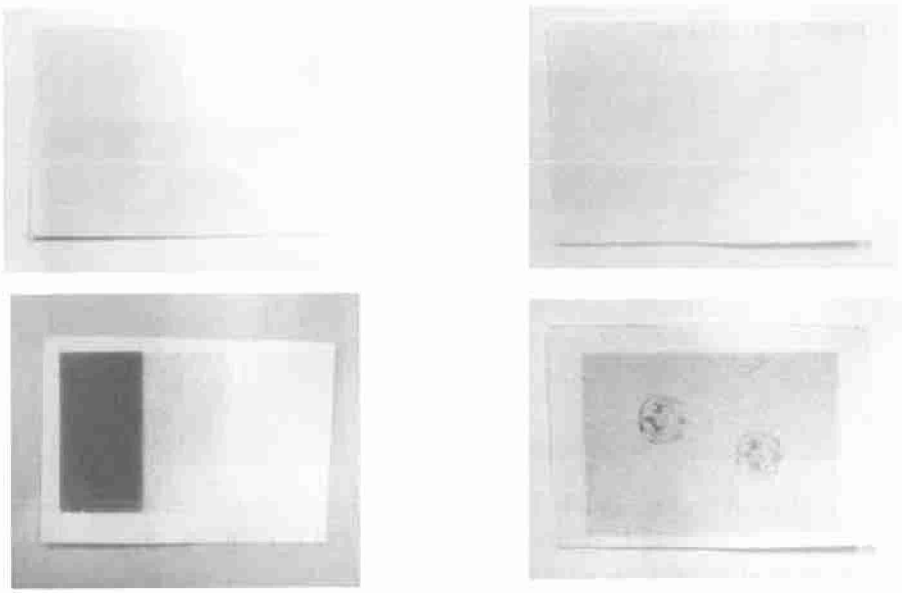


図７　サンプルＢ　〔a. 透明パスケース(左)と青カラーセロファン、押印したティッシュペーパー(右)　b.　a のパーツを組み合わせたサンプルＢの外観〕

3. 3　紫外線照射および現像後の状態

図 8-a は、サンプル A による感光紙の照射後および現像後の状態を示している。現像後はアルミ、紙、透明部分に対応してそれぞれ濃い青、薄い青、白のように材料（透過性）に応じて色の違いが確認できる。図は白黒印刷であるが、実際の実験では色の相違が明瞭である。実験指導者は、この色の違いは透過性の違いに基づくものであり、実際のレントゲン撮影では、この色の違いから体内の様子を確認していることを説明する。

サンプル B の結果を図 8-b に示す。現像後はドラエモンの印の青い図形を明瞭に確認できる。このサンプル A とサンプル B の役割の違いは、サンプル B では全く目で何も確認できないのに、現像後は明瞭に図形を確認できる点にある。生徒に対しては、照射前には何も見えないのに、なぜ現像後には見えるのか、その理由を考えさせることが効果的である。



a　　b

図 8　紫外線照射後(上段)と現像後(下段)の感光紙の写真
(a. サンプル A　b.サンプル B)

その場合ヒントとして、サンプルが日常使うある物を印に塗ってティッシュに押したものを用いていることを告げる。またサンプル A の結果を参考に考えることを伝える。すなわち、①青い図形は、紫外線が透過しなかったことを意味しており、②紫外線が透過しない（吸収される）物質が印に塗られた事、③紫外線を吸収する日常使う物質は何か、④日焼け止めクリームのように推理させると面白い。実際の実験ではこのように誘導し、日焼け止めクリームが使われた事を言い当てさせることができた。

今後紫外光は通すが、可視光は通さないフィルターを用いた紫外線の透過性を示す実験も考えていきたい。

3. 4　講義内容とその必要性

実験のみで、レントゲン撮影の原理を体験、理解させる事は可能であるが、より好ましくは実験の前または後に放射線にどんな特性があるのか、レントゲン撮影はどの特性を利用したものであるか、どんな原理で行われているか等を説明するのが効果的である。具体的には、図 9 のように放射線には最も基本的な性質として透過性と電離作用、励起作用があり、電離作用、励起作用の結果として感光作用、蛍光作用などがある。レントゲン撮影は、このうち透過性と感光作用を利用したものであることを説明する。また生徒のレベルに応じて電離・励起作用の仕組みを原子モデル等により説明すると、より理解度が深まると思われる。

また放射線の種類と透過性の関係を説明することにより、透過性に関して理解を深めることができる。さらにエックス線の代わりになぜ紫外線を用いるかの疑問に答え

るため、波長の違いによって電磁波の種類や用途を分類した図 [3] を使用するのが良い。その図を用いて、紫外線とエックス線は同じ仲間（電磁波）であり、エックス線の隣が紫外線で、両者は性質が似ているため、エックス線の代わりに紫外線を用いることを説明しておくと好ましい。

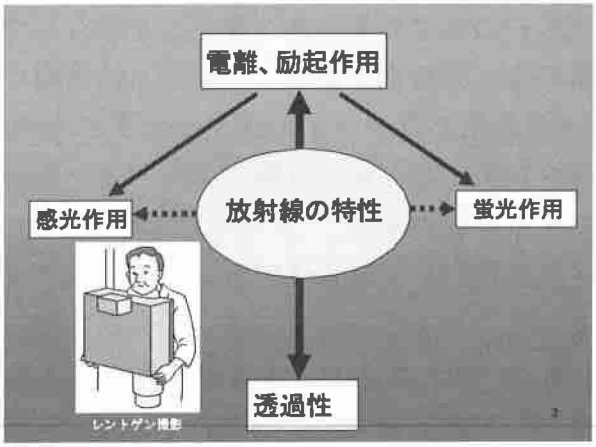


図 9 放射線の特性とその利用

4. 付随する実験について

レントゲン撮影模擬実験の内容は以上であるが、紫外線を利用して蛍光作用や励起作用に関係する実験を行う事も可能である。

蛍光作用に関する実験として、①ウランガラスビーズ [4] ②蛍光顔料を塗布した名刺 [5] ③蛍光顔料を塗布したポスター[5] 等を用いる。これらにブラックライトの光を当てると、①ではグリーンに光り②③では鮮やかなカラーの絵が現れる(図 10)。我々の実施結果でも、何もなかったところに、いきなり鮮やかな色や絵が現れるため、生徒の評判はすこぶる良好である。

a　　b　　c

図 10　紫外線照射前(上段)と照射後(下段)のサンプル写真
(a. ウランガラスビーズ　b. 名刺　c. ポスター)

また励起作用に関する実験として、光触媒を取り上げることが可能である。光触媒では、紫外光により電子が伝導帯に励起され、その結果生じた正孔と水分子から OH ラジカルが生成する。このラジカルは強い酸化作用を示すため、有機物を容易に酸化分解する。この仕組みを利用して、たとえば透明なプラスチックのシートに光触媒を塗布したものにメチレンブルーの色素の水溶液（青色）を垂らして乾燥し、青色に着色したものをサンプルに用いる。光触媒を塗布したシートは市販の光触媒実験キット[6]より入手可能である。この着色したシートにブラックライトの光を当てると、10分以上で色素が分解し青色が消失する。他の実験にくらべると照射時間が長いので、時間的余裕をもって実験をする必要がある。

以上より a. 感光作用（電離作用）と透過性に対してレントゲン撮影模擬実験、b. 蛍光作用（励起作用）に対してウランガラスビーズ、蛍光顔料塗布名刺、ポスター、c. 励起作用に対して光触媒　というように、放射線の各特性に対応した模擬実験を実施することが可能である。

5. 紫外線を使った実験のまとめ

以上の紫外線を使った実験について、その内容と所要時間を表 1 にまとめた。いずれの実験も比較的短時間で実施できる。授業時間に応じて、実験の種類と組み合わせを考えれば良い。但し光触媒の実験は、かなり時間を要するので、十分時間の余裕も持って実施した方が良い。

表 1 各種実験の内容と所要時間

実験名	内容	所要時間	備考
透過性比較実験 （アルミ/紙/透明） **透過性、感光作用の確認**	アルミ/紙/透明の 3 種類からなるサンプルを用い、感光状態の比較を行う	5～7分	・透過性の違いが感光後の色の濃さの違いになること ・感光後の色の濃さ、図形から体の内部構造を知ることができることを説明する。
ドラエモン印の実験 **透過性、感光作用の確認**	日焼け止めクリームを用いてティシュペーパーに押印したものをサンプルとする	5～7分	見た目で分からないものが、感光することにより見えるようになること
蛍光が出る実験 1 ウランガラスビーズ **蛍光作用の確認**	ウランガラスのビーズに紫外光をあてると緑色の蛍光が出る	1～2分	
蛍光が出る実験 2 名刺 **蛍光作用の確認**	蛍光顔料で印刷した名刺を紫外光にあてるとカラーの絵が現れる	1～2分	
蛍光が出る実験 3 ポスター（デモ） **蛍光作用の確認**	蛍光顔料で印刷した A4 サイズのサンプルに紫外光をあてるとカラーの絵やカラーが現れる	1～2分	
光触媒の実験 **励起作用の確認**	光触媒を塗布した透明シートにメチレンブルー色素を担持したサンプルに紫外光をあてると青色が消える	10～20分	紫外線で励起され化学反応により色素が分解し、消光すること

まとめ

放射線の特性に対応した紫外線を用いる種々の模擬実験を構築した。実験の実施にあたっては、講義を含めて行うのが効果的と思われる。いずれの実験も比較的短時間で実施できるため、与えられた時間に応じて、実験の種類、組み合わせを選択することが可能である。まだ 2 件しか実際に実施していないが、今後は積極的に出張授業として中学校、高等学校に提案していきたい。

謝辞

本実験の内容に対し的確な助言をいただいた中部原子力懇談会調査研究委員会　放射線専門部会会長で岐阜医療科学大学の宮原 洋先生、同部会顧問で愛知工業大学の森　千鶴夫先生はじめ各委員の方々に感謝致します。

以上

参考文献

1）文部科学省：文部科学省中学校学習指導要領及び解説　（2008）
2）現代科学技術で最も偉大な功績は「レントゲン」、英アンケート結果：
http://www.afpbb.com/article/environment-science-it/science-technology/2659946/4851751
3）社団法人　電波産業会ホームページ：　電磁環境委員会（くらしの中の電波）
4）ウランガラス専門店・ガラスの店 Lapo：ホームページ
5）サウスウォーカー：ホームページ
6）子供の科学　ネット通販ショッピング：ホームページ

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 14, No. 1, p. 37－48 (2010)

【実践報告】

青森支部2010年度の活動の記録

笹川澄子，津島園子，高橋有史，境谷葉子，種市治雄，大森勝良

NPO法人放射線教育フォーラム青森支部
〒033-0023 三沢市下久保1-3-6-C
（2011年3月2日受理）

［要約］青森支部は設立以来4年を経過した。活動の中心はセミナー開催で，今年度は3回，サイエンスカフェ形式で実施した。また，地域住民の皆様の発意・発露や学習意欲向上を促す一環として，有志市民学習グループが主催するサイエンスカフェを共催という形で支援した。各種イベントにもブースを出展した。独自の活動に加えて地域の社会教育・生涯学習分野での活動を通じて，学校における放射線教育の側面支援につながることを願っている。

1. はじめに

NPO法人放射線教育フォーラム青森支部は，様々な分野で活躍する地元の方々や専門家の方々など，志を同じくする人々が集まり，2007年度に発足した。この支部は，(1) 遍く地域住民の皆様の関心事に心を配り理解を深め，(2) とりわけ原子力や放射線に関しては，主としてセミナー開催を通じて，日常生活の中に安全安心が醸成されていくこと，を目指して活動している。

初年度（2007年度）は，設立記念（第1回）および第2回セミナーを六ヶ所村で開催した[1)]。

2年目の2008年度は，予定の年2回開催に，五所川原市住民の皆様の要望に応えた「出前セミナー」を追加開催した[2)]。

3年目の2009年度は，住民の皆様の要請に基づく2回を加えた4回を開催した[3)]。特筆すべき点は，4回のうち後の3回を「サイエンスカフェ」として開催したことと，他団体主催の研修会を依頼に基づき共催したことである。

4年目の2010年度は，全てのセミナーをサイエンスカフェとした。そのうち3回は自ら主催し，共催に五所川原市の有志学習グループ「サイエンスカフェ虹」を迎えた。そして，最後の1回は，「サイエンスカフェ虹」が主催となり，青森支部は共催として彼らを支援した。

文末に，セミナー参加者にお願いしたアンケート回答のうち，自由記述欄に記述いただいた意見や要望を紹介する。最後の2ページに今年度開催（主催・共催）した全サイエンスカフェの様子を写真で紹介する。

セミナー開催の他に，地元市町村が主催するイベントにも積極的に関わり，実技を行う「科学教室」的なブースを出展し，来場者の興味を喚起した。

2．事業の概要

2-1 第 10 回セミナー「サイエンスカフェ五所川原」[4)]

日　　時：2010 年 7 月 11 日（日）10:00～13:00
場　　所：五所川原中央公民館
テ　ー　マ：食品照射って何？（共催者のテーマ：食に科学ありーその 1）
（共催：サイエンスカフェ虹）
参　加　者：30 名（定員 25 名）
プログラム：お話しの部「食品照射って何？」（坂上千春氏）
：調理実習・試食の部「フランスとドイツの料理」（実習指導：境谷葉子，加藤寿美，外崎久子，筆者）

放射線はエネルギー，医療，農業，工業など様々な分野で利用されて久しく，我々の日常生活に深く必要なものになっている。にもかかわらず，そのことの認知度が低い。一昨年度・昨年度は，放射線利用の経済効果と農業における放射線の利用を，六ヶ所村および五所川原市で学んだ。そこで，今年度は，農業利用の一つである食品照射に焦点を当てた。（社）日本原子力産業協会に講師派遣と照射ジャガイモ提供の協力を頂き，新たな試みとして，照射ジャガイモを使った調理実習・試食に挑戦した。

参加者は，会場の調理設備や主催者の指導能力の関係で 25 名に限定し，調理材料調達のため事前申し込み，実費 500 円を頂くこととした。

調理のレシピは，筆者が六ヶ所村国際交流課主催の料理教室に参加し，国際熱核融合実験炉プロジェクトの一環として六ヶ所村に滞在しているフランス人や村の国際交流員のドイツ人から教わった料理，やサイエンスカフェ会場の調理設備などを考慮して決めた。参考までに，フランス料理は「若鶏，キノコ，シードルのクリーム炒め煮 Poulet aux champignons et au cidre」（レシピ提供者 Sarah Toupet, Sebastien Leportier, France），「ムースショコラ Chocolat mousse」（Valerie Soldaini, France），ドイツ料理は「ポテトサラダ Kartoffelsalat」（Daniel van de Sandt, Deutchland）であった。

講師・坂上千春氏の黒板やプリントを使ったお話しの後，調理実習を行った。参加者は外国人直伝のレシピと格闘しながら，日頃の腕を発揮された。レシピの読み間違い等が時々あったが，試食にたどり着いた。照射ジャガイモに対する嫌悪や恐怖などといったものはみられず，ごく自然に照射ジャガイモは受け入れられたようであった。参加者との会話で，教えてくれた外国人を連れてきて欲しい，と要望された。

2-2 第 11 回セミナー「サイエンスカフェ六ヶ所」[5)]

日　　時：2010 年 7 月 24 日（土）13:30～15:30
場　　所：六ヶ所村文化交流プラザ「スワニー」
テ　ー　マ：原子力を巡る産学官の連携
参　加　者：35 名
プログラム：話題提供
新潟県における原子力を巡る産学連携（橋本哲夫氏）
福井県における原子力を巡る地域保健・医療の産学連携（日下幸則氏）

新潟県の部では，新潟県原子力活用協議会会長・橋本哲夫氏（新潟大学名誉教授，NPO 法人放射線教育フォーラム理事）が，「原子力を生かして地域産業・経済の発展を目指して一新潟県原子力活用協議会の現状―」と題して話された。新潟県の原子力発電所の現状，原子力関連産業，人材育成，大学や諸研究機関の活動，協議会の誕生の経緯，これまでの活動，現在の活動状況，将来展望や課題等々を紹介された。これらは先行する原子力県での経験であり，参加者の興味を多いに喚起した。

福井県の部では，福井大学医学部教授・日下幸則氏が，県内の原子力発電施設，関西電力の緊急被ばく医療体制の構築，2004 年 8 月に発生した関西電力美浜原子力発電所の事故と当日の緊急医療対応，浮かび上がった課題・問題点，緊急被ばく医療に強い緊急総合医養成等々を紹介された。実際に発生した事故での緊急医療経験は，六ヶ所村においても多いに参考になると思われた。

2-3 第 12 回セミナー「サイエンスカフェ五所川原」[6)]

日　　時：2010 年 11 月 14 日（日）10:00～13:00
場　　所：五所川原中央公民館
テ　ー　マ：食品照射って何？（共催者のテーマ：食に科学ありーその 2）
（共催：サイエンスカフェ虹）
参　加　者：40 名（定員 25 名）
プログラム：お話しの部「食品照射って何？」（小林泰彦氏・坂上千春氏）
調理実習・試食の部「フランスとドイツの料理」（境谷葉子，加藤寿美，外崎久子，Michel Soldaini，Valerie Soldaini，筆者）

先述の「サイエンスカフェ五所川原」（第 10 回セミナー）のほぼ再演である。先回と同様の講師派遣と照射ジャガイモ提供に，さらに講師に原子力機構の小林泰彦氏をお願いした。また，調理実習には六ヶ所村滞在のフランス人夫妻（Michel et Valerie Soldaini）を加えた。これは，レシピと調理を教えてくれたフランス人をつれてきて欲しいという先回での要望に基づいたものである。

参加の条件（定員 25 名，事前申し込み，参加費 500 円）は先回と同様である。しかし，外国料理ということと先回のクチコミがあったようで，申し込み数は予定人数をはるかに上回った。出会いが大切と考え，全てを受け入れた。そのため，主催者と共催者は調理の材料や器具の調達に嬉しい悲鳴をあげた。

