「放射線教育」別冊

放射線教育は社会のニーズ

保存用

放射線教育フォーラム２００４年度活動報告書

〈保存用〉

ＮＰＯ法人放射線教育フォーラム

２００５年３月

序　文

物より心の豊かさが尊ばれる時代になりつつあるといわれる。また物質よりは情報が宝ということになりつつあるようである。しかし、情報機器・情報技術、いわゆるＩＴの進歩は、それは社会の進歩のバロメーターであるかもしれないが、だからと言ってそれが人間の知能の進歩に直接に結びつくであろうか。あまりに楽をして貴重な情報を受けても、脳が自分の経験的情報として受け付けないために、せっかくの貴重な情報が生かされない、と言うようなことはないであろうか。手書きの原稿による昔の大家の小説や随筆のほうがワープロで書かれた最近の何とかの新人賞の小説などよりもずっと深みがあり、味わいがあったように思われる。私は以前から、例えばワープロとかタイプライターなどは、ものを書くペンや鉛筆とおなじもので、大切なのはその中身であり、中身と言う点では、手書きであろうと、ワープロであろうと、コンピュータであろうと、全く関係のないもの、と信じている。従って、ＩＴ産業がどこの国が一番進んでいるからといって、その国の人々の知能がもっとも進んでいるとは思えない。

われわれは、近代の科学技術の恩恵をあまりにも日常茶飯事として受けすぎているために、その有難味に気づかないことが多い。ひょっとすると、それと全く同様に、放射線・放射能のような、現在は一般にはたいへん危険なものとして敬遠している現象も、これは地球ができて以来、いわんや人間が誕生したときもすでに地球上に（今よりも豊富に）存在していたので、その存在は人間の細胞や組織にとっても必須のものとなっているのではないかという気がする。すなわち、最近放射線影響に関する有名な先生がいわれておられるように、「放射線は少し浴びたほうが健康によい」ということがどうも真実であるように思う。しかし、このような意見も、ようやく口に出しても反発されずに世間が真剣に考えてくれるようになったようである。宇宙開発のために、無重力の環境では、生物はどのような影響をうけるかという研究がされているのと全く同様に、一部の動物ではされているのだが、外からの放射線が全くない環境で人間がどういう影響をうけるのか、調べてもらいたいような気がする。

昨年は第３回放射線教育に関する国際シンポジウムを長崎で開催したが、東京から遠隔の地であったにもかかわらず内外から多数の参加者を得て、好評のうちに開催できたことは幸せであった。このような、われわれでなければできないような活動を今後も続けて、社会のニーズに貢献したいものである。

本冊子が、従来の同種の刊行物同様、関係者各位にとり何らかのお役に立つことを切に願うものである。

２００５年3月２１日

ＮＰＯ法人放射線教育フォーラム事務局長　松浦辰男

放 射 線 教 育 は 社 会 の ニ ー ズ

放射線教育フォーラム２００４年度活動報告書

目　　次

序文
第１章　放射線教育フォーラムの 2004 年度の活動及び 2005 年度の計画 ・・・・・・・・・・・1
　１．本年度の活動について ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1
　２．来年度以降の活動について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2
　３．　NPO 法人放射線教育フォーラム 2004 年度役員名簿・・・・・・・・・・・・・・・・3
　４．本年度の理事会等会合・勉強会等の記録 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4
　５．パネル討論「学校における放射線教育の新しい展開」について ・・・・・・・・・・・6
　６．第３回放射線教育に関する国際シンポジウムの記録 ・・・・・・・・・・・・・・・・7
　７．文部科学省への要望書について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・13

第２章　「エネルギー・環境・放射線セミナー」の報告と２００５年度の計画 ・・・・・・・15
　１．セミナーの趣旨などについて（「セミナー実施の現状と課題」長谷川圀彦）・・・・・・15
　２．２００４年度の実施報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・18
　３．２００５年度の実施計画・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・30

第３章　勉強会・セミナー・シンポジウム・委員会の資料・・・・・・・・・・・・・・・・31
　１．自然放射線の基本的な概念形成のための実践教育（宮澤弘二）・・・・・・・・・・・31
　２．紙筒ガイガー係数管の製作と放射線実験（三門正吾）・・・・・・・・・・・・・・・38
　３．新学習指導要領におけるエネルギー・環境・放射線教育について（江田稔）・・・・・47
　４．中学・高等学校教科書における放射線関係の記述に見られる傾向（松浦辰男ほか）　・・49
　５．「根拠のない不安を取り除く」放射線・原子力教育（松浦辰男）・・・・・・・・・・57
　６．放射線をもっとわかり易くする方法について（大野新一）・・・・・・・・・・・・・61
　７．低レベル放射線の影響に関する最新の話題（金子正人）・・・・・・・・・・・・・・63
　８．放射線は少し浴びたほうが健康によい（近藤宗平）・・・・・・・・・・・・・・・・70
　９．リスクの理解とは～市民の理解と専門家の期待　（土屋智子）・・・・・・・・・・・76
１０．放射線研究の魅力（井口道生）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・85
１１．温泉と放射能　（堀内公子）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・92
１２．宇宙空間と放射線　（藤高和信）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・102
１３．医療と放射線（下　道国）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・110
１４．環境の視点から 21 世紀の暮らしを考える（松岡信明）・・・・・・・・・・・・・・118
１５．学校における放射線教育の実践とその在り方について（渡部智博）・・・・・・・・・126
１６．中学校選択理科及び総合的な学習の時間における放射線教育の実践（高野拓実）・・・128
１７．物理に授業における「エネルギー環境教育」実践報告（綿引隆文）・・・・・・・・・133
１８．環境教育の授業実践（髙木義雄）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・141
１９．エネルギー・放射線関係教育における地域団体との教育（鈴木高廣）　・・・・・・・154

付章　「会長有馬朗人先生の叙勲をお祝いする会」の記録 ・・・・・・・・・・・・・・・161

賛助団体資料
謝辞・奥付

第１章　放射線教育フォーラムの２００４年度の活動及び２００５年度の計画

１．ＮＰＯ法人放射線教育フォーラムの２００４年度の活動について

ＮＰＯ法人放射線教育フォーラムは放射線，放射能，原子力，あるいは教育の専門家の有志により1994年４月に発足し，2000年11月にＮＰＯ法人の認証を受けたボランタリー組織で，エネルギー・環境問題，放射線・原子力等の正しい知識を普及させる活動を行っている。当フォーラムは，社会一般の人々が科学技術の最近の進歩の恩恵を受けているにもかかわらず若い人達に「理科離れ」が見られること，また現在知識人を含む多くの方々が放射線や放射能に対して科学的事実以上に過剰の不安感をもっており，そのことが原子力や放射線の平和利用を大きく妨げている現状を憂慮して，特に小・中・高校の学校教育において理科教育を改善し，中でも放射線・放射能の正しい知識やエネルギー・環境問題の教育を充実していただくことに重点を置いて，昨年度の引き続き種々の活動をしている。

主に文系の教員を対象とする「エネルギー・環境・放射線セミナー」については、文部科学省と（財）放射線利用振興協会が主催し当フォーラムが共催団体として毎年１０カ所の各地域で企画・開催している。本年度は４年目となるが受講者数をさらに増やして予定どおり実施された。本年度の開催実績及び来年度の計画は第２章において述べる。

本年度の特筆すべき成果は、当フォーラム主催による「第３回放射線教育に関する国際シンポジウム」を８月に長崎市で盛大に開催し成功させたことである。その成果としてプロシーデイング（630ページ）と報告書（32ページ）が刊行された。本資料では、第１章の第６節において概要が報告されている。

勉強会については、フォーラムの経常的活動として例年通り３回開催したが、いずれも参加者に好評であった。また、7 月には「学校における放射線教育の新しい展開」をテーマとするパネル討論会を理工学における同位元素・放射線研究発表会において企画した。同企画では座長、パネリストともにフォーラムの会員が全てを分担したが、予想を越える多数の参加者と活発な討論により成功裏に実施された。これに関しては第１章の第５節で報告する。

放射線教育については、これまで学校教育において欠けていたエネルギー教育の充実を目指して文部科学省（および中央教育審議会）に要望書を提出することを本年度に検討を進めていたが、来年度の早い時期に提出する予定である。このことについては第１章第７節に記載されている。

専門委員会活動については、本年度は「第３回国際シンポジウム」の開催に多くの会員のエネルギーが使われたこともあって、一部の委員会を除いては余り活発に活動ができなかった。そこで今年度は、提出のあった委員会報告に加えて、本資料の第３章において、委員会の委員長はじめ委員各自の活動の報告あるいは勉強会・セミナー・国際シンポジウムでの講演など委員会活動に関連する資料を集めて読者の参考とした。

なお、ニュースレター等の機関誌発行の活動は予定通り行われた。

以上の、NPO 法人放射線教育フォーラムの活動については、ホームページ（http://www.ref.or.jp）で広報が行われている。しかしこのホームページの体裁・内容などについては改善の必要があるようである。

２．本年度以降の活動（「将来計画検討委員会」の設置及び検討課題）について

本フォーラム２００４年度第４回理事連絡会（１１月２７日（土）、科学技術館）において「将来計画検討委員会」の設置についての提案があり審議の結果承認された。新しく設置されたこの委員会の設置経緯、これまでの討議内容について述べたい。

昨年（２００４年）で１０週年を迎えた放射線教育フォーラムに設置された本委員会は、この節目の年に、これまで歩んできた道筋と実績をたどりながら、今後のフォーラムの活動の継続と発展をいかに考え、計画を実行に移すかを探るための委員会組織である。フォーラムの活動は理事会・理事連絡会で討議・決定して実行しているのであるが、本委員会はその中でも重要議題を予め検討し、討議を行うこととした。本委員会は、当初は副会長相談会として2004年10月７日に第１回を行い、第４回から、委員会名称を「将来計画検討委員会」として発足した。構成メン

バーは、副会長３名（飯利雄一、河村正一、長谷川圀彦）と松浦辰男事務局長に加えて高木伸司理事、田中隆一理事の計６名である。会合は不定期であるが、緊急な問題がない限り月１回程度のペースで行うこととした。これまでの短・中・長期的な課題を取り上げ討議してきたおもな課題について記す。

フォーラムの運営に関する課題は下記の通りである。

（１） 財政状態の改善のための努力

会員の増強・会費の値上げ・寄付金の依頼・収入を図る活動・経費節約（事務局の移転も含めて検討）など

（２） 役員選出規定・事務局運営の在り方

時間的に余裕があり、能力あり熱意がある人が適材適所で能率的に働けるようにする。

（３）機関誌等の出版の在り方

ホームページの充実を図り、出版した論文・報告をここでも公表することを検討する。

（４） 専門委員会の在り方

現在の専門委員会の見直しとして、委員会活動についての評価を実施する。また、関心のある一般会員も参加できることも考慮する。

フォーラムの対外的な活動に関する課題は次の通りである。

（１）公的機関などからの事業受託

現行の委員会活動、例えば「教科書記述調査」「低レベル影響をいかに理解し教育に使うか」などに対し受託事業として公的支援を受けることを提案し実現を図る。また、2 年前から計画している「社会の指導者層に対する放射線教育」を受託事業として今年度も提案し開始したい。

（２）文部科学省への新要望書の提出

エネルギー・環境・放射線・原子力教育を学習指導要領に系統的に取り入れること提案し他の機関との連携をとりながら文部省に要望書を提出する。これに関しては後の節にて内容を述べる。

（３）現行のセミナー運営に関するガイド作成

セミナーを効率的に運営するため、世話人代表者の業務として必要と思われる受講者募集、地区の教育委員会との連携等のセミナー運営に関する標準的ガイドを作成する。

（４）次回国際シンポジウム開催への支援及びフォローアップ

次回（第 4 回）の放射線教育に関する国際シンポジウムは 2008 年に台湾で開催することがきまったのであるが、これが支障なく開催できるように支援する。また、シンポジウムのフォローアップのひとつの方法として、参加者からの要望もあり、フォーラムへの海外からのメンバーの加入を勧誘して、フォーラムの活動を国際的規模に拡大することを検討する。

また、その他の課題として次のことが挙げられた。

（１）放射線教育に貢献しておられる学校教員の顕彰

学校教育現場で、放射線教育に創意工夫をもって取り組み、成果を挙げておられる教員を表彰する。

（２）「放射線質問箱」の受付

現在、他の組織からの依頼で一般からの放射線に関する質問（ホームページの掲示板）に回答することに協力しているが、これをフォーラム自体としての活動として行う。

（３）放射線ひばくに関する個人的な相談の受付

医療照射などで比較的少量の放射線被ばくを受けた方が、将来身体に悪い影響があるのではないかと悩んでおられることをしばしば聞くので、これらの方々の相談に乗ってあげる。

NPO 法人 放射線教育フォーラム 2004 年・2005 年度役員名簿

2005 年 3 月 1 日現在（五十音順）

会長： 有馬朗人 （(財) 日本科学技術振興財団理事長・前参議院議員・元文部大臣兼科学技術庁長官）

副会長： 飯利雄一 （(社) 日本原子力産業会議常任相談役）
河村正一 （放射線医学総合研究所名誉研究員・日本防護服研究会理事長）
長谷川圀彦 （静岡大学名誉教授）

理事： 朝野武美 （医療法人清恵会第二医療専門学校非常勤講師）
石黒亮二 （北海道大学名誉教授）
伊藤泰男 （前東京大学工学部教授）
岩崎民子 （前放射線医学総合研究所）
江田 稔 （青森大学大学院・前文部科学省主任視学官）
加藤和明 （高エネルギー加速器研究機構名誉教授）
金子正人 （(財) 放射線影響協会常務理事）
菊地文誠 （東海大学理学部非常勤講師）
小高正敬 （立教大学理学部非常勤講師）
高木伸司 （神奈川大学名誉教授）
田中隆一 （前日本原子力研究所高崎研究所所長）
中西友子 （東京大学大学院農学生命科学研究科）
廣井 禎 （未来科学技術情報館館長・前筑波大附属高校副校長）
堀内公子 （大妻女子大学社会情報学部）
松浦辰男 （立教大学名誉教授）
森 千鶴夫 （名古屋大学名誉教授）

監事： 荒谷美智 （青い森みらい創造財団理事）
佐久間洋一 （核融合科学研究所助教授）

事務局長： 松浦辰男 （立教大学名誉教授）

幹事： 大野新一 （理論放射線研究所）
木村捷二郎 （大阪薬科大学）
佐伯邦子 （秋田経済法科大学附属高校）
佐藤正知 （北海道大学大学院工学研究科）
下 道国 （藤田保健衛生大学衛生学部）
砂屋敷 忠 （広島国際大学保健医療学部）
竹田 満洲雄 （東邦大学理学部）
唐木 宏 （元攻玉社高等学校）
西尾信一 （埼玉県立本庄高等学校）
坂内忠明 （放射線医学総合研究所）
三門正吾 （千葉県立柏高等学校）
宮澤弘二 （東京家政大学家政学部）
渡部智博 （立教新座中学高等学校）
黒杭清治 （前芝浦工業大学教授）
斉藤 直 （大阪大学アイソトープ総合センター）
佐伯正克 （元日本原子力研究所）
白形弘文 （日本エクスクロン（株））
杉 暉夫 （原研インフォメーションプラザ東海）
高島良正 （(財) 九州環境管理協会・九州大学名誉教授）
鶴田隆雄 （近畿大学原子力研究所）
中西 孝 （金沢大学理学部）
播磨良子 （CRC 総合研究所）
古屋廣高 （九州大学名誉教授）
峯岸安津子 （神奈川大学理学部）
村石幸正 （東大教育学部附属中等教育学校）
渡利一夫 （放射線医学総合研究所名誉研究員）

顧問： 安 成弘 （東京大学名誉教授）
久保寺昭子 （東京理科大学名誉教授）
篠崎善治 （元都立アイソトープ総合研究所）
住田健二 （大阪大学名誉教授）
伏見康治 （大阪大学・名古屋大学名誉教授）
山口彦之 （東京大学名誉教授）
今村 昌 （理化学研究所名誉研究員）
斎藤信房 （東京大学名誉教授）
村主 進 （原子力システム研究懇話会）
更田豊治郎 （(財) 日本海洋科学振興財団）
松平寛通 （元放射線医学総合研究所所長）
山寺秀雄 （名古屋大学名誉教授）

4. ２００４年度の理事会等会合・勉強会等の記録

２００４年度

４月１０日（土）　２００４年度第１回国際シンポジウム組織委員会常任幹事会（事務局、４名）

４月１６日（金）　第１回理事連絡会、第１回国際シンポジウム幹事会、第１回セミナー運営委員会（尚友会館８階、１１名）

４月３０日（金）　第１回編集委員会（霞ヶ関東海倶楽部、６名）

４月３０日（金）　２００４年度第２回国際シンポジウム組織委員会常任幹事会（事務局、３名）

５月１４日（金）　第１回理事会・第２回国際シンポジウム幹事会・第２回セミナー運営委員会（尚友会館８階、１４名）

５月１５日（土）　第１回セミナーワーキンググループ（航空会館、１８名）

５月２９日（土）　第２回編集委員会（霞ヶ関東海倶楽部、８名）

６月　４日（金）　第１回教育課程検討委員会（科学技術館５階、５名）

６月　９日（水）　２００４年度第３回国際シンポジウム組織委員会常任幹事会（霞ヶ関東海倶楽部、６名）

６月１８日（金）　第２回理事連絡会・第３回国際シンポジウム幹事会・第３回セミナー運営委員会（尚友会館８階、１１名）

６月２６日（土）　２００４年度第１回総会・勉強会

（日本科学未来館、総会２７名、勉強会２８名、懇親会２１名）

(勉強会プログラム)

「NORM の話」　古屋廣高（九州大学名誉教授）

「21 世紀の放射線問題」（Z. Jaworowski 論文紹介）

河村正一・・木伸司・松浦辰男（放射線教育フォーラム）

「ARPA11 の報告」　金子正人（放射線影響協会）

７月　９日（金）　「第４１回理工学における同位元素・放射線研究発表会」

パネル討論「学校における放射線教育の新しい展開」　座長　松浦辰男

「新学習指導要領におけるエネルギー・環境・放射線教育について」　江田稔

「「放射線」に対する教員の再教育は急務」　黒杭清治

「学校教員を対象としたエネルギー・環境・放射線セミナー実施の現状と課題」　長谷川圀彦

「学校における放射線教育の実線とその在り方について」　渡部智博

「放射線をもっとわかり易くする方法について」　大野新一

７月２０日（火）　第２回理事会・第４回国際シンポジウム幹事会・第４回セミナー運営委員会（尚友会館８階、１９名）

７月２９日（木）　２００４年度第４回国際シンポジウム組織委員会常任幹事会（事務局、５名）

８月２２日～２６日　第３回放射線教育に関する国際シンポジウム

（長崎ブリックホール、日本人１１２人、外国人２４人）

９月１０日（金）　第３回編集委員会（霞ヶ関東海倶楽部、７名）

９月２４日（金）　第３回理事連絡会・第５回国際シンポジウム幹事会・第５回セミナー運営委員会（尚友会館８階、１１名）

１０月　７日（木）　第１回副会長相談会（第１回将来計画検討委員会準備）（霞ヶ関東海倶楽部、５名）

１０月２９日（金）　第２回副会長相談会（第２回将来計画検討委員会準備）（霞ヶ関東海倶楽部、６名）

１１月　１日（月）　第４回編集委員会（霞ヶ関東海倶楽部、７名）

１１月　２日（火）　第２回教育課程検討委員会（科学技術館５階、６名）

１１月２２日（月）　第３回副会長相談会（第３回将来計画検討委員会準備）（霞ヶ関東海倶楽部、５名）

１１月２７日（土）　第４回理事連絡会・第６回国際シンポジウム幹事会・第６回セミナー運営委員会（科学技術館、１５名）

１１月２７日（土）　第２回勉強会（科学技術館６階、４２名）

（勉強会プログラム）

「「脳科学と教育」の現状と展望」　小泉英明（（株）日立製作所）

「リスクの理解とは～市民の理解と専門家の期待～」

土屋智子（（財）電力中央研究所）

「学校におけるエネルギー教育の課題と方向」　渋沢文隆（信州大学）

１２月１７日（金）　第５回編集委員会（霞ヶ関東海倶楽部、７名）

１２月１８日（土）　第４回副会長相談会（第４回将来計画検討委員会準備）（霞ヶ関東海倶楽部、６名）

１２月１８日（土）　第２回セミナーワーキンググループ（航空会館、２２名）

２００５年度

１月１３日（木）　第５回副会長相談会（第５回将来計画検討委員会準備）（霞ヶ関東海倶楽部、５名）

１月２１日（金）　第３回理事会・第７回国際シンポジウム幹事会・第７回セミナー運営委員会（尚友会館８階、１３名）

１月２１日（金）　有馬朗人先生の叙勲をお祝いする会（尚友会館８階、４２名）

２月１８日（金）　第６回編集委員会（霞ヶ関東海倶楽部、８名）

２月１８日（金）　第６回副会長相談会（第６回将来計画検討委員会準備）（原子力産業会議７階、６名）

２月２３日（水）　第３回教育課程検討委員会（科学技術館５階、７名）

３月１２日（土）　第５回理事連絡会・第８回国際シンポジウム幹事会・第８回セミナー運営委員会（科学技術館６階、１３名）

３月１２日（土）　２００４年度顧問会（科学技術館６階、１９名）

３月１２日（土）　第３回勉強会（科学技術館６階、３８名）

（勉強会プログラム）

「社会技術としての放射線教育」　大島　浩（栃木県佐野日本大学中高校）

「オフスクールからオンスクールへの放射線教育：教材開発と実践教育」

井上浩義（久留米大学医学部）

「エネルギー・環境教育のあり方について」　柿沼利昭（前青森大学大学院教授）

パネル討論「学校における放射線教育の新しい展開」の実施報告

第41回理工学における同位元素･放射線研究発表会

１．　はじめに

理工学における同位元素･放射線研究発表会は（社）日本アイソトープ協会がアイソトープ･放射線の利用技術を中心とした研究の発表と討論を行う催しとして毎年７月に実施されているが、放射線教育についても一つのテーマとして取り上げられてきた。放射線教育フォーラムはこの発表会の運営に参加し、発表や討論の企画・提案をこれまでも行ってきたが、今回は表記テーマのパネル討論を同発表会の運営委員であった峰岸安津子理事と田中隆一理事が企画し、成功裏に実施された。

２．　目的

平成 14、15 年度からそれぞれ実施された小中学校及び高等学校の新学習指導要領では、各教科･科目だけでなく、横断的に設置された「総合的な学習の時間」において、これまで以上の原子力を含めたエネルギーや環境に関する教育の充実が図られている。この方針に基づいてこれまでの理科的視点を越えた幅広い社会的見地からも放射線教育を見直そうとする様々な試みが実施されつつある。これを機に、教員資質のさらなる向上を目指すことも視野に入れて、学校における放射線教育について放射線及び教育の専門家による討論を行い、今後に向けた新しい展望を探る。

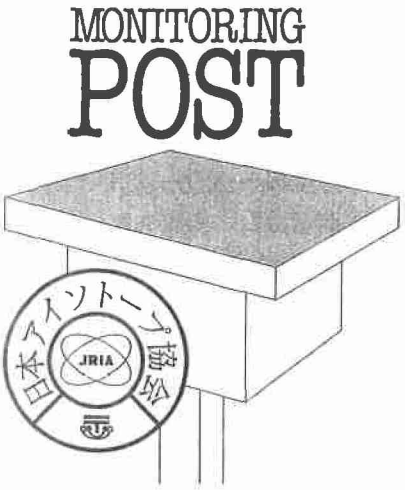
３．　開催概要

日時：　２００４年７月９日　９：３０～１２：００
場所：　日本青年館国際ホール
座長：　松浦辰男　　立教大学名誉教授
パネリスト：

① 新学習指導要領におけるエネルギー・環境・放射線教育について
　　江田　稔　　青森大学大学院教授
②「放射線」に対する教員の再教育は急務
　　黒杭清治　　放射線教育フォーラム
③ 学校教員を対象としたエネルギー・環境・放射線セミナー実施の現状と課題
　　長谷川圀彦　静岡大学名誉教授
④ 学校における放射線教育の実践とその在り方について
　　渡部智博　　立教新座中･高等学校教諭
⑤ 放射線をもっとわかり易くする方法について
　　大野新一　　理論放射線研究所

４．　実施状況

テーマを学校教育、特に「総合的な学習の時間」に焦点を当てたため、大学、研究機関の専門家が主な参加者で占められるこの発表会では、この企画に多くの参加者を期待できないのではないかと懸念された。しかし、実際には会場をほぼ埋め尽くほどの参加者があり、学校教員や教育団体からの参加も意外に多かった。各パネラーの話題提供に対して予定時間が足りないほど多くの熱心な討論があり、大成功であった。



第3回放射線教育に関する国際シンポジウム(ISRE 04)報告

松浦辰男，高木伸司

1. はじめに

本年8月22日から26日までの5日間，NPO法人放射線教育フォーラム（以下フォーラムと称する）が(社)日本アイソトープ協会など21学協会との共催，(社)日本原子力産業会議など10団体の協賛，文部科学省など8つの官公庁・機構の後援・協力を得て，The Third International Symposium on Radiation Education (ISRE 04) を長崎市の「長崎ブリックホール」で開催した。長崎を開催場所に選んだのは，核兵器と原子力の平和利用が表裏一体であることにあえて正面から取り組もうと主催者が考えたからである。これは両刃の剣に喩えられる放射線の利用とその人体影響の正しい理解に基づく原子力平和利用技術の教育を進めることにより，エネルギー・環境問題の解決を通じて人類の福祉増進に役立たせようとするフォーラムの考え方によるものである。

この国際シンポジウムは第1回を神奈川県葉山町（1998年12月）で，第2回をハンガリーDebrecen（2002年8月）で開催したことに続くもので，研究者や放射線教育に関心の高い方々のほか，できるだけ多くの教育現場の学校教員の参加を求めることとした。そこで本シンポジウムの前日（8月22日）には文部科学省と(財)放射線利用振興協会主催，フォーラム共催の「エネルギー・環境・放射線セミナー」を同一会場で行い，このセミナーに参加した学校教員が引き続いてシンポジウムに出席できるように配慮した。

参加者は13か国から約140名であり，小規模ではあったが発表内容の質において海外からの参加者からも賛辞をいただいた実り多いシンポジウムであった。この小文は筆者の個人的見解に基づく報告書である。

2. シンポジウムの概要

前日（8月22日）は15時から受付が始まり，夕方からは登録を済ませた約60名の参加者がブリックホール内のレストランでのレセプションに参加した。このレセプションは，翌日から始まる講演・ポスター展示・討論に備えて，十分な鋭気を養うとともに，参会者間の懇親に役立つところ大であったと思われる。