調理のレシピは，先回と同様に決めた。フランス料理は「タラとジャガイモのベシャメルソース焼 Gratin de morue et pomme de terra avec sauce béchamel」（レシピ提供者 Michel Soldaini, France），ドイツ料理は「ライベクーヘンアップルピューレ添え Reibekuchen mit Apfelpüree」（Daniel van de Sandt, Deutchland）であった。

講師のお話しの後，調理実習を行った。参加者はフランス人夫妻と一緒に，日頃の腕を発揮された。試食，後片づけ，意見交換などを楽しく終えた。質疑応答では，わが国では食品照射が消極的である理由が問いただされるなど，鋭い質問が目立った。

2-4 共催「サイエンスカフェ五所川原」[7)]

日　　時：2011 年 2 月 20 日（日）13:00～15:00
場　　所：五所川原地域職業訓練センター2 階視聴覚室
テ　ー　マ：食に科学ありーその 3
参　加　者：35 名
プログラム：話題提供
　　サプリメントを科学する（筆者）
　　放射線の人体影響って何？（筆者）

このサイエンスカフェでは，両話題とも専門とする筆者が話題提供を担当した。「サプリメントを科学する」は，主催者からサプリメントの話を聞きたい，と要望されたものである。そこで，(1) 言葉の定義，(2) 栄養学の歴史，(3) 分類（医薬品と食品），(4) サプリメントって何？，の順にお話しした。用意した配付資料と併せて，新聞広告なども配布した。身近な話題だけあって，おしゃべりタイムは活発で，多数の幅広い質問に筆者は時として窮するほどであった。

「放射線の人体影響って何？」は，(1) 放射線を巡る歴史，(2) 広島と長崎に落とされた原爆，(3) 半世紀に亘る原爆影響の研究で分かったこと，(4) 放射線って何？，(5) 医療 X 線検査，の順に，筆者の経験をまじえてお話しした。ここでも，おしゃべりタイムは活発で，参加者は，自身が過去にどこかで学んだり経験したりした事を思い出しながら，また，仮の出来事として，質問された。筆者の知識の範囲を超える質問も多々あり，支部幹事の一人が自分の職業的背景を生かして，またアドバイザーとして参加した筆者の旧友（広島の（財）放射線影響研究所の疫学研究者）が専門家として解説した。このような質疑応答こそ，サイエンスカフェならではの市民と専門家の交流であろう，と感慨した。

2-5 アンケート回答

各回のサイエンスカフェでアンケートを実施した。回答のうち，自由記述と今後取り上げて欲しい課題を示す（表 1～4）。どの記述も開催者にとって多いに参考になるものであり，今後の検討課題，指針としたい。

2-6 地域の各種イベントへのブース出展

八戸市は毎年夏休み時期に「青少年のための科学の祭典」を開催している。青森支部は放射線や原子力とは直接関係しない，博物学や薬学的な内容で，この科学の祭典に 2009 年度（2 ブース出展）[8)]に引き続き，今年度もブースを出展した[9)]。

六ヶ所村泊地区で例年秋に開催される泊地区公民館祭にブース（「植物標本を作ろう」）を出展した（依頼に基づく，平成 21 年度「第 30 回泊地区公民館祭」，平成 22 年度「第 31 回泊地区公民館祭」，配付資料等なし）。

上記に先立つ 6 月 7 日，六ヶ所村泊地区の泊婦人会からの要請に基づき，同会研修会で「サイエンス（科学）とフード（食べ物）を一緒に学ぶ欲張り講座」と題して講演を行った（会場：泊地区ふれあいセンター）[10)]。

3. まとめ

青森支部の活動の中心はセミナー形式の勉強会で，目指すところは話す側と聴く側の垣根を取り払った双方向コミュニケーションである。今年度は主催・共催を含め，全てをサイエンスカフェとした。事務局の不慣れや不手際があったものの，昨年度の経験なども生かして，全体としてはかなり良く運営できたのではないかと思っている。今後は，調理実習なども対象とし，自然な形で科学技術に親しめるようにしたいと考えている。そして，このような社会・生涯学習分野での活動が，本フォーラムの趣旨である，学校における放射線教育の推進への側面支援につながるよう願っている。また，アンケートや直接面談でご指摘頂いた反省点も，改善していくように努めていきたい。

謝辞

話題提供いただいた（社）日本原子力産業協会・坂上千春氏，（独）日本原子力研究開発機構・小林泰彦氏，サイエンスカフェの円滑な運営にご協力頂いた（社）日本原子力産業協会，（独）日本原子力研究開発機構，（財）日本原子力文化振興財団，個人支部友並びに団体支部友各位，本フォーラム会員諸兄姉に心より感謝いたします。

引用文献

1) 笹川澄子，新設なった青森支部 2007 年度の活動と反省の記録，放射線教育　11：41-52，2007
2) 笹川澄子，青森支部 2008 年度の活動の記録，放射線教育　12：75-84，2008
3) 笹川澄子，青森支部 2009 年度の活動の記録，放射線教育　13：55-64，2009
4) 青森支部第 10 回セミナー「サイエンスカフェ五所川原」配付資料
5) 青森支部第 11 回セミナー「サイエンスカフェ六ヶ所」配付資料
6) 青森支部第 12 回セミナー「サイエンスカフェ五所川原」配付資料
7) 青森支部共催「サイエンスカフェ五所川原」配付資料（主催：サイエンスカフェ虹，開催日：2011 年 2 月 20 日，場所：五所川原地域職業訓練センター）
8) 青少年のための科学の祭典 2009 八戸大会実行委員会　編集・発行，「青少年のための科学の祭典」2009 八戸大会，実験解説集」，p20，「三角・四角のシャボン玉をつくろう」，p26，「おし葉を作ろう」
9) 青少年のための科学の祭典 2010 八戸大会実行委員会編集・発行，「青少年のための科学の祭典 2010 八戸大会，実験解説集」，p41，「薬草のお話し」
10) 泊婦人会研修会配付資料（開催日：2010 年 6 月 7 日，会場：泊地区ふれあいセンター）

アンケート自由記述欄の部（表 1～4）

（表中のカッコ内数字は記述数）

表 1　第 10 回セミナー「サイエンスカフェ五所川原」

その他ご意見・ご感想などをご記入下さい.
調理実習はテーブル毎にお願いしたい（3）
自分で実際に手がけたい
大変楽しく調理実習をした（2）
講師の話も勉強になった
ジャガイモをおみやげに頂き大変嬉しかった
機会があればまた参加したい
クッキング形式のサイエンスカフェは初めての経験（2）
ありがとうございました
クッキング形式のサイエンスカフェを楽しんだ
大変楽しい調理実習で、早速家で料理したい
初めての参加であっという間に時間が過ぎ、試食をしている自分があった
とても楽しい試食だった
お料理は美味しかった
男性参加者が一生懸命で感心した
調理実習は、他の講座の時よりもうるさくなかった
男性参加者が混じっていて良かった
主催者の企画立案に創意工夫が感じられた

今後どのような内容のサイエンスカフェ，セミナーあるいは講演をご希望ですか？
「和食」の調理実習があるサイエンスカフェなどはどうか
クッキング形式だと女性の参加が多く楽しいと思う
何でも良い
対象を、例えば年代別、既婚・未婚等、に絞る、ジャンル別でも良い

表 2　第 11 回セミナー「サイエンスカフェ六ヶ所」

その他ご意見・ご感想などをご記入下さい.
話題提供に地域性が出ていた
質問する人たちは静かだと思った
食事の時色々お喋りしながら食べてとても良かった
勉強させて頂いた
福井県の地域医療の体制が充実していることを感じた
下北半島は今後2つの原発が稼働する
下北半島には現在稼働中の原子力施設があり、青森県も地域医療の充実に力を入れるべきと感じた

（続き）
有意義なお話しを聞くことができ、あっという間に時間が過ぎた このような機会がまたあれば嬉しい 両県とも人材育成、特に学生育成に力を入れているのは良いと思った 自由に飲食等、とても気楽に参加出来ると思った 新潟県福井県の取り組みについて知ることができ大変為になった 参加者の様々な意見も皆さんそれぞれに理解が深くすばらしいと感じた 参加者が自分たちに直結している課題であることを意識し、活発にお喋りできるようになると良い 私達がこれからも知識理解を得ていくために様々な方の話を聞けると大変良い、無知が一番怖いので 各話題提供の進行が速すぎて理解出来ないところがあった 会場が寒かった

今後どのような内容のサイエンスカフェ，セミナーあるいは講演をご希望ですか？
放射線の農業への利用等 原子力活用の（エネルギーとしての）利点等について 高レベル廃棄物の処分

表 3　第 12 回セミナー「サイエンスカフェ五所川原」

その他ご意見・ご感想などをご記入下さい.
参加して大変良かった（4） ありがとうございました（4） 「食品照射」初めて聞き、内容も理解した 勉強になった ２度目の参加、楽しかった（2） 照射の話はなかなか聞くことができないので、参考になった 楽しく経験でき楽しく過ごした（3） 初めての方々とわきあいあいと調理できて嬉しかった 知らない方と友達になれてとても良かった 知らないことを知る良い機会になった 多国籍の料理に触れることもできて楽しかった また照射の話を聞きたい 放射線の効果を知って良かった 普段の生活で照射ジャガイモを調理する機会がないので良い機会となった 主催者の企画立案に表からは分からない創意工夫が感じられた 青森市でもやってみたい たかが「調理」されど「調理」、科学実験以上に基本・何・何故に満ちている

（続き）

企画立案の発想法を知りたい
NPOなのに準備も行き届き、よくやっていると思う
レシピを教えてくれた外国人（仏）を連れてくるなどチャメッケも感じられるサイエンスカフェ
チャンスがあればまた参加したい
このサイエンスカフェを他の市町村でもやれないか
参加の人達が生き生きしている、笑顔がよい
男性参加者に感謝
料理実習は人気です
今回の調理実習も大変良かったと思う
フランス人のミッシェルさんバレリーさんの調理指導があってよかった
ジャガイモを摺りおろすという経験は初めて
ドイツ、フランスの料理を作ることは国際交流にもなるし、とても興味深くてよかった
繰り返し学習も大切で継続して行うのは良いし新規参加者が増えるように広報して欲しい
講義よりも料理が主になっている感あり、科学の部に時間を割いた方がよい
調理の時間が短いと思った
照射食品と非照射の物が比較出来ると面白いと思う
調理実習は良いが、教える人たちの打ち合わせが不足か
参加者のマナーが悪い、私語が多い、注意して欲しい
ワイワイ楽しく作業をしているのだと思うが、少し騒がしい
もう少しゆっくり食べたい。その時はテーブルの皆さんとお話ししながら
調理手順をふと見ることができるように拡大したレシピを貼って欲しい
試食の途中で、少し改まって（静かにして）順に感想を述べ合う時間があっても良かった
流れ解散のようになってしまってちょっと残念

今後どのような内容のサイエンスカフェ，セミナーあるいは講演をご希望ですか？

日本食であればどのようなものになるか、日本食のメニューも
手軽にできる外国料理を教えて欲しい
普通の主婦にも理解出来る内容の何かを
次回（2011年2月20日）のサイエンスカフェの「サプリメント」に興味あり
外国の学生や日本在住の外国人講師を招き一緒に「科学」の体験
この種のサイエンスカフェ（2）
「科学とは」の言葉の説明・解説
県内で利用されている放射線利用が見えると面白いと思う、工場、病院など
原子力・エネルギーなどの勉強
講義を聞きながらコーヒー・お茶を飲む
ゲームを取り入れたサイエンスカフェもよい（小学生参加可能）
ゲームで遊びながらエネルギーが勉強できるのもお勧め

表 4　共催「サイエンスカフェ五所川原」

その他ご意見・ご感想などをご記入下さい.
おしゃべりタイムが良かった（2）
質問がたくさんあって面白かった
放射線（原爆）のこと、少しだけ勉強できてよかった
サプリメントに関心があり参加した
サプリメントも放射線も勉強になった（2）
サプリメントは元々好きでなく自分には必要ないと改めて思った
放射線の人体影響の話は興味津々だった
科学→家学へ、身近の言葉にしたい
サプリメント、一体どれほどの種類があるのだろうか
サプリメントで言葉の種類（別）が分かっただけでも参加してよかった
「サプリメント・・」は私たちの生活に密着し大変興味深くこれから役立つ
サプリメントには色々な名前があるのにびっくりした
今度から注意書きをよく読み補助食品を買い求めたいと思った
専門用語を使わない話だったので楽に聞くことができた
質問に対する答えがとても分かりやすく楽しかった
「サプリメント・・」を聞いて消費者は目を養わないといけないと痛切に思った
体験談をまじえた話題はグッドタイミングで、理解も深まった
サプリメントも放射線も過度な期待も不安もいけない、と再確認出来た
講師の話し方が面白く楽しく、聴き入ってしまった
体験を教材にした話は興味深かった
放射線の話は堅苦しくなく分かりやすかった
サプリメントの話は初めてで、参考になった
サプリメントの話はとても興味深く聞いた
放射線の人体影響は、いつも聞く話と切り口が違っていて面白く、大変良かった
科学が苦手なので素晴らしいと思った
初めての参加だが、わかりやすく勉強になった
放射線の人体影響がわかった
映像で説明してとても良かった
プリントを見比べながら話を聞けてわかりやすい
楽しく聞けて分かりやすかった
特定保健用食品等を薬局などで買っている、大丈夫か心配
医薬品なのか健康食品なのか、これから聞くことにする
ありがとうございました（2）
青森支部の津島支部長、広島放影研の笠置博士の参加に感謝
次回の講演があるなら案内がほしい
大変参考になり楽しかった（3）
また来たい（4）

（続き）

先回（第10・12回）のように話に実習が加わると興味が倍増
放射線の単位GyとSvを分かりやすく解説する必要があるかと思った
今回は2課題の概要だったと思うので、次回は1課題にしぼりもっと詳しく（2）
初参加、初めて聞く言葉・カタカナ等分からないものがあった一話が進んでいく中でわかったが
少し早口になりがちで分かりにくいところもあったがシメがしっかりあって助かった
名称などはもう少しゆっくり話して欲しい
「サプリメント・・」はもう少し細かい内容を期待していた
説明がわかりにくい
開催日時について、平日や午前は希望できないか？

今後どのような内容のサイエンスカフェ，セミナーあるいは講演をご希望ですか？

原子力、六ヶ所の取り組み・活動
動物と放射線の関係、魚と水銀の関係
食品照射を再度
広島・長崎の原爆
次世代の子供達に「放射線とは・・・」を学んで欲しいと考えている
今回のような生活に密着した身近なテーマ
遺伝とDNAの関係
日常生活に関係する事柄をもっと多く深く知りたい

写真で見るサイエンスカフェ

第 11 回セミナー
「サイエンスカフェ五所川原」
（7 月 11 日）

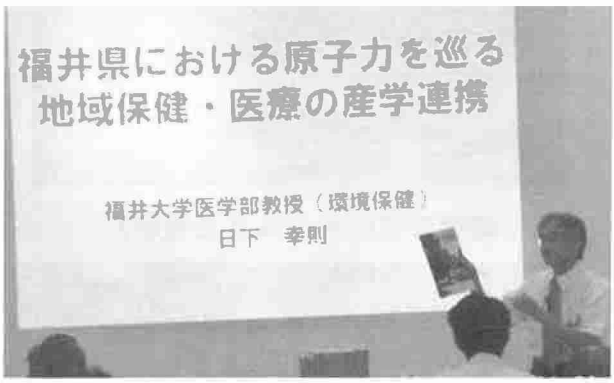
食品照射をお話しの坂上千春氏

みんなで調理実習に挑戦

楽しい試食タイム

第 12 回セミナー
「サイエンスカフェ六ヶ所」
（7 月 24 日）

新潟県の例をお話しの橋本氏



福井県の例をお話しの日下氏

真剣に聴き入る参加者の皆さん

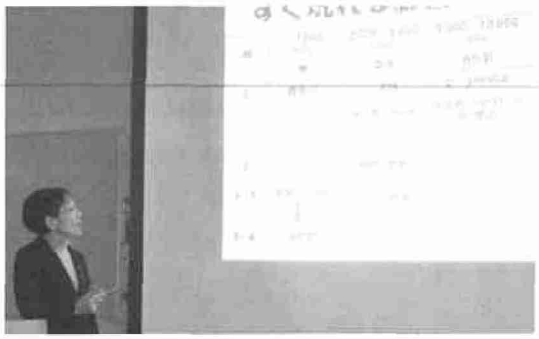
第 11 回セミナー
「サイエンスカフェ五所川原」（11 月 14 日）

コント風にお話の小林氏と坂上氏

「サイエンスカフェ五所川原」
（青森支部共催）（11 年 2 月 20 日）

主催者の五所川原市民有志学習グループ
「サイエンスカフェ虹」

調理の腕前を発揮する皆さん



放射線の人体影響を話す筆者

男性も楽しく調理実習・試食

おしゃべりタイムは活発

フランス料理指導の Soldaini 夫妻も試食

広島から参加の笠置氏もコメントを

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 14, No. 1, p. 49－58 (2010)

【実践報告】

中学校における放射線教育と道徳教育の連携の試み

原口　栄一
鹿児島県鹿屋市立第一鹿屋中学校教諭
〒893-1206 鹿児島県肝属郡肝付町前田３６４７番地
（2011年1月26日受理）

【要旨】平成24年度から中学理科で「放射線」を科学的に扱うことになる。しかし，それだけでは日本人の教養として「放射線」についての学びは不十分だと考える。そこで，道徳の授業でも「放射線・原子力」に関わる社会的な事柄や人物について考えさせるような教材を作り，「放射線」に対する理解をさらに深められるように教材化し，授業を行ってきた。その実践報告を以下にまとめた。

１．新学習指導要領における「放射線」の扱い

平成24年完全実施の新学習指導要領の中学理科の内容を読んでみる。削除はなく加えられた項目ばかりであった。それも当たり前で，授業時数も現行の290時間から385時間になるからである。加えられた内容は，まったく新しいものはあまり見あたらず，ほとんどが以前履修していた内容ばかりである。「返ってきた」という表現がふさわしいのかもしれない。そうした中で「放射線」が1969年以来，約40年ぶりに返ってくることになる。「放射線」についてどのような位置づけをされているかを分かりやすくまとめてみると下記のようになる。

理科の一分野の内容	内　容　の　取　り　扱　い
(7) 科学技術と人間 ア　エネルギー （イ）エネルギー資源	人間は，水力，火力，原子力などからエネルギーを得ていることを知るとともに，エネルギーの有効な利用が大切であることを認識すること アの（イ）については，放射線の性質と利用にも触れること

内容の取り扱いを読むと，「原子力」を学ぶ上で放射線の性質と利用にも触れるということになる。「(6)化学変化とイオン」の中で，原子核や電子を学ぶことにもなるので，「放射線」についての発生原因や性質，影響なども教えることができる。つまり，理科においては科学的知識を身につけることが重点であると言える。

一方，道徳についても重要視されており，教科にはならなかったが，いくつか改訂された。その中で「各教科等で，それぞれの特質に応じて道徳の内容を適切に指導することを明確化」とされたのである。当然，理科においても「指導計画の作成と内容の取り扱い」において道徳の時間などとの関連を考慮しながら，道徳の内容について，理科の特質に応じて適切な指導をすることとなった。

言い方を変えると理科でも「道徳的判断力を高め道徳的実践力を育成するような授業も有り」と言うことになる。しかし，ほとんどの授業では，今まで通りの理科授業を行い，付け足したように「この教材は○○を扱っているから 24 の内容項目の□□と関連している」というような解釈になってしまう可能性もある。なぜなら，すべての授業を１から道徳的内容を考えてつくり直すというのは難しいからである。また，物理科学分野などは関連づけるのさえ難しい。ゆえに道徳の時間に「生命」や「環境」「地球」などの科学的内容を取り入れた授業を行い，その成果を基に理科の時間でも実施できるようにしていくのが良いと考える。

２．理科における「放射線」の授業

では，40 年ぶりに返ってきた「放射線」についてどのように教えていけば良いのだろうか。

私ごとながら，「原子力」等については大学時代から興味があり，いろいろと資料を集めていた。教員になり「原子力体験教職員セミナー」の存在を知ってからは，2 年に一度くらいのペースで夏休み中に参加し，「放射線・原子力」について学んできた。茨城の東海，青森の六ヶ所，福井の若狭湾沿岸の原発銀座，佐賀の玄海などに行くチャンスにも恵まれ大いに学ぶことができた。地元では川内原子力発電所見学が含まれる教職員セミナーにもたびたび参加している。今まで参加した場所で撮った写真やビデオ，いただいた資料，テキストなどは教材作りの大切な資料となった。

その教材を理科の授業では次のように活用してきた。

(1) 中学１年「大地の変化」
「はかるくん」を使って，火成岩，堆積岩の放射線を測定する。

(2) 中学２年「化学変化と原子・分子」
原子内部の構造を説明し，放射線の説明と関連させて，いろいろな物質の放射線測定実験を行う。

(3) 中学三年「エネルギー」
原子力発電について，実際に録画した原子力発電所内部の映像を使い説明。チェレンコフ光や原子力発電のしくみなど，自分の保持している資料を使って授業する。

このように理科では，比較的容易に授業ができた。やはり多くの資料（紙媒体・ＣＤ，ＤＶＤ媒体など）を保持しているということは強みである。また，他の理科教諭にも使えるように理科準備室にも置いている。

３．道徳の時間における「放射線」

では，道徳の時間においてはどのように授業をつくっていけば良いのだろうか。

道徳の時間というのは，オリジナル授業を創造していると，けっこう自由度があることに気づく。「生徒に考えさせたい」，「生徒のためになること」を考えると必ず 24 の内容項目には関係するのである。

また，「道徳のチカラ（正義感あふれ勇気ある子どもを育てるために日本の道徳教育全

般の改革を目指す団体)」で学んだ５つの単元（「真実」「生命」「環境」「人権」「その他」）で考えると理科に関連する道徳授業を作成することが容易であり，今まで 50 本以上のオリジナル授業を創造してきた。それらの授業については「中学校編　とっておきの道徳授業Ⅰ～Ⅷ」（日本標準株式会社）に実践部分を掲載し別途報告した。

その中で，「生きていく上で必要な真理・真実」を教えることを念頭におき「放射線・原子力」に関連するオリジナル道徳教材も作ってきた。作成に当たっては，科学的真実と，それに関わる社会・人物について考えられるように組み立てている。

道徳の時間における「放射線」の授業のねらいとしては，次のような内容を考えている。（　）内は関連する道徳の内容項目である。

(1) 放射線による健康障害・事故（３－①生命の尊さ）

(2) 放射線の研究をしてきた偉人の人生

（１－②強い意志，１－④ 理想の実現，４－⑧社会に尽くした先人への感謝）

(3) 放射線を人類にとって有益にしてきた努力（４－⑤社会の発展）

(4) 自然（宇宙・地面）の放射線とその影響，地球の防御力（３－②畏敬の念）

また「原子力」まで範囲を広げると

(5) 原子力発電は必要か？（２－⑤いろいろなものの見方）

(6) 原子力の歴史（４－⑩世界の平和　人類の幸福に貢献）

(7) 原子力発電所の維持（４－④役割と責任）

(8) チェルノブイリ発電所事故（３－①生命の尊さ，４－⑤社会への奉仕）

これらのうち，半数は教材化して授業で実践してきた。いずれはすべて作成し単元化しようと考えている。

次に実際の授業実践記録を示す。実践１は，上記内容(1) ～(3) の複合型，実践２は，(2) 型であり，どちらも１時間の授業で実施でき，生徒の評価も高かったものである。

３．１道徳授業実践１【放射線の授業】対象２年 内容項目（３－①　４－⑧　４－⑤）

◎資料１を読んでください。

資料１

給食中の教室に突然，校内放送が流れた。「Ａで事故が起きた。窓を閉めて室内に待機するように」。事故が起きた日。事故現場から約２キロ離れた村立舟石川小。当時教頭だった秋山喜実夫さん（５８）は，わが耳を疑った。窓を閉めながら，旧ソ連のチェルノブイリ原発事故が頭をよぎる。テレビに躍る「臨界」の文字を見ても事態がつかめず，児童や保護者に「とにかく室内にいるように」としか言えなかった。

「もし，登下校のときに事故が起き，建物に避難することになったら，Ｂを通しにくいコンクリートの建物に避難しましょう」（中略）（2009年9月30日　読売新聞）を改変

・・・事故発生時の様子がわかるような記事なら良いと思います。

問１　何が起きたのかわかりますか。またＡ，Ｂに入る語句を考えなさい。

・生徒の答え「原発事故」「インフルエンザ」　「放射線が漏れた」

◇答えのＢはわかった生徒が少なからずいたが，Ａは難しかったようだ。

Ａ（ＪＣＯウラン加工工場）　　Ｂ（放射線）

資料２（解答）

1999年9月30日　茨城県東海村のJCOという会社でウラン燃料を加工する際に事故が起きました。・・という事故の説明文。授業時は，中学校の生徒の反応を中心に資料化した。

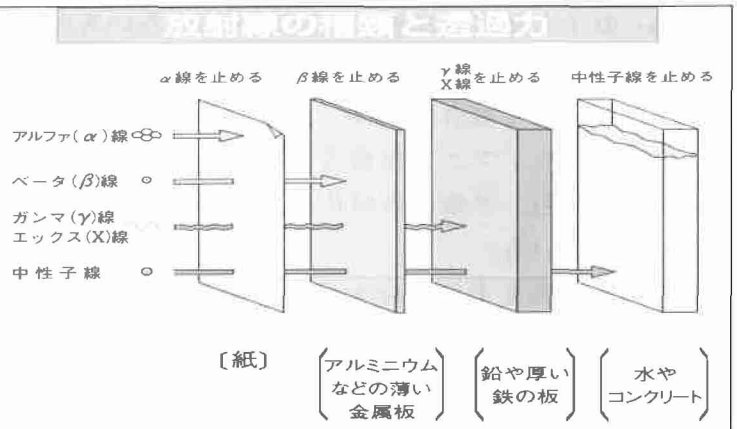
問２　放射線は，なぜ怖いのでしょうか。

・生徒の答え「光を浴びただけでなくなったり病気になったりする。
「体内に直接害を及ぼす物質が入ってくるから」
「大量の放射線を浴びると放射線が漏れた」
「放射線の熱を浴びると体にとって悪いから」
「人体に影響を及ぼすガンマ線が多く含まれているから」
「わからない」という発言多し。

◇「なんとなく放射線は怖いもの」という考えが多い。

資料３（解答）

放射性物質から放出される放射線には，アルファ線(アルファ粒子，ヘリウム原子核)，ベータ線(ベータ粒子，電子)，ガンマ線(波長のきわめて短い電磁波)の3つがある。アルファ線は正の電荷をもち，紙でさえも透過できない。ベータ線は負の電荷をもち，紙は透過できるが，アルミ箔(はく)では遮断されてしまう。ガンマ線は紙もアルミ箔も透過できるが，コンクリートや鉛では遮断することができる。



放射線障害（ほうしゃせんしょうがい）放射線をあびたためにおこる障害。放射線は細胞に損傷をあたえ，組織によっては重大な障害がおこる。X線やガンマ線など外部からの放射線が原因となることが多い。また，放射能で汚染された食べ物などが体内にはいると，放射性物質が細胞に密着し，付着した細胞や周囲の細胞を変化させる場合もある。

放射線をあびることを被曝(ひばく)という。被曝すると初期症状として，食欲不振と吐き気がおこり，まもなく嘔吐，下痢がはじまる。その後の症状は，放射線の量や被曝していた期間，どんな組織が被曝したのかなどによってことなる。骨髄が損傷をうけると，赤血球の数が減少し，感染の危険がふえる。生殖器官の場合は永久不妊になる。短時間に大量に被曝すれば髪の毛がぬけたり，やけどをしたり，出血がある。その場合は，治療しても生命が危険な状態になる。被曝が長期にわたれば癌になる危険性が増す。

問３　ここに放射線測定器「はかるくん」があります。スイッチを入れるとピピピと反応するでしょうか。しないでしょうか。

・生徒の答え

する　　１７人　　理由「一 年の頃，実験をしたことがあり，少しくらいはあると思う。」
「鉄とかにいろいろな物質が 入ってそうだから」
「部屋の中にも少しくらいはあると思う。」

しない　１４人　　理由「放射線は，どこにもないから」
「始めに少しくらいなるかもしれないけれど，最終的にはない。」

◇中学１年「大地の変化」にて「はかるくん」を使って，火成岩，堆積岩の放射線を測定した生徒もいるので，「する」が多かったように考える。覚えていてくれてありがたかった。

指示　いくつか実験します。見てください。

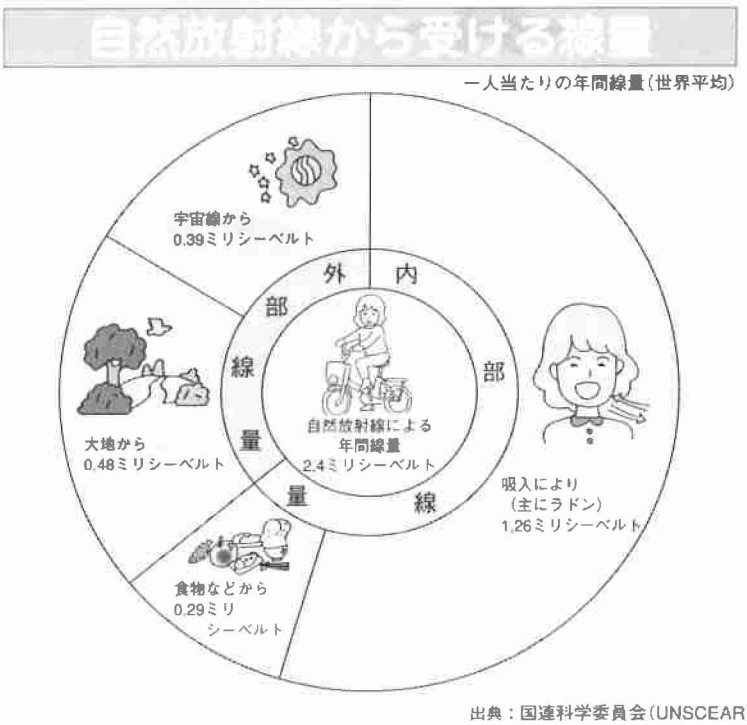
◇ 図１のように「はかるくん」を使い，測定セットの測定用試料，原子力体験セミナーでいただいたマントルや理科室で廃棄されていた霧箱用の測定試料で測定した。また，教室のいろいろな場所で測定した。

図１　マントルの測定値

説明　何も試料がなくても放射線はどこにもあるのですね。

● 資料４を見る。

資料４



放射線は自然の中に存在していて，人間はそれを浴びて生活しているが，微量なので，障害が出ることはほとんどない。

問４　では，放射線は，人間にとって厄介者なのでしょうか。役立つことがあるのでしょうか。

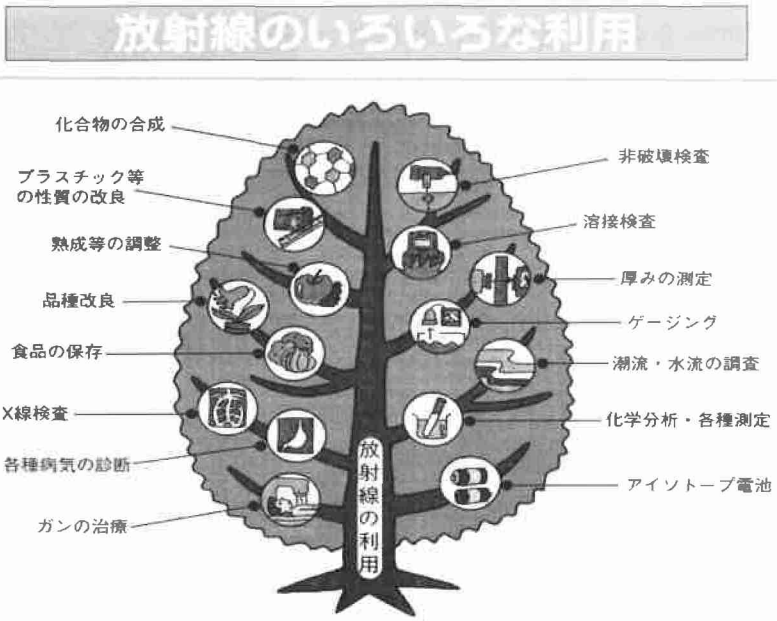
・生徒の答え

ある　１４人　　例「レントゲン」「何かの治療」

ない　１７人

◇「レントゲン」が多かった。でも，全体的に「ない」と思う生徒が多かった。

資料５（解答）



出典：日本原子力文化振興財団「放射線のはなし」

茨城県にはガンマフィールドとよばれる実験農場がある。円形の農場の中心のやぐらに，コバルト60という強力なγ線を出す放射性物質が置かれている。ここでは，放射線で農作物のＤＮＡに突然変異をおこさせ，新しい農作物をつくる研究をしている。　コバルト60はがん細胞を殺すがん治療などにも役立てられている。

問５　できるだけ放射線による影響を少なくするための三原則があります。どんなことをすれば，少なくなるのでしょうか。

１　放射線源と私の間に（　　）を置く。

２　放射線源と私の間の（　　）を大きくとる。

３　放射線源にさらされる（　　）をできるだけ短くする。

◇みんなで考えてみた。答えは上から「遮蔽物」「距離」「時間」である。やはり「遮

蔽物」についてはなかなかでなかったが，「壁」「荷物」「物」ということで，だいたいわかっているようであった。

その後，レントゲンやキュリー夫妻たち科学者の研究と犠牲のおかげで，今日学んだことがわかったということを話した。（科学者たちの顔写真を黒板に貼りながら）

指示　今日の授業の感想を書いてください。（生徒の授業評価５段階　楽しさ／ためになった）

	1	2	3	4	5	平均
楽しさ度	0	2	4	4	21	4.42
ためになった度	0	0	4	4	25	4.64

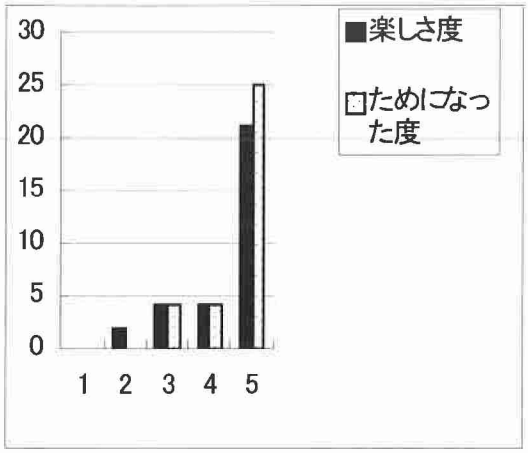


図2　生徒の評価表とグラフ

・すごくこわかったです。でも，放射線が，いろいろ人のためになってきているのですごいなと思った。教室でもラドンという物質が飛んでいるのでこまめにそうじをした方がいいと思いました。とても貴重な授業だった。（２／５）

・放射線といえば，「こわい」としか頭になかったけれど，授業を聞いていて「役に立つ」ことも知ったので，そうなんだぁと思いました。でも，怖いところの方がまだまだ多いので，私も少しでも長生きできるように放射線から自分を守っていきたいです。（５／５）

・「放射線」という言葉は，聞いたことがあるというだけでした。あまり知らないので，私にはほとんど関係ないだろうなと思いましたが，そうではありませんでした。意外と私にも関係があって，授業を受けている間も放射線を浴びていていやだなと思いましたが，放射線でも悪い面だけではなく，科学者の努力によって良い面が出るように研究されていることがわかりました。（５／５）