第1日（8月23日）は招待講演10題が行われ，活発な討論があった。午前は事務局長松浦辰男の開会の挨拶のあと，仁科浩二郎氏（愛知淑徳大学）の「本シンポジウムへの期待」で幕を切り，有馬朗人氏(日本科学技術振興財団)の「学校教育とエネルギー問題」，長瀧重信氏（日本アイソトープ協会）の「長崎と放射線—放射線の健康影響：原爆，チェルノブイリ，そしてJCO」，田中靖政氏(学習院大学名誉教授)の「放射線に対する意識感覚の国際比較—アジア諸国7カ国調査に基づいて」と重要かつアップツーデートな内容の講演があった（以下，講演題目

は一部略して内容を示す)。仁科氏の講演と長瀧氏の講演は，本シンポジウムの意義を参会者に考えてもらうために重要であったと思う。午後も午前と劣らぬ重要な講演が，P. Hodgson氏(オックスフォード大学)の「エネルギー・環境・原子力」，松原純子氏(放射線影響協会)の「原子力・放射線リスクと教育」，中西友子氏(東大大学院農学生命科学研究科)の「生命科学研究における放射線の利用」，佐々木康人氏(放医研)の「放射線の医学的利用における最近の進歩」，小泉英明氏(日立製作所基礎研究所)の「脳科学と教育」，E. Toth氏(ハンガリー)の「放射線教育の重要性とその実践」の順序で行われた。放射線をキーワードに，種々の分野での最近の知見と豊富な経験に基づいた味わいの深い講演であった。これらの講演には流暢な同時通訳がついたが，2日目の別の会場と，3日目以降は通訳がなかったので，参加者はいまさらながら同時通訳の有難さを感じた。この日は講演に引き続き夕刻にポスター発表が33件あった(ポスター発表にも，特に学校教員の参加者から多くの優れた発表があったが，紙数の関係でここではその紹介を割愛する)。

第2日目(8月24日)は2会場にわかれ，午前のA会場(テーマは各国の放射線教育事情)では，Å. L. Bhatia氏(インド)の「放射線技術と倫理」に引き続きI. Paszit氏による「スウェーデンの最近の原子力事情」と，日本を代表して江田稔氏(青森大学大学院)が「学校における放射線教育の在り方と日本の現状」について3つの基調講演があった。その後台湾，タイ，マレーシア，ハンガリー，およびルーマニアの参加者より自国の放射線教育について報告があった。午後は，今度の国際シンポジウムのハイライトとも言うべきセッション「低線量放射線影響」で，4時間にわたり，内外のこの分野の専門家による招待講演及び参加者からの発表で以下の8題の講演があった。ポーランドのZ. Jaworowski氏(米国アルゴンヌ国立研究所の井口道生氏が代読)の「21世紀の電離放射線」，


放射線教育の認識を
長崎 国際シンポ始まる

写真1　シンポジウムを報道する新聞記事
(長崎新聞2004年8月24日，提供：長崎新聞社)

K. Becker氏(ドイツ)の「放射線恐怖症—重篤だが治癒可能な精神的疾患」，L. Feinendegen氏の「低レベルの放射線影響の生物学的影響」，近藤宗平氏の「低線量放射線の健康影響」(ここでは0.4 Sv以下程度の線量では人の遺伝的影響は全く認められないという原爆生存者のデータに基づく考え方が力説された)，酒井一夫氏の「放射線適応応答の最近の研究」，インドのM. N. Mohankumar氏の「天然の放射性物質からの影響について」，イランのS. M. J. Mortazavi氏の「ラムサールのデータ—人間はどの程度の高いレベルの環境放射線に耐えられるか」，ハンガリーのE. Toth氏の「低レベルラドンの影響とその教育」であった。このセッションの収穫は，低レベル放射線の影響について，筆者はかねてよりしきい値なしの直線的仮説(LNT仮説)が不適切であって，これが国民全体の放射線恐怖症の大きな原因であるとの見解をもっていたが，正にこの考えを支持する複数の発表があったことである。

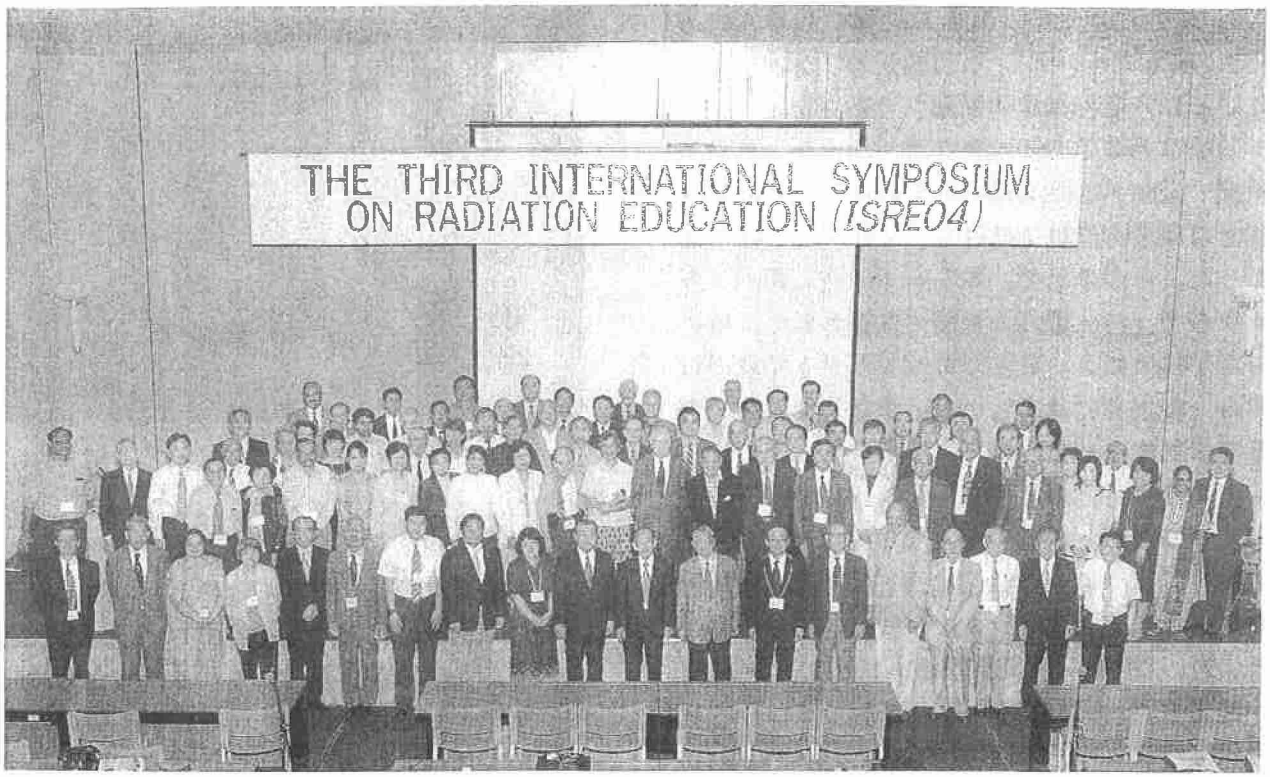


写真2　ISRE04 NAGASAKI BRICK HALL, 22-26 August 2004

2日目のB会場では，午前は自然放射線，天然放射能に関するトピックスが中心で，古屋廣高氏の「一般消費財中の放射性物質」，堀内公子氏の「温泉と放射能」，森千鶴夫氏の「イメージングプレートによる自然放射能分布」，インドのV. M. Choubey氏の「ヒマラヤの活断層地域のラドン変動」，藤高和信氏の「宇宙空間の放射線」，松岡信明氏らの「考古学における放射線・同位体技術の応用」，井口道生氏の「放射線研究の魅力」，とそれぞれ興味深い講演があった。午後は学校での科学教育，エネルギー・環境教育，放射線教育，及び医学系教育機関や一般教育課程における放射線教育のテーマで10件の講演・報告があった。それらは，アメリカのR. Bonnstetter氏による「アメリカの科学教育」，同R. Marrano氏の「横断カリキュラムによる核問題教育」，住田健二氏の「(ニュークパルと称する) インターネットによる放射線教育の紹介」，Puse氏・跡部孝三氏らの「フィリピンの高校教師の核エネルギーへの意識に関する研究」，宍戸てる子氏らの「学校教育における放射線基礎知識について」，大野新一氏の「エネルギー資源を地球の歴史から考える」，古賀佑彦氏の「医療系教育機関における放射線教育」(招待講演)，続輝久氏の「大学における放射線教育」，松田尚樹氏らの「看護師を対象とした放射線教育の試み」，朝野武美氏の「医療専門学校での教育」，であった。

第3日（8月26日，午前のみ）は，一般公衆に対する放射線教育とリスクコミュニケーション，核災害に関するもの，医療照射の問題のテーマで8件の報告があった。それらは，柳沢和章氏らの「放射線利用の最近の情報」，岩崎民子氏の「女性の視点から見た放射線とその利用」，ルーマニアのV. I. Covalschi氏の「リスクコミュニケーションの重要性」，ドイツのK. Becker氏による「放射線防護とメディア」，多田順一郎氏の「放射線・放射能に対する報道機関の視点と理解」，山下俊一氏の「原爆被災とチェルノブイリ事故—国際ヒバクシャ医療協

力」，重松逸造氏の「原子力災害から学んだもの」（招待コメント），下道国氏の「医療被ばくによるがん発生確率の問題」であった。

午後は長崎市内のエキスカーション（原爆資料館・追悼平和祈念館と孔子廟の2箇所）で参加者は原爆の悲劇を想起し，また長崎の町を味わった。そのあとで，本シンポジウムのバンケットがグラバー園内の庭園で開催された。暑かったが眺めのよい芝生でのバンケットで話がはずみ，参加者には楽しい思い出として記憶に残る集まりになったと思う。

第4日（8月27日）は，酒井一夫氏の司会でいくつかのテーマについて要約を行った。「学校教育」について司会者より，「放射線利用とリスクコミュニケーション」について田中隆一氏より，「医療・核災害関連」について河村正一氏より，「海外諸国からの報告」について長谷川圀彦氏より，「低線量放射線の生物影響」について田ノ岡宏氏より，それぞれ英語であるいは英語のスライドを使って発表された。その後，松浦事務局長の挨拶と総括をもって，本シンポジウムは終了した。またここで，次回のこのシンポジウムについて，2008年に台湾で開催する案があることが発表された。午後には，一部の参加者は島原城，雲仙地獄めぐりのエキスカーションでゆとりの時間を持つこととなった。

3. おわりに

放射線・放射能にアレルギーを持つ一般の人々に対して，正しい知識を伝えるということは，正直のところ難題というほかはない。一般の方々は気に入った情報だけを取り入れようとし，また報道機関はそのような情報のみを流す傾向があるからである。専門家としては，相手の立場も考えつつ，誠意を持って何度でも，正しい情報を自分の語り口で伝え，社会全体の放射線リテラシーを高める努力を続けなくてはならない。本シンポジウムは盛会・好評裡に終了したが，これはこの目的のための一歩だと思うものである。



写真3　グラバー園でのバンケット

なお，今回このシンポジウムを長崎で開催することについては，被ばく者の方々の中に原子力の平和利用に反対する意見の方が多いということでこの会議が無事開催されるかどうかについて危惧する意見があった。そこで主催者は，開催の1年以上前から地元の関係者に説明し了解を取り付ける努力をした。その際，主催者は，放射線影響に関する最近の研究の成果についての情報が正しく理解され社会に広まれば，それは被ばく者の方々の精神的負担を軽減することになる，というような説明をした。また，第1日目朝に約1時間近く行われた記者会見で，有馬朗人組織委員長以下3名の副組織委員長，実行委員長及び事務局長がこの国際シンポジウムの意義を懇切に説明した。これらの努力の甲斐あってか，翌日に報道された新聞記事は割合に好意的であった。なお，この会議で発表された講演は，ポスター発表も含めてプロシーディングとして来年の3月までには刊行される予定である。このシンポジウムを無事成功裡に開催できたことに関して種々の形で貢献してくださった招待講演者の先生方，お世話になった組織委員会委員をはじめ現地実行委員会委員各位，長崎大学，長崎県・長崎市関係者各位，また財政的にご支援を賜った諸機関・団体に，筆者の1人は事務局長の立場から改めて厚くお礼を申し上げる。

（NPO法人放射線教育フォーラム）

本シンポジウムへの期待

仁科　浩二郎
名古屋大学名誉教授、愛知淑徳大学教授
（〒480-1197 愛知県愛知郡長久手町長湫片平９）

本シンポジウムのプログラムを拝見すると、地球上、誠に広い地域からの参加がなされ、しかも多岐に及ぶ教育現場を反映した、多彩な発表が予定されていることに感動する。19世紀末のX線発見以来の、１世紀にも及ぶ人類と放射線との付き合いにも拘わらず、我々はなお現在、放射線の応用と社会感情・社会制度との間の整合を図って一層の努力をしている。もともと、教育という手順によってこの種の物理現象に対する一般社会の理解を深めようとする努力は、相手方が人間である以上、その国の文化と社会形態に依存する。答えは唯一つではない。そして解説に行き違いや誤解があれば、典型的には工業上の事故や医療過誤を通して、倫理の争点にさえ発展しかねない。従って説明の表現は科学的に正確で、しかもわかり易い必要がある。ここが誠に難しい。

かかる教育プロセスが如何に相手から受け止められたか、そして今後、如何になされるべきかに関し、ご発表の皆様は独特の経験と見解をお持ちに違いない。かくも多くの発表者が１堂に会して情報・意見の交換を行えば、我々は２１世紀のこの時点で、人類が放射線との付き合い上、置かれている状況を国際的スケールで改めて認識することができよう。その結果、新たな示唆と啓発を受け、意欲を高めることができよう。

また低線量放射線の人体影響を典型例とする、放射線関連データとそれに基づく知見については、唯一の原爆被爆国であるわが国でその蓄積が著しく、また一般社会からの関心も高い。このたび他国からのデータが加わって本シンポジウムでなされる論議は大変意義深い。この種の問題の記述上、注意深く定義された各種の用語の内容が、今後次第に一般社会で咀嚼され、生活の場でわれわれが判断すべき方向を示唆することを願う。

さらに生命科学、医学、理工学における放射線応用では、筆者の認識が進展の速さに追いつかないが、これこそが放射線教育に斬新な題材を提供し、受け手の感動の出発点ともなるのであるから、大いに本シンポでの紹介に期待したい。

今回のシンポシウムが長崎市で行なわれている事を考えると、原子爆弾による爆撃の直後に現地に赴いた仁科芳雄[1]の文をここで引用しても場違いではあるまい。いや、我々がこのような科学史上の悲しい出来事に立ち戻って、そこから再出発することは大切であろう。彼はその体験を８ヶ月後に発行された「改造」誌に次のように記述している。

「原子爆弾の攻撃を受けて間もない広島と長崎とを目撃する機会を得た自分は、その被害の余りにもひどいのに面を被わざるを得なかった。至る處に転がって居る死骸は云う迄

もなく、目も鼻も区別できぬまでに火傷した患者の雑然として限りなき横臥の列を見、その苦悶の呻きを聞いては真に生き地獄に来たのであった。長崎では有名な浦上天主堂が見る影もない廃虚となり、古くからの敬虔な信者もろともその歴史と伝統とを閉じてしまったであろう。学校その他の貴い文化施設も跡かたもなく焼けまたは潰れて了って居る。自分は小高い丘の上から広島や長崎の光景を見下ろして、これがただ一個の爆弾の所為であるという事実を、今更しみじみと心の底に体得し、深い溜め息の出るのをどうすることもできなかった。そして戦争はするものではない。どうしても戦争は止めなければならぬと思った。（以下、７ページ分省略）[ii]

この被爆によって命を失われた方々のご冥福を祈らずにはいられない。国外からの参加者で長崎を今回、初めて訪れられた方々は、25 日午後のツアに参加されるなどで、爆心地跡（松山町）、並びに現地の資料館を訪れて、実態を認識なさることを強く勧めたい。

一般に科学技術の新しい産物には、社会への影響でプラス面とマイナス面が伴うものだが、この場合、放射線・原子力という学問の産物は、不幸にしてまず決定的な惨状を人類にもたらした。我々はこのような惨状を見聞したからこそ、この惨状も含めたこの新分野の実態を冷静に正しく、科学的に記述して理解を促し、安全な付き合い方を社会体制として体得すべきであろう。これによってこそ我々は災いを転じて福とすることができ、放射線利用の恩恵を信頼の上に立った、確たるものにすることができよう。これはもはや科学だけの問題でなく、内容の理解を通じての精神上・文化上の対処の課題である。このような認識と目標はまさに教育の中心的課題であり、その意味で重ねてこのシンポジウムの成功を心から望むのである（以上）。

---

[i] 広島・長崎への原子爆弾投下はそれぞれ 8 月 6 日と 9 日だが、彼は広島での調査を同 8 日～15 日に行い、その間、8 月 14 日に長崎での調査に来ている。各調査の目的の第 1 は原子爆弾による爆撃を宣言したトルーマン声明の真偽を確かめるためであった。このため滞在中、彼は放射能測定の標本として小石を採集し、また病院の X 線フィルムを現像して感光を検証すべきことを主張した〔仁科記念財団編、「原子爆弾」p.109, 光風社（昭和 48)〕。.

[ii] 仁科芳雄、〔原子力の（国際）管理〕、雑誌　*改造*　1946 年（昭和 21 年）4 月号　p.21 。

この国際シンポジウムに関しては、そのプロシーデイングが、共催団体である日本原子力研究所より JAERI-Conf2005-001 として刊行されました（ページ数は 630 ページ)。

また 2005 年 3 月に組織委員会（事務局は放射線教育フォーラム）より和文の報告書（32 ページ）が刊行されています。

文部科学省への要望書について

１．趣旨　学校における「エネルギー」に関する教育は、「環境」にくらべてこれまで積極的に取り上げてこられなかった。しかし、今後我が国でますます厳しくなるエネルギー事情や地球環境問題の重要性にかんがみて、近く学習指導要領の改定がされるとのことであるので、「エネルギー教育」の充実を取り上げてもらえるよう提案する。

２．内容（具体的提案として検討中のもの）

○ 各教科の中で「エネルギー教育・放射線教育」を充実するため、小学校から高校までの発達段階に応じて（社会科・理科・技術家庭科）エネルギー教育を体系的に積み上げて行えるカリキュラム及び学習内容を構成する。

○ 小学校では、理科を中心にエネルギーについてごく初歩的・総合的な学習を行う。放射線に関しても、例えば計測器等をもちいて自然放射線の実在を理解させる実習等を行うとともに、発電所などのエネルギー施設への見学を奨励する。

○ 小学校では、理科の実験は比較的盛んにおこなわれているが、なぜそのような現象が起こるかという原理や法則の説明が十分になされていない。自然現象への興味を起こさせることは大切であるが、それと同時に基本的な知識や概念を扱う必要があると考える。

○ 中学校理科では、「原子力」については現行よりも詳しく扱うこととし、「放射線」の初歩的な知識、例えば自然放射線の存在や、放射線・放射能の区別も扱う。エネルギーについては、種々の形態があること、またその基礎となるジュールなどの単位を初期の段階で、定量的に理解させることが望ましい。更に社会科では、将来のエネルギーの安定の確保や保障・資源等について扱うようにする。

○ 高校理科では、現行の「理科総合Ａ」をすべての生徒が必修として、エネルギー、原子力、放射線を学習できるようにする。エネルギーという用語については、エネルギーの保存を扱うとともに、地球上のエネルギー資源として人間生活への利用、枯渇の問題についても理解させる。

○ 『総合的な学習の時間』を有効に行い「環境・エネルギー学習」を必修として取り上げるなどできるようにする。そのための具体的なカリキュラムを提示する必要がある。（それについては放射線教育フォーラムも協力したい。）

３．今後の手続き

フォーラム内部に「要望書検討特別委員会」を立ち上げる。そして中央教育審議会に、できれば４月中に要望書を提出する。ついで向こう半年以内に、文部科学省に要望書を具体的に提案する。それまでに、上記のように、学校のどの段階でどの概念・知識を教えて積み上げてゆくべきかを検討する。

第２章　「エネルギー・環境・放射線セミナー」の報告と２００５年度の計画

学校教員を対象としたエネルギー・環境・放射線セミナー実施の現状と課題

Present Status of Enforcement and Subjects in "Energy, Environment, and Radiation Seminar" for School Teachers

静岡大学名誉教授　　長谷川 圀彦 (HASEGAWA, Kunihiko)

１．はじめに

原子力・放射線に関する正しい知識の普及をはかることを目的として、全国の中学校及び高等学校の教員等を対象とする「原子力実験セミナー」が、科学技術庁からの委託事業として平成２年度から実施され、平成１０年度からその事業のすべての業務を財団法人放射線利用振興協会が科学技術庁（現、文部科学省）から受託実施し、平成１１年度から「原子力体験セミナー」と名称を改めた。

平成１３年度から主に文系の教職員を対象とする「原子力体験セミナー文系コース」が実施されるに当たって、ＮＰＯ法人放射線教育フォーラムがこの事業に協力し、「エネルギー・環境・放射線セミナー」を新規事業として開設した。このセミナーは、教職員等のエネルギー・環境・放射線などに対する理解を深めることにより、中学校では平成１４年度から、高等学校では平成１５年度から始まっている「総合的な学習」の時間などを通じて正しい知識が生徒に普及することを目指すものである。

この事業は「エネルギー環境問題、放射線及び原子力問題に対する一般市民の公正な判断力資質の養成とこの分野における将来の人材の確保及び育成のために、学校及び社会におけるこの分野の教育の充実と正しい知識の普及を図り、もって公益の増進に寄与する」というNPO法人放射線教育フォーラムの目的にかなったものである。

２．セミナーの概要

（開催場所及び募集人数）

セミナーは全国１０地区（北海道地区、東北地区、北関東地区、南関東地区、静岡・山梨地区、愛知・岐阜・三重地区、富山・石川・福井地区、近畿地区、中国・四国地区、九州・沖縄地区）で開催した。このうち１日開催のコースと２日開催のコースをそれぞれの地区で設けた。参加者の目標は南関東地区で２００名とし、それ以外の地区では６０名とし、合計７５０名（平成１３年度）とした。平成１４年度の参加者の目標は６００名（南関東地区で１６０名、その他の地区はそれぞれ５０名）平成１５年度のそれは５５０名（南関東地区で１００名、その他の地区は５０名）で計画した。それぞれの年度は５００名をやや下回る参加者であった。

（コース内容）

放射線教育フォーラムの会員が中心となってそれぞれの分野の専門家により、主として中学校・高等学校の文系職員等教育関係者を対象として総合的な学習に時間の授業に役立つような内容で企画した。

（１）　教育システムと教育問題（総合的な学習の時間を取り上げる際の理念とそのあり方、２１世紀の教育のあり方とその方向性。日本の中・高校生の学力の国際的な比較。科学技術と社会。基礎知識としての科学の中での放射線の位置づけ。

（２）　２１世紀のエネルギー・環境問題化石エネルギー（石炭、石油、天然ガス）、自然エネルギー（水力、太陽、風力、バイオマス、海洋）核エネルギーの利害と得失。世

界と日本のエネルギー事情と将来の見通し。地球環境問題（二酸化炭素、酸性雨、オゾン、食糧と人工問題）、２１世紀の暮らし。

（３）　放射線・放射能の基礎と利用（放射線・放射能に関する基礎知識。天然放射能と人工放射能、放射能と日常生活。放射線を利用した各分野への応用、人体への影響。環境ホルモンなど。

（４）　パネル討論会・トッピクス（「総合的な学習の時間」の取り組みと実践例について報告を聞き、互いに討論することによって、エネルギー・環境教育を教育体系のなかでどのように位置づけるか、各教科との連携。エネルギー・環境に関する教育プログラムの開発。エネルギー・環境に関する教育のための学習教材の開発。）

（５）　放射線を観察するための実習と演示（霧箱の製作と放射線の観察・模型による水力発電と原子力発電）

（６）　見学会（原子力施設、環境関係の施設、エネルギー・放射線に関わる企業の施設）

（７）　交流会（講師・オブザーバーと受講者との意見交換、学校教員の質問に応答する。

３．実施結果

２００１年度から３年間実施した結果は表に示すとおりである。

表１　２００１，２００２および２００３年度セミナーの実施結果

年　度		２００１	２００２	２００３
募集定員		７５０名	６００名	５５０名
受講者		４７４名（６３％）	４８５名（８０％）	４６２名（８４％）
担当教科別	文系	２３％	３４％	３０％
	理系	４８％	４３％	４３％
	その他	２９％	２３％	２７％
学校別	小学校	９％	２１％	２５％
	中学校	２５％	２１％	２６％
	高等学校	５４％	４９％	４３％
	その他	１２％	９％	６％

２００１および２００３年度は、アンケート調査結果による。ただし２００３年度は南関東地区を除く。

担当教科別：
文科系教科（国語、社会、地歴、公民、外国語等の教科）
理科系教科（理科、数学等の教科）
その他（職業系教科：農業、工業、商業、水産等の教科、保健体育、技術、家庭、芸術、情報等の教科）（管理職、事務職、図書司書等）

学校別：
その他（大学、専門学校等）

（アンケート結果）

（財）放射線利用振興協会による、原子力体験セミナー文系コースアンケート調査にもとづいておもなものを次ぎに示す。

・ セミナーをどこで知ったか（公文書、上司、既受講者、友人の順）
・ 参加した理由（原子力・環境問題への理解、授業に役立てる）
・ 原子力・放射線の実践等の課外活動（なし、８０％）
・ 時間割の構成（時間的にゆとりがほしい）
・ 講義（よかった　むずかしかった）
・ 実験・実習（興味深い）
・ 施設見学（説明が分かりやすい）
・ 交流会（改善が必要）・役に立つか（エネルギー・環境問題の学習に役立つ）
・ 実習・実験器具（霧箱キッド　はかるくん）
・ 取り入れてほしいもの（今回の内容でよい　原子力発電所の見学、それに関連する講義、実習・実験）
・ 意見・感想（有意義だった）

４．今後の課題

２００１年度から３年間にわたって、表にみるように各年度の受講者は５００名を下回る結果となった。募集にあたっては、出来る限り早く各都道府県の教育委員会、市町村等の教育委員会および高等学校ならびに義務教育系校長会にこのセミナーの趣旨と開催日を説明して協力と支援の要請を行うことが必要である。文系教員の参加者が受講者の半数以下の現状であるので、この打開の対策を何らかの工夫が必要である。「文系教員のためのエネルギー・環境・放射線セミナー」の趣旨について徹底を図ることが必要である。