考察　図２から授業自体の楽しさ及び有益度（新しい知識を得た）は高かったといえる。感想にも「放射線に対する不安の払拭」や「日常の放射線を知ることができた」「放射線研究の歴史，科学者の努力」などを知ったことが高評価につながったと考える。ゆえに，この授業は今後も引き続き実践していく内容であると考える。

３．２道徳授業実践２　【人生シミュレーション】対象２年（内容項目１－②　１－④）

この授業には，放射線は直接出てこないが，放射線研究に一生を捧げた人物の人生を知ることも放射線を学ぶきっかけになると考える。

「みなさん，人生とは，進学，恋愛，仕事など選択の繰り返しです。今日は，ある有名人の人生の中での七つの選択をシミュレーションしてみましょう。その有名人が，どの道を選んだのかも興味ありますが，君たちは，自分の思ったとおりの道を選んでください。いずれ，必ず経験する場面だと思います。また，有名人はだれのことかわかりますか。」

推理の楽しみと今日の授業の展開の期待感を持たせる。人生ゲームのようでもある。

問１　あなたは，Ｐ国の学校の先生の子どもとして産まれました。高校を卒業したのですが，まだまだ勉強をしたいのです。しかし「あなたは大学にいかなくても良い」という雰囲気が周りにはあります。さて，どうしますか。

Ａ　あきらめて就職する　　４名
Ｂ　なんとかして進学する　　２６名
Ｃ　その他（　　）　　２名

問２　結局，大学に行くことができずに，金持ちの家の小学生の家庭教師になりました。ある時，この家の若者が休暇で帰ってきた時に，あなたの容姿と人柄に好意をもち，「あなたと結婚したい」とプロポーズしてきました。さて，どうしましょう。

Ａ　結婚する。　　３名
Ｂ　まだ若いし，他にしたいことがあるので結婚しない。２５名
Ｃ　その他（　　）　　４名

問３　ところが，それを聞いて若者の両親は大反対です。結局，結婚は決まりませんでした。若者は，はっきりしない態度です。一方であなたのお姉さんが別の国Ｆ国で結婚し，「こちらに来て大学に行かない？」と言ってくれました。Ｆ国はＰ国とはまったくちがう雰囲気です。しかし，あなたはＰ国で父親と一緒に住むことに決めていました。悩みます。

Ａ　Ｆ国に行き，大学で勉強する。　　１６名
Ｂ　Ｐ国で，なんとしても若者と結婚するようにがんばる。　　８名
Ｃ　Ｐ国で，父親と暮らす。　　５名
Ｄ　その他（　　）　　３名

問４　勉強するためにＦ国の大学へ留学しました。初めのうちは，お姉さん夫婦の家にいましたが，勉強に集中するために，一人でアパートに住むことにしました。生活は少しの貯金と，故郷の父親からの少しの仕送りだけの倹約生活です。冬は暖房を節約するためにすべての洋服やタオルを体にかけて過ごしたり，食事はパンと薄い紅茶だけで何週間も過ごしました。さて，あなたにこのような生活を何年も続けていく自信はありますか。

Ａ　ある　　７名
Ｂ　（　　）くらいならできる　　４名
Ｃ　まったくない　　２１名
Ｄ　その他（　　）　　０名

問５　数年間がんばったおかげで，最優秀の成績で卒業できました。そして翌年，あなたは科学者のＱさんと出会います。自然が大好きで，お金にがつがつせず，研究に情熱をそそぐところなど，共通点が多いので出会った翌年に結婚しました。二年後

長女が生まれました。あなたは，まだ研究を続けたいと思いますか。

A　Qさんとともにものすごく大変だが，子育て，
家事を両立させながら，まだまだ研究をしたい　　２０名

B　Qさんを助けるために，子育て，家事に専念する　　１１名

C　その他（　　）　　１名

問６　あなたは子育てを積極的にし，学校の先生をしながらも，Qさんと研究を続けました。研究する実験室は古い倉庫。地べたそのままで雨が漏る。冬の寒さは外と変わらない。煮え立つ鉱石や薬品からはものすごい煙が立ち，目にはしみるし，のども痛くなります。それでも二人は放射線を調べる実験を続けました。とうとうQさんは研究の一時中止を言い出します。さて，あなたはこんな苦労，続けていきますか。

A　私も研究したいし，Qさんを励ましながらなんとか続けたい。　１２名

B　Qさんの言うとおり，危険だし，貧しいし，もうやめよう。
子どもにも悪い。　１４名

C　その他（　　）　６名

問７　あなたとQさんは研究をやめませんでした。その苦心の成果が，ポロニウム・ラジウム等の放射性元素の発見です。「とうとうやったぞー！」その結果「ノーベル物理学賞」を授与され，Qさんは大学教授に，あなたは研究室の主任になりました。収入も増えて，次女も産まれました。しかし，不幸なことに，交通事故でQさんが亡くなりました。悲しいことです。あなたはどうしますか。

A　つらく，大変だけれどもQさんの後を継いで，
まだまだ研究をしていく。　１７名

B　収入もある，名誉もある。ここらで子どもたちのために生きよう。　１５名

C　その他（　　）　１名

「死んだ夫（Qさん）のあとを継いで大学の研究所実験室長となり，教授となりました。そして再びラジウムの精製でノーベル化学賞を受けることになります。」と結ぶ。

「だれの人生かわかりましたか。ちなみに，すべてAを選ぶとこの人の人生になると言うわけです。」一人だけ該当する生徒がいた。

「子どもたちはどんな人生だったのですか」とたずねた生徒へ「娘さんも夫婦でノーベル賞を取ったんだよ。」と告げると教室がどよめいた。「では，答えを配ります。」

キュリー夫妻についての説明文・・・伝記などからまとめたものがよい。

資料を配付し，黙読をし，感想を書かせた。

生徒の感想（生徒の授業評価５段階　楽しさ／ためになった）

・人生というのは難しい。人生には必ず辛いことや苦しいことがあるけれど，それを乗り越えることができれば，必ず良いことがあると思った。（５／５）

・キュリー夫人は，とても大変な人生を送ったと思う。自分のこれからの人生のいい手本になったと思う。（４／５）

・自分の人生を自分で切り開く。それが一番良いと思う。（３／３）

	1	2	3	4	5	平均
楽しさ度	0	1	6	10	14	4.19
ためになった度	0	2	3	8	18	4.35

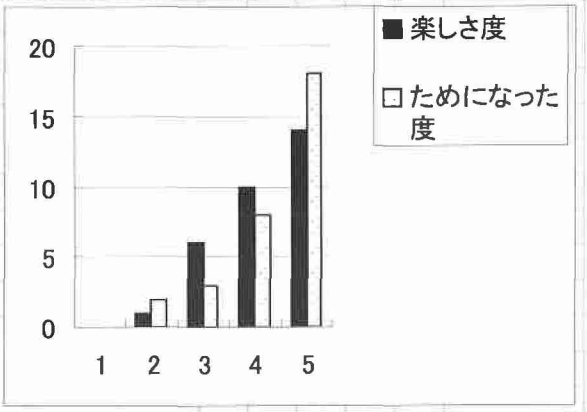


図3　生徒の評価表とグラフ

・発問４くらいでだれのことかわかった。私だったら，こんな苦しい生活はできないと思う。（４／３）
・キュリー夫人は夫が亡くなっても研究を続けるなんて，すばらしい人だなって思った。私もこんな人になれると良いなぁ。（５／５）
・人の人生をたとえて人生シミュレーションをすることで，こんな選択が自分にもあるかもしれないということがわかりました。歴史を感じさせる道徳授業だったと思います。（５／５）

考察　図３から授業自体の楽しさ及び有益度（新しい知識を得た）は比較的高い方だといえる。人生ゲーム的な流れも楽しめ，「放射線研究に生涯をかけたキュリー夫人の人生」がよくわかったという感想も多く高評価だったので，この授業は今後も，引き続き実践していく内容であると考える。

４．おわりに

これまで道徳の時間で「放射線」を扱う題材はなかった。現在の中学副読本にも「原子力」や「放射線」を直接扱っているものはない。だが，新学習指導要領になり今回の授業のような内容も道徳の時間で扱えるのではないかと考える。

しかし，気をつけなければならないことがある。

授業を行う際に，イデオロギーに惑わされるのではなく公正な真実または中立の立場で授業を構成し実践することが大切である。いたずらに「原子力や放射線は悪いもの」と決めつけては教材化は進まない。そして，中立の立場で教材化するのならば，教師自身には相当の学習や原子力セミナーにおける体験等も必要である。また，時には否定的な意見をもつ書籍なども読んでみることも必要である。

理科で「放射線」についての測定実験を含めて科学的な内容を教え，その後，道徳の時間において道徳的，社会的な面からも考えさせることで，「放射線」についての認識がさらに深まることになる。これからも多面的な教材開発をしていきたいと考えている。

参考文献

1)　原口栄一：「中学校編　とっておきの道徳授業Ⅰ」（日本標準株式会社），p99-p102（2003 年度）
2)　Microsoft(R) Encarta(R) Reference Library 2004. (C) 1993-2003 Microsoft Corporation. All rights reserved

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 14, No. 1, p. 59 ― 68 (2010)

【解　説】

水の起源ものがたり―水はいつどのようにつくられたか

大野　新一
理論放射線研究所
〒227-0054 横浜市青葉区しらとり台 12-5
Email: ohno-trl@01.246.ne.jp
(2011 年 3 月 15 日受理)

[要旨] 私たちが毎日飲む水はいつどこでつくられたのか。水の起源について、20 世紀後半に確立された宇宙進化の概要と放射線化学の研究成果を組み合わせることにより、放射線教育に関わる人を対象とした解説を試みる。

1. はじめに

水道の蛇口から出る水をたどれば、水道局、川、雨・雪、雲、水蒸気、海、森林、生物、土壌、地下水といった具合に、地球表面の循環系に落ち着く。その地球は 46 億年前に太陽系がつくられたときにつくられたといわれる。地球ができた後でどこかの天体から水が大量に降り注いできたかもしれない。あるいは地球に存在した酸素と水素から化学反応によって水が生成したかもしれない。太陽系がつくられる以前に水が存在していたのかもしれない。水の存在は火星や木星の衛星でも研究者の注目を集めている。

本稿では、まず 20 世紀後半に解明された宇宙進化の概要を調べる。その中で水分子の生成に関係した過程と水が地球にもたらされるプロセスを選び出し、その可能性を放射線化学反応の研究分野から探すことにする。

2. 宇宙進化の概要

2.1 宇宙の始まりから現在まで；物質変化の法則

宇宙は何も存在しない数学的な点で表現される「無」の状態から、量子的なゆらぎによって空間と時間が誕生し(137 億年前)、膨張が始まり、現在に至るもなお膨張を続けている。最近の観測結果によれば、膨張は次第に遅くなるのでなく逆に加速されつつある（暗黒エネルギー=宇宙項によるとされる)。また光・電波・X 線・赤外線などの電磁波を放出しない、したがって陽子・中性子・電子などとは全く別ものではあるが、質量をもつ未知の物質＝暗黒物質が大量に存在することが確認されている。この宇宙誕生の仕組み、暗黒エネルギー、暗黒物質の解明は、21 世紀の科学者にとっての重要課題である [1]。ここでは現在までに知られていること、すなわち膨張開始の宇宙にエネルギーと基本粒子あるいは素粒子が誕生し、膨張によって宇宙の温度が絶えず冷え続け、それによって物質の種類が進化し、生命の発生をもたらし、現在に至っていることを考える。

ところで現在の宇宙には 1 千億個という銀河があり、その中の一つ私たちの「天の川」銀河を取り出し、その中を調べるとそこに数千億個という星（太陽のように自ら輝くいわゆる恒星）があるとされ、また自分では光ることのない惑星、衛星、矮星、微惑星などもある。

さらに星と星の間の空間に星間物質と呼ばれる物質が存在し、様々な密度と温度をもつ分子雲、暗黒星雲、ダスト（=宇宙塵；10^{-6} m かそれ以下の微細な粒子で、岩石の組成を持ち、様々な分子種を吸蔵あるいは吸着している）などが観測されており、全体の星間物質の質量は全恒星の質量と同じくらいである。そして基本粒子を結びつける力をつかさどる粒子（グルーオン、光子、ボゾンなど）を加えて、ここまでは物質理論でお馴染みの標準理論によって理解される。しかし宇宙には暗黒物質と呼ばれるはるかに大量の別の種類の物質が存在していることが知られている[1)]。

ここで基本粒子を結びつけて物質をつくる 4 つの力について、そしてエネルギー保存則についても触れておく。(1) 2 つの粒子に質量がある場合に互いに働く引力(=「重力」)、および (2) 電荷をもつ粒子の間に働く「クーロン力」についてはよく知られており、どちらも遠隔力である（2 粒子間の距離の 2 乗に反比例して弱くなる)。(3)「強い力」は中性子・陽子などの間を引き付けるように働き、また (4)「弱い力」は中性子と陽子の間を相互に変換する（このときに電子とニュートリノの出入が伴う）ように働き、どちらも粒子同士がほとんど接触するようなときにだけ働く近接力である。

膨大な数の電気的に中性の粒子（たとえば電子と陽子が対になっている水素原子など）の集団の中では、4 つの力のうちで質量による重力だけが働いて粒子集団は集積する。集積が進むと位置エネルギー（重力エネルギー）が粒子の運動エネルギーに変換される。そのために粒子集団の中心部の温度が高くなる。5 千℃以上になると原子は原子核と電子に解離し、さらに高温では原子核と原子核が互いの陽電荷によるクーロン反発力に打ち勝って衝突するほどに接近する。衝突の短い時間に「強い力」が働き原子核合成が起こる（「強い力」は「クーロン力」よりもはるかに大きいことに注意！)。また陽子が次々と結合すると「弱い力」が働いて陽子の一部が陽電子を放出して中性子に変換する。中性子と陽子の数がバランスよく成長して大きい原子核（たとえば陽子が 92 個以上、中性子が 44 個以上）ができると今度は原子核の中での陽子同士の遠隔力であるクーロン反発が効いて原子核が 2 つに分裂するようになる。

宇宙の誕生
↓ 10^{-4} s
陽子と中性子ができる
↓ $10^{2\sim3}$ s (3 分)
ヘリウム・重水素などの軽い原子核ができる
↓ 10^{13} s（数十万年）
5 千℃程度に冷えて、中性の水素原子ができる
↓ 10^{16} s（5～10 億年）
銀河、星雲が誕生。星内部での元素合成とその星間空間への放出が繰り返される
↓ 10^{17} s（～100 億年）
太陽系の誕生(46 億年前)

図 1. 宇宙の歴史
（本文を参照のこと）

2.2 星の中の元素合成と星間空間における化学合成

宇宙の誕生直後には陽子、中性子、ニュートリノ、そしてこれらの粒子の 10^5 倍の数の電子と陽電子、さらにその 10^9 倍の光子が存在した。数分後、大部分の電子と陽電子が消滅し、陽子と同じ数の電子だけが残り、また陽子と中性子が衝突し合って重水素やヘリウムの原子核をつくる一方で中性子が消える（半減期は 13 分)。さら宇宙膨張から 38 万年後で温度が約 5 千℃まで冷えると、電子がクーロン力によって陽子やヘリウム核に捕捉され、水素原子と数%のヘリウム原子が生成した。この時点の宇宙は、中性の原子(水素とヘリウム)、光、

ニュートリノからできていた。引き続く膨張で運動エネルギーが下がり、水素原子の濃度の高い部分で重力による物質凝集が始まり星雲(銀河)ができ、それぞれの銀河の中でさらに大きい星・小さい星が生まれ、星が重力によって収縮して高温状態になると中心部分で陽子と電子に分解し、陽子と陽子が衝突合体して核融合反応（「強い力」による重い元素の合成）が起こる。反応によるエネルギー発生(=廃熱)は星の重力収縮を内側から圧力で支えつつ、表面から熱放射で排出される（そして星間物質を加熱、光照射する)。やがて星の中心部で水素が残り少なくなると重力でさらに収縮し、より高温になって今度はヘリウム核同士の核融合反応でベリリウムができ、その次には、という具合で炭素、窒素、酸素などが、次にはケイ素、マグネシウム、鉄などがつくられ、ここで反応熱の放出がとまる。そして星の末期（星の質量によって寿命は長短さまざま、大きい星ほど反応が速い）に星が合成してきた原子核の一部あるいは全部を宇宙空間に放出する(=質量放出)。例えば太陽の 8 倍以上の質量の星では、コア部に鉄原子が溜まるが、強い重力の作用でさらに凝縮が起こり鉄原子の 26 個の軌道電子が鉄原子核の 26 個の陽子に凝縮して 26 個の中性子になる。すなわち星のコア部が突然に空隙となり、周辺部からの激しい重力崩落とその反動で合成された原子や大量の中性子などが爆発的に周辺に撒き散らされる（＝超新星爆発)。超新星爆発では、高速で放出される粒子はやがて星間物質と衝突して速度を失い、自らも星間物質として漂う。星間物質がまた何万年・何千万年と宇宙に漂っているうちに再び周囲よりも密度の濃い部分の収縮が起こり第 2 世代の星が生まれる。このような輪廻を繰り返して現在の太陽系における元素

表 1. 星間物質の進化；希薄な星間雲から暗黒星雲になるまで[5)]

	希薄な星間雲 ⟶ 暗黒星雲			
星間雲の密度	10 原子/cm^3	10^3 分子/cm^3	10^5 /cm^3	10^7 /cm^3
星間雲の寿命	10^7 年	10^6 年	10^5 年	10^4 年
星間雲の温度	100 K	50 K	20 K	20 K
上記の寿命の間に (H_2)	5×10^{10}	3×10^{11}	2×10^{12}	1×10^{14}
ダストに衝突する (H_2O)	1×10^5	1×10^6	5×10^6	5×10^8
原子・分子数 (H_2CO)	90	6×10^2	4×10^3	4×10^5
観測されている分子種	CH、CH^+	CO	CO、H_2O、HCN をはじめ約 100 種類	

注）密度の大きさにより星間雲を 4 種類に分類し、それぞれの寿命、温度、各寿命の間でダスト（宇宙塵、0.1μm の大きさ）に衝突する分子の総数（H_2、H_2O、H_2CO の場合；存在する分子密度と速度から見積もる)、よく観測される分子種の例を示している。この表は増田他：「宇宙と地球の化学」（大日本図書)[5)] を参考にして作成した。星間分子については、東京天文台：「理科年表」（丸善）に記載されている。

組成ができている。

宇宙空間に散らばった原子は化学的な性質によって互いに結合して分子を形成する(表 1)。遠方あるいは近くで起こる超新星爆発は、高速で走る陽子、強烈な光、衝撃波などを通じて、星間物質中の反応（分子形成など）を加速する。重力収縮により原子同士が結合して 2 原子分子ができる組み合わせを推定すると、H と H の組み合わせがもっとも多く、次に H と O、H と C、H と N との結合、その次が Mg、Si、Fe と酸素の組み合せ(酸化物)である。たとえば温度が 1 千℃に下がると Si や Mg や Fe の酸化物など、普通に岩石を作るような物質が凝縮して塵(微粒子)をつくる。また化学反応を支配する要因としては、電子を失った（イオン化された）分子の生成と周辺における他の分子の存在が重要である。こうして水素、酸素、炭素、窒素原子の漂う星間空間の中では水、メタン、アンモニアなどの分子を始め次々と複雑な分子が合成されてくる。あたかも星の中が原子核合成工場なら、星間空間はまさに化学合成工場といってもよい。

3. 宇宙放射線と星間物質の化学反応 [2、6、7]

3.1 宇宙放射線

温度が数千～数万℃の遠くの星の表面からの熱放射で可視光線、紫外線、X 線領域の光が発生する。このような星の内部はもっと高温のプラズマ状態であり、そこから高エネルギーの原子核や電子がたえず放出する(コロナ；太陽の場合はとくに太陽風とよばれる)。また銀河系の中では 20 年に 1 回ぐらいの頻度で超新星爆発が起こり、高エネルギーの粒子線の発生が起こる。

超新星爆発のエネルギーはどのように見積もることができるであろうか [3、4]。太陽の 8 倍の質量の星では、中心部の核反応は 10^6~10^7 年間で鉄コア（半径 100 km）を形成し、引き続く強い重力の作用で鉄原子の中性子化をもたらして重力崩落が生じる。ここで半径が 100 km=10^5 m の鉄コアから半径 10 km=10^4 m の中性子の塊に収縮するときの重力エネルギーの解放を見積もる。(ただし重力加速度を $G = 6.7 \times 10^{-11}\ N\ m^2\ kg^{-2}$、また鉄コアの部分の質量を $M = 2 \times 10^{30}$ kg とおいて、$-GM^2/(10^5 m)-(-GM^2/10^4\ m) = GM^2/(10^4\ m) = 6 \times 10^{46}$ J となる。この解放エネルギーによって、星の外側を形成していた陽子、ヘリウム、酸素、炭素、鉄、などの原子核と電子やニュートリノ、そして発生する膨大な数の中性子が宇宙空間に向かって飛び出す。その中でも中性子は飛行中に他の原子核と反応しながら多数の重い原子核を合成する。そして星間空間に存在する電磁場や衝撃波の影響を受けて加速され宇宙放射線となる。宇宙線のエネルギーは地上に降り注ぐもので 10^8～10^{20} eV が観測されている。

3.2 放射線作用と星形成の加速

最初の星間空間には水素原子のみが存在していたとしよう。その密度を（表 1 を参照）10 /cm^3=10^7 m^{-3} とする。水素原子の大きさは半径 0.053 nm=0.53×10^{-10} m として衝突断面積は $\pi\times(2\times0.53\times10^{-10}\ m)^2=3.5 \times 10^{-20}\ m^2$、1 回の衝突が起こるためには平均して 2.8×10^{12} m = 18 AU、すなわち太陽－地球間を 9 往復する距離を走らなければならない、めったに遭遇しないものである。ただし低温の暗黒星雲（密度 10^7/cm^3）中であれば、300 km を走れば遭遇する。ところで中性の水素原子と水素原子はぶつかってもどちらも原子の外側

の電子雲同士が触れ合って反発し合うだけである。勢いをつけて衝突する場合でも跳ね返る。衝突している最中に系のエネルギーが系外に放出されて、初めて両原子が互いに束縛しあって水素分子が形成される。このエネルギー放出が起こるためには第 3 の原子または固体表面が関与してエネルギーを奪い取ることが必要である。この 3 体衝突が起こるためには粒子の密度が高いこと、またはダストが存在すること必要である。実はビッグバンから最初の星形成までの時代に星がどのようにして形成されたかについてはまだ不明のことが多く、暗黒時代と呼ばれている。ところが最初の星ができて、それが超新星爆発する以後からは事情がかなり好転する。超新星爆発で高速で飛び出す陽子や電子が水素原子の漂う集団の中を走るとき、陽子や電子は多数の水素原子から電子をはじき飛ばしながら通過する。エネルギーが 1 GeV の陽子は 10^7 から 10^8 個の水素原子のイオン化を起こして水素イオンと電子を生成する。水素イオンも電子も電荷を持つため、離れた位置に浮かんでいる水素原子に対してクーロン力を作用することができる。水素イオン(＝水素原子核）は近隣の水素原子中の電子に作用を及ぼし、また電子は近隣の水素原子中の原子核からの引力を感じ互いに接近する。

高速陽子など（宇宙放射線）＋H —> $H^+ + e$

$H^+ + H$ —> H_2^+

$H + e$ —> H^-

こうして化学結合が開始されるきっかけができる

あるいは最初の超新星爆発で飛び出した金属原子と酸素原子が低温の星間空間で結合してダスト(低温）をつくっているとき、このダストの表面に滞在する水素原子（もちろん水素イオンも）に衝突する水素原子との反応の場合では、余分のエネルギーはダストが吸収するので分子形成は容易であろう。

3.3 水、メタン、アンモニアの生成[2、6、7)]

宇宙誕生から数億年～100 億年を経た銀河系の中の典型的な星間空間では、原子数にして水素（93.7%)、He(6.2%)、残りの 0.1%のうちの 9 割が O、C、N、Ne であり、その残りのまた 9 割が Mg、Si、Fe、S、Ar である。さらにこれより 1 桁少ない元素として Al、Ca、Na がつづく。圧倒的に多い分子種は水素分子 H_2 であること、また幾度となく繰り返されてきた超新星爆発で星間物質のイオン化がすすみ、電場や磁場が発生していることは言うまでもない。そして引き続く超新星爆発で飛び出す高速粒子、その粒子の磁場による加速などで星間空間には宇宙放射線があふれている。

すでに述べたように、イオン化された分子はまわりの電気的に中性の原子や分子とクーロン力による相互作用を起こしやすくなり、低温でも化学反応を行う。(図 2)

(イオン化) H_2 ＋ 宇宙放射線 ———> H_2^+ ＋ e

(イオン－分子反応) H_2^+ ＋ H_2 ———> H_3^+ ＋ H

ここに O(酸素原子)が近づいてきたらどうなるか。

$$H_3^+ + O \longrightarrow OH^+ + H_2$$
$$OH^+ + H_2 \longrightarrow H_2O^+ + H$$
$$H_2O^+ + H_2 \longrightarrow H_3O^+ + H$$
$$H_3O^+ + e \longrightarrow H_2O + H$$

の反応により結局は水ができる。そして炭素（C）があればメタン（CH_4）もしくは一酸化炭素（CO）ができる：

$$H_3^+ + C \longrightarrow CH^+ + H_2$$
$$CH^+ + H_2 \longrightarrow H_2C^+ + H$$
$$H_2C^+ + H_2 \longrightarrow H_3C^+ + H$$
$$H_3C^+ + H_2 \longrightarrow CH_4 + H$$
$$H_3C^+ + O \longrightarrow HCO^+ + H_2$$

また窒素Nがあればアンモニア（NH_3）ができる。

4．ダスト表面（氷マントル）上の化学反応（図2）

Mg、Si、Feなどの酸化物微粒子(1μm以下の大きさ)の温度がさらに低下して－100～－200℃になり、そこにメタン、水、アンモニアがあるとダスト表面に凝縮してしまう。そして紫外線や宇宙線に照射されるといろいろな化学反応が起こり、

一般的には炭素と炭素、さらには窒素の結合が生じ（＝より複雑な分子になる)、同時に簡単な分子（H_2など）が低温ダスト表面で生成する(脚注)。生成したH_2などはダスト表面から揮発するが、複雑な分子は出すと

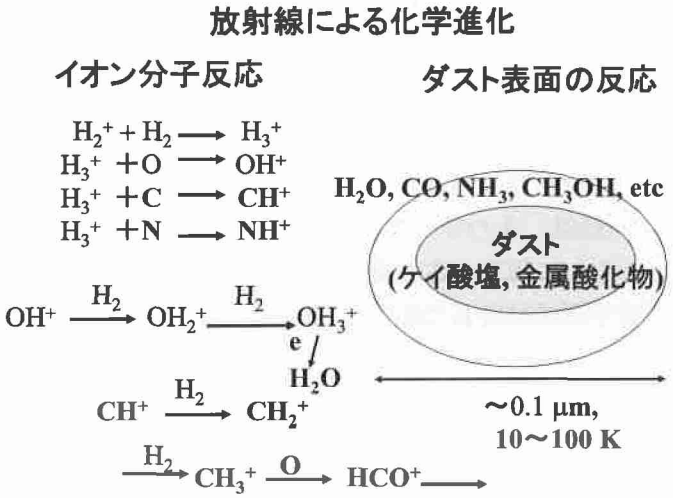


図2．放射線による化学進化
放射線によって星間物質の主成分である水素分子がイオン化される。イオンと中性の分子との化学反応は速いので、水・メタン・アンモニアなどの分子が生成する。すると低温のダスト表面に凝集し、ここで放射線照射を受けて化学反応が進展する。

(脚注) 複雑な分子の存在は電波望遠鏡(マイクロ波分光）で観測される。極性のある分子が回転している(量子化された状態)ときのエネルギー状態 E_1 から回転エネルギーのより低いエネルギー状態 E_2 に変わるときにそのエネルギー差 $\Delta(E_1-E_2)=h\nu$ に応じた電磁波がでるが，多くの場合でその電磁波はマイクロ波の領域である。その周波数の分布から回転している分子を同定することができるとともに温度も推定することができる。

表面に凝縮したまま次の放射線衝撃を受けてさらに複雑化する。また同時に新しい水、メタン、アンモニア分子が凝縮してくる。こうして有機物質(アミノ酸や核酸塩基、タンパク質に近い高分子など)を含んだダストや氷が再び重力で集まって新しく星が誕生した。それが今から 46 億年前に形成したわれわれの太陽系であると考えられている。同時に地球、火星、木星なども、そして隕石の元と考えられている小天体や彗星の元と考えられている無数の氷天体群のオールトの雲やカイパーベルトなどもできたと考えられている。(図 3)

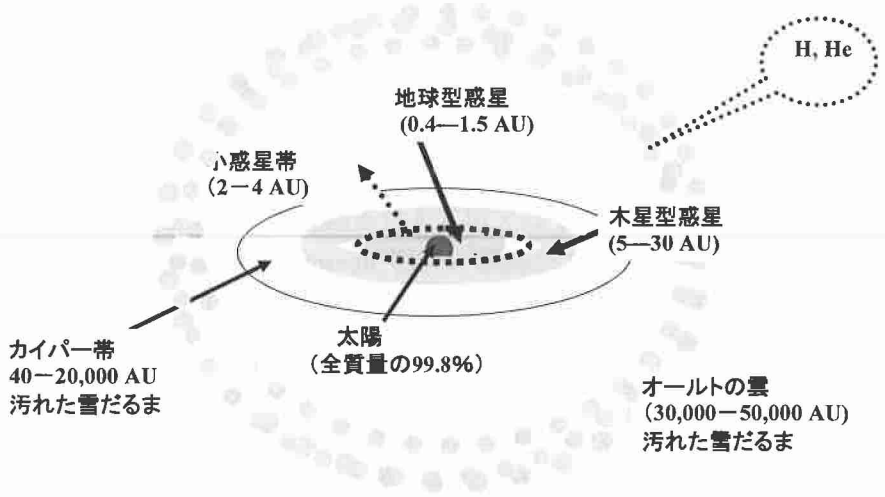


図3. 現在の太陽系の構造（模式図）
中心の太陽に全質量の99.8%が集中、惑星はほぼ同一面内を円運動。地球型惑星(岩石と金属鉄)は水星，金星，地球，火星、小惑星、木星型惑星(太陽と同じ組成)は木星，土星など，そして外側にカイパー帯とオールトの雲がある。「汚れた雪だるま」 (=彗星のふるさと）は有機物質を含む氷。 AU は太陽−地球間距離を単位とする。

5. 太陽系の形成

いまから 46 億年前のこと、宇宙空間のあるところ（私たちの銀河系の中の太陽系が存在しているところ）で、星間物質（ガス状分子と塵）の密度が比較的濃くなったところを中心に重力がはたらき収縮が起こった。ガスと塵の成分は 90%以上が水素、それ以外にヘリウム、炭素、酸素、窒素、鉄をはじめ、私たちが知っているあらゆる元素がすでに含まれている。収縮が進むとガスと塵は全体として円盤状に回転するようになり、中心部分は温度が上昇して（数百万度）水素と水素の核融合反応が始まり光りだして太陽と呼ばれるようになる星が誕生した。周りの回転する物質も大小いくつかの渦に分かれ、ちょうど塵がはき集められたように集積して惑星になった。円盤の内側では岩石や金属を主成分とする水星、金星、地球、火星などが、中心から離れた円盤の外側では水素や氷を主とする木星、土星、天王星などの惑星ができた。

こうしてみると太陽系は、太陽を中心に、その周りに岩石を主とする惑星、そして小惑星帯、ガスを主とする大型の木星・土星のような惑星、その周りを彗星のふるさとと呼ばれるカイパーベルト（多数の氷の塊）から構成されている(図 3)。それらがすべて同じガスと塵

から同時期（今から 46 億年前）に誕生したこと、さらに惑星の運行を解析することから太陽系の全質量の 99.8%が中心の太陽にあることも分かっている。そこで太陽系の元素分析は太陽一つを化学分析して代表させることに納得できるであろう。

6. 地球の形成とその後の元素分布

6.1 微惑星の形成[8]から原始惑星の形成

太陽系が形成されつつあるとき、全体のダストとガスが大きな円盤状に渦巻く。中心の太陽からの距離がある値の位置で公転するガス体（球状）を考えて、その密度と大きさによって微惑星の成立条件が決まる（ガス球の表面におけるダストや分子はガス球自体からの重力を受けるが、また太陽系中心に対して円運動することから生じる潮汐力よりも大きいという条件）。こうして円盤状渦巻きの中で多数の微惑星が形成される。微惑星と微惑星の衝突合体が（10^{10}個も）繰り返されて惑星が形成される。この過程で大量の重力エネルギーが放出される。たとえば地球が 10^6～10^8 年をかけて形成される場合のエネルギー放出は 1.7×10^4～1.7×10^2 W/m^2 に達する。すなわちこの段階（集積 accretion）での惑星は太陽から受けるエネルギーと同じ程度あるいはそれ以上のエネルギーを自分で放出している。このエネルギーは原始大気の中を運ばれて宇宙空間に逃げていく。もし大気中に水蒸気やダストが高い濃度に存在すると熱放射が不透明になり、大気の保温効果（blanketing）が生じる。推定によると原始惑星が火星程度の大きさから急速に温度が上昇し、地球質量になると 4000 K、圧力は数気圧程度になる。この温度では岩石も完全に溶けた状態でマグマオーシャンで覆われていたと考えられている。

6.2 太陽の元素分析

太陽からの光は 6 千℃の高温物体からの熱放射であり、波長が広い範囲で連続的に分布するスペクトルをもつ。太陽の表面に存在する種々の元素によって吸収が起こるとスペクトル上で多数の暗線（光が吸収されたところ）がみられる。この暗線の波長を詳しく調べると地球上でみられる元素が示すものと同じ吸収線が確認できる。こうして太陽光線のスペクトルを調べることから太陽（太陽系の 99.8%を占める）に存在する原子の種類（元素）を分析することができる。またときどき地球上に落下してくる隕石、月から持ち帰った石などを丁寧に化学分析して求められた太陽系の元素組成を表 2 に示す。ここではケイ素（Si）を 10^6 としたときの他の元素の存在割合を示している。左側の欄には水素など気体元素を示し、右側には鉄（Fe）やマグネシウム（Mg）など、さらにウラン（U）やトリウム（Th）などの金属を示している。ただし左欄の酸素の一部（3.8×10^6）は最初から右側の金属と結合していたと考え

表 2　太陽系元素存在度(10^6 Si 規格値)
(Anders and Crevesse, 1989)

揮発性（木星型）元素		不揮発性（地球型）元素	
H	2.79×10^{10}	Mg	1.07×10^6
He	2.72×10^9	Si	1.00×10^6
O	2.38×10^7	Fe	9×10^5
	（-3.8×10^6 →）	Ni	4.9×10^4
C	1.01×10^7	Al	8.49×10^4
Ne	3.44×10^6	Ca	6.11×10^4
N	3.13×10^6	K	3770
Ar	1.01×10^5	Th	0.0335
Xe	4.7	U	0.009