セミナーの内容に「総合的な学習の時間」の授業の実施に直接役立つようなものか、大いに参考となるものを盛り込む。また、各地区のセミナーの特色を活かすこととし、全国画一的な内容とせずに、各地区の創意工夫なものとして充実をさせる。このためにも各地区のセミナー企画に際しては、地区の世話人だけでなく学校教職員等を含めてニーズ情報調査を行い検討するとともに、世話人からもシーズ情報内容の提供を行い、できる限りマッチングさせる。実験に関しては、各地区好評で再受講者はごく少人数ではあるが、このような人に対しては別の実験を用意する必要がある。交流会あるいは意見交換会については、各地区の工夫があり好評であるが、現代の風潮として集団的な催しを好まない人もあり、そのような人には世話人、講師およびオブザーバーなどから話しかける細かな気配りが必要である。講演に関しては、「エネルギー・環境・放射線教育」は、どうして学校教育や生涯学習として取り扱う必要があるか。これらの教育を教育体系の中でどのように位置づけるのか。学習プログラムの開発、学習材の開発（e-learning システムの開発）等が課題となってくる。また、概括的な「総合的な学習」の内容の話にとどまらず、総合的学習の理念から教科間の連携などより具体性をもった問題として重点を移行し、総合的な学習の時間における実践のあり方や事例をまとめていくことが必要であろう。さらには、産・官・学・市民との協力のあり方についても考えていくことが、必要である。

このセミナーはまだ３年間の実績しかないので、今後具体的な目標を定めて何をどこまで達成されたかの評価を行うとともに、今後先ずは、このセミナーの“継続”することが重要である、と考えている。

Shizuoka University

中国四国

2004年度中国四国地区セミナー実施報告

世話人代表　砂屋敷忠（広島国際大学　非常勤）

セミナーの名称：「総合的な学習の時間への具体的提案」放射線・エネルギー・環境問題
開催日時：平成16年7月30日（金）9:30－17:00（第3部1730 - 1900）
開催場所：松山市JA愛媛「リジェール松山」　松山市南堀端町2-3　電話　089-948-5630

セミナーのプログラム

第1部
- 9:30－11:00　講演1　有馬朗人（東京大学名誉教授）「教育におけるエネルギー・環境問題」
- 11:15 - 12:20　実　験　今本久美子（スフィア　ラボ）「身近にある放射線の観察」
- 13:30 - 15:00　講演2　堀内公子（大妻女子大学教授）「日本の温泉と放射線」

第2部
- 15:15 - 15:55　講演3　谷本勝太郎（愛媛県立松山南高校教諭）「スーパーサイエンスハイスクール研究開発実施（14.15年度）について」
- 15:55－16:25　講演4　加藤隆弘（愛媛県体験型環境学習センター主任）「えひめエコ・ハウスの施設紹介と環境学習の実態」
- 16:30－17:00　講演5　近藤芳正（新居浜市中萩小学校教諭）「重信川河口干潟の底生動物の調査と教材化」

第3部
- 17:20－19:00　討論　司会　矢野正裕（愛媛県立今治西高校教諭）「総合的な学習の時間」私の体験　参加者と講師を交えて

供覧　大型霧箱と火力発電と原子力発電の比較模型

実施状況

文部科学省、放射線利用振興協会の主催、鳥取県　島根県　広島県　岡山県　香川県　徳島県　愛媛県　高知県の各教育委員会の後援で開催した。受講応募者は75名で3名の欠席があり、参加者は72名であった。

講演1　世界的なエネルギー・環境問題とわが国の現状・将来について最近の国際会議などの話題をくわえて講義された。質疑応答で、総合学習はこれまでの授業の枠をこえた取り組について提言があった。

講演2　身近なリクレーションでもある温泉浴について、泉源のなりたち、成分などについて各地の分析結果と時代変化を示し、成分中の放射線について各地の比較や由来、人体影響などを述べられた。

実験　放射線観察の一方法である霧箱の観察原理を説明した後、各自が簡易型霧箱を作成、放射線飛跡の観察を行なった。既経験者（2名）に「はかるくん」で、身の回りの試料測定と遮蔽実験を行なった。

講演3　愛媛県立松山南高校の過去2年間の状況を報告、今年度と今後についてもふれた。

講演4　体験学習が行なえる施設と演者が自作した実験器具のいくつかが紹介された。

講演5　詳細な事前調査の内容と教材化への資料作成、アサリを用いた授業状況が報告された。

討論　参加者の実践事例の報告と討論（25名の参加）　各自の総合学習への取り組みを紹介、意見交換が行なわれた。教材や実践事例が少なく授業の組み立ての難しさが感じられた。

総括

文系教員の参加者を増加するように努力したが、一層の工夫が必要である。講演内容等は、関心や理解がえられと思われ、今後の授業に生かされるであろう。3部で構成した点は良かった。今後も現場教員の体験をもとにした講演や、放射線の話題を教育現場で取り扱えるよう、カリキュラムと関連付けた講演・実験が必要であろう。

裏面に参加者の状況を報告

世話人：高橋忠義（松山市）
八木壮平（愛媛県生涯学習センター）
向井景昭（広島文化短大）
砂屋敷忠（広島国際大学非常勤講師）

北海道地区セミナー実施報告書

世話人代表　　石黒亮二（北海道大学名誉教授）

セミナーの名称：エネルギー・環境・放射線セミナー

開催日時：平成１６年８月４日（水）　９：００開始、１７：３０終了

開催場所：ホテル　ポールスター札幌

セミナーのプログラム

１．解説および実験「放射線の入門」　　住吉　孝（北海道大学助教授）

２．講演「放射線の生物作用と医学利用」　　加藤和明（高エネルギー加速器研究機構名誉教授）

３．パネル討論「科学的リテラシーの確立とエネルギー・環境教育」　　一口芳勝（北方圏理科教育振興協会理事）、高橋尚紀、菅原　陽、小林宏明

４．見学「北海道大学電子加速器実験装置」　　住吉　孝

実施状況

北海道教育委員会、札幌市教育委員会の後援により開催した。受講申込者５７名、受講者５１名（小学校：２２名、小・中学校１名、中学校１３名、高等学校１５名）、（中学校と高等学校の理系１７名、中学校と高等学校の理系以外１２名）とオブザーバー２名（長谷川圀彦　副会長、江田　実　理事）が参加した。

解説および実験「放射線の入門」で住吉　孝氏は放射線について明快な説明を行い、我々が日常よく目にする物質からも放射線の放出されていることを検出器で示した。また、放振協の千田氏の協力を得ながら霧箱の製作を指導しα線の観察を行った。

講演「放射線の生物作用と医学利用」で加藤和明氏は、放射線とはエネルギーを持った素粒子が空中を飛ぶ姿で、それが人体を構成する原子と相互作用をして影響を与えるが、多くの場合は素通りしてしまい、影響を与える可能性は多くない。しかし、自然放射線の数１０００倍にも及ぶ多量の放射線を一度に浴びると、身体の素材を変質させ人を死に至らせる。「正しく怖がり、正しく怖がらない」ことが大切であるとのお話をした。

パネル討論「科学的リテラシーの確立とエネルギー・環境教育」では、パネラーの高橋尚紀氏、菅原　陽氏、小林宏明氏より、学校教育における科学的素養とはなにか、理科離れの現状はどうか、幼少期の自然体験の不十分な現状、などについてのお話があり、一口芳勝氏の司会で関連した討議を行なった。

見学「北海道大学電子加速器実験装置」は古い装置であるが、放射線に関連した実験とはどのようなものか、実例をあげて住吉孝氏より説明があり、受講者の興味を誘った。

総括

会期が１日間のみだったので、放射線のテーマに限って取り上げた。その点「解説および実験」、「講演」、「見学」が相互に関連して、纏まったプログラムが組めたが、反面エネルギーや環境の取り扱いが不十分になった。本年度は、小学校教員の参加が多かった。

北関東・信越地区セミナー実施報告

世話人代表　田中隆一

セミナーの名称：　北関東･信越地区エネルギー･環境･放射線セミナー
開催日時：　平成16年8月6日（金）　9:30 ～ 17:00
開催場所：　高崎ホワイトイン

セミナーのプログラム

講演１「エネルギーと地球環境の共生」　　町　末男(原子力委員)
講演２「原子力・エネルギー教育の取り組み」高木直行(東京工業大学客員助教授)
話題提供＋討論　『エネルギー・環境学習のための教育実践』
　司会：　　田中隆一(元日本原子力研究所高崎研究所長)
　話題提供：濱島良吉(前橋工科大学教授)、片山和子(吉井町立吉井小学校教頭)
　　松岡三吉(前橋市立春日中学校校長)、二渡諭司(群馬県立前橋高等学校教諭)
実習「全員参加による放射線体験実習（霧箱)」
　実習指導　石原十三夫(群馬県立医療短期大学名誉教授)

実施状況

文部科学省、(財)放射線利用振興協会の主催、群馬県教育委員会及び高崎市教育委員会の後援により開催した。受講者数は50名であった。内訳は高等学校25人，中学校21人、小学校５人であった。受講者のうち約半数は文系あるいは管理職であった。

講演１では、21 世紀の地球社会が抱えるエネルギー、環境、経済の間のトリレンマを、途上国の貧困、エネルギー消費の急増、地球温暖化、環境負荷等の観点から、国際的経験に基づいてわかりやすく説明し、解決手段として、原子力の役割が重要であり、かつ、医療や産業など生活に密着した分野で放射線が広く利用され役立っていることも紹介した。

講演２では、社会的に多様な議論のあるエネルギー･環境問題を学校教育のなかでの取り組み方として、正確な知識･情報を提供するというやり方だけではなく、原子力の便益とリスクの両面を提示し、生徒と教員が共に考えるプロセス重視の取り組みが必要性が説かれた。

話題提供＋討論では、今回は地域での先進校における教育実践の現状に目を向け、エネルギー教育地域拠点大学による小中高への総合学習支援の試みとして、地域の大学と小中学校との連携の実践例を紹介するとともに、幅広い視点で未来のエネルギー開発と人材育成等を目指した高等学校におけるサイエンス･パートナーシップ･プログラムの活動例を紹介した。

実習では、実験指導に引き続いて各自が簡易霧箱の組み立て作業を行い、完成した霧箱を用いて放射線の飛跡を目視で観察する実習を行い、自然放射線についての理解を喚起した。

総括

(1)１日のスケジュールではセミナー構成がパタンにはまりがちである。マンネリ化を防ぐには教育現場の意見も積極的に採り入れ、失敗を恐れず新しい工夫を試みる必要である。(2)開催時期については、夏休み中の先生方のスケジュールが隙間なく詰まる傾向にあり、自己研鑽のための余裕を取りにくい状況にある。アンケートの回答結果は圧倒的に夏休みを希望しているが、この集計結果からだけでは結論は出せない。(3)学校の先生方を対象とする講師の選択は難しいが、熟年の達人に頼るだけではなく、コミュニケーションへの意欲としっかりした見識のある若手の専門家を発掘し、講師として経験を積ませていくことも大切と考える。(4)エネルギー教育先進校で蓄積されつつある実践的成果が意欲的な他の学校野先生方へ効果的に伝わるように話題提供や討論の場を設けることもセミナーの役目である。

近畿地区セミナー実施報告

平成１６年１２月１８日

世話人代表　朝野武美（前　大阪府立大学先端科学研究所）

セミナーの名称：エネルギー・環境・放射線セミナー

開催日時：平成１６年８月１０日（火）

開催場所：大阪府教育会館（たかつガーデン）

セミナーのプログラム

［講演１］「学校教育の中の“エネルギー・環境・放射線”」講師　西原　英晃（京都大学名誉教授）

［講演２］「放射線と健康－恐い話・恐くない話－」　講師　米澤　司郎（元大阪府立大学教授）

［パネル討論］「総合的な学習の時間の充実をめざして」

１部 司　会　鶴田　隆雄（近畿大学教授）　２部司会　今北　真奈美（川西市教育委員会）

１部　実践報告と助言

１.「これからのエネルギー・環境教育のあり方」　川村　康文（信州大学　教育学部）

２.「地球温暖化問題を小学生に授業する－炭酸ガスの削減の企業努力と未来の水素エネルギー社会－」

谷　和樹（兵庫県　滝野町立滝野南小学校教諭）

３.「兵庫県立御影高等学校におけるエネルギー・環境教育の取り組み」

安岡　久志（兵庫県立御影高等学校　教諭）

４.「自然放射線とクラブ活動」　池田　正（大阪府立花園高等学校　教諭）

２部　パネル討論「総合的な学習の時間の充実をめざして」

［演示］「霧箱など簡易放射線測定器を利用した環境放射能の測定」

講師　古田　雅一（大阪府立大学）（協力：かんさいアトムサイエンス倶楽部）

［交流会］「セミナーのテーマを題材に討論」　司　会　斎藤　直（大阪大学教授）

実施状況

文部科学省・財団法人放射線利用振興協会の主催、ＮＰＯ法人放射線教育フォーラムの共催、大阪府・大阪市・兵庫県の教育委員会の後援により開催した。近畿地区セミナー実行委員会（放射線教育フォーラム会員１２名）及びかんさいアトムサイエンス倶楽部の協力を得た。大阪府高等学校校長協会等で説明会に出て参加を呼びかけた。受講者は３１名で、中学校教員が１２名、高等学校教員が１０名、小学校教員が７名、養護学校が１名、専門学校が1名であった。参加者の専門は文系が２６％、理系が４８％、その他（小学校教員等）２６％であった。

［講演１］では、エネルギーと環境に関するある程度の専門知識が市民にも必要るとの話しであった。［講演２］では、放射線の高線量と低線量の健康影響について基礎的な解説があった。［パネル討論］では４人の教師のエネルギー・環境・放射線に関する授業の実践報告があったが、参加者にとって非常に興味を持たれた。そのあとの討論では、「学校での学習と生涯学習」が話題になり、エネルギー環境教育が義務教育で終わるのでなく、生涯学習に繋げて行けるような展開となった。［演示］では「霧箱実験」や「空気中のダストの放射能測定」などを行った。［交流会］では、実物を見せる教育の重要性、工夫した授業、個性ある生徒の育成など多くの意見が出た。

総　括

参加者のアンケート回答では、セミナーの内容について総じて好評を得た。講演１で将来の市民育成のために生徒の教育が大切であることを述べられたことに共感を持ったとの回答を得た。実践報告に対して、全員の参加者が関心を持ち好評であった。実践報告をされた講師の努力に依るものであろう。参加者の意見を次回のセミナーの参考にしたい。

富山・石川・福井地区セミナー実施報告

世話人代表　森　厚文（金沢大学教授）

セミナーの名称：　エネルギー・環境・放射線セミナー
開催日時：平成16年8月12日（木）　10:00開始，17:00終了
開催場所：(財）若狭湾エネルギー研究センター第1研修室
セミナーのプログラム
講演1「エネルギー・環境問題と教育」　有馬　朗人（元文部大臣、・科学技術庁長官）
施設見学　「若狭湾エネルギー研究センター施設紹介」
講演2「医学における放射線の利用」　山本　和高
（(財）若狭湾エネルギー研究センター・粒子線医療研究室室長）
話題提供―総合的学習における授業実践例―
1．「“ボランティア活動”と“ものづくり”を通した環境教育」
飯尾　美行（静岡県立浜松城北工業高等学校教諭）
2．「総合的学習における環境・放射線教育の授業実践例」
高木 義雄（石川県立富来高等学校教諭）

実施状況

富山県・石川県・福井県教育委員会，富山市・金沢市・福井市・敦賀市教育委員会の後援を得て開催した。受講応募者は66名であったが、4名の取り消しや欠席があり、参加者は62名（内訳は小学校教員38名、中学校教員12名、高等学校教員10名、教育委員会職員2名）であった。なお、正式の申し込みのない人（敦賀市内の教員）を含めると、約70名の参加者があり盛況であった。

講演1「エネルギー・環境問題と教育」エネルギー・環境とは直接関係ない内容であったが、日本の教育の流れの解説とともに、大所高所から「総合的な学習と学力など」についていろいろな問題提起がなされた。

施設紹介　若狭湾エネルギー研究センターを紹介するビデオを見た後、一般研究棟（倍率100万倍が可能な超高分解能透過電子顕微鏡など）を見学した。シンクロトロン加速器は当日運転中のため模型を用いた紹介のみで実物を見学できなかったのは残念である。

講演2「医学における放射線の利用」専門的な話を分かり易く、また、先端医療の分野で放射線・放射性物質がいかに有効に使用されているかについて多くの実例をもとに話があり、特に若狭湾エネルギー研究センターで行われている陽子線がん治療について質問が集中した。

話題提供「総合的学習における授業実践例」2名の高等学校教員により、総合的な学習における環境教育、放射線教育の先駆的・意欲的な授業について具体的実践例をもとに報告があり、参加者に感銘と刺激を与えた。

総括

アンケートでは、講演、話題提供ともに好評であった。話題提供は参加者の関心が高かったが、高等学校教員のみの話であったため、小学校・中学校教員による実践例の紹介も希望するという意見があった。小学校・中学校・高等学校教員のいずれにも関心のあるプログラムを企画することが大切であるという印象を受けた。今回は敦賀市教育委員会の協力を得て多くの参加者があったが、敦賀市以外の参加者は30名以下と少なかった。次回セミナーは開催場所の教育委員会などとの協力を得るとともに開催場所以外の教員の参加を増やす工夫が必要と考えられた。

九州・沖縄地区実施報告書

報告書作成者：高島良正・江田稔・松浦辰男

1．期間：平成16年8月22日（日）　9:30－16:45

2．開催場所：長崎ブリックホール（長崎市茂里町2-38）

3．受講対象者：主として九州・沖縄地区の中学校・高等学校の文系教員及び小学校教職員

4．実施状況：

（1）セミナーには長崎県及び長崎市の教育委員会の他、九州沖縄各県の教育委員会の後援が得られ、参加者は高等学校、中学校、小学校の教員44名であった。

（2）九州・沖縄地区世話人代表、高島良正氏の挨拶の後、放射線教育フォーラムの松浦辰男氏によるセミナーの趣旨説明等があった。

（3）午前中は有馬朗人氏と橋本哲夫氏による講演2件があり、午後は「エネルギー・環境問題を中心にした具体的学習と今後の方向」の主題で江田稔氏の司会で全国10地区の高等学校、中学校の先生方の話題提供を実施した。

（4）最後は松浦辰男氏の司会で15分間の自由討論を行った後に修了証を交付し、16時45分に終了した。

5．講演と話題提供の内容

【講演1】　有馬朗人（前参議院議員）　**[エネルギー・環境問題と学校教育]**（9:45－11:15）

（講演の内容）今世紀は人口の爆発的増加とそれに伴うエネルギー需要増加や環境悪化の問題に直面している。人口増加では水や食糧不足が深刻になるし、エネルギー問題では石油、石炭の枯渇に対応して、太陽エネルギーなど新エネルギー開発が求められるが、現状では十分な量の供給が可能とは考えられない。このような現実を踏まえ、小・中学校からの省エネルギー省資源についての教育が重要である。

【講演2】　橋本哲夫（新潟大学理学部教授）　**「放射線現象から先史時代を探る」**（11:25－12:25）

（講演の内容）自然の放射性物質からの放射線や宇宙線が土壌や鉱物等に吸収されると、その吸収エネルギーの大部分は光や熱となって消える。ごく一部であるが、吸収されてもすぐには光や熱にならないで、長い年月間(50万年程度までも)鉱物の中に蓄積する成分がある。この鉱物を加熱や光などで刺激すると、蓄積していたエネルギーが光（ルミネッセンス）として放出される。この蓄積ルミネッセンスと自然放射線強度を基に、焼成した考古遺物の年代の見積もりが可能になる。近年のルミネッセンス年代測定法とその周辺の状況について述べた。

【話題提供】　**「エネルギー・環境問題を中心にした具体的学習と今後の方向」**（13:15－16:15）

江田　稔氏の司会で、全国10地区からの先生方が約20分ずつ講演をした。以下はその内容と司会者のコメントである。

(1)　高野拓実（北海道教育大学附属旭川中学校教諭）**「中学校選択理科及び総合的な学習の時間における放射線教育の実践」**　（内容）選択理科と総合的な学習の時間を使って1年生は簡易霧箱、2年生は「はかるくん」による自然放射線の検出、3年生は放射線の遮蔽効果の実験を中心とする放射線教育を実践した。その結果、学習の前は、大半の生徒は、放射線は危険というイメージをもっており、どのように役立っているかを知らなかったが、学習後は「怖いものとは限らない」と変わってきた。

（コメント）選択理科と総合的学習を組み合わせて放射線教育を行った例はあまり報告されていないので参考になった。

(2)　佐伯邦子（秋田経済法科大学附属高等学校教諭）**「21世紀を人類最後の世紀にしないために」**

(内容) 総合的な学習の時間が始まったが、多くの教師は忙しくて、ねらいどおりの成果が上げられていない実態を勤務校でのアンケート調査の結果及び総合的な学習の時間の実践結果から指摘した。そして国として環境教育に本気で取り組む気持ちがあるなら「地球環境」という教科を新たに作るべきだと提案をした。 (コメント) 今後、環境科目の設置のメリットとデメリットについて広く議論することは大切なことである。

(3) 高木義雄 (石川県立富来高等学校教諭) **「環境教育の授業実践」** (内容) 総合的な学習の時間と学校設定科目(学校独自で作ることができる科目)である「科学研究」の時間を使って、水質、大気汚染、環境放射能、ゴミ処理等をテーマとして環境教育を実践した例を報告した。特に環境放射能調査については、たばこの灰や室内のラドン、自然放射線などの測定を通して身近なところも放射線が存在することに気付かせ、ラドン濃度の季節変化は中国からの飛来によるものではないかという推測をした。 (コメント) 総合学習や学校設定科目をうまく組み合わせて環境教育を工夫して実践した例として貴重な事例である。

(4) 綿引隆文 (茨城県立土浦第一高等学校教諭) **「物理の授業におけるエネルギー環境教育実践報告」** (内容) 物理ⅠBの「運動とエネルギー」の熱力学第2法則を学習した後に3～4時間の時間をかけて日常生活でのエネルギー利用に関する不可逆現象やエントロピー概念についての話題を解説し(学習編)、それに続いて各生徒の家庭で省エネを実践させる(実践編)という事例を発表した。生徒は30%近い省エネができることに驚いたり充足感を感じたりするなど効果があったことが報告される一方で、家族の協力が得られなかった例も報告された。 (コメント) 物理と関係が薄いと考えられている環境教育をうまく関係づけた例として注目に値する。

(5) 渡部智博 (立教新座中学校・高等学校教諭) **「学校における放射線教育の具体的学習－百葉箱の活用など－」** (内容) 高校1～2年の化学の授業で、校内の幾つかの地点での自然放射線の測定を行わせ、建築材料等からのバックグラウンドの違いに気づかせたり、気象観測に用いられている百葉箱の中に「はかるくん」を設置して自然放射線を定点観測をし、雨が降るときにその強さが増す原因について考察させる事例を報告した。 (コメント) 新教育課程の「化学Ⅰ」では新たに内容として放射性同位体の学習が位置づけられたので、化学の授業でもできる放射線教育としてこの実践例は参考になるのではないかと思われる。

(6) 倉島茂見 (静岡県浅羽中学校組合立浅羽中学校教諭) **「エネルギー概念を育て、環境問題を包括的にとらえる」** (内容) 浅羽中学校は(社)社会経済生産性本部の「エネルギー教育実践校」の指定を受けて学校全体でエネルギー教育に取り組んでいる。例えば、すべての教科で「環境学習」にかかわる内容を洗い出し、各教師がその指導に当たって重点を置いて取り組む単元や題材を決めるようにした。また、1～3学年の総合的学習の時間のテーマとして「環境学習」を設定したこと、選択理科でも環境をテーマとしたこと、エネルギー教育に関する校内研修会を開催したことなどである。 (コメント) 学校全体で環境教育に取り組む工夫として「環境」を「自然環境」「社会環境」「文化環境」という枠組みでとらえるようにすれば、すべての教師が自分の教科にも関係あることだと認識させることができるという倉島先生のアイデアには皆が共感した。

(7) 鈴木高廣 (名古屋経済大学高蔵高等学校教諭) **「エネルギー・放射線教育における地域団体との協力」** (内容) これまでの原子力関係団体の出前授業は放射線関係のみの講義や実験が中心であったが、学校側はその中に他のテーマを組み込みたいという希望をもち、中部原子力懇談会と

の話し合いでそれを実現した事例を発表した。具体的には、「霧箱」と「はかるくん」の実験に加えて、生物では水柱で血圧を測る「水血圧計の実験」、地学では「地磁気、宇宙線、オーロラの発生の関係を調べる地磁気実験」などを加えて行ったところ、より多くの教師の協力が得られた。（コメント）地域団体との連携に際しては学校として教育課程への位置づけをよく考えることが大切であることを示している。

(8)　今北真奈美　（川西市教育委員会指導主事）**「エネルギー教育を総合的な学習に取り入れる」**（内容）学校現場では総合的な学習のねらいが必ずしも十分に理解されておらず、教科学習＝知識、総合的な学習＝経験という図式でとらえられていると指摘した。また、エネルギー・環境学習の基礎となる理科をはじめ基礎教科の時間数や内容が削減されていることが問題であり理科教育の復権が鍵であるという提言をした。さらに、生徒自身がねらいと課題をもって取り組める「身近な生活の中のエネルギーと放射線」という放射線教育を中心テーマとする興味深い１５時間の展開案を提案した。（コメント）理科教育に関する提言については皆の共感を得られるものであった。

(9)　原田忠則　（広島市立観音中学校教諭）　**「原子力・エネルギーをどう教えるか合意形成に向けた問題解決能力の育成」**　（内容）中学校選択理科の時間で、「エネルギーと現代社会」というテーマでKJ法を活用して展開した16回の授業例を紹介した。はじめに生徒自身にKJ法で調べ学習のテーマを設定させ、当時起こったJCO事故を事例に、原子力発電は大切な技術なのかどうかを話し合ったり、発表したり、ビデオ視聴を通して自分なりの結論を出すという展開で、徹底的に生徒が中心に活動する問題解決型の授業である。　（コメント）教師は支援者に徹し結論を誘導しないことが大切であるという結論には説得力があった。

(10)　樋之口　仁　（鹿児島県総合教育センター研究主事）　**「探究活動を中心としたエネルギー・環境教育の実践例」**　（内容）以前勤務していた高校の生徒を対象に放射線に関する意識調査や川内原子力発電所の原発に対する意識調査を行い、原発は役に立ち必要なものであるが、不安で危険なものという認識が強いことに問題意識をもち、観察と実験に基づき探究的な放射線教育を展開した事例を報告した。総合的な学習を使ったその授業では、飛行機や新幹線の中での放射線の強さ、高校から川内原発までの放射線の測定、川内原発内の測定などを行い、原子力発電所の近くに住む生徒の無用な不安を取り除くことができた。このことで県や九州電力が行っている放射線モニタリングの意義を理解できるようになり放射線に対する生徒の問題意識が深まった。（コメント）放射線教育の具体的実施事例といえる。

【自由討論】　松浦辰男が司会して自由討論を開催したが、司会者の一般的持論の開陳が長すぎてフロアーからの発言の時間がとれなかったことを司会者は反省している。

【世話人の総括と反省】　今回のこのセミナーは、この直後に「第３回放射線教育に関する国際シンポジウム」がこの日の夕方から８月26日まで同じ場所で開催され、学校教員が両方に参加しやすくするためにこの企画となった。セミナーの講師として選ばれた学校教員の方々は、全員が優れた発表をされたが、残念ながら講演のあとの次の討論時間がなかった。しかし発表者のうちの大部分の方が国際シンポジウムにも参加され、そこからの有益な情報を得られたことはよいことであった。　なお、ある地区のセミナーに講師として全国から学校の先生が参加する機会は今回が初めてであったが、このような機会を作ることは、教員にも良い刺激になると思われるので、今後も時々このような「全国大会」的な試みができることを希望する。