られる。

6.3 地球における元素分布

太陽系の惑星の元素組成も上の表で表されるものであるが、ただ太陽に近い地球のような岩石型の惑星では表の右側の欄に示す不揮発性元素からなる組成（最初から金属と結合した酸素も含む）を、また太陽系外側を回る惑星では左側の揮発性元素からなる組成を主として取るとされる。そして地球誕生の際には次々と小さい微惑星が降りそそいで地球は岩石をも溶かすほどの高温になったので重い金属の鉄・ニッケルは地球の中心部（コア）に、次に比重の大きい岩石がマントル部分を、一番上に比重の軽い岩石が地殻を形成する。そして岩石の隙間に浸み込んでいた水、メタン、アンモニアなどが高温状態で岩石と反応して海水、窒素や二酸化炭素などの大気となって地球の層構造（図 4）ができあがったと考えられている。層内でも元素の分布が完全に均一ということはなく、地球は絶えず激しい活動を続けてきているので局所的な分布の違いが存在するのはもちろんである。

7. まとめ

超新星爆発は、宇宙放射線と物質の起源である。広大な宇宙全体では、超新星爆発は絶えず起きているが、比較的近い場所では滅多に起きないものである。それでも数回の超新星爆発の影響の残る辺りでは、放出された金属元素の多くは酸素と結合して酸化物のダスト（塵）となり、また軽い元素は宇宙線の作用によって水、アンモニア、メタンなどの分子を形成する。ダストと分子は宇宙空間を漂いながら重力により次第に渦巻状に集まり、われわれの太陽系をつくった(46 億年前)。太陽系質量の 99.8%は中心で太陽となり、残りが惑星になった。太陽の近くの惑星は岩石を主とする水星、金星、地球、火星など、遠くの惑星は水素・水を主とする木星、土星などである。太陽系全体の元素の種類と組成は、太陽を元素分析して得られる。地球もこの元素分布でできている。

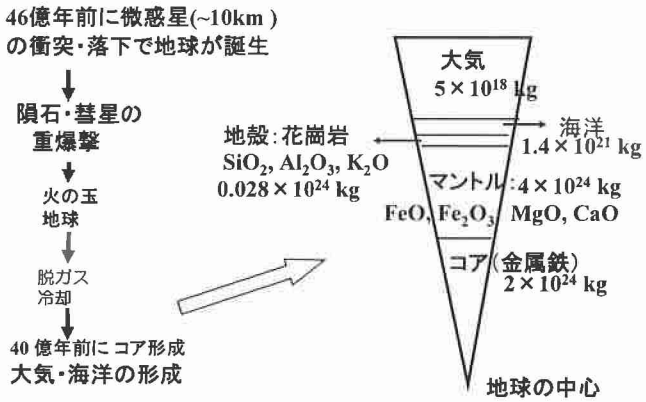


図4. 現在の地球における元素の分布

では実際の地球でどの元素がどの部分に分布しているのか。地球は数 km 程度の大きさの微惑星（分子とダストの集まり）が次々と互いにぶつかって形成した。ぶつかる毎に地球の温度が上がり、ダストに含まれていた水や炭素化合物などが脱ガスする。これらの気体が地球表面を覆うので、温度上昇した地球からの熱放出ができず、ついに岩石類はドロドロに溶ける（マグマオーシャンと呼ばれる)。すると重い金属鉄が地球の中心に落下し、軽いものが表面に浮かんでくる。鉄がコアとなり、その上に酸化鉄・酸化マグネシウム・酸化カルシウムなどの比重の大きい岩石、その上に酸化アルミニウム・酸化ケイ素・酸化カリウムを主とする岩石（花崗岩など、酸化ウラン・酸化トリウムなども）が地殻を形成する。希ガス、

水素、窒素など軽い気体はどこか地球外の遠くに吹き飛ばされた。岩石の間に紛れ込んでいた水、メタン、アンモニアなどは高温の岩石と反応しながら水、一酸化炭素、二酸化炭素、窒素ガスとなって放出され、やがて冷えてきた地球上で海洋と大気をつくった(今から 40 億年前)。

太陽放射は地球表面に吸収され、加熱された地球表面からは同じだけのエネルギーが熱放射として宇宙に逃がされ、地球のエネルギー収支が保たれる。吸収されたエネルギーが地球表面に滞在する時間の長短によって地球表面の温度が決まる。この点に関して、地球表面の水は極めて重要な役割を果たしている。熱を吸収した海水は蒸発し、上空で雲となって雨を降らせる。雨は大地を経て岩石に含まれていた様々な物質を海へと運ぶ。海底においても地下深く潜りこんだ水は、地球内部に残っている高温状態の岩石(マグマ) に加熱され、いろいろな物質を溶かして熱水噴出を行う。このような環境で最初の生命が誕生したと考えられている。生命の進化とともにその後の地球環境も変化してきた。現在の地球内部の構造 [8]を図 4 に示す。

参考文献

1) 自然科学研究機構シンポジウム収録集 6:「宇宙究極の謎—暗黒物質、暗黒エネルギー、暗黒時代」、クバクロ(2009)

2) T.W. Hartoquist、 D.A. Williams: "The Chemically Controlled Cosmos" Cambridge Univ. Press (1995)

3) 杉本大一郎、吉岡一男:「進化する宇宙」放送大学教育振興会(2005)

4) 戸塚洋二:「戸塚洋二の科学入門」http://kenbunden.net/totsuka /index.html

5) 増田彰正、田中剛、中川直哉:「宇宙と地球の化学」(新化学ライブラリー)、大日本図書、1991

6) B.E.J. Pagel: Nucleosynthesis and Chemical Evolution of Galaxies、 Cambridge Univ. Press(1997)

7) E. Chaisson and S. McMillan: Astronomy、 A Beginner's Guide to the Universe、 Prentice-Hall (2000 Media Update Edition)

8) 松井孝典、他:「地球惑星科学入門」岩波書店 (1996)

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 14, No. 1, p. 69 － 70 (2010)

【ノート】

ボランティア活動としての「エネルギー・放射線セミナー」開催報告

森 千鶴夫
NPO 法人放射線教育フォーラム
〒105-0003　東京都港区西新橋 3-23-6　第一白川ビル
(2011 年 2 月 8 日受理)

標記のセミナーを、ボランティア活動として行なったので報告する。

過去 9 回にわたって、文部科学省主催、(財) 放射線利用振興協会と(NPO 法人)放射線教育フォーラムの共同企画・運営の形で、「エネルギー・環境・放射線セミナー」が開催されてきたが、平成 22 年度は他の団体が文部科学省からの委託を受注したため、このセミナーは開催されなかった。従って上記の団体名である「愛知・岐阜・三重地区」は、名目上は消滅したと考えてよい。しかし、私共は平成 22 年度も受注する可能性が高いと判断して、すでに 1 月から準備を始めており、相手方（三重県津市教育委員会および三重県教育委員会）と交渉に入っていた。

従来のセミナーにおいては、募集定員を満たすのは容易ではなく、大変苦労してきたので、今回は最初から人脈に頼る方法をとった。フォーラムの緒方良至先生と三重大学の西 泰明先生に彼等の人脈から、津市教育委員会に働きかけて頂き、順調に進行しつつあったが、平成 22 年 3 月初めに「セミナーを受注できなかった」との報告を受けた。しかし、“ボランティアででも行なうのがよい”との地区会員の積極的な姿勢を得て、津市教育委員会にこの旨を連絡したところ、快く対応して下さり、短い時間ではあるが、次のようなプログラムで開催することになった。

エネルギー・放射線セミナー

主催　津市教育研究会理科部会
協力　NPO 法人放射線教育フォーラム愛知・岐阜・三重地区および中部原子力懇談会
対象　津市教育研究会理科部会会員
日時　平成２２年８月１８日（水）　13：00～15：00
場所　津市立南立誠小学校　〒514-0003　三重県津市桜橋 2 丁目 39
開会挨拶　津市立南立誠小学校長　東谷 和久　先生
挨拶および司会　佐久間 洋一 （東京工業大学特任教授）
講義
　放射線とその利用について　約 25 分　担当　下　道国 （藤田保健衛生大学客員教授）
実験
　霧箱の実験　約 25 分　担当　早川 一精（中部原子力懇談会技術部長）
　簡易放射線測定器を用いた実験　約 30 分
　担当　緒方 良至（名古屋大学医学部保健学科放射線取扱主任者）
　箔検電器等による演示実験と CR-39 によるオートラジオグラフィーなどの話
　約 20 分　担当　森 千鶴夫（名古屋大学名誉教授）
懇談　司会　田中 秀幸　（教諭、津市教育研究会理科部会部長）
閉会挨拶　津市教育委員会　臼井 正昭　（指導主事）

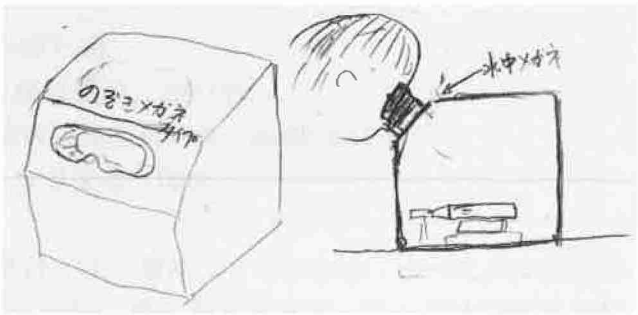
受講者としての小学校、中学校の先生方は 16 名であった。懇談ではかなり突っ込んだ質疑応答があった。最後に行なったアンケート結果は次のようであった。　①セミナーは全体とし

て有益であったと思う：ほぼ全員、②放射線のことがある程度理解できた：ほぼ全員、③少し自身で取り組んでみようと思う：約４割、④学校への出張授業を希望する：約３割。

小学校の先生のコメント

○ ④に関して、小学生には（小６であっても）少々難しいと思いました。希望者には、例えば市の教育科学展（夏休みの自由研究発表会）で霧箱を見せてもよいかもしれません。

（注：この先生は暗幕がなくて部屋を暗くできない場合に備えて、のぞきめがねタイプの箱の中に霧箱を置いた絵を描いて下さった。）



中学校の先生のコメント

○ ①に関して、普通触れる機会が少ない内容だったので、興味深かった。②に関して、難しい面もありました。③と④に関して、教育現場で応用しにくい内容でもありますので・・。

今回のセミナーは中部原子力懇談会からの霧箱実験の支援を得たが、基本的には交通費を含めて全てボランティアであったが、それだけに我々の側には、ある種の使命感、高揚感があった。

写真１　佐久間先生の司会によるセミナー風景

津市教育委員会、理科研究部会の関係者の方々が熱心に取り組んで下さった。

写真２　セミナー終了後に近くの喫茶店で憩う面々。（左から、西、早川、山寺、森、下、緒方、佐久間）

短い時間ではあったが、やり遂げてよかった、との思いが強かった。

放射線教育フォーラムが従来行なってきた「エネルギー・環境・放射線セミナー」の開催に際しては、それなりの報酬があった。今回は、霧箱の実験で中部原子力懇談会の協力はあったが、交通費を含めて全くのボランティアであった。一般に定年退職者などは、費用を払って文化講座に出席したり、絵を描いたりなどして楽しんでいるが、このための費用はあまりいとわない。上記のボランティア活動は立派な社会貢献であり、その充実感は支払った費用を上回る筈であるが、続けるという話にはすぐにはなりにくいものである。「ボランティア活動」について、いろいろと考えさせられることでもあったが、今後については検討中である。

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 14, No. 1, p. 71－72 (2010)

【ノート】

山寺秀雄先生を囲む放射線教育フォーラム 愛知・岐阜・三重地区の会

森 千鶴夫
NPO 法人放射線教育フォーラム
〒105-0003　東京都港区西新橋 3-23-6　第一白川ビル
(2011 年 3 月 10 日受理)

NPO 法人放射線教育フォーラムは、過去９年間にわたって、文部科学省の事業である「エネルギー・環境・放射線セミナー」を財団法人放射線利用振興協会と共同で企画・運営し、毎年、全国 10 地区で開催してきた。愛知・岐阜・三重地区は 10 地区の一つである。しかし、昨年からセミナーの開催は他の組織が開催することになった。今後はどのように推移するかは分からない情況ではあるが、愛知・岐阜・三重地区では、今まで山寺秀雄先生が、セミナーの開催に大変御努力下さり、御指導を頂いたことに感謝申し上げようと、山寺先生を囲む会を、名古屋大学医学部保健学科において１月４日（15 時～19 時）に開催したので報告させて頂く。

フォーラムの副会長であった山寺秀雄先生は、この地区の代表として、組織がまだ十分に整わない手探り状況の中で、このセミナーの開催に率先して大変努力されるとともに、大所高所からの視点で我々を指導して下さった。

過去９年間のこの地区の開催場所は、開催順に名古屋市、犬山市、津市、岐阜市、蒲郡市、四日市市、東海市、土岐市、名古屋市であった。このセミナーは、募集定員 50 名の確保がなかなかの難事であった。山寺先生は学校回りをされた当初の経験を話され、いつもいとわずに各地の教育委員会や学校回りに同行し、ご指導下さった。また山寺先生は、地区の会員をセミナーの講義や実験の講師に育てることに留意された。おかげで、地区のフォーラム会員は何らかの形で講師として関与し、いろんな経験を積ませて頂いた。先生にはセミナーの基調講演をお願いすることが多かったが、それは、先生の環境、エネルギー、生活、教育、等に対する熱心な御勉強の結果として、他の地区からの講演依頼が多かったことからも分るように、歴史的視点を通しての鋭い洞察と深い考察に満ちた御講演であったからである。

感謝する会であるにも拘らず、先生に「地球の，日本の明日を考える」と題して 1 時間近くのお話をお願いし、その中で、先生が過去に受賞された学士院賞にも触れて下さることをお願いした。参加者も各自が自由な題目で 10 分ほど話し、そのあと食事・懇談をした。

山寺先生の当日のご講演は、その内容を先生に文章にして頂いたところ、今年度の「放射線教育」に総説として掲載される運びとなった。

フォーラム会員（愛知・岐阜・三重地区）（あいうえお順）：　大野和子、緒方良至、
加藤幸弘、佐久間洋一、下　道國、杉本勇二、高橋郁子、早川一精、森 千鶴夫、
山内浩司、山寺秀雄、山本匡吾

当日の山寺先生のご講演の要旨、および各自の自由な題目での話のメモを次頁に記します。

「地球の、日本の明日を考える」（山寺秀雄先生）

今地球にとって最も重要な問題は、景気対策よりも、地球温暖化防止と限りある地球資源に関する対策である。人類による資源の消費は地球の生産力の 1.5 倍にも達している。ものの豊かさからこころの豊かさへの価値観転換が求められる。今後はさらに、世界では国際化・IT 化・女性の進出が進むであろう。日本の対応は遅れている。最近 20 年間、日本には衰退の傾向が見られる。教育に物心両面の注力をし、次の世代に期待したい。

（学士院賞について：「金属錯体の分光学における山寺則の創始と配位構造の研究」1997 年受賞。分子軌道法を用いてコバルト錯体などの可視部吸収スペクトルを解明した。理論的予測が実験結果とよく一致したので、阪大・理，新村陽一教授により山寺則と命名された。）

「参加者の自由な課題による話」

自然放射線による被曝（下 道國）

日本人の平均的な年間の被ばく量は、外部被ばくが 0.76 mSv、ラドン・トロン子孫核種の吸入による被ばくが 0.56 mSv、食物摂取による被ばくが、近年、魚からのポロニウム（^{210}Po）による寄与分が以前より 0.5 mSv 増えた（太田智子：FB News, 364, 2007.4.1 発行）ことにより 0.8 mSv となり、合計 2.1 mSv で世界平均 2.4 mSv とほぼ同じとなった。

現在の仕事（佐久間洋一）

定年後、東工大原子炉研に籍を置き、主に共同研究として 4 つの仕事をしている。(1) マイクロリアクターによる同位体分離、(2) 化学形弁別トリチウムモニターの開発、(3) トリチムを用いる各種気体の W 値の精密測定、(4) イタリア文化事典の理科部門の編集と執筆。

国際医療放射線防護に関する学会（ブルガリア）（大野和子）

2010 年 9 月に行われた医療放射線防護に関する国際学会で、医療関係者に対する適切な放射線教育に関する調査結果について発表した。放射線診療技術の進歩に対応した安全な診療を行うには、教育の充実が不可欠であることを多くの参加者が認識していた。

放射線とエネルギーの違い（森 千鶴夫）

愛知県教育委員会が「・・の達人」のリストを県下の各小、中学校に配布し、学校が希望する達人に出張授業させるシステムがある。私は、一昨年は「放射線の達人」で登録したが希望する学校はなく、昨年は「エネルギーの達人」で登録すると２件あり、相違を感じた。

英国紀行（緒方良至）

海外研修で 2007 年 10 月～2008 年 3 月の半年間、滞在した英国物理研究所(NPL, National Physical Laboratory)での研究活動やロンドンでの日常生活について報告した。食事をしながらの懇談会では、山寺先生がお若いころに山歩きを楽しまれたお話や、1961～1963 に、米国に留学された頃のお話（当時は日本からの留学生は非常に少なかったこと、旅費や船旅のことなど）等を楽しくお聞きした。

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 14, No. 1, p. 73 ― 80 (2010)

【資　料】

原子力・放射線利用の進展と啓発活動の変遷

―科学技術の社会的受容を目指した教育啓発活動の３４年―

大島　浩
佐野日本大学中学校・高等学校教諭
〒327-0843　栃木県佐野市石塚町 2,555
(2011 年 2 月 11 日受理)

［要旨］ 34 年間続いたエネルギー・環境教育の活動団体、「広領域教育研究会」が活動を終結した。原子力のエネルギー資源としての利用促進を主としつつ、環境や人口、食糧問題などを広領域教育として幅広く取り扱い、中高校の教員を対象として発行部数 3,000 部、無償配布によって科学技術の社会への普及活動を展開してきた。科学技術の社会的受容促進の広報活動のあり方と社会が要求する活動がどのようなものであるか（あったか）、の両方向の視点から紙面を解析し報告する。

１．調査の目的

（１）原子力・放射線教育に関わる教育啓発活動の展開を、「広領域教育」紙面から抽出した。抽出したキーワードにより活動のようすと受容を探る。
（２）放射線教育の啓発のテーマ変遷と方向性を探る。

２．調査の方法

（１）1976 年の創刊号から、2010 年 2 月の No.74 までの 74 冊について、各巻に取り上げられた論文、報告、寄稿記事（トピックス）について内容を分類し、キーワードを抽出し、掲載頻度の度数を調べる。
※広領域教育研究会より、会誌創刊号から終刊 No.74 に至るまでの寄贈を受けた。ただし、34 年の長きにわたる活動のため、No.17,18（1981 年）および No. 20～25（1981 年～1985 年、No.19 は入手）、No. 29,32 号の計 9 冊が入手できず、65 冊からの報告になる。
分類掲載記事（論文、報告、寄稿）総数 552。
（1 冊平均 8.5 本。論文、報告、コラムの別は考慮せず、また長短も区別しなかった。また、特集記事については,内容で区分した。）
（２）掲載内容や主張の時系列による変化を調べる。
※会誌の配布先は、学校教員を対象とした原子力体験セミナーなどの関連講習会参加者や、会誌の教育委員会や学校への送付から購読希望者（無償）を募り、一部図書館や教育機関を含め、3,000 部を送付している。

教育研究会の性格付けであるが、1976 年の教育研究会設立趣意によれば、「今日学校教育の場において最も大きな問題を投げかけているのは、いわゆる広領域の問題をいかに扱うかということである。すなわち、資源、エネルギー、環境、食糧、人口等のこれら広領域の問題は、・・・、その解明に当たっては社会的な価値観をぬきにしては考えられない。・・・こ

れら広領域の問題に対して新聞報道等を通じて提供される情報は極めて混乱している。・・・教育の場でいかに取り上げ、いかに扱うかについて広い場において公正な討論が行われるひとつのきっかけになることを願って、ここに関心あるものの自主的な組織として「広領域教育研究会」を発足させることとした。」となっている。

創刊号から第４号までの表紙には「広領域教育研究・原子力」と明示され、会の目的が原子力利用の理解促進であることが分かる。（第５号からは「原子力」の文字は省かれるが、４号の特集は「原子力船」と「核拡散防止問題」についてである。）

啓発活動の中軸を原子力利用の理解促進におき、環境,人口、食糧問題を視野に入れている。

３．調査の結果

〔１〕原子力・放射線教育を中心とした啓発活動で扱われたテーマ・内容の推移

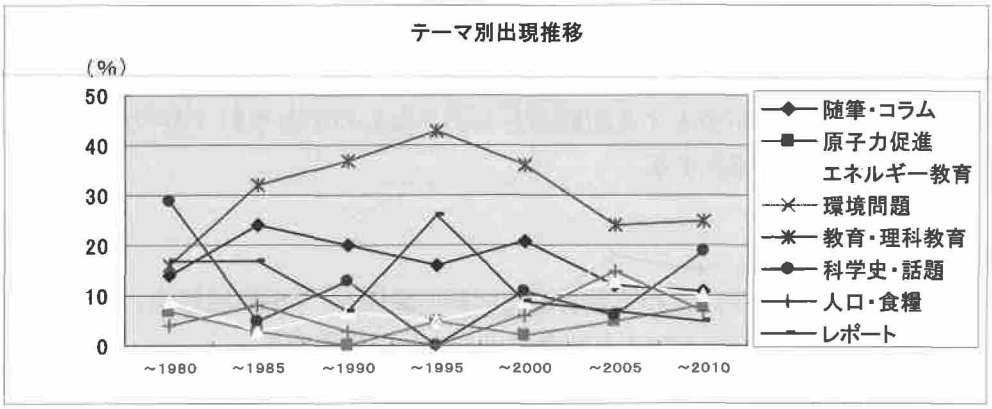


図１．34年間に掲載された５５２本の記事のテーマ別出現の推移

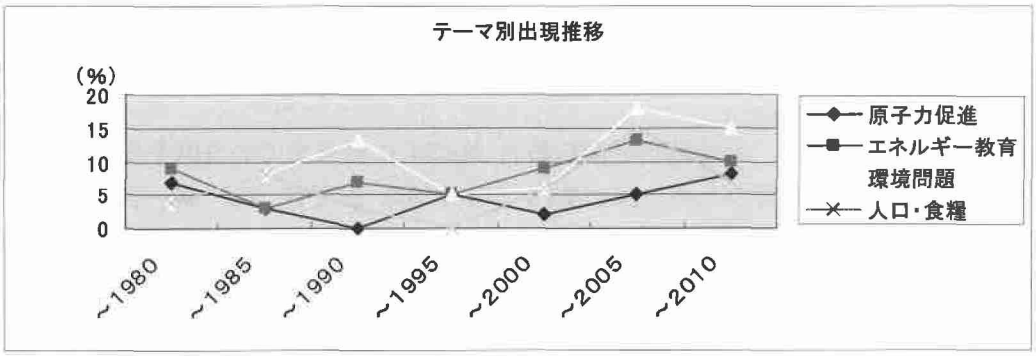


図２．34年間に掲載された５５２本の記事のうち増加基調のテーマ

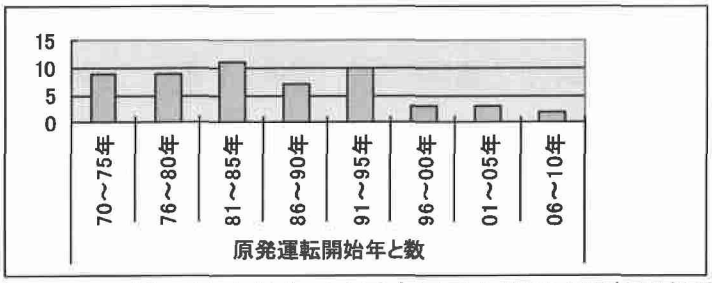


図３．1970年～2010年までの国内原子力発電所運転開始基数

図1において、原子力利用理解のグラフを追ってみると、1980 年から 1990 年にかけて減少し、1990 年から 1995 年にかけて増加に転じる。この時期、85~90 年期から 91～95 年期、原発の建設が反転増加に転じているのと軌を一にしている。それに伴い学校教育を通じて、エネルギー供給源確保の観点から原子力発電の有用性が叫ばれたと思われる。

それに対して、2000 年を起点とする原子力発電への理解促進、いわゆる“原子力ルネサンス”は地球温暖化の原因となる CO_2 を排出しないという、環境適合性を強調する論点に変化していくことが分かる。

図 2 は、年次を追って記事数が増加するテーマ、原子力利用理解の促進、エネルギー問題、環境問題、科学や新素材の話題の変化を抽出したが、これら各テーマが単独ではなく、相互に補完し合う形で登場していることが特徴的である。

〔2〕紙面に現れた論点の特徴

表1．レポート・特集記事の推移（それぞれの号での特集、太字は 2 番目までのタイトルを表記。）

創	1976 年 4 月	〈対談〉原子力の安全性の側面／生きた教材としての原子力
2	1977 年 7 月	京都大学原子炉実験所と柴田所長／私の原子力教育
3	1976 年 11 月	環境とエネルギー／私の原子力研修
4	1977 年 2 月	東海原子力発電所の価値判断／原子力教育と私
5	1977 年 7 月	原子力船・核拡散防止問題
6	1977 年 11 月	直面するエネルギー問題
7	1978 年 7 月	石油はいつなくなるか／農業・食糧・エネルギー
8	1978 年 12 月	新しいエネルギーの研究開発／炭酸ガスと気温／食品と放射線
9	1979 年 5 月	私たち自身の環境問題／原子力発電所をめぐる論争／日本農業の未来
10	1979 年 9 月	T・M・I の事故をめぐって／原子力の安全思想
11	1980 年 1 月	反捕鯨にとまどう日本／省エネルギー時代がやってくる
12	1980 年 5 月	コンセンサスは得られる／日本の漁業と原子力発電
13	1980 年 7 月	エネルギー問題の将来と教育の課題／昭和現代の父親に問うこと
14	1980 年 11 月	中学校新教科書にみる資源・エネルギー・原子力問題の記述
15	1981 年 2 月	西暦 2000 年の地球／グリーンエナジー計画
16	1981 年 6 月	いきいきとした授業づくりのために／環境アセスメントを考える
19	1982 年 5 月	エネルギー・原子力学習の展開にあたって／国民の選択と原子力政策
26	1985 年 10 月	見直さなくてはならない教育の課題とは(V)／〈対談〉教育理念を求めて「画一化」を「体質化」してきた日本の教育
27	1986 年 4 月	『科学技術と人間』／子どもたちは自然に飢えていた！〈自然教室実験校レポート〉

28	1986年6月	ソ連・チェルノブイリ原発事故と学校教育現場の対応
30	1987年9月	巨大技術を考える／巨大事故・科学の巨大化がもたらしたもの
31	1988年4月	子ども自身が考える授業〈原子力を題材にしたリサーチ学習〉／中国の少数民族人口問題
33	1990年2月	ヨーロッパ　エネルギー教育の実態調査〈対談〉荒廃しきった日本の教育・社会環境
35	1993年8月	核分裂連鎖反応50周年に思う／“理科”が消える危機感
36	1994年4月	中学・高校教員の近大原子炉実験研修紹介／“七尾湾御祓川再生プラン”
37	1994年11月	「理科教育の歴史とながれ」／広領域教育研究会 18年を振り返って
38	1995年12月	能登大会特集　人口、食糧、環境、エネルギー、資源など、『価値観の対立する現実を教材化しよう』
40	1997年12月	国家と教育／アジア諸国の資源エネルギーと食糧事情
41	1998年5月	地球温暖化問題を考える視点／学習指導要領の改定　今回の特色と課題
42	1998年12月	大型学術研究の推進について／温暖化対策推進大綱
43	1999年9月	〈インタビュー〉20世紀を反省し新しい知と道徳の創造を／総合的学習展開への期待と課題
44	2000年3月	科学技術と生きるための教育の再生を目指して／〈エネルギー・原子力・放射線〉の学習指導の方向
45	2000年9月	情報社会の行方／新エネルギーとはどんなものか
46	2001年3月	少子高齢社会がやってくる／「少子化と教育」を考える
48	2002年3月	教育の現状と将来の方向を考える／OECDによる生徒の学習到達度調査
49	2002年7月	京都議定書から今日までの動き／地球が温暖化するとどうなるか
50	2002年11月	日本の文化とこれからの教育／総合的学習とエネルギー環境教育の課題
51	2003年3月	エネルギー・環境教育等を考える／科学教育のあり方を探る
52	2003年7月	教育課程と学習指導要領の原点／これからの数学教育の課題と展望
53	2003年12月	科学教育の推進に果たす博物館等の役割
54	2004年3月	「知識」と「知恵」の調和を求めて／これからの「総合的な学習の時間」の在り方
55	2004年4月	今、何故、大学の質保証か／教育の根底となる心を育てる
56	2004年7月	国立大学の法人化と今後の高等教育／「知」の国チェコの人材教育

57	2004年11月	これからの教育を考える／地球温暖化問題を考える
58	2005年3月	地球は有限　日本のエネルギー、食料、環境問題／水素エネルギーの利用と将来
59	2005年7月	気候変動問題の将来枠組みにおける衡平性／原子力利用の安全と安心
60	2005年11月	文化、科学と宗教、教育　わが国の進むべき道／生きる力を育むエネルギー・環境教育
61	2006年3月	原油高騰時代の日本のエネルギー国家戦略と原子力政策を考える
62	2006年6月	「社会とのかかわり」を重視した教育とは／原子力・放射線教育におけるインターネットの活用
63	2006年7月	世界最高の省エネルギー機器の開発・普及に向けて／放射線・放射性物質を用いた植物研究
64	2006年11月	南極からみた地球の過去・現在・未来／世界の水資源問題のこれから
65	2007年3月	国家基幹技術の推進について／ナノテクノロジーの夢と市場と現状
66	2007年7月	ますます厳しくなるエネルギーの安全保障／地球環境と森林
67	2007年11月	フィンランドの教育改革／学校教育における食育の充実と今後の課題
68	2008年3月	PISA 調査の結果と学習指導要領の改訂について／学校教育におけるリスク教育の導入に関する研究
69	2008年7月	科学的リテラシーを育むこれからの理科教育／高レベル放射性廃棄物ってどんなもの
70	2008年11月	黄砂を防ぎ、地球温暖化をとめる沙漠の緑地化への挑戦／新潟県中越で発生した地震対策の原子力発電所への影響
71	2009年3月	食糧問題の現状と課題／国際調査「ＴＩＭＳＳ2007」結果を踏まえて、これからの理科教育
72	2009年7月	原子力ルネサンスと技術者・専門家教育／21世紀の資源問題
73	2009年11月	法人化後の地域の大学／再生医療の現状と新しい工学的手法との融合の重要性
74	2010年2月	初等中等教育の課題―新学習指導要領の実施に関連して―／岐路に立つエネルギー資源問題～原子力の再評価

大まかに「図 3. 原発の運転開始年と数」と紙面に見える記事の特徴と論点をまとめてみると、以下の点が指摘できる。（原発は着工から運転開始に要する期間がおよそ 5 年弱である。）

〔3〕各年期の特徴と論点

【1976～1980年】

(1)エネルギー供給源確保としての原子力利用の必要性と正当性、技術的安全性の主張。

(2)中高教員向けの放射線の測定を含む、エネルギー学習の教材の紹介。

(3)1979年3月38日に発生した、T・M・I（ｽﾘｰﾏｲﾙ島）原発事故の報告。

(4)学習指導要領では「教育の現代化」の時期であり、授業の高度化・過密化についていけない生徒や校内暴力が問題化している。

【1981～1985年】入手できなかった巻が多いので推測になるが、

(1) 原子力発電のしくみ（技術的紹介）や安全性の視点の強調から、エネルギー資源としての必要性、有用性の強調に重心が置かれる。

(2) 原子力発電が環境負荷を減らすとの視点が出始める。

(3) 学習指導要領の改定によって学習時間・内容を削減する、「教育のゆとり」が打ち出されると同時に、校内暴力やいじめに見られる教育現場の荒廃が社会問題化する。

(4) 原発建設と運転開始が続く中で、原発の理解促進のために、報道や教科書教材の活用、学校教育で取り組みの推進が主張される。

【1986～1990年】

(1)1986年4月26日、旧ソ連のチェルノブイリ原子力発電所で炉心溶融、爆発事故の報告。

(2)原子力発電を含む、巨大技術、科学の巨大化がはらむ問題、費用対効果、リスクマネジメントの視点が現れる。

(3)（原子力・放射線についても）知識注入型の授業から、生徒自らが調べ、まとめる探求型の学習が推奨される。

【1991～1995年】

(1) 学習指導要領において新しい学力観「生きる力」が打ち出され、学習内容の3割削減、学校週5日制が始まると同時に、総合的な学習の時間の授業実践の検討、諸外国の取り組みの紹介。

(2) 国立大学の法人化と今後の高等教育。大学の質の保証などの教育に対する危機意識。

【1996～2000年】

(1) 二酸化炭素濃度の上昇による地球環境の温暖化とエネルギー対策

(2) 授業時間の削減、「ゆとり教育」から派生した児童・生徒の学習忌避、学力低下の問題の指摘。

【2001～2005年】

(1) 少子高齢化社会における教育のあり方

(2) OECDによる学習到達度評価と児童・生徒に対する学力の保証

(3) 京都議定書と地球環境。環境教育とエネルギー教育

【2005～2010年】

(1) PISA調査の結果と学習指導要領の改訂。フィンランドの教育改革

(2) 法人化後の地域の大学

(3) 原子力ルネサンスとエネルギー資源問題～原子力の再評価

〔4〕活動の展開についての検討

(1)　科学技術におけるコミュニケーションの検討

科学技術における双方向のコミュニケーションの必要性が叫ばれるようになったのは、2000 年以降が顕著である。説明責任やリスクコミュニケーションが日常語となったのもこの頃からである。

専門機関紙に指摘される点のひとつが、その論調のパターナリズムである。「正しい知識」普及させることと、それを「正しく指導する」ことが同義語としてとらえられていることである。

啓発を目標とした解説では、非専門家の目線では記述してくれない。たとえば公衆の年間被曝線量限度の 1mSv/年があげられる。低線量被曝の健康への影響の評価がきわめて難しいものであることを留保しても、小さな数字が整理されないまま、安全を主張しているように見える。自然放射線との比較、医療機関での検査による被曝と比較しても、原発周辺で検出される 0.001mSv/年の放射線放出量はきわめて低い。それにも関わらず、原子力発電に対するメディアを通した不信感はなぜだろうか。

科学技術に対する一般市民の価値観の転換を図るには、原発立地県の科学技術に対する信頼と社会貢献に対する誇りの醸成が欠かせない。一方、電力需要地との連携した社会開発を架橋する必要もある。環境税のあり方、使途の議論もその中に含まれる。

日本のエネルギー需要や放射線利用の現状を多くの国民は知らない。しかも従来の科学技術コミュニケーションは専門家の結論を提示するだけで、国民の選択、選択できる解釈を提示する機会が余りに少なすぎたと考える。知りたいことに答える（応える）ということに答えるということは、市民の選択や選択の機会が（それは専門家の結論を尊重しつつ）反映されることでもある。「99.9%は安全だ。」といっても読者（一般市民）は納得しない。学校教員の多くが論者と同様の、「社会生活にエネルギーは必要だ。必要なものは必要なのだ。」となってしまっても、ではその先に事態は進んでいくだろうか。専門家と非専門家を架橋するコミュニケーションの視座が啓発活動には是非とも必要である。その視座とは取りも直さず、対象への（対象とする人たちの立場）共感であり、期待される合意や行動を天下り的に誘導するものではないはずである。

34 年間に取り上げたテーマの変遷を見ると、放射線の人体影響や放射性廃棄物処理に対する手詰まり感と、一方で社会生活全般に対する市民の安全感から安心感志向への移行が伺える。

テーマの時系列的な変遷はいずれも時宜を得たものに違いないが、初期においては科学技術に対する一般市民（の無知）に対する教育的啓蒙と積極的な外向き志向のテーマが目立つが、1986 年のチェルノブイリ原発事故以降、バブル経済の崩壊とあいまって、共に考える論調に変わり、科学技術普及の得失は社会自身の選択であることを踏まえた、言わば内向きへと変わったことを読み取ることができる。