静岡・山梨地区セミナー実施報告

世話人代表　長谷川圀彦（静岡大学名誉教授）

セミナーの名称：　エネルギー・環境・放射線セミナー
開催日時：　平成１６年１０月１５日（金）　　９：００　開始、　１６：４５　終了
開催場所：　つま恋（静岡県掛川市満水）

セミナーのプログラム

講演１「環境の視点から２１世紀の暮らしを考える」松岡信明（（財）九州環境管理協会　部長）
講演２「エネルギー・環境教育の教育システムの構築に向けて」 清原洋一（文部科学省教科調査官）
実習（霧箱の作成と空気中の自然放射能の観察）と演示（火力、原子力発電の模型による発電）
吉岡潤江・矢永誠人（静岡大学助教授）
交流会　　司会　　坂田算浩（静岡県立静岡高校教諭）
見学会　株式会社　浜松ホトニクス　豊岡製作所・中央研究所

実施状況

文部科学省、財団法人放射線利用振興協会の主催、静岡県教育委員会、掛川市教育委員会の後援により開催した。受講応募者は９５名、２名欠席、受講参加者は、９３名であった。その内、小学校教員が３４名、中学校教員が１８名、高等学校教員が３９名、その他大学関係教員が２名であった。セミナー実行委員として、奥野健二、小島英夫、坂田算浩の各氏及びオブザーバーとして、飯利雄一、黒杭清治、高木伸司、田中隆一の各氏が参加した。

講義１「環境の視点から２１世紀を考える」松岡信明氏（（財）九州環境管理協会）によって環境問題は文明発祥と同時に発生したこと、最近の問題はエネルギーの大量消費に関係していること、それらによって地球温暖化をもたらす。身近な環境、シックハウス、有害化学物質による汚染などがありこれらを克服するにはどのような対策が必要かを話された。

講義２「エネルギー・環境教育の教員システムの構築に向けて」清原洋一氏（文部科学省）によって、スーパーサイエンスハイスクール、サイエンスパートナーシッププログラムについて解説された。また、理科大好きなどの理数系教育も新しい試みについても解説があった。さらに、エネルギー・環境宇教育のための望ましい教育システムについて言及された。

実習では、受講者全員が個々に霧箱を製作し、放射線の飛跡を観察した。その後、この実習についての解説もあり、さらに放射線の平易な話があった。

交流会は、昼食をとりながら、坂田算浩氏（静岡県立静岡高校教諭）の司会で進められた。エネルギー・環境の学習実践事例が紹介された。
最後に修了証が受講者に渡され、閉会の辞でセミナーは終了した。

見学会は、株式会社浜松ホトニクス 豊岡製作所・中央研究所の２班わかれて見学を行った。① 豊岡製作所（電子管事業部）。ニュートリノ測定に適した大口径光電子増倍管の製作を見学した。② 中央研究所。材料、PET（陽電子放出断層撮影装置）、医療・バイオなどの基礎研究および応用研究の展開を見学した。

総括

このセミナーに応募した中学校・高等学校の文系教員は、全体の約３割であった。アンケートの回答から、セミナー全体の構成は、時間的に少々過密であった。講義１の評価は、文系教員にとっても好評であった。また、今回企画した見学会は極めて好評であったが、企業の施設までの距離が遠く時間がかかりすぎなどの反省点が残された。なお、当日のセミナーの運営は、現地の小・中・高の教員それぞれ２名、計６名が携わり、会を盛り上げた。

平成１６年度 愛知・岐阜・三重地区セミナー報告書

世話人代表　森 千鶴夫（名古屋大学名誉教授）

セミナーの名称：　エネルギー・環境・放射線セミナー

開催日時：　平成 16 年 10 月 21 日（木）9：30～17：00

開催場所：　ぱ・る・る プラザ岐阜（岐阜市）

セミナーのプログラム

講演１「21 世紀の暮らし　―環境、エネルギー、教育―」　　山寺秀雄（名古屋大学名誉教授）

講演２「医療と放射線」　　下　通國（藤田保健衛生大学教授）

昼食時デモ実験（参加希望者 26 名に対してのみ）

実験「霧箱による放射線の観察」「“はかるくん”による環境放射線の測定」

実験指導：緒方良至（名古屋大学医学部教員）、

加藤幸弘（名古屋西クリニック病院診療放射線技師）、放射線利用振興協会

パネル討論：「エネルギー・環境学習のための教育実践」

基調講演：「環境問題を考える」　　佐々木嘉三（岐阜大学副学長）

話題提供：「省エネルギーに発展する環境測定」―空気と水の調査― 野村真知子（岐阜市立早田小学校教諭）、「環境から学ぶエネルギー学習」畑山美恵（大垣市立江並中学校教諭）、「高等学校自然科学系部活動における環境活動実践」西谷　徹（岐阜県立岐山高等学校教諭）

実施状況：　岐阜県教育委員会、岐阜市教育委員会の後援を得て開催した。受講申込者 57 名（内当日欠席 1 名）、参加者 56 名（内約：小学 15 名、中学 27 名、高校 11 名、養護学校 2 名、教育委員会 1 名）であった。年齢別構成では、20、30 歳代が 16 名、40、50 歳代が 36 名、60 歳代 1 名、無記入 3 名であり、やや高年齢者が多い。理科系 28 名、文科系 19 名、無記入 9 名であった。セミナー実行委員会から、大野、緒方、加藤、佐久間、下、杉本、高橋、山寺、森が出席して運営に当った。また本部から、田中隆一理事、大野新一幹事が出席した。

アンケート（放射線利用振興協会および実行委員会が行なった 2 種のアンケート）の結果によれば、講演、実験、パネル討論のいずれも好評であった。

総括：　募集案内の作成がやや遅れたこともあって、当初、定員確保にかなり苦しんだ。各学校を訪問し、校長に会って話をすることは、それ自体意味のある運動であるとの実感を持った。また結果として参加者確保にかなり効果はある。しかしながらかなり大変な作業である。募集案内の内容をより魅力あるものにし、早く作成して、各教諭の目に触れるようにより効果的に配布する必要があると感じた。道徳・倫理の面にまで踏み込んだ内容の講演１は非常に好評であったが、各参加者が、教育の場におけるこのような面の取扱いに苦慮しており、講演を通じて示唆を感じたものと思われる。パネル討論における話題提供は、同じ立場の先生の活動に対する関心が深いようであった。実験は好評であったが、二つのテーマの実施は時間的にやや苦しかった。昼食時のデモ実験は、初めての試みであり好評ではあったが、文系の先生方も興味を持つ内容のものを、ビデオで見せ、楽しんでもらう等の工夫が必要かもしれない。

セミナーを通じての参加者の放射線利用、原子力エネルギーの意味についての意識改革的効果は決して少なくないと感じた。このセミナーが、放射線利用や原子力エネルギーに関する事柄を教育現場で取扱うことを目指しているのかどうかを考えてみる必要があるのではないかと思う。

東北地区セミナー実施報告書

世話人代表　荒谷美智（六ヶ所村教育アドバイザー）

セミナーの名称：エネルギー・環境・放射線セミナー
開催日時：平成１６年１１月２０日（土）９：３０～１６：３０
開催場所：五所川原地域職業訓練センター 大研修室
参加人員：４８名＋特別講演等聴講者１０名
セミナーのプログラム
パネル討論「『総合的な学習の時間』に関する地域での環境・エネルギー教育の実践例」
　コーディネーター：川村 正（青森県上北教育事務所教育課長)、
　総合的な学習の時間で取り組む環境・省エネルギー教育:工藤隆継（三沢市立根井小学校校長)、小学校教育における環境教育の現状と課題::松本 淳（むつ市教育委員会指導課課長補佐)、中学校における環境教育の現状と課題:工藤清秋（青森県西北教育事務所指導主事)、自然から学ぶこと・白神の自然と子供たち:神林友広（岩崎村産業観光課主査）
助言の部　江田　稔（前文部科学省主任視学官・青森大学大学院教授）
　　飯利雄一（元文部省視学官・元信州大学教授）
特別講演：一科学者として見た環境・エネルギー教育：有馬朗人（前参議院議員・元文部大臣兼科学技術庁長官・元東京大学総長）
講演：遮蔽からみた環境・エネルギー・放射線：石川敏夫（財団法人環境科学技術研究所主任研究員）
実習：霧箱の作製と観察：濱田栄作（財団法人環境科学技術研究所研究員）
コメント：高島良正（九州大学名誉教授）

実施状況

主催：文部科学省・(財)放射線利用振興協会／共催：NPO法人放射線教育フォーラム・五所川原市教育委員会／後援：青森県教育委員会・岩手県教育委員会・秋田県教育委員会により実施された。共催の五所川原市教育委員会の活動により地域教員主導・密着型のパネルが実現した。県内全域を網羅する４地区からそれぞれの地域に特徴ある報告がなされ、川村コーディネーターのリードで他の典型的な地域、例えば六ヶ所、などにおける多彩な取り組みがフロアから多数報告され、盛り上がり、助言は好感を以って受け止められた。特別講演には物理学者としての発言が感銘を与え、講演・実習とも解り易く、成功を納めた。応募者４９名、欠席１名、受講者４８名であった。なお、市民の聴講希望者１１名、欠席１名、聴講者１０名で大研修室は満杯となった。参加教員の教科分布：文系（国語・社会・英語）１２%、理系（理科・数学）４８%、記載なし４０%、所属分布：小学校４０%,中学校３０%、高校６%,教育委員会１０%、教育事務所１４%、職務分布：教諭５４%、教頭10．５%、校長10．５%、指導主事１２．５%,教育長２%、記載なし10.５%、地域分布：青森県９０%（津軽６５%,太平洋側２５%)、岩手県４%、秋田県６%であった。市民聴講者の地域分布は、五所川原市３名、青森市１名,六ヶ所村であった。

総括

青森県は、太平洋から津軽海峡を経て日本海に及ぶ海あり湖あり山あり森ありの多彩な環境に恵まれ各地域で特徴ある取り組みが確かになされてはいる。今後、エネルギー問題とかかわりある環境の問題意識の面で本セミナーが適切に貢献出来るものと期待される。

南関東地区セミナー実施報告

世話人代表　黒杭　清治

セミナーの名称：**エネルギー・環境・放射線セミナー**

開催日時　平成17年3月4日（金）　14:20開始.　17:50終了
　　平成17年3月5日（土）　10:00開始.　15:35終了

開催場所：日本科学未来館

セミナーのプログラム

第1日目（3月4日）

基調講演　21世紀の暮らし―環境・エネルギー・教育　山寺　秀雄（名古屋大学名誉教授）
講演1沖縄の果菜類が出回るようになったわけをご存じですか　棚原朗（琉球大学助教授）
講演2日本人はなぜ放射線を怖がるのか 田中 隆一（元日本原子力研究所高崎研究所々長）

第2日目（3月5日）

講　演　3「近の気候変動について－ノアの洪水は本当？―」中村政雄(元読売新聞論説委員)
実　習　霧箱を自作し目で見る放射線　放射線利用振興協会
演示実験　放射線は自作の測定器でも測れます　三門　正吾（千葉県立柏高等学校教諭）
実践報告　エネルギー・環境問題を「総合的な学習の時間」に組み込んだ実践報告
1．学校全体・全教育活動の中での実践例　倉島　茂見(静岡県浅羽中学校教諭)
2．小・中・高等学校が連携して活動した実践例　大塚　一雄(都立八王子北高校副校長)

実施状況

文部科学省　財団法人放射線利用振興協会主催、東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県各教育委員会後援により開催した。受講申込者は53名であったが4日は雪で交通機関が乱れ出席者は40名に減った。

基調講演は予定していた有馬朗人先生が突然ニューヨークへ出張、セミナーに出られないことがわかったのが2月28日の夕刻､急遽山寺秀雄先生にピンチヒッターをお願いした。

地球環境を人類の歴史の流れの中で捉え、豊富な資料を OHP で提示しながら、体系的で平易に語られ、環境保全のためにはどのような教育をすべきかということについてご自分の教育論で締めくくられた。受講者にとって理想的とも言える基調講演になった。

講演1沖縄でのウリミバエ撲滅の努力は NHK のプロジェクト X で紹介されたが、このプロジェクトがいかに壮大で、しかも繊細、試行錯誤の繰り返し、人海戦術まで加わった全沖縄を挙げての知恵の集結だったことを大変良く実感できた講演であった。

講演2　放射線や原子力に対する日本人の恐怖心・不安感は、一般には原爆被災に起因すると言われているが、日本古来の伝統的な言語意識、「コトダマ」や「ケガレ」で象徴されるような心情に深く影響されているのではないかということを挙げ、この見方が放射線や原子力についての正しい理解を導くのが困難な原因であるかという自説を大胆に語られた。

講演3　一般には気候変動は序々に進行すると思われているが急激に起こることがある。氷河期が現在の状態になるまでの間に、何らかの原因で氷が少し融けて土が現れると、その部分は太陽熱を良く吸収するから、あるとき氷が急激に融けたと考えられると言う説があり、それがノアの洪水の話しになったのだろうという話を紹介し、現在の地球でもこれ以上温暖化が進むと、極地方の氷が急激に融け、太平洋に浮かぶマジェロ島をはじめ多くの島が沈む事が心配されているという怖い話であった。

実習　霧箱の自作、演示実験　放射線は自作の測定器でも簡単に測れますは共に好評で放射線が紫外線などと同様身近な現象であり、簡単に測れることを目で見、耳で聞いて実感できたようである。終了後の質問も活発であった。

実践報告1学校全体・全教育活動の中での実践することの大切さと困難さが実感できた。

実践報告2．小・中・高等学校が連携して活動することの大切さと困難さが実感できた

総括

変化に富んだプログラムになったと思う。社会科教員の感想に、参加してためになる内容が予想以上に多くて良かったというのがあり、その他のアンケート結果も好評であった。

３．本年度のまとめと２００５年度の計画

２００４年度は前述のように全国10地区で開催され、受講者数目標５００名のところ全受講者は５２４名であり、達成率は１０５％であった。また、セミナー開催後受講者からアンケートにより出席した感想を求めたところ、広く教育に役立つ情報が得られて有益であったと言うような意見が多く、全般的に好評であった。本章の第１節で述べ、また昨年度の世話人が既に報告しているように（「エネルギー・環境問題セミナー」平成15年度の報告―南関東地区セミナーを中心に―、河村正一・松浦辰男、Isotope News 2004年６月号）、学校教員がこの分野の最新情報を学びたいとの意欲が以前よりも増していることが感じられる。われわれは、このセミナーの内容を更に充実させ、社会の要望に応えたいと考えている。

２００５年度もこれまでと同様に、全国10箇所で、募集の定員も１地区５０名と従来どおりで、企画を進めている。下表の通り。

2005年度セミナー開催予定　　2005. 3. 22. 現在

地区	予定期日	開催予定場所	世話人代表	備考
北海道	8月5日(金)	札幌市 (ホテルポールスター)	石黒亮二 (北大名誉教授)	有馬先生 講演予定
静岡・山梨	8月9日(火)	静岡県富士市 (ロゼシアター)	長谷川圀彦 (静岡大名誉教授)	
北陸	8月11日(木)	石川県能美市 (根上町学習センター)	森　厚文 (金沢大学)	
愛知・岐阜 ・三重	8月17日(水)	愛知県蒲郡市 (蒲郡市民会館)	森　千鶴夫 (名大名誉教授)	
中国・四国	8月19日(金)	島根県出雲市 (出雲科学館)	砂屋敷　忠 (広島国際大学)	有馬先生 講演予定
近畿	8月29日(月)	南大阪市 (近畿大学原研(見学))	鶴田隆雄 (近畿大学原研)	
北関東	9月以降	東海村 (東海文化センター)	伊藤泰男 (前東京大学)	
九州・沖縄	9月以降	熊本市	工藤和彦 (九州大学大学院)	有馬先生 講演予定
東北	12月3日(土)	仙台市 (仙台国際センター)	関根　勉 (東北大学理学部)	
南関東・信越	2006年3月 (土・日の2日間)	東京都 (科学未来館)	黒杭清治 (元芝浦工大)	有馬先生 講演予定

第３章　勉強会・セミナー・シンポジウム・委員会の資料

自然放射線の基本的な概念形成のための実践教育

宮澤弘二

1 課題（テーマ）名

自然放射線の基本的な概念形成のための実践教育【総合的な学習の時間】

2 対象学年

全学年

3 課題（テーマ）の設定理由

自然放射線の測定は，総合学習として多く取り組まれている環境調査の一環として位置づけられるとともに，どの学年でも扱うことができる内容である。

また，全国の学校に働きかけを行うことにより，全国レベルでの自然放射線の測定が可能になるとともに，インターネットの利用等を通じた情報教育の実践にも資することができると考える。

4 重視する学習活動

(1) 生徒が主体的に自然放射線に対して興味・関心をもち，測定することで，自然環境の一部を測定しているという意識をもたせる。
(2) 測定場所によって自然放射線の測定値が異なることに気づき，生徒自らがその根拠について探究する。
(3) 共同で実施する他の学校と測定項目を統一することにより，測定結果について各学校との比較検討を行う。

5 エネルギー教育の視点

(1) エネルギー教育と環境教育を互いに関連させる意味から，自然放射線を測定することは，環境を測定することの一要因であることをとらえさせたい。
(2) エネルギー教育は，自然科学分野だけで取り扱うのではなく，社会科学の分野や，地域社会とも関連して深めていく必要がある。とりわけ，価値対立的な要素を含むテーマである原子力発電の問題については，科学的な正しい事実認識をもとに，社会経済的な面を含めて総合的に考え，判断することが重要となる。本来，身近な存在であり日常生活の多くの分野で利用されていながら，必ずしも正しい理解がなされていない放射線をテーマに体験的な活動を行うことは，エネルギー教育の趣旨に照らした場合，極めて有効な学習方法の一つであると考える。

6 時間数

6～7時間

7 学習活動のステップ

時	学習段階	学習内容・活動・教師の支援等
1～2	1．自然放射線とは	①自然放射線とはどのようなものか，身近なものをあげて理解を深める。例えば，生徒のエックス線撮影の経験から自然放射線との違いについて触れる。 ②放射線は，他にどんなことに使用されているか，日常的な事に触れる。 医療面，製造過程の検査，食品などの殺菌，ジャガイモの発芽防止等 ③放射線の性質として太陽光線の中には，紫外線も含めて考えられる。紫外線の作用としてどんな働きがあるか考察する。 日焼けは化学的な作用であることを理解する。 ④放射線の種類にはいろいろあるが，自然放射線の場合は，α線，β線，γ線の3種類を簡単に解説する。
3～4	2．はかるくんの使用法と放射線の単位	①放射線を測定する計器として「はかるくん」がある。2か月間無料貸与できる。この使用法について解説書から指導する。 ②「はかるくん」の測定単位は，放射線量の吸収量を示すμＳｖ／ｈである。この単位については詳しく解説しないで，量的な概念を測定することから認識する。 ③「はかるくん」は，ほとんどの計測器がγ線を測定する機種であり，β線を測定する計測器は，βちゃんという名称で最近貸し出され始めている。 ④測定場所を全国的に統一した根拠については，簡単に触れておく。 ⑤高い測定値や，低い測定値が出た根拠について班員全員で考察する機会を与える。
5～6 または 5～7	3．測定実験による探究	①私たちの身のまわりにある自然放射線を「はかるくん」を利用して後述の項目の測定する。 ②自然放射線の線源を用いて，遮蔽物によって人体に与える影響に付いて測定する。 ③自然放射線を霧箱で観察する。この際，観察用暗箱（内田洋行教職員審査員特別受賞作品）を用いて，暗室以外で観測する。 ④測定値をインターネットにつなぎ科学技術振興財団の放射線Webに情報を発信し，各学校との交信を図り，測定に対する情報交換を行う。 （Webのアドレスは，ｈｔｔｐ：／／ｈｏｓｈａｓｅｎ.ｊｓｆ.ｏｒ.ｊｐ） ⑤データから各班ごとに測定値の違いについてその根拠を話し合い，考察を記録にまとめる。 ⑥各学校との情報交換から全国的に自然放射線の放出量の違いや，地域による特徴について考える。 ⑦アンケートなどを取り，自然放射線についての生徒の考え方などを考察する。その結果を他校に発信する。

8 展開例（第５時～６時：自然放射線の測定）

時	学習内容・活動及び学習方法・教材・資料等	教師の支援・留意点
5～6	１．自然放射線の測定（その１） （目的） 日常生活の空間に，自然放射線がどのくらい存在するか。屋内，屋外，アスファルト，樹木の近くなどを対象にして測定する。 （測定方法） 学校のキャンパスマップを用いて測定場所を指定する。また，別紙資料（資料１）のような測定用のワークシートを作成する。放射線量は，μSv／ｈを用いている。この単位の詳細については，「はかるくん」の説明書を用いた。 （放射線測定結果の考察） 生徒用の考察のプリントを準備した。このレポートから下記のような考察をすることができた。 ①人工的なアスファルトや，コンクリートなどでは，樹木の真下と比較して，高い数値である。特に校舎内では85周年記念館の地下室の測定値が0.075μＳｖ／ｈと高い。これは，コンクリートや，建物に供された建材などから放出される放射線の影響と，地下室のため密封した状態のためであろうと推定される。樹木の真下では，サワラの樹木が他のものより高いが，この樹木の真下は，アスファルトになっているためである。 ②気温と放射線との関係はほとんどないと推定した。 ③屋上の場合は，比較的小さいカウントになっているが，これは，建物の天井からの放射線をカウントしないためであろうと推定した。 ④人工的なものでアスファルトが高い数値を示している。この材料として花崗岩質のものを使用しているためであろうと推定した。 ⑤樹木の真下では，小さい値である。この理由は，樹木の葉は，上からの自然放射線を防ぎ，さらに大きな樹木だと，根がしっかりと張っているので，地下からの自然放射線を防ぐと考えられる。 以上の考察から，学園内にある樹木は，自然からの放射線を防ぐことができると考えられる。広島や長崎に投下された原子爆弾の被爆者の話に，爆心地から離れた場所では，木陰に居たために被爆量が少なかったという報告もある。 樹木には水分が多いことと，大きな樹木であれば地下深くまで根の張りがしっかりしており，地下からの放射線が少ない値になるであろうと推定できる。降雪の多い地方では，自然放射線量は少なく，また，海洋や河川，プールなどの表面では，放射線量は少ないことが報告されている。樹木には，このような水の働きによる防護の作用もあると考えられる。 ２．簡易霧箱による放射線の観測 簡易霧箱を用いて，放射線を観測する。暗箱を製作し，暗室などを使用しなくても，観測できるようにした。 （暗箱の製作方法） ①写真パネルと，ベニヤ板やアルミの角材を用いて製作する。 ②光が漏れないように，角にはアルミ角材を用いて，隙間がないようにする。 ③ドライアイスが昇華する際に低温となり空気中の水分が氷結し，箱の内部が凍るため，底の木部にひずみが生じるのでアルミ板を張るとよい。 ④水中眼鏡（百円ショップ等で販売）を用いて，覗きの部分から光が入らないようする。 ⑤暗箱の横部分が開くようにしてあり，ここから内部の操作ができるように工夫する。黒い布地をカバーとして使用し，光を遮蔽する。 （考　　察） 昼間でも，暗室を使用することもなく，便利にどんな場所でも霧箱の観測ができる。文化祭などでは，今まで，わざわざ暗室を設置したが，今回，暗箱を製作したことに	（教師の支援） ・霧箱，放射線線源，インターネットの接続と全国学校への発信の連絡，準備のネットワーク作り。測定高校との交信と発信。 （留意点） ・自然放射線の線源は市販されているものはすべて基準を満たしたものである。ただし，ウランの線源などで鉛容器に入っているものは，放射線取り扱いの資格が必要となる。他に参考資料を参照されたい。 ・安全基準は，はかるくんの使用解説書又は，放射線フォーラムに問い合わせ願いたい。

時	学習内容・活動及び学習方法・教材・資料等	学習方法・実物教材・資料等
	より，その労力を軽減することができた。今後，このようなものが広く普及していくことが望まれる。 3．自然放射線の測定実験（その2） （目　　的） 前回の樹木，土壌，建物内部の自然放射線の測定から，今回は測定器として前回と同様に「はかるくん」を用いて，放射線源からの距離と遮蔽する物質の種類によってどのような違いがあるのかを観察，測定する。詳細については，下記の項目による。 ①自然放射線は，放射線を遮る遮蔽物の種類によって，どのように線量が変化するかを測定する。 ②遮蔽物の置かれた線源からの距離と，線量の変化について測定する。 ③自然界で成立する場の理論で，距離と線源との関係について逆二乗の法則が成立することを理解できるようにする。 ④人体に及ぼす自然放射線の影響を理解し，距離をとることや，遮蔽物をおくことによって，放射線のリスクからのがれることを学習する。 （準備するもの） ①自然放射線の線源 (a) アメリシウム241，半減期432.2年，線量0.5 μCi以下（中村理科で教材用として販売，価格16,000円） (b) 燐灰ウラン鉱（中村理科で教材用として販売，放射能鉱物標本セットで6種類，販売価格24,000円） (c) 閃ウラン鉱（上記に同じ） ②遮蔽物 (a) 銅板（厚さ2mm，縦250mm，横800mm） (b) アルミ版（厚さ2 mm，縦250mm，横800mm） (c) 鉄板（厚さ2mm，縦250mm，横800mm） ③ものさし又は巻尺 ④放射線測定機器として「はかるくん」（放射線計測協会℡029－282－0421へ申し込むと無料貸与） （実験の進め方） ①放射線源を中心におき，「はかるくん」を10cmずつ（10,20,30,40,50cm）離していった時の線量をそれぞれ5回測定し，平均値を求めて表に記入する。 ②「はかるくん」を放射線源から５０cm離しておき，その間に上記の遮蔽物を10cmずつの距離（10, 20, 30, 40, 50cm）で置いた時の線量をそれぞれ5回測定し，平均値を記入する。 ③上記の実験結果をグラフにして，距離（cm）と放射線の強さ（単位μSv）の関係について考察する。 グラフは，それぞれの放射線の種類によって記入する。ただし，縦軸と横軸は線量と距離をとり，単位はμSv／hとcmを用いること。 （考　　察） 実験の進め方や，考察・感想は，別紙ワークシートに記入する。	

9 評価の観点の設定

ここでは，教師の自己評価という観点を中心として述べる。

(1) 放射線の測定実験に対し，いかに生徒が主体的に興味を持って取り組んだか。

(2) 生徒の提出されたレポート，考察，観察，感想から教師側の指導，事前の準備，カリキュラム，教師の支援，学習展開などに無理がなかったか。

(3) 他校との間で測定方法や測定値に対する情報交換が十分であったか。

10 教科学習との関連

放射線教育は，自然科学分野だけでなく地歴，公民，家庭，保健体育などと相互に関連があり，総合学習の課題・教材として優れていると考える。

11 資料等

参考資料

・後藤道夫，宮澤弘二共著 「楽しい実験室」 日本教育新聞社（1991）
・宮澤弘二他編集 「60億人の地球環境とエネルギー」エネルギー環境教育情報センター
・「原子力教育・研究」社団法人日本原子力学会特別専門委員会第2グループ
・宮澤弘二著 「エネルギー環境教育ガイドブック」改訂版 エネルギー環境教育情報センター（1998）
・宮澤弘二著 「高校現場における放射線教育の実験事例と実情の報告」放射線教育フォーラム誌1999・ＶＯＬ3，ＮＯ1
・宮澤弘二，菊池健夫共著 「学園内の樹木と自然放射線との関連」東京家政大学生活科学研究所報告第24集
・朝永振一郎ほか「物理実験事典」講談社
・徳田肇道「高校生の所有する原子力関連の日常的な知識について」筑波大学大学院教育研修論文
・宮澤弘二「ＪＣＯ事故に関する中学・高校生に対するアンケート調査報告」放射線教育フォーラム誌2000・ＶＯＬ4．ＮＯ1
・村井幸正「放射線の学習」の十施報告，物理教育学会誌43－2（1995）
・宮澤弘二ほか「放射線教育の実践報告」科学技術振興財団事業システムＷｅｂサイトによるネットワーク
・ＫＮＯＬＬ著「放射線計測ハンドブック」（2000）日刊工業新聞社
・松浦辰男ほか「放射線と放射能」学会出版センター
・辻本忠ほか「放射線防護の基礎」日刊工業新聞社
・広井禎「理科の教育」（1998）
・広井禎，村井幸正，三門正吾，渡部智博ＪＡＥＲＩ－Ｃｏｎｆ99－011放射線教育国際シンポジューム報告文集

学習資料

（資料１）

＜自然放射線の測定実験のワークシート＞

自然科学実験 コース	学年　組	番号　名前

放射線の測定実験（その２）ー距離や遮蔽物による放射線の強さの変化の測定

月　日

Ⅰ．準備するもの

１．測定器として，「はかるくん」を用いる

放射線源として

①閃ウラン鉱　②燐灰ウラン石　③Ａｍアメリシウム　④Raラジウム

２．遮蔽物として

その１

①銅板　②鉄板　③アルミニウム板　④木板

その２

はかるくんの測定器の直前（1.0cm以内）に下記の硬貨を遮蔽物として置く

①１円　②10円　③500円　④100円　⑤５円

Ⅱ．実験方法

１．放射線源の4種類を中心に置き図のようにはかるくんを10.20.30.40.50.cmと距離を離したときの測定値を下記の表に記入する。次に遮蔽物のその2を同様にして測定する。表は，は各自で工夫する。

２．上記その1の遮蔽物を，４種類の放射線源に距離10.20.30.40.50.cm離し，はかるくんの距離は50センチメートルと一定に保つ。このときの，それぞれの値を表に記入する。表は各自で工夫する。土曜に

３．これらのデータを方眼紙に，グラフにして描くと，どんな結果が得られるかを考察しなさい。

Ⅲ．考察と感想

考察

(資料2)

＜自然放射線の測定実験に関するアンケート＞

1．実験をする前から自然放射線の存在を知っていた。
①知っていた　　②知らなかった

2．今回の実験から自然放射線の種類にどんなものがあるかがわかりましたか。
①わかった　　②わからなかった

3．放射線に対する考え方が変わりましたか
①変わった　　②変わらない

4．変わったと回答した人のみ答えてください。
①放射線がすべて怖いものである　　②安全性に留意し，使用法に注意することが大切

5．今まで放射能や放射線の事故でどんなことを知っていますか。知っているものがあれば下記の空欄に記入してください。

6．今後，放射線の実験でどんなことをやってほしいか。あれば記入してください。

7．放射線がどんなことで利用されているか知っていますか。複数回答でよい。
①医療保健　②食品関係　③遺伝子工学　④農業の育種関係　⑤その他

8．放射線や放射能に関して今までに学習したことがありましたか。
①ある　②ない

9．最後に今回の実験で印象に残ったことを記入してください。

(東京家政大学附属女子中学高等学校教諭 宮澤弘二)

紙筒ガイガー計数管の製作と放射線実験

千葉県立柏高等学校
三　門　正　吾

１．はじめに

ガイガー計数管は、容易に手作りすることができ、しかも動作させることも簡単である。物理ＩＢの「放射線」の分野で、私はここ５，６年、毎年授業で自作ガイガー計数管を用いた生徒実験を行ってきた。２００４年度は、スーパーサイエンスハイスクールの研究開発校に指定されたのを機に、理数科の１年生に、２人１組で２０台製作させ、放射線実験を行った。紙筒ガイガー計数管は、原理むき出しの構造で中がよく見え、教育教材として適している。かなり口径の大きい紙筒が使えるので、このガイガー計数管は非常に高感度である。したがって、身の回りの微弱な自然放射線を観察するのに適している。ここでは、小型高圧電源[1]を用いる装置と、静電気を利用する装置の製作を紹介する。

２．ガイガー計数管の特徴

矢野・米村式ガイガー計数管[2,3]の基本構造を図１に示す。陽極は直径 0.15mm の銅線を二つ折りにする。陰極は紙筒本体である。窓はポリエチレンフィルムにする。紙はもっともありふれた高抵抗物質であり、連続放電にならないための矢野先生のアイデアである。また、芯線を二つ折りにするというのは米村先生のアイデアである。

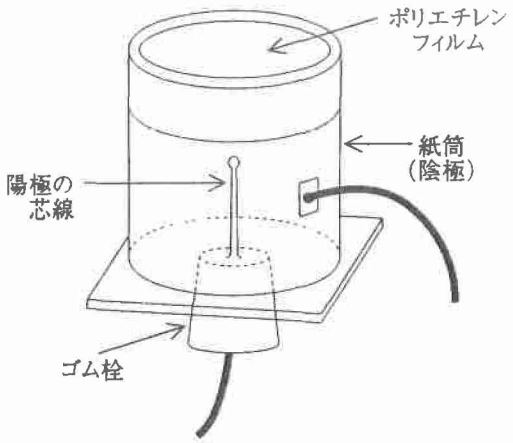


図１　ガイガー計数管

測定の前に、ガイガー管の中にブタンガスを注入する。ブタンガスを注入しないと、ガイガー管が正常に動作しない。さらにガイガー管を正常に動作させるためには、適正な電圧を加えること、および陽極をいつもクリーンにしておくことである。陽極に高電圧をかけているので、空気中の塵などが付きやすい。そうなると連続的な放電が起こって、測定ができなくなる。そういうときはたっぷりのアルコールを浸した紙で拭いて陽極をきれいにする必要がある。

測定するときには、選局ををはずした AM ラジオをガイガー管のそばに置く。放射線が入射すると、陽極の芯線と紙筒の間に放電が起こる。放電は小さな雷と同じなので、ノイズ電波を放射する。これをラジオが受けて、ガリッという音を発するので、放射線が入ったことがわかる。

このガイガー計数管の特徴は以下の通りである。

① 原理むき出しの構造なので、教育的である。
② 動作電圧は 4000V 程度の高電圧が必要である。
③ 分解能が悪いので、強い線源の測定には不向きである。
④ ポリエチレンフィルムの窓の面積を大きくすれば、感度が高くなる。
⑤ ③と④に関連して、環境にある低線量の線源の測定に向いている。
⑥ 安価にしかも容易に製作できる

3．ガイガー計数管の製作

(1) 陽極の作り方

最もデリケートな部分なので慎重に作業したい。

a．赤色のリード線を約8cmほどむく

b．金属線を１本残して残りの６本は折り曲げる

c．金属線の輪をつくる



d．セロハンテープからはみ出た６本の金属線をニッパで切り落とす

e．リード線をゴム栓に入れる

f．指の腹で輪になった金属線を２つ折りにする



図２　陽極の作り方

(2) 紙筒ガイガー管本体の製作

a．正方形の塩化ビニール板の中央に、ゴム栓が収まる穴を開ける。

b．輪切りにした紙筒を接着剤で塩ビ板に接着させる。

c．ポリエチレン・フィルムの窓を貼る。

d．紙筒の側面に、陰極用リード線をセロハンテープで貼り付ける。

e．(1)で作った陽極を紙筒に納める。

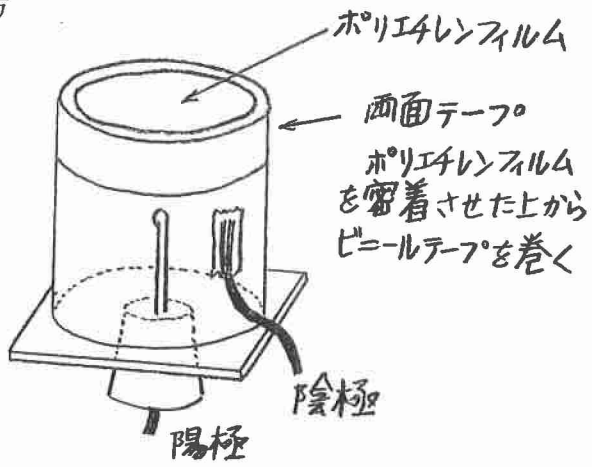


図３　紙筒ガイガー管本体

4．高圧電源による電源部の工作と電圧の調整

以下に、電源部を含めた全体写真を示す。

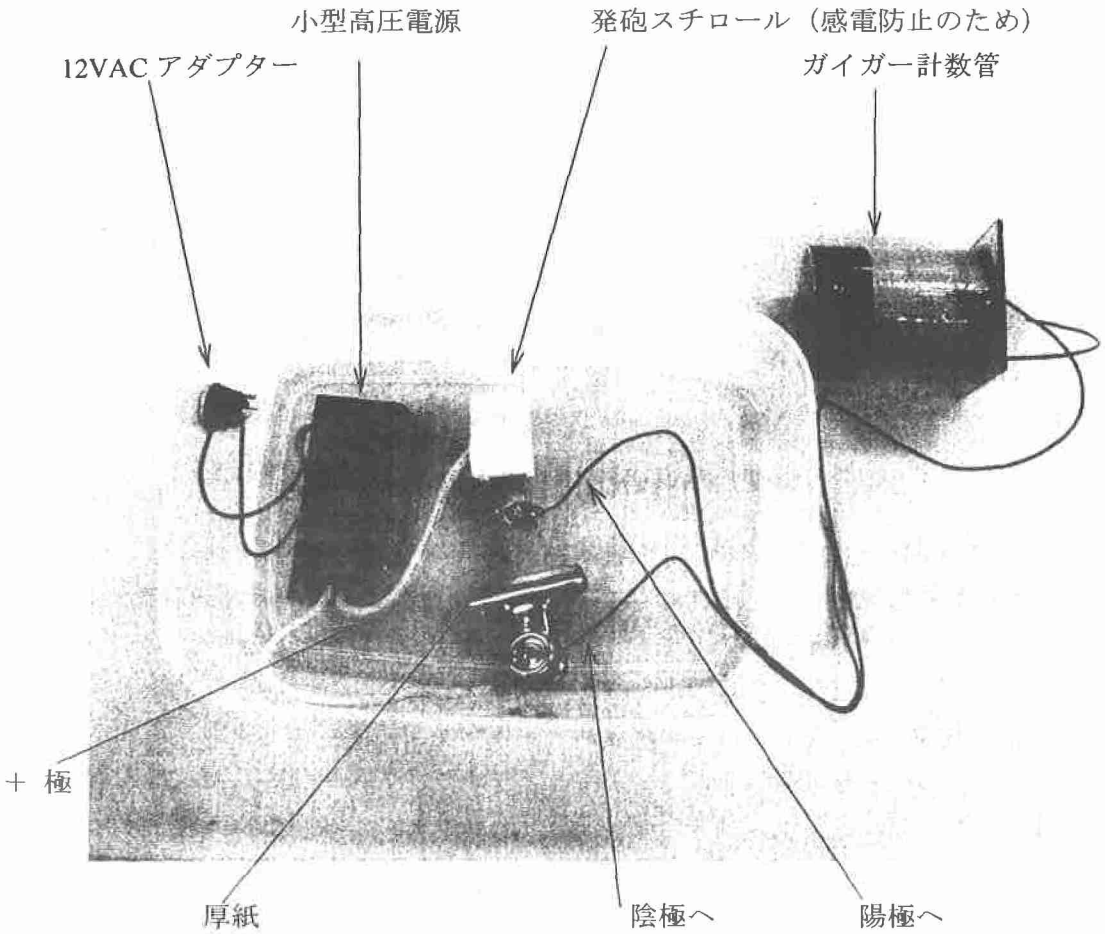


図４　ガイガー計数管装置の全体写真

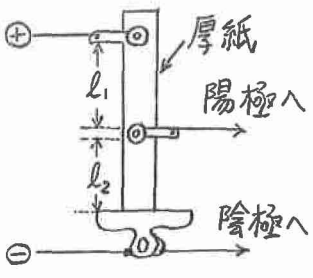
12V の AC アダプターをつけると、電源の出力はおよそ 10,000V になる。＋極の線にじかに触れるとかなりの電気ショックを受けるので、発泡スチロールで覆って、感電を防止している。

ガイガー計数管の動作電圧は 5,000V 以下で、電流はほとんど必要としないので、厚紙で電圧を分割して、ガイガー計数管に加えている。抵抗 R_1 と R_2 を直列につなぎ R_2 の両端から電圧を取り出すと、

$$\frac{R_2}{R_1+R_2}\cdot E \qquad E：電源電圧$$

となる。抵抗体の抵抗は長さに比例するから、R_1 と R_2 に相当する紙の長さをそれぞれ l_1、l_2 とすると、

$$\frac{l_2}{l_1+l_2}\cdot E$$



となる。クリップで l_2 の長さを長くすれば大きな電圧、l_2 を短くすれば小さな電圧となる。クリップを動かして、電圧を最適な状態に調整する具体的な方法は後述する。

５．ガイガー計数管の使い方

(1) ゴム栓をはずし、紙筒の中にガスライターからブタンガスをたっぷり入れる。ブタンガスは空気より重いので、下向きにして入れる。

(2) ＡＭラジオをガイガー管のそばに置き、スイッチを入れ、選局をはずしておく。

(3) 12V の AC アダプターをつなぎ、適当な放射線源をガイガー管の窓に近づける。放射線がガイガー管に入ると、放電が起こる。放電は小さな雷なので、そこからノイズ電波が放射され、ラジオが「ガリッと」という。

(4) 適正な電圧にするための電圧調整は以下のようにする。

電圧が低すぎると動作せず、高すぎると連続放電になる。その中間の電圧をクリップを動かして調整する。音が小さいときは電圧が低いので、クリップを動かして l_2 を少し長くする。大きな音で「シャッ」という感じの音がするときは電圧が高すぎるので、l_2 を少し短くする。何度か実験していると経験的に適正な音がわかるようになる。

(5) 適正な電圧でも陽極に塵が付いたり、汚れていると連続放電を起こしてしまう。そのようなときは、ティッシュペーパーにアルコールをたっぷりしみこませて、陽極を拭く。陽極がクリーンになれば連続放電は収まる。

(6) 紙筒に入れたガスは１～２時間はもつと思うが、紙筒のブタンガスが抜けてしまうと、正常に動作しなくなるから、その場合はガスを補充する。

（注意）l_2 を調整するときは、AC アダプターをはずして行うこと。また、電源の＋の線の金属部分には手を触れないこと。発泡スチロールで覆ってあるが、念のため。

６．静電気ガイガー計数管の製作と放射線の検出

紙筒の側面に、電気容量 0.0047 μF、耐電圧 2,500V のフィルムコンデンサーの片足を付けて固定する。このコンデンサーが電源である。感電防止のため、むき出しの部分には絶縁用のチューブを付ける。また、写真のように筒の側面に陰極用の導線をセロハンテープで固定する。紙筒の側面を発砲ポリエチレンで巻いて陰極を絶縁する。

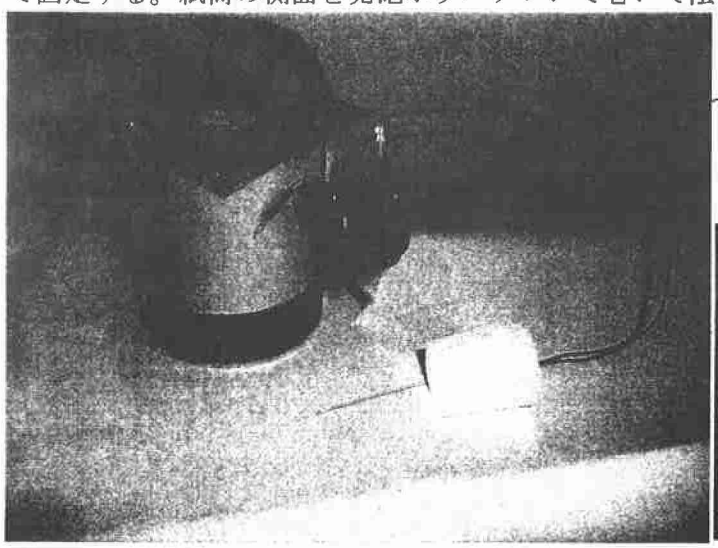


図５　コンデンサーの取り付け

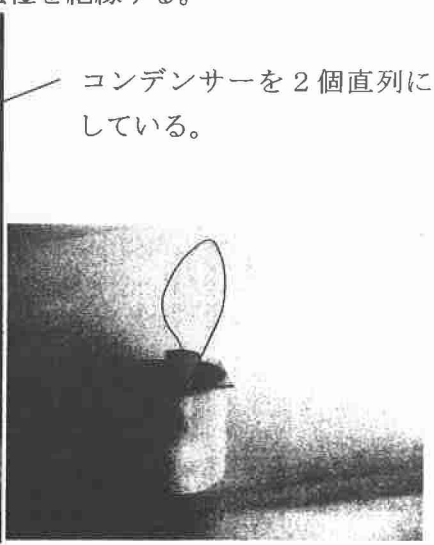


図６　静電気ガイガー管

電源部のコンデンサーを充電するのに、棒起電器を使う。その作り方を以下に示す。

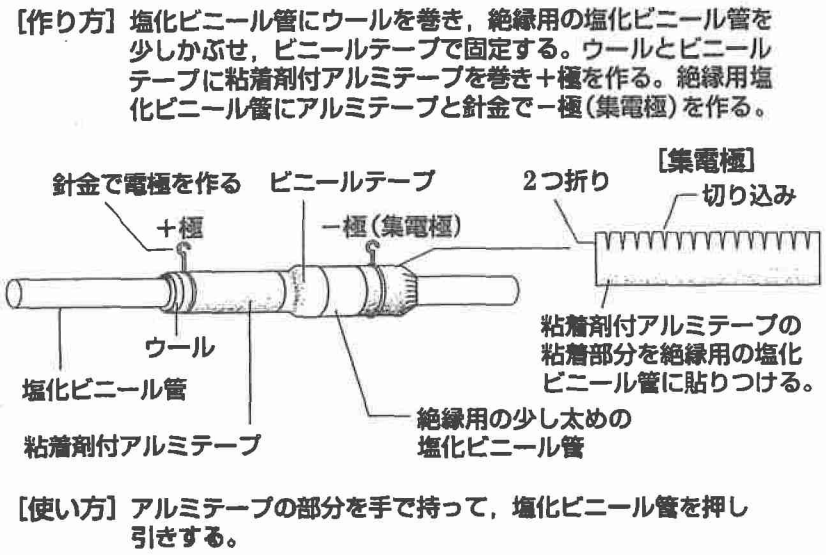


図７　棒起電器の作り方

ガイガー計数管の使い方は、高圧電源によるものと同様であるが、以下の部分だけ異なる。棒起電器の＋極を陽極の線に、－極を紙筒の側面に固定した導線に接続する。棒起電器を 70 ～ 80 回往復するとだいたいコンデンサーが充電される。充電されたかどうかは、ガイガー管のそばに置いたラジオの反応で判断する。カウントできるようになったら、棒起電器をはずす。１回の充電で 10 分くらいは持続するはずであるが、電圧が下がって測定できなくなったら、再び棒起電器で充電する。一度充電した後は、10 回程度の往復でガイガー管が動作する電圧まで上がる。

図８に、カリ肥料からの放射線を測定するようすを示す。

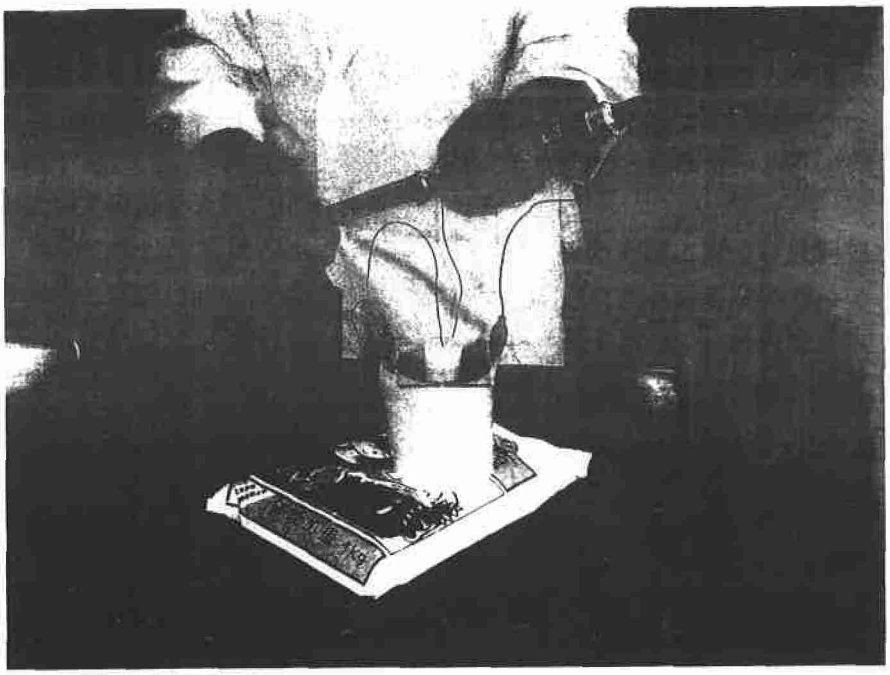


図８　静電気ガイガー計数管での放射線検出

7．身のまわりの放射線の測定と放射線の遮へい実験

生徒が授業の実験で行った結果を示す。ラジオに改造した万歩計をつけ、放射線の数を数えられるようにした装置による結果である。

実験　身のまわりの放射線

1　目　的

放射線は身の回りに身近に存在していることを実験で確かめよう。

2　準　備

ガイガーカウンター、改造万歩計付きラジオ、ガスライター、ストップウォッチ、硫酸カリウム（カリ肥料）、過リン酸石灰、空気中の塵、マントル、紙、厚紙、下敷き

3　実験方法

(1) ガイガー管の中にガスライターからブタンガスを入れる。ガイガーカウンターにＡＣアダプターを接続する。

(2) 何も近づけないときの放射線の数をカウントする。宇宙線や大地などからの放射線を数えていることになる。これを自然放射線という。３分間にガイガー管に入ってきた放射線の数を測定し、１分あたりの数を求める。単位 cpm。

(3) 硫酸カリウム、過リン酸石灰からの放射線測定

ポリエチレンの袋に入っている硫酸カリウム、過リン酸石灰にガイガー管を接触させて、１分間の放射線の数をカウントする。

(4) 空気中の塵に含まれる放射線の測定

風船をウールで摩擦して帯電させ、実験室の空気中の塵を静電気で集める。測定するときは風船をしぼませ、ガイガー管を密着させて、１分間の放射線の数をカウントする。

(5) その他、時間があったら放射線を出していそうなものを測定してみる。

4　実験結果

バックグランド（自然放射線）

３分間の測定	１分あたりの数
６０	２０ cpm

硫酸カリウム、過リン酸石灰、空気中の塵など

	１回目	２回目	平均の数
硫酸カリウム	１４０	１３３	１３７　cpm
過リン酸石灰	７３	６５	６９　cpm
空気中の塵	２５２	２３８	２４５　cpm

実験　放射線の遮へい

1　目　的

放射線の遮へいについて実験して、放射線源と遮へい物でどのような違いがあるかみてよう。

2　準　備

ガイガーカウンター、改造万歩計付きラジオ、ガスライター、ストップウォッチ、グローランプの電極、マントル、紙、厚紙、下敷き

3　実験方法と結果

(1) ガイガー管の中にガスライターからブタンガスを入れる。ガイガーカウンターにＡＣアダプターを接続する。

(2) 何も近づけないときの放射線の数をカウントする。宇宙線や大地などからの放射線を数えていることになる。これを自然放射線という。３分間にガイガー管に入ってきた放射線の数を測定し、１分あたりの数を求める。単位 cpm。

バックグランド（自然放射線）

３分間の測定	１分あたりの数
６０	２０ cpm

(3) グロー管の電極（プロメチウム、β線源）を用いた遮へい実験

グロー管の電極をＧＭ管から約 3cm 離して、間に何もないとき、遮へい物として薄い紙、厚紙、下敷きを用いたときの放射線の数をカウントする。

(4) マントルを用いた遮へい実験

(3)と同様な実験をする。

	遮へい物	１分間の数	測定値－自然放射線の値
プロメチウム	なし(空気)	２６８　cpm	２４８　cpm
	薄い紙	２０８　cpm	１８８　cpm
	厚紙	３０　cpm	１０　cpm
	下敷き	３０　cpm	１０　cpm
マントル	なし(空気)	２１６　cpm	１９６　cpm
	薄い紙	２１６　cpm	１９６　cpm
	厚紙	１９６　cpm	１７６　cpm
	下敷き	１５６　cpm	１３６　cpm

８．生徒の感想

2002 年の夏休みに学校説明会で体験授業を行った。そのときの、参加した中学３年生の実験の感想を以下に記す。

① 私は自分の生活に放射線など関係ないと思っていましたが、今日の実験で空気中の塵や肥料など、身近なところからでているのがわかりました。多く浴びなければ体に害はないと聞いたので安心しました。

② 今まで、放射線とは原子爆弾の中に含まれている有害なもので、ふだんの私たちの生活とは関係ないと思っていたので、こんな身近にあることを知りびっくりしました。実験も楽しかったし、知らなかったことが知れてよかったと思いました。

③ はじめてふつうの状態でも、放射線はでてることを知りました。ものすごく身近にあるんだぁって思ってとてもびっくりしました。ふだんから人は被ばくしているということにものすごい違和感を感じました。ふだん、TV とかで事故などのニュースを見てうわーとか思っていたので、この実験はいい体験だったなあと思います。たった 50 分だったけどものすごくおもしろかったです。

④ 今までではよくわからなかった放射線のことを知り、よい経験になったと思う。いつも、私たちのまわりには放射線があることもわかった。とてもわかりやすく興味深い経験になった。

⑤ 今日、初めて放射線のことをくわしく勉強して、最初の方は放射線というものがどんな物質なのかもよくわからなかったけど、実験を通じて、放射線というものが身近に感じられた。もし、自分の近くで、大量の放射能もれがあったら、すぐにそこから遠ざかって、建物に隠れようと思う。