(2)　参加させることによって生まれる科学技術の啓発活動

「広領域教育」の紙面の通読から、啓発活動における展開の変化に、使用者責任を訴えていくという示唆を受ける。

従来、専門家から科学技術に対する利便性と安全性の確認を保証してもらうことから、1986 年を転機として、安全から安心への志向の変化が生じ、そのことから社会全体に(専門

家)による製造物に対する説明責任、科学技術に対する（専門家の）社会的責任が求められるようになってきた。このことは、科学技術と社会生活という並立したもので捉えられる以上に、社会生活の中に科学技術が内包される現実を反映している。そのことを端的にしめすものが環境問題であり、エネルギー資源の問題である。

ここから今後求められる科学技術の啓発活動においては、「使用者責任」を問う活動や紙面づくりが求められる。使用者責任を問うためには、使用者に対する現状（課題）の提示と公開、損益の計量と公開、社会的合意形成に向けた継続的な活動が必要である。対象に参加させるはたらきかけ（啓発活動）の次の姿は、対象が課題の解決に参加し、選択していく過程を支援するものでなければならない。

〔５〕おわりに

原子力・放射線の利用理解促進のオピニオンリーダー誌であった「広領域教育」の終刊は残念なことであった。原子力・放射線の利用理解促進は、ますます必要性が期待されこそすれ減じることはない。広領域教育の足跡と意義をたどることは荷が勝つことながら、ぜひ残すべきものと考えた。

また、紙面の資料的部分はページを増やすだけで不要とも考えたが、掲載や問題提起の先見性や先駆性を考えると、記録に留めたいと考えた。

[謝辞]　資料のご提供をいただいた広領域教育の代表幹事、飯利雄一先生には厚く感謝申し上げます。紙面の解釈や分析は全く個人的な管見の域を出ず、その責はすべて筆者にある。

「放射線教育」の投稿規定

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

1. 投稿資格

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

2. 掲載する論文について

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

3. 原稿の審査

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

4. 論文の版権

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

5. 原稿の送付

そのまま印刷される図表つきの原稿本文を下記あて送付する。またフロッピーの同封、もしくは編集委員宛の E-mail による本文の送付を歓迎する。最終的な原稿はプリントアウトをして下記に送る。毎年 1 月 31 日をその年度の締め切りとする。

（送付先）〒105-0003　東京都港区西新橋 3- 23- 6　第一白川ビル５Ｆ
放射線教育フォーラム編集委員会
（封筒に「放射線教育投稿原稿」と朱書する）

論文の分類

研究報告（10 ページ以下）

結果と考察を含み、十分な意義があるもの

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

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

c) 新規に開発した教材・実験方法・器具の報告

ノート（1ー2 ページ）

a) 放射線の理論や現象に関する新規の解釈

b) 新規性の高い教材・実験方法・器具の報告

c) 新規な実験データ及び考察

d) 新規に考案した指導法、授業展開法、評価法など

e) 放射線教育、エネルギー・環境教育に関する授業実践、イベント実践の報告

総説（10 ページ以下）

原則として編集委員会の依頼によるものとする。

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

資料（10 ページ以下）

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

意見（1ー2 ページ）

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

諸報（1ー2 ページ）

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

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

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

d) 書評（放射線教育、エネルギー・環境教育、理科教育に資する書籍の紹介）

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

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

「放射線教育」原稿の書き方

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

[要約]　「放射線教育」の投稿にあたって原稿の書き方を紹介する。

1. 使用言語

使用言語は日本語とする。

2.　使用ソフト及び保存ファイル

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

3.　用紙

3.1 用紙の設定

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

3.2 枚数制限

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

4. フォント

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

5.　図表

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

表１　図表の書き方

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

6. 表題，要約及び見出し

研究報告、総説、資料の場合、１ページ目の第１行目に表題、２行目を空けて、３行目に氏名、４行目に所属、５行目に住所を書く。ここまでは各行の中央にそれぞれ記載する。６行目、７行目を空けて，８行目から[要約]（50- 200 字程度）をつける。所属が複数になる場合、右肩にアルファベットを上付で付け、アルファベット毎に所属と住所をつける。

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

意見、諸報の場合は、要約を書く必要がない。

7. 数値、単位、核種の表記

数値は、桁数が多くなる場合は、なるべく 10 の乗数を用いる。

例：370000 Bq →3.7×10^5 Bq

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

例：検出された放射能は 1 nCi（=37 Bq）であった。

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

8. 引用文献

引用文献は番号に片かっこを付して本文の右肩につける。

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

〔雑　誌〕著者名，タイトル，雑誌名，**巻数**，ページ（西暦発行年）

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

例）坂内忠明，霧箱の歴史，放射線教育，4，4-17（2000）

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

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

タイトルと編者名はある場合のみ。

例）松浦辰男，「放射性元素物語」，154p，研成社，東京（1992）

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

9. その他の注意

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

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

【編集後記】

「放射線教育」、年度末報告書等の取りまとめ時期に入った 2011 年 3 月 11 日（金）14 時 46 分、東北関東大震災が起こった。今まで体感した事のない強い揺れをたまたま居たフォーラム事務局で経験したが、携帯の TV による唯一の情報が津波警報ばかりで震源地等の情報がわからないのはもどかしい限りであった。夕刻外へでると首都圏の交通機関の殆どは麻痺状態で、ひたすら目的地へ向かって歩く人々の姿が、街中にあふれ返っていた。5 時間程歩いてやっと自宅に到着し、台から落ちて床に転がっている TV にスイッチを入れ、やっと少なからず事態を把握することが出来た。

美しく整備された農村地帯に、平和な家並みが広がる町に津波が押し寄せて地域一帯を席捲して行く様は夢かと思う程恐ろしいものであり、後には目を覆うばかりの瓦礫の山の続く廃墟が残されていた。

心配されていた福島第一原発は特に 1 号機から 4 号機までがじわじわと津波の影響を現し始め日本中の人々の関心事となっている。世界もこの事態に大きな関心を寄せ、日本の対応を見守り、自国の原発対策の仕切り直しを行っている。人智の粋を集めた対策にも万全と言う言葉はなく、100 年に 1 回か、1000 年に 1 回か牙をむく自然の猛威を思い知らされたと言えよう。

フォーラム会員の先生達により原発から放出された放射能の空気線量が東京で、千葉で、長野で測定され、その結果がメールで流されてきた。状況に冷静に対応し連係プレーで情報が提供されたことに感動した。

今では核種も ^{131}I が主体で、^{137}Cs も少し含まれ野菜や牛乳を汚染していると報道されている。人々は聞きなれないmSv やμSv に戸惑いながらも、1 年間飲み続けたり、食べ続けると影響が出る可能性が生じることや距離を置くこと、時間が経てば影響が薄らぐことを毎日の報道の中から学習し始めている。また、計画停電も実施され、エネルギーの大切さ、節電の重要性をも改めて認識した。この大惨事を無駄にすることなく放射線、原子力への人々の意識に対する「社会的な合意形成」の底上げを意図して行きたいものである。　（堀内　公子）

放射線教育　Vol. 14, No. 1 (2010)

発行日：　2011 年 3 月

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

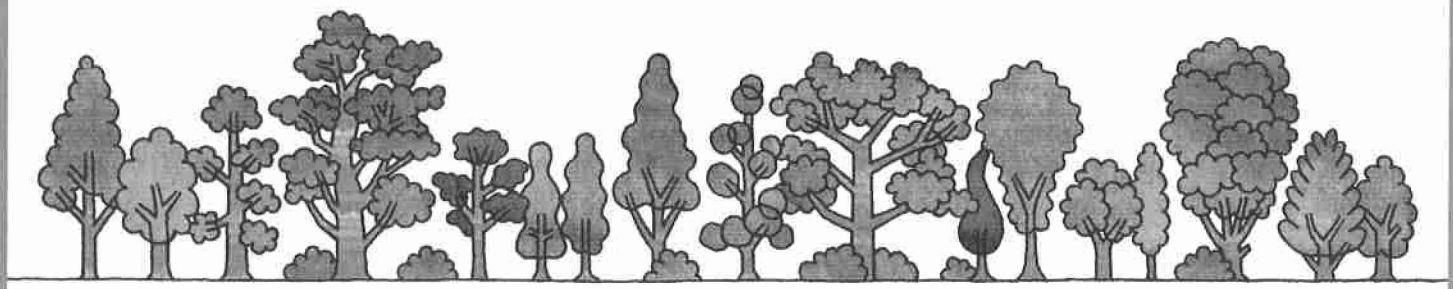
編集者：　放射線教育フォーラム編集委員会
細渕安弘（委員長）、大野新一（副委員長）、小高正敬（副委員長）、
岩崎民子、大橋國雄、菊池文誠、坂内忠明、堀内公子、村石幸正
（五十音順）

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

ゼロ※

CO_2が 0 なんです。

森の樹木たちにも、いいニュース。



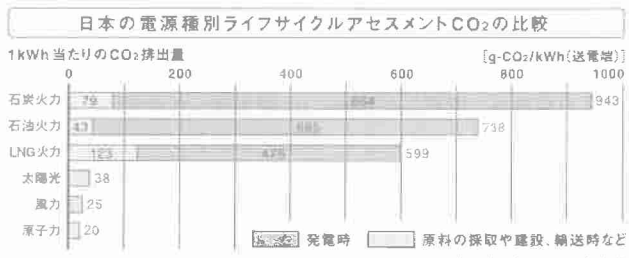
※発電時におけるCO_2排出量です

それは、暮らしの環境を守る発電のおはなしです。

地球温暖化につながる石油や石炭の消費は、世界的に増えつづけています。
原子力発電は発電の際に全くCO_2を出さない「クリーンエネルギー」。そのため、地球温暖化にストップをかけるための最も有力な大規模発電システムとして期待され、世界的にも見直しの機運が高まっています。

原子力発電は発電の際にCO_2を出さないクリーンエネルギーです。

原子力発電は発電する時にCO_2を出さないため、地球温暖化防止に重要な役割を果たします。世界各国でも「エネルギー資源の安定確保」と「地球温暖化防止」という大きな課題に対応するため、原子力発電の見直し機運が高まっています。私たち電気事業連合会では、2008～2012年度のCO_2排出原単位を、1990年度実績から平均で20％程度低減することを目標にしています。



出典：電力中央研究所報告書 他

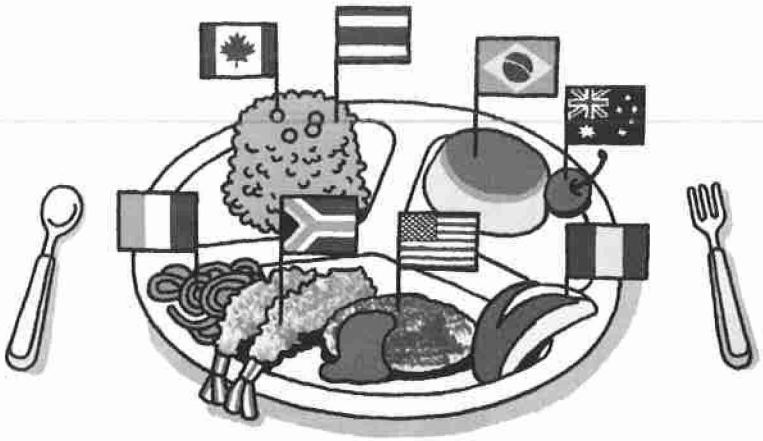
＊原子力については、現在計画中の使用済み燃料国内再処理等を含めて算出したBWR(19g-CO_2/kWh)とPWR(21g-CO_2/kWh)の結果を設備容量に基づき平均。

電気もリサイクルの時代です。

エネルギー資源の
リサイクル
プルサーマル

詳しい内容をホームページでご紹介しています。http://www.fepc.or.jp/　電気事業連合会

国産は、わずか 4%



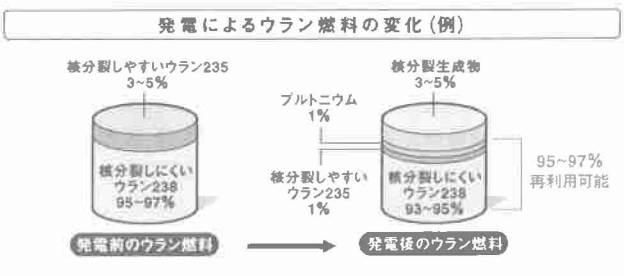
食料事情のことですか？

それは、日本のエネルギー自給率のおはなしです。

日本は、世界第5位のエネルギー消費大国ですが、その自給率はわずか4%。
資源の枯渇が心配される世界情勢の中で、資源小国である日本は、今後ますますエネルギー源の安定確保が必要になります。
一度使ったウラン燃料を国内で再処理しリサイクルしていくことは、その大切な第1歩です。

ウラン燃料をリサイクルして有効活用していくことが重要です。

原子力発電所で使用した燃料には、燃え残ったウランや、新たにつくられたプルトニウムなど、再利用できるものが95～97%も含まれています。これらを取り出せば、再び燃料として使用することができます。このようにウラン燃料をリサイクルして、最大限に活用することがエネルギー自給率4%の資源小国・日本ではとても重要です。

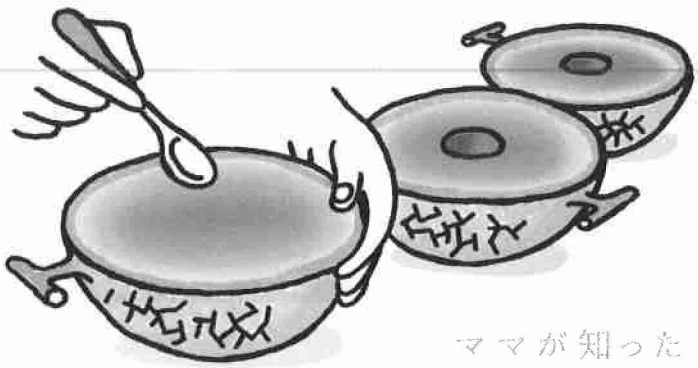


電気もリサイクルの時代です。

エネルギー資源の
リサイクル
プルサーマル

詳しい内容をホームページでご紹介しています。http://www.fepc.or.jp/　電気事業連合会

95%も残ってる。



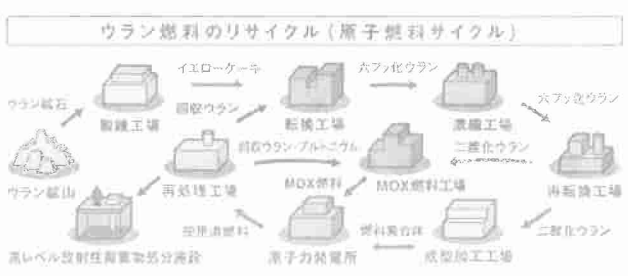
ママが知ったら怒りそう。

それは、ウラン燃料のおはなしです。

原子力発電で大きなエネルギーを生むウラン燃料。実は、使い終わった燃料の残りの95～97%は再利用できるのです。
世界的に石油などの需要が増え続ける中、資源小国である日本は、安定したエネルギーを確保するために、
エネルギー資源のリサイクル「原子燃料サイクル」をすすめています。

ウランを再利用する「原子燃料サイクル」をすすめています。

ウランも天然資源であり、埋蔵量には限りがあります。しかし、原子力発電所で使い終わった使用済燃料からウランやプルトニウムを取り出し、ふたたび燃料として利用すれば、限りある資源を有効に活用し、将来にわたって安定的にエネルギーを確保することができます。一度使ったウラン燃料をリサイクルして原子力発電所で使うことを「プルサーマル」といいます。



電気もリサイクルの時代です。

エネルギー資源の
リサイクル
プルサーマル

詳しい内容をホームページでご紹介しています。http://www.fepc.or.jp/　電気事業連合会

この星に、たしかな未来を

OUR TECHNOLOGIES, YOUR TOMORROW

私たち三菱重工は、次の世代の暮らしと、そこにある幸福を想い、人々に感動を与えるような技術と、ものづくりへの情熱によって、たしかな未来を提供していくことを目指します。そのために私たちは、これまで培ってきた技術を磨くとともに、新たな発想で様々な技術を融合させるなど、さらなる価値提供を追求し、地球的な視野で人類の課題の解決と夢の実現に取り組みます。

三菱重工
この星に、たしかな未来を

三菱重工業株式会社
原子力事業本部　〒108-8215　東京都港区港南2-16-5　TEL 03-6716-3111　www.mhi.co.jp

原子力の今を学ぶために

原子力ポケットブック

本体価格6000円＋消費税300円

1964年に初版が刊行されて以来、その後のアイソトープ利用の拡大や原子力発電の導入などによって、年々その対象分野を広げ、「知りたい情報を簡便に」得られるデータ・バンクとして高い評価を受けております。
エネルギー・原子力行政に携わる人はもとより、原子力従事者、地方自治体やマスコミ関係者の座右の一冊です。

電力・エネルギー時事用語事典

本体価格2,667円＋消費税133円

「電気新聞」が日々新たな情報を提供する中で蓄積された情報を生かし、電力・エネルギーの世界で起こる事象を的確に理解いただくために必要な用語をわかりやすく解説したものです。その時々に時代を読み解くための情報として必要なキーワードを集め、理解に役立つ最新のニュース情報とともに解説しています。

電氣新聞
ENERGY & ELECTRICITY The Denki Shimbun

原子力の今を知るために

電気新聞は電力，電機，情報通信分野における日刊専門紙です。原子力関係も最新のニュースを提供しています

購読のお申し込みは 新聞部 フリーダイヤル 0120－39－1551
またはウェブサイトから！

購読料
1ヶ月 3,990円
（本体価格3,800円＋消費税190円）

ほか多数の原子力関係書籍を販売しております！
詳しくは下記ウェブサイトをご覧ください

社団法人 日本電気協会
JAPAN ELECTRIC ASSOCIATION
www.shimbun.denki.or.jp