⑥ 意外にもいろいろなところから放射線がでていることがわかった。大量に浴びなければけっこう平気だということもわかった。

⑦ 放射線は体に悪いので浴びない方がいいと聞いていたけれど、浴びてしまうのは仕方がないことだと思った。身近にあるあらゆるものから放射されていることがわかり、少し怖いように感じた。

⑧ 放射線と聞くと、なんか恐いってイメージがあったけど、身近によくあって、多量にあびなければ平気だそうなので少し安心しました。放射線の種類にもよるけど、簡単にしゃだんできることがわかり、驚いた。

⑨ 普通に生活している中でも、放射線が出ていることがわかった。放射線はしゃだんすることができるのがわかった。爆弾の放射線は、もっと勢いがあるから、人に害があるんだと思う。放射線の数を数えられることに驚いた。

⑩ 高校での授業は難しそうだけど、くわしく説明してもらえるので理解することができました。実験も、いろいろためすことができてよかったです。

⑪ 放射線というのはすごく自分の身近なものだということを初めて知ることができたので実験に参加してよかった。

⑫ 普通の状態でも放射線がある。放射線にはいくつかの種類があってそれぞれに性質が異なる。放射線は身近にたくさんあるということがわかってびっくりした。実験は楽しいですね。

⑬ 食塩には放射性の物質がない。過リン酸石灰も少ないが、カリ肥料と空気中の塵には

多くあった。プロメチウム、マントルともにくうきちゅうだととても多い数の放射線があったが、厚紙、下敷きで遮蔽するとプロメチウムだけ著しく低下した。(マントルはあまり変わらなかった)。意外なものからも放射線が出ると知って驚きました。新鮮なことばかりですごくおもしろかったです。

⑭ 放射線の事件などはニュースでよく耳にしていたが、こんなに身近なものだとは知らなかった。よい体験になったと思う。

⑮ 普段身近なものが多かったのがビックリした。放射線が身近にあることがわかって勉強になった。

⑯ 中学校ではやらないことができてよかった。２学期に友達に話したいです。

⑰ 楽しかったけど疑問があったので解決（？）したかった。

⑱ 放射線が身近なところにあるなんて知らなかったです。放射線が数で分かって楽しかった。説明が分かりやすかったです。

⑲ 放射線がたくさんさえぎるものとあまりさえぎらないものとがあってびっくりしました。実験は、すごく楽しかったです。

⑳ 身近なものにも放射線は含まれていて、とくに空気中の塵から多くの放射線が出ていることにおどろいた。

９．おわりに

私がガイガー計数管の研究に取り組んだのは、今から 10 年以上前である。初期のものに比べると、現在のものはずっとシンプルになっている。今までいろいろなところで製作研修会を行ったが、100%動作するようになった。陽極をていねいに作ることと、適正電圧を与えるという２点がポイントである。

霧箱によるα線と宇宙線の観察、ガイガー計数管によるβ線の測定、「はかるくん」によるγ線の測定を組み合わせれば、放射線についての基本的な実験はほぼ網羅できる。

中学生の感想の中にあるように、放射線は身のまわりにありふれて存在するということを体験するのに、このガイガー計数管が活用していただければ幸いである。

参考文献

1) 秋葉原の「国際ラジオ」という店で手に入る。ただし、現在品切れである。
2) 矢野淳滋　：物理教育 38-4(1990)312
3) 米村傳治郎：物理教育 41-2(1993)192

新学習指導要領におけるエネルギー・環境・放射線教育について
Energy, Environmental and Radiation Education in　New Course of Study

青森大学大学院教授　江田　稔(Eda Minoru)

１．環境・エネルギー教育で身に付ける能力

平成１５年度から「総合的な学習の時間」が始まり、「環境・エネルギー」をテーマとし学習が行われるようになった。しかし、その範囲は広く、教師の指導経験もないことから現場ではどう扱ったらよいのか戸惑いが見られる。環境・エネルギー教育を本格的に推進するためにこれから必要なことは、カリキュラム開発と地域社会との連携による教育である。

学校でできることは、身近な環境問題を切り口にして、ある時間数で、できるだけ体系的に学習する展開案を考え、体験的な活動を行わせながら、知識を深めるとともに思考力、判断力、意思決定能力を育成することである。

環境・エネルギー教育を通じて身に付ける能力は、文部科学省発行の「環境教育指導資料」に述べられている以下の考え方によるとよい。

(1) 問題解決能力

環境・エネルギー問題について、自ら課題を見付けたり、調べたり、判断するなど問題解決型の学習を行うこと。

(2) 数理的能力

環境・エネルギーに関するデータを集め、分析したり、数量的な処理をしたりする力を育成すること、特に、理科や数学教育と関連づけることが大切である。

(3)　情報処理能力

環境・エネルギーに関する情報を収集し、選択、処理したり、それに基づいて予想したり判断する力を養うこと。

(4) コミュニケーション能力

環境・エネルギー問題について、データを集めたり、調査、観察、実験などを行い、討論したり、自分の意見を発表したり、レポートを書いたりすること。

(5) 環境を評価する能力

環境の変化をとらえ、環境に与える影響を評価し、自分なりの価値判断や意思決定をして具体的な行動に移すこと。

環境教育では、知識だけでなく判断力や意思決定能力、問題解決能力や実践的態度を身に付けることが大切である。

２．　環境・エネルギー教育で扱う内容

環境・エネルギー教育で扱う内容としては次のようなものが一般的である。

生態系の維持・人口問題、食糧問題・病気とその予防・森林、公園、湿地帯等の保全・生物種の多様性の管理、水資源の管理と水質保全、大気汚染の防止、ゴミ問題と資源のリサイクル、エネルギー資源の利用と開発、環境に有害な物質、毒物の管理などである。

これらは広い範囲にわたるので、すべてを扱うことは難しい。したがって、限られた時間の中でできるだけ体系的にカリキュラムを構成することが求められる

このうち、エネルギー教育では次のようなことを扱いたい。

エネルギーの科学的理解、 資源・エネルギーの開発、 資源・エネルギーの利用、 資源・エネルギーの有限性 、 資源・エネルギーの利用にかかわる環境問題、省資源・省エネ・リサイクル活動

現状を見れば、リサイクル活動、省資源等の体験的活動は行われているものの、エネルギー教育を体系的に構成して取り組んでいる学校はまだ少ない。

その理由は、エネルギー概念が抽象的であること、価値対立的なテーマを扱うこと場合があること、エネルギー教育の範囲が広すぎることなどである。

しかし、エネルギー教育の重要性を認識し、実践したいと願っている教師が増えつつあることも事実である。そういう教師のため、環境教育プログラムで、エネルギー教育を５時間で展開する案、10 時間で展開する案など、それぞれの学校が望む時間数に応じた指導案を開発することが求められている。

4．放射線教育

環境・エネルギー教育の一環として、放射線の性質や利用について正しく理解することが重要である。ただ、理科の学習指導要領では、高校以上で詳しく扱うことになっている。

その理由は、放射線は「エネルギー」の学習と関連させて扱うのが自然だが、力学的エネルギーの指導で手一杯のところへ、やや内容が難しい放射線を加えにくいこと、もう一つは、実験器具が高価、放射性物質の入手が困難なことなどである。指導要領の基本的な考え方は「観察、実験にもとづき…を理解する」となっており、実験がないと本当の理解につながらないという考え方である。一方で、観察・実験の困難なものは扱わなくてよいのかという議論もあり、今後検討の余地があろう。

総合的な学習ではそのような束縛はないので様々な学習が可能である。できるだけ多くの学校で放射線教育に取り組むよう奨励・支援するとともに、その結果を広めていく必要がある。

5．　環境・エネルギー教育を推進する上での留意点

環境・エネルギー教育の指導に当たっては、次のような点に特に留意する必要がある。

(1)　先進校の育成

環境･エネルギー教育の実践を奨励し､指導法の開発及び優れた教師を発掘､育成することが大切である。まずは、地域の核となる学校や教師を育て、その成果を広めて活用することである。先進校のアイデアを実践、評価、フィードバックすることによってさらに改善する。これを繰り返すことによってよりよいカリキュラムが作られていく。

(2) 体験的な学習の重視

ものづくり、見学、現地調査、映像資料の活用、インターネットの活用などできるだけ体験的な活動を取り入れること、また、省エネやリサイクルを実践するなど、循環型社会の実現に向けた活動をする。

(3)　学習方法の習得

討論、発表、データ処理などの学習方法を習得させることが大切である。

イギリスには、ＳＡＴＩＳ（Science and Technology in Society）という我が国の総合的な学習に似たプロジェクトがあるが、そこでは、 一連の学習が終わると読書活動､・質問への解答､・討議､・問題解決､・意思決定､・体験活動・ 実験､・計算､・ロールプレイ､・ケーススタディー､・調査､・プレゼンテーション､・データの収集・分析・処理など、多様な学習方法がひと通り体験できるようになっている。

総合的な学習では、学び方の習得も大きなねらいである。

(4) 教師が連携協力する

社会科、理科、技術・家庭科など関係する教科の教師が協力してカリキュラムを開発したり実践したりすることが大切である。

その際、ＮＰＯや各種施設など地域との連携が大切である。文部科学省では平成 16 年度から、学校とＮＰＯとが連携して教育を推進する事業を開始した。そこでは、環境教育をはじめ様々な分野での協力、連携が試み始めており、成果が期待できそうである。

ＯＥＣＤの調査によれば、我が国の成人の科学的素養は世界の最低レベルだというが、今後ＮＰＯが成熟し､市民が教育や行政の意思決定にかかわるようになれば､科学への関心､科学的素養も高まるであろう。

Aomori University

日本の中学・高等学校教科書における放射線関係の記述に見られる傾向*

松浦辰男、関本順子、高木伸司、飯利雄一　（ＮＰＯ法人放射線教育フォーラム）

１．はじめに

われわれ放射線教育フォーラムが 10 年前に設立された当時から、教科書における原子力・放射線関係の記述に関心をもち、主に高等学校で使用されている理科のみならずあらゆる科目のできるだけ多くの教科書について調査し、その結果を学会等でたびたび報告した。そして 1998 年と 2000 年にそれぞれ著書(1)、ならびに論文(2)として公表した。最近の調査により判明したことは、当初、理科の教科書においてさえ明らかに不正確な記述があったがこの 10 年の間にかなり改善されたこと、しかし理科以外の一般社会などの文系の科目においては、原子力・放射線に関する記述において、専門家の考え方とは離れた、妥当とは思われない記述が依然として少なくない傾向がみられていることであった。

この報告では、最近の数年間に発行された教科書について、とくに最近の高等学校の学習指導要領の改定(3)により理科に「理科総合 A」などの新しい科目が生まれたので、それらの科目と最近発行され検定が終わった教科書について、また従来から原子力･放射線に対して批判的色彩の強かった「一般社会」、「政治・経済」など文系の科目の教科書における記述の妥当性に注目して、また中学校の最近の理科及び社会の教科書について要約して報告する。なお、最近の教科書では、賛成・反対の両方の意見を併記して、いわゆるディベート方式で生徒の自発的理解をもとめる方法の採用という新しい傾向が見られる。（以下、太字は学習指導要領から、イタリックは教科書からの引用である。）

２．高等学校の理科の教科書

2.1.「理科基礎」

学習指導要領でこの新規の科目に関して、原子力や放射線に関する特定の言及はなく、ここで教えるべき内容に「**エネルギーの考え方の形成**」また「**科学の課題とこれからの人間生活**」の項目があり、後者では**物質とエネルギー、生命と環境などの分野から社会における科学に関連した話題を取り上げて、身近な人間生活とのかかわりについて平易に扱うこと**、となっている。2 社から 3 種の教科書が発行され、2003 年度から使用されている。

T 書籍のものは原子力発電についてかなりのスペースが割かれ、比較的適切に書かれている。ただし、「*原子力の利用が重大な危険をはらむものであることを示す事故は、日本においても発生した（1999 年 9 月）*」とある。しかしこの（JCO）事故は、開発中の特殊な燃料の製造中に、明らかに当事者の重大な規則違反によって生じたものであるから、これが経常的な原子力の利用に本質的に関連しているような印象を与える記述は好ましくない。

D 図書のものは原子力に関する記述がほとんどない。この「理科基礎」は必修科目の一つとなっているのであるから、学習指導要領においてもっと明確にエネルギーやエネルギー問題に関連して原子力の役割に関する基礎的知識を教えるようにとの指示がされ、どの出版社の教科書を採用してもその学習ができることが望ましい。

2.2.「理科総合 A」

---

*この報告は、2004 年 8 月に開催の第３回放射線教育に関する国際シンポジウムに提出した論文を少し加筆したものである（2005 年 3 月）。

学習指導要領ではこの科目で教えるべき内容として、「**資源・エネルギーと人間生活**」で、「**人間生活にかかわりの深い化石燃料、原子力、水力、太陽光などの利用の際見られる現象は、エネルギーという共通概念でとらえられえることを理解させる。**」そして「**エネルギー資源の利用**」で「**蓄積型の化石燃料と原子力及び非蓄積型の水力、太陽エネルギーなどの特性や有限性及びその利用などについて理解させる**」、となっている。そして「内容の取り扱い」で「**原子力に関連して、天然放射性元素の存在やα線、β線、γ線の性質にも触れること**」、となっている。また『学習指導要領解説』(4)では「**核分裂の連鎖反応による熱が発電に利用される点を火力発電との対比で簡単に示し、エネルギー資源としてはいずれも有限であることを扱う。その際、臨界にもごく簡単に触れる。環境への配慮については、例えば、化石燃料が温室効果をもたらす二酸化炭素の発生への対応や、原子力発電の安全対策や放射性廃棄物の管理にも触れる。**」となっている。

7社から発行されて検定済の 7 種の教科書を調査したが、いずれも原子力発電の基礎的原理や放射線の単位、利用などについて、かなりの紙面を割いて概してほぼ適切に書かれている。ここで記載されている内容が「必修課目」として多くの生徒に十分理解されることはたいへん好ましい。以下、3社のものについて、一部は細部にわたるが論評する。

S 社の、「*放射線が何か自然と離れた、実体のない特殊なものであると思っている人が多い。放射線は実体をもち、身辺にもつねに存在することを理解しよう。*」はよい記述の例である。

T 書籍「理科総合 A　システムとしてみる自然」で、「*原子力発電では、ウランの原子核に中性子をあてて核分裂をおこさせ、この際に放出され熱となって取り出される大きなエネルギーを用いて発電させる。*」は結果として事実ではあるが、この過程は、核分裂の直後ただちに大量の熱エネルギーが出るのではなく、(核分裂の前後の質量差に相当する、1回の核分裂につき約 200MeV に達する) 核エネルギーが、まず核分裂生成物の原子の運動エネルギーとなり、これらの原子が近傍のほかの原子と衝突を繰り返し、その結果多くの原子や分子の熱運動となってその部分が高い温度になるのである。従って、この教科書（82ページの図２）の「原子力エネルギー」の説明で、４個の粒子（核分裂生成物の中性子それぞれ２個）が４方向に飛び跳ねるほかに、「エネルギー」という矢印が２方向に放出される図になっているが、これは正しくない。

そのほかの箇所で、「*ウランの原子核は、中性子を吸収すると２つに分裂する。*」は、割合は少ないが３つに分裂することがあるので、厳密には正確ではない。「通常２つに分裂する。」が正しい。また原子力発電の制御で、「*制御棒によって核分裂の速度を制御する。*」は、制御棒について、研究用原子炉ではこの通りであるが、BWR 型や PWR 型の発電炉では運転中の原子炉の制御は制御棒でなく、循環水の流量制御とか循環水中にホウ酸などの中性子を吸収する物質を含ませておきその濃度の調節による。従って、「制御棒などによって」としてはどうか。また制御するのは正確には原子炉炉心部の中性子の濃度、あるいは単位時間中に起こる核分裂の頻度であるから「*核分裂の速度を制御する*」とはいわずに「核分裂を制御する」だけのほうがよいのではないか。

K 館のもの「理科総合 A －物質とエネルギーを探求しよう」については以下の通り。

「エネルギーの移り変わりと保存」のところで、「*エネルギーの総量は保存されるが、利用可能なエネルギーの量は徐々に減少してゆく。*」との記述、エネルギー消費に関するいくつかの図（「一人当たりのエネルギー消費と世界人口の変化」、「世界で１年間に使用するエネルギー資源の変化」、「日本で 1 年間に使用するエネルギー資源の割合」など）は適切である。また核分裂の説明のところで、「*分裂した核などの運動エネルギーは熱エネルギーに*

なる。」の説明、放射能と原子力発電に関する記述、「*原子力発電では二酸化炭素を殆ど発生させない。*」との記述、自然放射線の存在が数値を入れて記載されていること、放射線の種々の分野での利用や障害について触れている囲み記事（放射線と人間）、核燃料サイクルのことや高レベル及び低レベルの放射性廃棄物処理にも触れて解説してあるなど、原子力に関する種々の基礎的知識が良く説明されている点で高く評価される。

ただし、放射線障害の説明で、「*急性障害が起こらない量の放射線でも、後になってからのがんや遺伝的障害が、浴びた放射線の量に応じて、わずかに増えると考えられている。*」は、現在の放射線防護の法律体系がこのような考え方が基本になっているのでこの記述はやむを得ないが、この考え方に合致しない最近の低レベルの放射線影響に関する知見が早く公に認められて、もっと真実に近い記述がされるようになることを著者は切に望む。同じ意味で、「*放射線はなぜ人体に危険なのだろうか。・・・*」は、「放射線は、なぜ場合によっては危険であることがあるのか。」という質問とし、放射線の大量はたしかに危険であるが、天然に存在する程度の少量であれば危険度は高くないことを教えねばならない。

2.3「物理 II」　（平成 16 年度から使用されているもの)

（1）K 館のもの

「放射線の利用と人体への影響」について、6 ページにわたり説明がある。その中で、「・・・*発ガンと遺伝的影響は、今のところ、これ以下なら影響が全くないといえる安全量の存在が確認されていない。*」との記述があるが、現在、ある量以下なら影響がないとする線量(いわゆるしきい値)について、存在すると考えるのが正しいという報告がでつつあり、全くないと断定することへの疑問が強まっている。したがって、「・・・安全量の存在についてはなお研究の段階である。」などの表現にするべきである。また、「*放射線被曝によって発ガンし死亡するリスクは、国際放射線防護委員会によると、1 mSv あたり 2 万人に 1 人と見積もられている。*」については、他の教科書にも記述があるが、この数値の考え方に大きな疑問がでており、数値として取り上げるこの記述については再考の必要がある。「実験 1」として、「霧箱の製作と放射線の観察」について、原理、準備、方法について、詳細な説明があるのは良い。

(2) S 出版のもの

「放射線とその性質」（8 ページ）で、「放射能と放射線の測定単位」、「放射線による障害」の見出しで解説あり。「*・・放射線の人体への影響は複雑で、被曝量と障害との関係、障害の内容、放射線の種類による違いなどについて、一律に、簡単に述べることはできない。しかし、大まかに言うと、放射線による生物の組織や器官への影響は、皮膚に近いところや細胞分裂のさかんなところほど大きい。骨髄・リンパ節などの造血器官、生殖腺などが影響を受けやすいのはこのためである。*」について、放射線の生物への影響の表現は容易ではないので、この文は「組織や器官への影響は、一般的に言って・・・」「細胞分裂のさかんなところほど、顕著である。」のように少し加筆(または修正)が必要であろう。またこの内容は、説明の仕方が重要である。

（3）J 出版のもの

放射線（7 ページ）については「放射線と放射能」、「原子核の崩壊」、「半減期」、「放射線の作用と測定」「放射能・放射線量の単位」、「放射線・放射性同位体の利用」、「放射線の人体に対する影響」について、また核分裂と核反応（4 ページ）については「原子核反応」、「核分裂と原子炉」の項目で記述がある。この中で「*放射線を受けた細胞は、損傷が軽微ならば修復できるが、多量の放射線をうけ、損傷がおおきくなると放射線障害を起こす。一般に、細胞分裂が盛んな、胎児や幼児、造血器官や消化器、生殖腺、皮膚などは影響を*

受けやすい。」は、前半が細胞、後半は個体もしくは臓器のことを言っているので、「・・・皮膚などの細胞は影響を受けやすい。」のように修正したほうがよい。

（4）S 堂のもの

「原子核」、「放射線の利用と原子力」の見出しでそれぞれ 7 ページ、4 ページにわたり記述がある。「*短期被ばくでは、2～3Sv が致死量といわれている。*」は短期的被ばくで 2～3 Sv が致死量とは低すぎる。6～10Sv と思うので、そのように修正すべきである。なお、「短期被ばく」は「短期的被ばく」または「瞬間的な被ばく」とする。

「*白血病、発癌など確率的な影響は、10mSv につき、100 万人あたり、100 人の癌死増になるといわれる。*」 これは前述のように、低レベルの放射線影響の考え方、とくに同じ線量でも短期的な被ばくと長期的被ばくによる影響との相違（線量率効果）について知見がえられつつあり、近いうちに修正されるはずである。

「*高速増殖炉は、技術的な困難を今のところ克服できていない。*」*については、*高速炉は基本的に可能であり、困難は克服されている。ただし高速増殖炉は実用的にいろいろ困難な点はある。それ故にこの表現は誤りである。

（5）D 社のもの

「*わが国の法律では、一般の人の被曝線量の限度は、自然放射線と人工放射線を合わせて、年間 5 ミリシーベルト（mSv）とされている*」については、線量限度には自然放射線は含まれていない。「一般人について、人工放射線について年間（5 ではなく）1mSv とされている。」とするべきである。

（6）D 図書のもの

「*細胞には修復機能があり、自然放射線を浴びた程度ではまったく問題がないことが知られている。*」 この記述はよい。「放射線の防御」に関して、「*・・必要以上の被爆はさけるべきである。法律では、一般人が自然放射線と医療行為以外で浴びる放射線量は年間 1 mSv 以下に規制されている。医療の現場などでも、被ばくを最小限におさえるため、①放射線を鉛などで遮る、②放射線源と距離を置く、③放射線を浴びる時間を短くする、④サーベイメーターやフイルムバッチなどによって、放射線の量を常に監視する、などの注意が払われている。*」 の記述について、放射線被ばくを少なくするための基本的な考え方が書かれているのでたいへん結構であるが、医療行為による患者の被ばくについては現在のところ法規による規制の対象外であり、上記の記述は医療従事者についてであるので、「・・・医療の現場などでも、医師・看護師等の従事者については、被ばくを・・・」のような文章を挿入するのが正しい。

（7）T 図書のもの

放射能と放射線の単位について、「*放射能の強さは、放射性原子核の個数と、その半減期で決められる。同数の放射性原子核の個数がある場合は、半減期が短いほど放射能が強い。*」

これは正しい。

3．現行の高校の理科以外の（社会・政治経済・地理・など）教科書

3.1 学習指導要領における（エネルギー・.環境・原子力・放射線に関しての）指示

地理歴史では、「世界史 A」で「**原子力の利用、情報科学、宇宙科学の出現など科学技術の人類への寄与と課題を追求させ・・・**」、「世界史 B」では「**核兵器問題、・・・を歴史的観点から・・・**」、「地理 A」では「**環境、資源・エネルギー、人口、食料および居住・都市問題を地球的及び地理的視野から追及し・・・**」、「地理 B」では「**環境、エネルギー問題の地域性を・・・**」となっている。

公民では、「現代社会」で「**地球環境問題、資源・エネルギー問題、科学技術の発達と生命の問題、・・などから、地域や学校、生徒の実態に応じて、二つ程度を選択して取り上げ主体的に課題を追求させるよう工夫すること**」、「政治・経済」では「**地球環境問題、核兵器と軍縮、・・・などについて、政治と経済とを関連させて考察する。**」となっている。

保健体育では、「保健」で「**人間の生活や産業活動は、自然環境を汚染し健康に影響を及ぼすこともあること。このため、種々の対策がとられていること**」となっている。

3.2　記述の一般的現状

これらの科目の教科書では、以前よりは改善の跡が見えるが、エネルギー供給における原子力の役割について評価を与える一方で、その安全性について不安や誤解を与えかねない表現がしばしば見られる。本章では、その実情を読者に知っていただくため、また紙数の関係で不適切と考えられる代表的な記述の箇所を（解説はほとんど省略して）列挙するだけとし、後の章（５章）において、その代表的な半ばパターン化した文言について著者らが改善が望ましいとする考え方を述べる。

3.3　不適切であると考える記述の実例

「原子力利用による放射能汚染も公害の一種である。」「原子力発電にはさまざまな問題が残されており、燃料となるウラン鉱も有限で、その分布は偏っている。」(J 出版「現代社会新訂版」)

「原子力発電は原子炉の安全性や核分裂により生ずる「死の灰」の処理など、他の代替エネルギーにはない問題点が指摘されている。放射能の毒性を解決する技術的方法は確立されておらず、周囲に放射能が漏れないような半永久的な管理が必要になる。」「今回の(JCO)事故で、プルトニウム利用計画の抜本的見直しが迫られている。」(H 出版「新版現代社会」)

「原子力発電は石油・石炭などを原料にする火力発電に比べて、ごく少量の原料で大きなエネルギーを生み出す。しかし課題も山積みしている。一つには、チェルノブイリ原子力発電所事故に代表される発電の過程における放射能漏れなどの問題、二つ目には、発電で生じる低レベル放射性廃棄物の安全な管理・保管の問題がある。さらに、使用済み核燃料のなかでも再利用できるプルトニウムと燃え残りのウランをとりだす再処理の際に発生する高レベル放射性廃棄物の問題もある。」「原子力発電は、少量の核燃料で大量のエネルギーを得られるが、放射性汚染の恐れをぬぐい去ることはできずにいる。」「高速増殖炉で生じた使用済み核燃料は放射能が強い。」「新エネルギーには、太陽光・太陽熱・風力・潮汐・波力・地熱などがあり、その多くは無限エネルギーである。」（これでは新エネルギーに期待を持たせすぎる感じがする。）（以上 D 学習社「現代社会」）

チェルノブイリ原発事故について*「１９９５年に国際連合がまとめた報告書は、事故後の復旧作業にたずさわった約８０万人の人々にガン発症の危険があり、現在も放射能汚染地区に７００万人以上が居住を余儀なくされていて、そのうち約７割の住民が発ガンの恐怖などで精神的障害に悩んでいる。」*原子力発電の得失で、*「原発事故は、その危険性はきわめて大きい。また、原発事故にともなって出る放射性廃棄物の処理や耐用年数を経過した原子炉の解体などにおいて、十分な安全性が確立されていないとする論議もある。」*（以上 T 出版社「現代社会」）

「チェルノブイリ事故のような放射能汚染は、国内の被爆問題だけではなく、地球全体の環境汚染問題である。」「原子力発電は、放射能汚染や廃棄物処理など、解決すべき問題がのこされている。」「原子力は、地球温暖化の原因となる炭酸ガスの発生もなく、実用化が進んでいるが、放射性廃棄物の処理方法は確立されておらず、危険な事故が頻発している。」（D 学習社「政治･経済」）

「イタリアやスウェーデンなどでは、住民投票をおこなって国民の意思を問い、原発の縮小にむけてすすみはじめた。ただし、スウェーデンでは、1991年に原発廃止延期を決定した。ドイツでは、2000年に19基ある原発を稼動32年で全廃することが決められた。これにより、2020年代はじめまでに原発が全廃される見通しとなった。」(J出版「政治・経済新訂版」)

「原爆症で死ぬ人もあとをたたない。」「旧ソ連のウクライナ共和国のチェルノブイリ原子力発電所の大事故(1986年4月、放射能被ばくで死者約300人)からもわかるように、放射能漏れの不安がつきまとい、さらに放射性廃棄物などの問題もあるので、日本を含む多くの国で、原発の推進に反対する動きが見られる。」(死者300人はどこからの数字だろうか。誇張である。)*「環境に影響を及ぼさない自然エネルギーの開発が期待されている。太陽光・地熱・風力・波力などの発電がその例で、いずれも燃料費はただで、ほぼ永久的に供給されるエネルギーである。なかでも太陽光・地熱の発電開発が注目されている。」*(K書店「新政治経済」)(燃料費は無料かもしれないが、設備費もかかり、容量・効率のことも考慮しなければならない。)

4．現行の中学の教科書の記述について

4.1　中学校学習指導要領(5)の指示について

理科分野では、「**科学技術と人間**」の項目で、「エネルギー資源の利用と環境保全との関連や科学技術と人間生活とのかかわりについて認識を深めるとともに、日常生活と関連付けて科学的に考える態度を養う。」「ア　**エネルギー資源**」で「人間が利用している**エネルギーには水力、火力、原子力など様々なものがあ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。」となっている。

社会科地理的分野では、「**資源や産業から見た日本の地理的特徴**」という項目で、「世界的視野から見て、日本はエネルギー資源や鉱物資源に恵まれていない国であること、土地が高度に利用されていること、産業のさかんな国であることといった特色を理解させるとともに、国内では地域の環境条件を生かした多様な産業地域がみられること、**環境やエネルギーに関する課題などを抱えていることを大観させる。**」となっている。

社会科公民的分野では「**世界平和と人類の福祉の増大**」という項目で、「・・**核兵器の脅威に注目させ**、戦争を防止し、・・・人類の福祉の増大を図り、よりよい社会を築いていくために解決すべき課題として、**地球環境、資源・エネルギー問題などについて考えさせる。**」と書かれている。またこの部分について、学習指導要領解説(6)では、

「資源・エネルギー問題においては、**資源・エネルギーの有効な開発・利用**や**新しいエネルギー開発とその利用**とともに、資源循環型社会への転換を図るための省資源、省エネルギー及びリサイクルなどの必要性に気付かせる。そして、人類の将来にわたる発展と自然との調和を図るために、持続可能な開発を推進することの重要性について理解させながら、**地球環境の保全と資源・エネルギーの開発・利用を進めていくことについて考えさせる**ことを意味している。その際、課題学習を取り入れ、・・・「世界的な視野と地域的な視点」に立って、**地球環境や資源・エネルギー問題について追求させる**など・・」と説明されている。

4.2　中学理科教科書の記述における一般的傾向

① 水力・火力・原子力による発電のしくみの説明と図がどの教科書にも見られることは良い。しかしこれらの在来の方法による短所は書かれているが、新エネルギーの短所があまり書かれていず、これらに過剰の期待を抱かせる傾向がある。

② 自然放射線の存在や、放射線が有効に利用されている記述が少ない。放射線の説明があまりなく、その危険性のみを教えている。

4.3 中学社会科（地理的分野・公民的分野に共通して）教科書における傾向

① 原子力関係の記述が減少している。

② 「*チェルノブイリ事故による放射能汚染により、今でも多くの人々が苦しんでいる*」、「*発電所や関連施設の安全性と放射性廃棄物の保管などに問題がある*」、「*放射能はあらゆる生物にとって、その生存をおびやかすような危険性がある。*」（K 出版「社会」）など原子力や放射線に不安を抱かせる記述が目立つ。

③ 「*原子力発電は安全性について問題がある。いったん事故が起これば、被害は取り返しのつかない深刻なものとなる。・・*」（K 出版、「公民」）のように、原子力の欠点に強調が見られ、原子力を廃止して、すべて新エネルギーにすべきであるような論調が見られる。

5．教科書（高等学校・中学校）における不適切な記述について

以上見て来たように、理科以外の「一般社会」などの文系の科目では、依然として不適切あるいは説明不十分な記述が多く見られる。一般的に高校・中学の教科書に共通して原子力に関する記述について批判されるべき、あるいは問題である点は、

（1） 現在、着実に利用が進んでいるものと、いつ実用化が可能になるかわからないエネルギー源を同一に扱っていることが多いこと。現在消費されているエネルギー全体の中で自然エネルギーが占める数値（これは現在わずか１％である）が示されていないので、自然エネルギーだけですべてを代替できるような錯覚を与える。

（2） 「原子力に関する危険な事故が頻発」という表現は、どの程度のレベルで、どの程度の頻度の事故をさしているのか曖昧で、読者の不安をあおる表現になっている。

（3） 放射線の影響に関して、量的な記述なしに危険である、という印象を与える記述は望ましくない。しかし、量的な記述をしたくても、また「物理 II」でされているが、専門家の間でその数値に統一見解がないのが現状である。

以下、不適切な記述の具体的実例と不適切であるとする理由を簡単に説明する。

（1）「原子力は人体に有害な放射能を大量に発生させる。」（T 書籍「現代社会」）、「放射性物質は極めて有毒なため、処理が難しい。」（T 書院「地理Ｂ」）――（放射能が有害あるいは有毒かどうかは数量に依存するので、一概に決め付ける記述は正確ではない。）

（2）「放射性廃棄物は環境汚染の原因となっている」（T 書籍「政治・経済」）、「放射能は、あらゆる生物にとって、その生存を脅かすような影響をあたえる。」（K 出版、中学『地理』）――（そもそも環境には天然の放射性物質が存在するので、人間は常時その影響に順応しており、それに少し人工の放射性物質が加わっても実質的に問題はない。）

（3）「原子力発電所の安全は完全ではない。」（J 出版「現代社会」）――（トラブルの発生はゼロではないが、すべての技術において 100％安全というのはありえない。）

（4）「放射性廃棄物の処理方法は確立されていない。」（S 出版「政治・経済」）――専門家によれば処理方法は確立されている。

（5）「チェルノブイリ原子力発電所の事故の影響は、ヨーロッパの全域にまで及び、なお将来にわたって深刻な事態が続くと予想されている。」（T 出版社「現代社会」）――（事故の直後に全ヨーロッパに降下した放射性物質は、一部の地域を除きその放射能は消滅している。）

（6）「世界では、脱原発の方向が強まっている。」(T 書籍「日本史 A」)――（その動き

があった一部の国ではその後見直しが行われている。一方積極的に導入しようとする国もある。原子力以外の代替エネルギーの実現可能性等を考慮すると、簡単にいい切れない。）

（６）「原爆の放射能による後遺症により死ぬ人があとをたたない。」（K 書店「政治・経済」）――（原爆投下後約 60 年を経過した現在、被ばく者と一般市民の寿命とを比較したところ、統計的に原爆被災者の方が短命であるとの結果になっていない。また死亡原因が原爆によるとの科学的証明ができない。）

（７）「原子力関連施設に対する軍事攻撃を受けた場合、通常兵器によるものでも核戦争なみの放射能被害が生じる。」（Y 出版「現代社会」1998 年発行）――（これは航空機落下の場合にも当てはまるが、原子力発電所が外部から炉心部分に達する破壊があったとしてもそれは臨界状態から遠い方向になるので連鎖反応が止まる。被害は局部的である。）

そのほか、「原子炉からの放射能漏れは少しでもあってはならない。」という考え方は、上記（2）の説明で、シビアに考えるべき問題ではない。

６．終わりに――いかに改善するか

専門家は、教科書の不適切な記述について、もっと積極的に著者・出版者・文部科学省に指摘を行うべきである。現在の教科書の執筆者に原子力・放射線関係の専門家が加わっていないことが現状をもたらしている原因であろう。

しかし、それ以前の問題として、今の学習指導要領による原子力や放射線関係の事柄を教える指示は、各科目について、また中学と高校、また理科と社会科の守備範囲などにおいて果たして適切かどうかという基本的問題がある。小学校でも放射線に関する極めて基本的な知識は教えるべきであるとの意見を聞く。また、ここで述べた「理科総合」の場合のように、教科書出版社によって、原子力関係の記述がある教科書ではかなり詳しく、一方別の教科書ではまったくない、と言うような状況は、とくに必修科目においては望ましくない。これは教科書検定官への注文である。

これに関して、一つの問題提起をする。それは、「総合的な学習の時間」ができたが、これをエネルギー・環境・原子力の教育にいかに活用すべきかということである。現在は、この科目設立の趣旨に添った教育運営が必ずしも十分に行われていないように思える。この際、「資源・エネルギー・環境問題」というような新しい科目を新設し、ここでは、専門家の手が入った標準的な教科書を作って、授業では、理科と社会科の教員が必ず協同してその内容を分担して指導にあたることにするなどはいかがなものであろうか。

（**謝辞**　本報告書を執筆するにあたり、最近の教科書について資料を提供され、あるいは資料の閲覧についてご便宜を賜った電気事業連合会広報部、科学新聞社、日本原子力学会、社会経済生産性本部に感謝する。）

７．文献

（1）　松浦辰男・飯利雄一，「放射線・原子力教育と教科書」研成社、1998 年 2 月

（2）　松浦辰男・飯利雄一・高木伸司・関本順子，「過去 2，3 年の高等学校の教科書における原子力・放射線関係の記述の傾向」日本原子力学会誌、43 巻、487－492　(2001)

（3）　「高等学校学習指導要領」平成 11 年 3 月

（4）　「高等学校学習指導要領解説　理科編　理数編」平成 11 年 12 月

（5）　「中学校学習指導要領」平成 10 年 12 月

(6)　「中学校学習指導要領解説－社会編」平成 11 年 9 月

放射線・原子力教育
根拠のない不安を取り除く



NPO法人放射線教育フォーラム　事務局長　松浦　辰男

一　はじめに

原子力の技術水準を維持し、今後の発展を続けるための人材養成が必須である。ところが、原子力に対する最近のいわゆる逆風の社会風潮は、若い人たちに将来この分野で仕事をしようという意欲を大きく阻害している。もっと社会全体がエネルギー・環境問題における原子力の重要性を認識し、その社会受容を進める必要がある。技術の社会受容のためには、その重要性だけでなく、それへの信頼、すなわち技術的な安全性とともに社会心理的な安心が得られるように、教育すなわち正しい情報の普及が十分に行われねばならない。

原子力教育については、原子力に密接に関係している放射線教育が極めて重要である。それは、原子力についての人々の不安は、原子力施設から放射線・放射能が何らかの原因で漏れてくるかもしれないということであり、それが少量でも危険であるといわれているために健康への影響を過度に心配するからである。

平成二年に総理府により行われた世論調査によると、「原子力発電について不安・心配である」が九〇・二%にも達していて、その原因は、「放射線・放射能が人体や子孫に影響を与えるから」（四二・八%）、「事故や故障などで放射線・放射能が漏れるから」（三九・一%）などであった。しかし、「原子力推進か、反対か」と聞かれると最近の調査（平成一六年の日本原子力文化振興財団の報告書）では、原子力の「推進・容認」が六九%で、「廃止」の三二%を大きく上回っている。

教育は学校教育と社会教育に大別されるが、学校教育は文部科学省が、社会教育ではマスメディアに大きな責任がある。現状をもたらしている原因を十分に調査検討するとともに、適切な改善策を政府・学界教育界・産業界・マスメディアが、日本の将来に関する共通の危機意識を持って策定し、協力して実行する必要がある。

われわれNPO法人放射線教育フォーラムは一〇年前に設立されたボランタリー組織であるが、社会全体の原子力・放射線技術を中心とする近代技術の円満なる受容を図ることを最終目的として、調査活動、刊行物による情報発信、講習会開催、あるいは政策提言などの活動を、主に学校教育の改善に重点をおいて行ってきた。本稿では、この一〇年間の経験に基づいて、放射線教育に関連する現状の分析と、現状を改善するための処方箋ともいうべき解決策を二、三提案する。

二　放射線教育の重要性と学校教育

国民が放射線・放射能を危険視している原因はいくつかある。(1)まず日本が原爆の被災を経験し、この悲惨な災害の主な原因が、放射線・放射能の作用である、と長年聞かされてきたことである（事実は、原爆のエネルギーのうち約一五%だけが放射線・放射能の寄与である）。(2)次に、マスコミが、海外の原子力発電所の事故や国内の原子力関係のトラブルをしばしばセンセーショナルに報道するので、一般の人々がその影響を受けて原子力の安全に対する信頼を失っている。(3)さらに、放射線は微量でも（特に遺伝的影響やがんの発生において）人体に危険であるとする仮説（しきい値なしの直線仮説）に基づく厳しい法的規制があることである。知識人や社会の指導者層を含む多くの人がこれを科学的事実と信じて、少量の放射線、すなわち誰もが常時受けている自然放射線程度の量の放射線を余分に被ばくしても心配するに及ばないことを納得していないことが大きく影響している。

社会教育の基礎は学校教育であるので、文部科学省が、科学技術振興とともに、原子力に関する国策を初

核や放射線は高三の選択、生徒の知識はアジアでも最低

等・中等教育でもっと積極的に取り上げることが必要である。ところが、教育課程の策定という重要な仕事は、従来の慣習である一縦割り行政」のために、一部の文部官僚と少数の「教育専門家」によりなされてきた。いわゆる文化人を含む教育専門家の大部分は文系の人で、理科教育に対する理解が十分でない人が多いように思われる。今大きな論議をよんでいるのは、ここで策定された『ゆとり教育』の余波を受けて、理科の授業時間数の減少と呼応して理数科の学力低下が起こっていることで、いまや「危機的である」として警鐘が鳴らされている。そして日本の一般市民の科学的知識が比較された先進十数か国のうちで最低に近いことも周知の事実である。また以前からわが国の青少年の原子力に関する基礎的知識が欧州六か国に比して低いことが問題となっていたが、最近の調査で放射線に関する知識が東南アジア数か国と比較しても低いことが報告されている。

エネルギー問題と環境問題とは本来切り離すことができないのであるが、文部省の従来の考え方は、環境のほうは熱心に取り上げるが、原子力に関係しているからということで、エネルギー問題さえも中学や高校の理科の科目でも積極的に取り上げることが避けられてきた傾向があった。しかし数年前にわれわれが当時の文部省に要望書（松浦辰男・飯利雄一、「放射線・原子力教育と教科書」、研成社、一九九八年）を提出したことも有効に働いたのか、最近の学習指導要領では高校理科に「理科総合A」などの科目ができ、この中で「資源・エネルギーと人間生活」に関して「原子力に関連して天然放射性同位体の存在やα線、β線、γ線の性質にも触れること」、というような指示がなされるようになった。

学校教育における問題点を箇条書きにすると、

(1)文部省の姿勢　放射線・放射能が原爆と結び付けて考えられ、このような「戦争や大量破壊兵器に関連する嫌悪すべきもの」は「平和教育」の立場から、また「イデオロギー的に価値対立的であって教育態度をきめにくい」との理由で、「難解である」として、原子力反対の教員組織の意向に配慮する形で、文部省が、環境問題などに比して、エネルギーや放射線という自然科学的事象や原子力の平和利用に関する国策を教えることに消極的であった。

(2)学習指導要領　上記の姿勢を受けて、学習指導要領において、放射線・放射能が、小学校や中学校の理科でまともに取り上げられていない。中学では、理科でほとんど教えられないのに、必修となっている社会の公民や歴史の分野で、「核兵器の脅威」などを教えよとなっているので、原爆に関連して放射線・放射能が非常に危険なものである（大量に被ばくするのは危険に違いないが）、と文系の教員から教えられている。

最近になって高校にできた「理科総合A」で、エネルギー環境問題や原子力・放射線を積極的に取り上げることになったが、その内容は以前中学で教えられていた程度のものである。そして原子核や放射線に関する正しい知識は理科の「物理Ⅱ」で高校の三年生の最後に教えられるのであるが、「選択」の扱いとなっており、複数の学会から大学入試にこの分野からは出題しないようにという要望が出ている。従って、大部分の生徒が、天然に放射線・放射能の存在することも知らないで高校を終える可能性がある。

(3)教員の問題　指導する教員自身が正しい知識をもっている必要があるのだが、教員の意識を調査した結果は、一般市民よりも原子力・放射線に後ろ向きであるとの傾向があることがわかっている。すなわち、原文振の調査（平成一四年）によると、学校教員は、放射線に関するプラスのイメージが一般市民よりも低い。また、学校教員が放射線に関して教えた経験は「ある」が六一％であったが、「ない」が三七％あり、「教えた時間は一時間以内」が約七〇％であった。またその内容はと聞くと、上記の社会科での学習指導要領の指示のためか、「放射線の危険性」（六三％）、「原爆や戦争との関連」（五八％）など、「放射線の役立つ面」（四八％）に比べて放射線のマイナス面のことを主に教えている事実がわかるのである。

三　「放射線教育」の定義・範囲

放射線教育として教えられるべき内容・範囲は、狭義には、自然現象としての放射線・放射能の本質（原子核の現象としてのα・β・γ崩

壊)、核分裂、素粒子、原子核の構造、同位体など、環境における放射線・放射能の存在、放射線や放射性同位体が学問的・医学的・工業的にその利用が広く行われていること、放射線の生物影響の最近の新しい研究結果に基づく正しい知識と放射線防護に関する考え方、核エネルギー・臨界・核燃料・廃棄物処理など原子力発電に関する基礎的知識など、純然とした科学的・技術的問題、さらに広げてエネルギー問題・環境問題における原子力の役割、各種エネルギー資源の利害得失、放射線・原子力の利用に伴う事故に関する正確な情報、核兵器の種類の客観的知識などの、ほぼ純粋に自然科学的対象になるであろう。

一方広義には、つぎのような、自然科学以外の問題が含まれる。それは放射線・原子力技術の利用に関する価値判断の問題、広くは科学技術の社会的受容、また近代社会における種々のリスクのできるだけ正確な科学的データ、リスク/ベネフィット問題、(新聞報道などを批判的に見る目を養う)メディア・リテラシーの問題、原子力に関する歴史的・国際的諸問題などである。放射線教育の重要なポイントはこの広義のテーマである。

四　教科書の不適切な記述の事例

最近の理科の教科書では、以前よりかなり改善されてきたが、「一般社会」などの文系の科目では、いくらかは改善されているが、原子力関係の問題は依然として不適切あるいは説明不十分な記述が多く見られる。以下、不適切な記述の実例と不適切であるとする理由を簡単に紹介する。

(1)原子力は人体に有害な放射能を大量に発生させる(T書籍、現代社会)、放射性物質は極めて有毒なため、処理が難しい(T書院、地理B)――放射能が有害あるいは有毒かどうかは数量に依存するので、一概に決め付ける記述は正確ではない。

(2)放射性廃棄物は環境汚染の原因となっている(T書籍、政治・経済)、放射能は、あらゆる生物にとって、その生存を脅かすような影響をあたえる(K出版、中学『地理』)――そもそも環境には天然の放射性物質が存在するので、人間は常時その影響に順応しており、それに少し人工の放射性物質が加わっても実質的に問題はない。

(3)原子力発電所の安全は完全ではない(J出版、現代社会)――トラブルの発生はゼロではないが、すべての技術において一〇〇%安全というのはありえない。

(4)放射性廃棄物の処理方法は確立されていない(S出版、政治・経済)――専門家によれば処理方法は確立されている。

(5)チェルノブイリ原子力発電所の事故の影響は、ヨーロッパの全域にまで及び、なお将来にわたって深刻な事態が続くと予想されている(T出版社、現代社会)――事故の直後に全ヨーロッパに降下した放射性物質は、一部の地域を除きその放射能は消滅している。

(6)世界では、脱原発の方向が強まっている(T書籍、日本史A)――その動きがあった一部の国ではその後見直しが行われている。一方、積極的に導入しようとする国もある。原子力以外の代替エネルギーの実現可能性等を考慮すると、簡単にいい切れない。

(7)原爆の放射能による後遺症により死ぬ人があとをたたない(K書店、政治・経済)――原爆投下後約六〇年を経過した現在、被ばく者と一般市民の寿命とを比較したところ、統計的に原爆被災者の方が短命であるとの結果になっていない。また死亡原因が原爆によるとの科学的証明ができない。

(8)原子力関連施設に対する軍事攻撃を受けた場合、通常兵器によるものでも核戦争なみの放射能被害が生じる(Y出版、現代社会、一九九八年発行)――これは航空機落下の場合にも当てはまるが、原子力発電所が外部から炉心部分に達する破壊があったとしてもそれは臨界状態から遠い方向になるので連鎖反応が止まる。被害は局部的である。

そのほか、「原子炉からの放射能漏れは少しでもあってはならない」という考え方は、上記(2)の説明で、シビアに考えるべき問題ではない。専門家は、これらの不適切な記述について、もっと積極的に著者・出版者・文部科学省に指摘を行うべきである。

五　社会の放射線教育の問題点

報道関係者の意識と姿勢の問題

報道関係者自身は、種々の情報を得やすいので放射線に関する知識は一般市民よりも高いにもかかわらず、放射線に関する報道経験について調査した結果は、その経験はあるが、「国内や海外での事故について」、「放射能汚染の問題について」などマイナス面の話題の報道が主で、調査した五〇人のうち、放射線の「プラス面を報道したことがまったくない」(二六%)、「一割未満」(三六

%)、「一～二割くらい」(二四%)と、その八〇%がプラス面をほとんど報道していない。報道関係者の態度を悪くいえば、原子力や放射線を怖がっている一般市民の感情に迎合する記事を書いている、ということになる。これでは、「現在のマスメディアは社会の不安感を増幅している」と批判されても仕方がない。

六　放射線教育の基礎となる事実

放射線教育にあたっては、次の諸事実を基礎的知識として理解していなければならない。

(1)放射線・放射能が大昔からこの地球上あらゆるところに存在する。

(2)放射線は、線源からの距離を置く、遮蔽体を置く、接触する時間を制限する、という三原則で被ばく量を少なくできる。

(3)放射線は大量はたしかに危険であるが、天然の放射線として常時、あるいは定期健診で年間一、二度浴びている程度の少量は全く健康に影響がない。また放射線の影響は天然・人工に拘わらず全く差異はない。

(4)自然科学の対象はただ存在するというだけでなく、存在量に応じてその作用が違う。

(5)有毒物質も、健康に影響する量は数量に依存し、少量であれば人間の身体がひとりでに防御する機能を有し、場合によっては有益に働くことがある。

(6)放射線だけが、少量でも大量浴びたときと同じ割合でリスクがあるとする「しきい値なしの直線的仮説(LNT仮説)」は誤りである。その確実な証拠が筆者らにより広島・長崎の原爆被爆者のデータから得られている(松浦辰男・菅原努http://www.iips.co.jp/rah/)。

(7)原爆の被ばく者の子孫に遺伝的影響はでていない。

七　終わりに――現状の改善策

(1)学校教育では

①義務教育課程において、「放射線はわれわれの身の回りにも常時存在するものであって、この程度の少量ならば危険なものではない」ことをすべての生徒に認識させるために、全国の小・中学校に簡単な放射線測定器を配布して、「総合的な学習の時間」などにおいて必ず実習させる。そのための教員への研修会も必要かもしれない。

②高校の理科で「理科総合A」を完全な必修科目にする。

③教員に放射線や原子力を中心とする知識を正確に教えられるように勉強していただくために、理科の教員には研修制度を義務付けて、最近の科学技術に関する研修会に定期的に参加せねばならないこととする。そして、最近は原子力に関する正しい情報が方々から出ているので、授業には、それらの資料を使うことを徹底させる。エネルギー問題や放射線に関する常識をもってもらうことは、社会科などの科目を教える文系の教員に対しても必要であるので、文系の教員向けの研修会もできるだけ頻繁に開催する。

④教育政策に関する衆知を集めるために、委員会の審議内容の情報公開をすすめ、一般からも広く意見を聞く。

などがある。

(2)社会教育では

①マスコミ関係者が、原子力のマイナスの面ばかりを取り上げずに、種々の分野で放射線が有効に利用されているなどのプラスの面をもっと取り上げていただく。そして日本の将来に明るさを与えることに役立つような報道を心がけられることを強く要望する。

②社会全体の意識に影響力の大きいマスコミ関係者・国会議員など社会のオピニオン・リーダー層への放射線教育が必要である。そのためには、この階層の方々にこの問題の重要性を理解していただくための意識調査・懇談会などを企画して、少しずつ実行する(そのためには公的予算による財政的支援が必要であろう)。

③原子力施設のトラブルなどがあったときに直ちに正確な情報が報道機関に発信できるように、十分な技術的知識があり問題を専門でない人に適切に解説できる能力のある『原子力関係の報道官』を政府が平素から養成しておく。

(3)放射線影響に関する考え方

低レベルの放射線影響に関して、科学的事実として「しきい値」があるとの考えが今や国際的な専門家の多数の意見となりつつある。このことはわれわれがこの八月に開催した国際会議でも確認した。わが国の専門家も少なくとも放射線に関する法規を厳しくするという改悪を阻止すべく積極的に発言して、国民の「放射線恐怖症」の低減に努力していただきたい。

教員に研修で知識を、マスコミにプラス面の報道を望む

放射線をもっとわかり易くする方法について

理論放射線研究所　　大野新一(OHNO，Shin-ichi)

1. 放射線がわかるということはどういうことか

一般的に言って，物事がわかるということは，事実・内容・意味がはっきりととらえられるようになることである。とくに放射線の場合は，それを受け入れて価値や細かい区別や道理を見抜く十分な理解力がある（岩波国語辞典）ことをいうようである。

さらに問題を細分する：

a. どのようなものを放射線とよぶのか（＝放射線の定義)
b. 放射線はどのようにして発生するのか（＝放射線の誕生）
c. 放射線は物質に対してどのように作用を及ぼすのか。とくに生物作用はどのようにして始まるのか（放射線作用）
d. 自然界に存在する放射線は，c の観点から見て，実際にわれわれに影響があるような量なのか（自然放射線）

こうしてみると放射線を理解することはかなり難しいことのように思われる。事実，たいへんな苦労を要するものであり，何十年も放射線の研究あるいは業務に取り組んでいても，自分のごく狭い領域の仕事は詳しく把握して処理できるようになっていても，放射線の本質についての満足な理解は得られないのが普通である。

しかし考え方の基本・原理をのみこむのは可能であると思われる。

学校における放射線教育は，この考え方の基本・原理の教育でなければならない。総合的学習などを持ち出さなくても，それは言うまでもないはずである。

2. 現実の放射線教育の状況

ふつうに行なわれている放射線教育でとりあげられる内容はどんなものであろうか。

「放射線は怖いもの，放射線は役に立つもの，医療に欠かせないもの，放射線はどこにでもあるもの，食べ物のなかにも私たちの身体のなかにもあるもの，生命は誕生のときから放射線の影響を受けてきた，放射線は生命の進化に重要なもの」，「放射線は正しく管理すればまったく心配ないもの。アルファ線は紙１枚で，ベータ線はアルミ板１枚で，ガンマ線は鉛ブロックでとまる。飛行機に乗ると放射線量が多いとか，西日本で増加するとか」――こうした知識を受講者に与える。知識はインターネット，雑誌，放射線関係の書籍，放射線セミナーで得たテキストなどに掲載されている。

こんなことを教え込まされて，そして覚えて，知識をためてみたところで，放射線について何がわかったといえるのであろうか。たしかに放射線という言葉に慣れることはあろう。慣れさせられたというべきである。しかし価値や道理を見抜く理解力がつくであろうか。

3. もっとも安易な方法を選ぶ講師たち

放射線について話をする講師の多くは，手っ取り早く説明せざるを得ないためもあって，グレイやシーベルト単位の説明はしない，アルファ粒子は紙一枚でとまるがガンマ線や中性子は透過性が大きい，また何シーベルトだと致死線量であるとか，直線仮説とかしきい線量があるとか，ホルミ

Theoretical Radiation Research Laboratory

シスがあるなどを説明して，これをもって科学的事実であるとして話を終わる。聴いていても面白くないし，原理・基本が何も分からないまま終わる。これでは教育とはいえない。

なぜこうなるかといえば，こうした講師が関係する放射線教育の目的が原子力の普及，すなわち一般人あるいは青少年に対して「放射線」という言葉に慣れさせることを最大の目的としているからであろう。そこで放射線とはなにかについてほとんどわかっていない人，ただし断片的な知識を多くもつ人が講師をつとめているのが現状である。

大学や研究機関の研究者向け，あるいは放射線を正しくわかりたいと願っている人たち向けの放射線教育としては，1の a, b, c, d を理解させることがどうしても必要であると考えられる。こうした受講者用の放射線教育の必要性を思い，放射線研究に携わる科学者，大学の教師らが協力して教育のあり方や放射線をわかりやすく説明する方法を検討する必要があると考える。大学の先生も，とくに原子力の学科の人は，原子力普及のためを考えるような枠にはめられた人が多いようなので，これからは物理学科，それも宇宙物理，天文，地球物理，惑星科学などの人たちなど，もっと自由に考えることのできる立場の教育者・研究者の協力が望ましいと思われる。

4. 説明方法の試案

a. 基本粒子（電子，中性子，陽子など）がたがいに引力で集合を保っているときに物質が形成される。ところが基本粒子がそれぞれ単独で走っている状態が存在する。これが放射線である。走っているということはエネルギーをもっており，このエネルギーが他の物質中の粒子に与えられて物質をつくっていた粒子の集合がこわされるとき，放射線作用が始まる。

原子核と電子の間のクーロン力による集合（原子・分子・結晶），中性子や陽子の間で働く核力（強い力）による集合（原子核），大きな質量をもつ物体どうしの間で働く重力による集合（天体）などが物質の例である。

b. 放射線の誕生　物質にエネルギーを与えて基本粒子の集合をこわし，そのうちのどれかを走らせる。走らせる方法としては荷電粒子（電子，陽子，複数の陽子をふくむ原子核など）を電場の中に入れることである。(加速器の原理)

c. 物質中の原子・分子内の電子のごく近くを走りすぎる荷電粒子(＝放射線)を考える。原子・分子内の電子は，荷電粒子の電荷の大きさ（0，1，2，・・）と近くを通りすぎるさいの時間（10^{-18} s ～10^{-20} s）の両方に依存して，放射線からエネルギーをうけとる。このとき電子は量子化により，一定値以上のエネルギーでないと受け取ることはできない。

電荷の大きさとエネルギーの大きさによって放射線の物質に対する透過性が大きく変化すること，そしてたとえば1 Gy (= J/kg) のエネルギー吸収で（水温は0.00025℃上昇でしかないはずが），1 kg の水（10^{25}個の水分子）のなかで 10^{17} 個のイオン化を起こすという量子化による放射線反応の効率の良さを理解して欲しいものである。

d. 自然放射線はきわめて少量であり，あえてとりたてて語るほどのものでない。普通の常識ではその存在量はゼロとするのが科学的というべきであろう。一人の人間はおよそ 10^{27} 個の原子をもち毎日およそ 10^{25} 個の原子を排出しまたとりこんでいる。こうした数値的感覚がそなわる以前の子供たちに向かって，「君のからだから毎秒 4000 個も放射線がでている。」その証拠として「はかるくん」など胸にあてがわれたこどもの心痛を思いやるべきである。

e. まず必要なのは原子や分子の構造の理解である。原子や分子は電子と原子核から成るが，大部分は何もない空間であり，その空間を外から走ってくる粒子が通りぬける。ときに電子にニアミスして電子が弾き飛ばされる。ニアミスの頻度が何によるか（入射粒子の速度と電荷の大きさによる），電子が飛ばされてどのような効果が起こるか（電離や励起はもちろんであるが，たとえば化学反応や生物効果までが重要）を考えることである。

低レベル放射線の影響に関する最新の話題

低レベル放射線の生体影響に関する検討委員会

１．国際シンポジウム（ISRE04）における「低線量放射線影響」のセッション

内外の専門家による招待講演および参加者からの発表が行われた。ポーランドのZ. Jaworowski 氏（アルゴンヌ研究所の井口道生氏が代読）、ドイツの K. Becker 氏の「放射線恐怖症―重篤だが治癒可能な精神的疾患」、L. Feinendegen 氏の「低レベルの放射線影響の生物学的影響」、近藤宗平氏の「低線量放射線の健康影響」、酒井一夫氏の「放射線適応応答の最近の研究」など、しきい値なし直線仮説の不適切さを指摘する発表に対して、LNT 仮説をとるべきとの参加者との間で、かなり激しい、真剣な意見交換がなされた。

２．講演会「低レベル放射線の影響を考える――K. Becker さんを囲んで」

2004 年 8 月 30 日、電力中央研究所（大手町）会議室において、「放射線恐怖症を克服する」(Radiophobia: A Serious But Curable Mental Disorder)をテーマに K. Becker 教授（放射線・科学・健康協会副会長、ドイツ・スイス放射線防護学会初代会長）の講演会を開催。コメンテータとして、酒井一夫（電力中央研究所）が、放射線影響研究の立場から、また、金子正人（放射線影響協会）が放射線防護の立場から話題提供を行った。K. Becker 教授は、社会的にも経済的にも大きな負担を強いることになってきたLNT（しきい値なし直線）仮説からのパラダイム変更に向けたヨーロッパの最近の動向に触れ、わずかな放射線量が許容されるかどうかという問題は、新しい科学的証拠、経済的、政治的利害、メディアの影響などが複雑に絡んでいることことを示されました。

３．米国保健物理学会の声明

6000 名をこえる会員を擁する世界最大の放射線防護の専門学会である米国保健物理学会（The Health Physics Society）は、1996 年に採択した“放射線リスクの均衡のとれた扱い”（Radiation Risk in Perspective)と題する声明を、一部字句修正のうえ、2004 年 8 月に再度、発表した。低線量放射線のリスクを考える上で、参考になると思われるので、以下に声明の主文を翻訳して紹介する。

（声明の主文）

放射線の健康リスクについての現在の知識に鑑み、保健物理学会は、自然放射線源から受けるものに加わる一年間の個人線量が 5 レム（50 mSv）未満、あるいは生涯に受ける線量が 10 レム（100 mSv）未満の場合には、健康リスクの定量的な評価を行わないように勧告する。

合衆国における自然バックグラウンド放射線からの線量は、およそ一年あたり 0.3 レム（30 mSv）である。生涯のはじめの 17 年間に 5 レム（50 mSv）の線量を蓄積し、80 年という一生涯では約 25 レム（250 mSv）もの線量を蓄積する。

自然線源から受けるのと同程度の大きさの放射線量による健康リスクの評価は、厳格に定性的であるべきであり、仮想的な健康影響の範囲としては、そのような低レベルにおいては健康への悪影響はないという可能性をも含めるべきである。

高線量被ばくの健康リスクについては、多くの納得のいく科学的な証拠がある。しかしながら、5～10 レム（50～100 mSv）（職業上の被ばくおよび環境からの被ばくを含む）未満については、健康影響のリスクは、小さすぎて観察されないか、存在しないかのどちらかである。

４．フランス科学・医学アカデミーの報告書

「低線量電離放射線による発がん効果の評価と線量効果関係」（M. Tubiana、A. Aurengo 他）と題する報告書が、2004 年 10 月 5 日、フランス科学・医学アカデミーによって採択された。フランス科学・医学アカデミーの考え方を理解する上で参考になるので、簡単に要約して以下に紹介する。

（要約）極低線量（20 mSv 未満）の放射線による発がんリスクの評価は、ほとんどの放射線検査以下であり、放射線業務従事者や自然放射線が高い地域の被ばくもこの程度かそれ以下である。がんの罹患率は、生活条件によって大きく変わるため、発がんリスク評価に放射線生物学が大きな役割をはたしている。細胞は、電離放射線による損傷の蓄積を受動的にこうむるのではなく、少なくてもつぎの 3 つのメカニズムで反応する。

a) 酸化的ストレスの後、発生した活性酸素と戦う。
b) 損傷した細胞を除去する。損傷が修復されない場合には、アポトーシス（嵩 mSv 程度の低線量でも始動できる）または分裂死による細胞死が起こる。
c) 10 mSv 程度の線量により DNA 修復システムが刺激され始動する。

単位線量あたりの誤修復の数は、極低線量についてはわずかだが、線量や線量率とともに増加し、単位線量あたりの発がん効果は、線量と線量率で異なる。しきい値は、アポトーシス、正確な修復、免疫等の監視機能の連合と関連しているが、現在の知識では、しきい値のレベル（5 mSv? 20 mSv? 50 mSv?）を判断することはできない。動物実験による研究の 40 %で、低線量照射後の動物において、がんの自然発生頻度の減少がみられている。線量 0.2 から 5 Sv についての観察に基づいて低線量による発がんリスクを評価する場合に、しきい値なし直線仮説（LNT）を使用することには正当な根拠がない。

LNT 仮説は、およそ 10 mSv 以上の線量に対する放射線防護の規則を定めるための実際的なツールとしては有用である。しかし、現在の生物学的知識に根拠付けられたものではないので、極低線量に外挿するにはまだ議論が必要があり、放射線診療に関して臨床医に求められる便益—リスク関係の評価にも使用できない。極低線量に関して LNT を使用すると、リスクを過大評価して、病人に有用な情報をもたらす可能性のある検査を諦めさせる結果になりかねない。

放射線防護についていうと、この報告書を読めば、放射性廃棄物もしくは汚染リスクの問題に直面する意思決定者は、極低線量率による極低線量被ばくのリスク評価に使用される方法論を再検討することになるはずである。

最後にこの報告者は、一般集団の被ばくリスクを評価するために集団線量の概念を使用するのは不適切であることを主張している。

低レベル放射線のリスク評価に関する最近の話題

金子　正人
（財）放射線影響協会

国際放射線防護学会第11回国際会議
（IRPA11、11th International Congress of the International Radiation Protection Association）

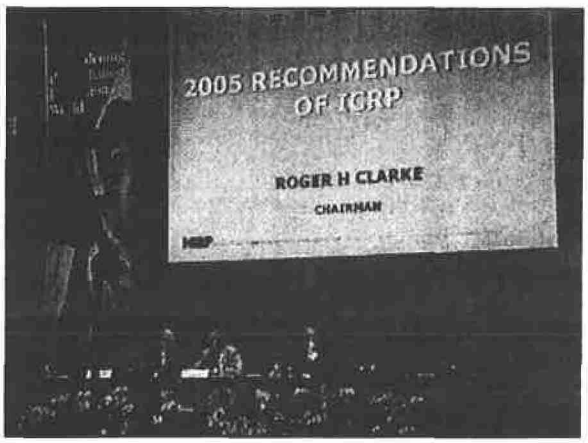
- 会議の開催目的：研究者、技術者が専門家としての意見や情報を交換し、放射線防護上の諸問題について論することにより、国際的な交流と協力の輪を広げる。今回の会議のモットーは、"Widening the Radiation Protection World"
- 主催：国際放射線防護学会（IRPA）及びスペイン放射線防護学会
- 日時：2004年5月23日（日）から28日（金）
- 場所：Madrid City Congress Hall（マドリード市、スペイン）
- 出席者：82か国、1,400名以上
  事前登録者の内訳（5月14日現在の暫定、79か国、1287名）
  スペイン304、フランス102、日本94、英国85、米国70、ドイツ65、オランダ34、スウェーデン34、ベルギー30、イタリア28、カナダ28、オーストリア27、フィンランド26、ブラジル22、ロシア21、・・・・・、インド8、中国7（香港を加えると9）、韓国4、台湾4
- プログラム：Sievert賞記念講演（A. Gonzalez）、招待講演（UNSCEAR, ICRU, ICRP）、5つのパネル討論（低線量の放射線影響、21世紀に向けてのICRPの提案、福島巻とがん、自然放射線からの防護、放射線防護の社会的側面と公衆の参画）、基調講演（15）、リフレッシャー・コース（16）、口頭発表、ポスター発表（9分野）
- 配布資料：大会プログラム、参加登録者リスト（5月14日現在の暫定版）、抄録集（369頁）、論文集（CD-ROM）
- 次回予定：第12回国際会議は、総会における投票の結果、2008年10月19～24日にアルゼンチンのブエノス・アイレスで開催することとなった。

Sievert賞受賞講演

IRPAの最高の賞であるR_Sievert賞は、IAEAの放射線安全・輸送・廃棄物部長であるA. J. Gonzalezが受賞し、開会式に引き続いて記念講演を行った。

アポトーシスなどの放射線の細胞への影響から、バイスタンダー効果、遺伝的不安定性、適応応答などの生物現象を解説し、放射線の発がん力が弱いため小線量では統計的なバラツキのため影響を検出することが実際問題不可能であることを示した。

しきい値は、その不確実性、認識論の限界から、放射線防護の「直線しきい値なし」というパラダイムに挑戦すべきでないという。防護量にリスクを使用することは、困難であり、線量をベースにせざるを得ない。集団線量は、防護オプションの選択の際に使用すること。放置された放射線源や放射線テロの問題を指摘し、調和のとれた効率的で持続可能な放射線防護の全世界への展開の必要性を強調された。



ICRP2005年勧告案

放射線防護で用いる基本的な量である実効線量算出に必要な放射線荷重係数と組織荷重係数の変更：陽子線の放射線荷重係数が5から2に、また、1 MeV以下の中性子線の荷重係数が2分の1になり、荷重係数とエネルギーの関係がなだらかな連続関数で示される。組織加重係数では、遺伝を考えた生殖腺が0.20から0.05に、乳房が0.05から0.12に変更される。その他組織は0.05から0.1となり、14の組織の平均線量に適用することとされる。

確定的（deterministic）影響は、induction of tissue reactionというように変更される。1 Sv当たりの損害（detriment）は、90年勧告の全集団7.3 %から6.5 %に、また、成人作業者については5.6 %から4.9 %に減少する。2005年勧告の放射線防護体系は、正当化（正味の便益の正当化は規制当局で。患者の被ばくは別考慮）、定量的な勧告値（線量限度、最大線量拘束値）、最適化となる。勧告される最大線量拘束値は表S1のとおり。

PROPOSED w_T VALUES

1990		2005	
Gonads	0.20		
		Bone marrow	0.12
Bone marrow	0.12	Breast	
Colon		Colon	
Lung		Lung	
Stomach		Stomach	
Bladder	0.05	Bladder	0.05
Liver		Liver	
Oesophagus		Oesophagus	
Thyroid		Thyroid	
Breast		Gonads	
Skin	0.01	Skin	0.01
Bone surface		Bone surface	
		Brain	
		Kidney	
		Salivary glands	
Remainder	0.05	Remainder	0.1

DETRIMENT COEFFICIENTS (% Sv^{-1})

Exposed population	Lethality adjusted cancer risk	Lethality adjusted heritable effects	Detriment 2005	Detriment Pub.60
Whole population	6.3	0.2	6.5	7.3
Adult workers	4.8	0.1	4.9	5.6

単一線源から作業者や公衆が受ける線量の最大拘束値

最大拘束値（1年当たりの実効線量：mSv）	適用状況
100	人命救助、重大な障害の防止あるいは最悪な事態の防止以外の作業者に対し、また非常事態での公衆の避難や転居、管理可能な高線量被ばくに適用する。個人の被ばく線量がこの拘束値を超える場合、個人的にも社会的にも便益はない。
20	被ばくする個人に直接あるいは間接的な利益のある状況に対して適用するもので、被ばくする個人は情報、教育及びモニタリングあるいは被ばく評価を受ける。これは、職業被ばくに適用される。また、事故時のシェルター避難、ヨウ素予防措置のような対策、ラドンのような管理可能な被ばく、放射性核種による治療を受けている患者の付添と介護をする人に対し、適用される。
1	個人の直接的な利益はなく、社会的利益を受ける状況に対して適用するもので、通常時には被ばく者個人のための情報提供、訓練、個々の被ばく評価は伴わない。
0.01	いかなる拘束の場合においても、この値が最低値

ヒト以外の生物種の防護

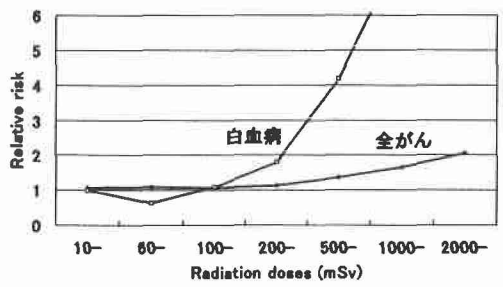
"ICRP は、現在望ましいと考えられている程度に人を防護するのに必要な環境管理の基準は、他の生物種をリスクにさらさないことを保証するものと信じている。
たまたま、人以外の種の個体に障害を生じるかもしれないが、その種の全部を危険にさらしたり、あるいは種の間に不均衡を生ずるほどのものではないだろう。"
(ICRP-60、16項)

Q: 適切に防護されているか?
----- ほとんど自明 !?
(環境モニタリング)

Current System of Radiological Protection 現行の放射線防護体系

Linear Non-Threshold (LNT) Hypothesis
「直線しきい値なし」仮説
↓
- **Justification of Practice**
  行為の正当化
- **Optimization of Protection**
  防護の最適化(ALARA)
- **Dose Limitation 線量制限**

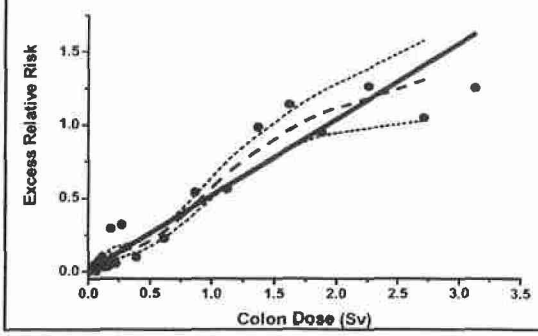
原爆被爆者集団のがん死亡相対リスク
(国連科学委員会1994年報告書より)



Solid cancer dose-response function

(averaged over sex for attained age 70 following exposure at age 30)

Preston et al. Radiat Res 160:381-407, 2003



しきい値

● 確率的影響：しきい値なし

防御機構が小線量において完全に有効である場合のみ真のしきい値（real threshold）がある （ICRP-60, 68項）

● 確定的影響：しきい値あり

被ばくした人々の少なくても1～5%に生ずるのに必要な放射線の量

（例）皮膚の紅斑；一回照射で約 6～8 Gy

（ICRP-41）

'実際的なしきい値'

実際的なしきい値：

それ以下では、検出可能な放射線発がん や 遺伝的障害の発生が期待されない。

(Z. Jaworowski, 1999)

Radiation Risk and Ethics, Physics Today, 52 (9), 24-29 (1999)

人々の放射線被ばくを "実際的な" しきい値以下に保つと

作業者も公衆も放射線を受けることでは、便益を得ていない （医療被ばくを除き）

● "実際的な" しきい値以下の被ばくでは、"放射線損害"はない ⇒ "正当化" および "最適化" (ALARA) の原則 は必要ない。

● 社会の便益のために個人の放射線損害を許した "正当化"の倫理上の問題、また、健康や安全を経済的な利得と引き替えた "最適化" の倫理上の問題をも解決できる。

放射線防護の歴史

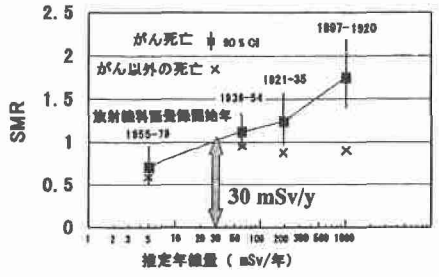
●1895年： X線発見
●1921年：英国レントゲン協会がX線・ラジウム防護委員会を 設置
●1925年：第1回放射線医学会議（ロンドン）
→ICRU（国際X線単位委員会）設置
●1928年：第2回放射線医学会議（ストックホルム）
→ICRP（国際X線・ラジウム防護委員会）設置
●1934年：ICRPは0.2 r/日の耐用線量を勧告(2 mSv/日)
●1936年：米国X線・ラジウム防護諮問委員会は0.1 r/日を勧告;ICRPは0.3 r/週の最大許容線量を承認(3 mSv/週)
●1958年：D＝5（N - 18）レム、
3レム（30 mSv）/1 3週
●1977年： 50 mSv/年の線量限度を勧告
●1990年： 50 mSv/年、100 mSv/5年の線量限度を勧告

英国放射線科医100年間の追跡調査

● 初期の放射線科医のがん死亡率は高い

● 1921年以降、がん死亡率は低下、1955年以降は一般臨床医よりも低い

●がん以外の病気による死亡率は、線量の大きかった初期（推定累積線量20 Gy）においても一般臨床医よりも低い



一般臨床医と比較した英国放射線科医の標準化死亡比（SMR）

米国保健物理学会の声明
Position Statement of Health Physics Society

●それ以下では、放射線のリスクはないか、あっても極めて小さいため、定量的なリスク評価 は、年5レム(50 mSv)か、生涯10レム(100 mSv)以上の線量を受けた者に限定すべき(1996年、2004年8月改訂)

フランス科学・医学アカデミーの報告書

「低線量電離放射線による発がん効果の評価と線量効果関係」
(M. Tubiana, A. Aurengo他)

2004年10月5日、フランス科学・医学アカデミーによって採択された。

航空機乗務員の宇宙線被ばく

ICRP1990年勧告:自然放射線であっても管理可能なものは放射線防護の対象とすべき。
⇒ 航空機の運航も職業被ばく

欧州連合(EU)の閣僚理事会指令(1996年):
航空機乗務員の放射線被ばくに関する規制・管理を要求⇒欧州諸国では、共同で航空機乗務員の発がんや死亡率についの疫学的な調査

航空機客室乗務員の標準化死亡比:
欧州8か国共同調査(Cabin Attendants)

約 44,000人、655,000人・年 (1960～97年調査)

<女性> 全 死 因: SMR = **0.80** (95%CI: 0.73, 0.88)
全がん死: SMR = **0.78** (95%CI: 0.66, 0.95)
乳がん死: SMR = **1.11** (95%CI: 0.82, 1.48)

<男性> 全 死 因: SMR = **1.09** (95%CI: 1.00, 1.18)
全がん死: SMR = **0.90** (95%CI: 0.74, 1.12)
皮膚がん死 (悪性メラノーマ): SMR = **1.93** (95%CI: 0.70, 4.44)

H. Zeeb, M. Blettner, 他 Am J Epidemio158: 35-46 (2003)

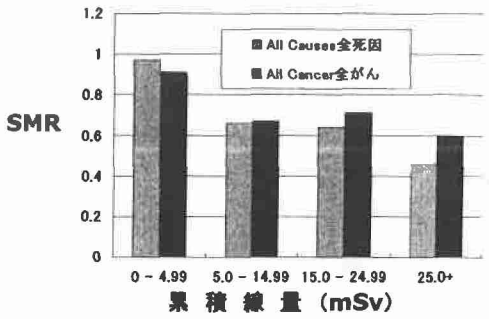
航空機パイロットの標準化死亡比:
欧州7カ国共同調査 (Airline Pilots)

19,184人(男子) 336,413人・年(1960～97年調査)

累積線量 (mSv)	0-4.99	5.0-14.99	15.0-24.99	25.0+
全死亡 All Death (95%信頼区間)	**0.97** (0.89 - 1.06)	**0.66** (0.58 - 0.74)	**0.64** (0.57 - 0.72)	**0.46** (0.39 - 0.53)
全がん All Cancer (95%信頼区間)	**0.91** (0.72 - 1.09)	**0.67** (0.53 - 0.87)	**0.71** (0.58 - 0.91)	**0.60** (0.45 - 0.77)

I. Langner, M. Blettner,他 Radiat Environ Biophys 42:247-256(2004)

航空機パイロットの標準化死亡比:
欧州7か国共同調査



展　望

放射線は少し浴びたほうが健康によい



近　藤　宗　平

1　はじめに

JCOの臨界事故では，事故現場にいた作業者3人のうち，2人が約18 Gyと約8 Gyの放射線被ばくで亡くなり，1人は約3 Gyの被ばくで助かった。これは，「放射線の急性被ばくの場合，50% 致死量は約5 Gyで，3 Gy以下なら急性死亡の危険はない」という経験法則が正しいことを証明した。

3 Gy以下の放射線被ばくなら，成人の場合，たとえ一時的に身体の被ばく部位に障害が起こってもほとんどは正常に治る。しかし，胎児の場合は，原爆放射線1.4 Gyの急性被ばくで，重度精神遅滞症が70% の高頻度で発生した。ただし，この精神遅滞症も，0.2 Gy以下の被ばく線量では，被ばくしない場合に発生する頻度まで低下し，放射線の危険はなくなった[1]。ところが，0.2 Gy以下の放射線被ばくは胎児に異常を起こさない事実[1]は，一般には知られていないようである。JCO事故の直後，事故現場から遠く離れた所に住んでいた妊娠女性の多くが，放射線の被ばくで胎児に異常が起こるかもしれないと夜も眠れないほど心配したと聞いた。

放射線は微量でも危険であるという誤解の主な原因は，放射線の微量の洩れも，放射線の事故だと過大に取り扱うマスコミなどの不誠実とも言える対応によっていると思われる。このような実例が最近起こった。

平成14年4月4日，大阪の河内長野市の日本農薬総合研究所で，廃液処理施設の配管の微小な損傷で，放射性炭素が微量外部に洩れた。新聞は，「放射性廃棄物施設で爆発」などの見出しで誇大報道をした。このとき洩れた放射能の量は，法的に安全であると許容されている範囲内であった。しかし，法的規制以内の放射性物質の洩れであったという事実を，取り締まり責任当局は明言しなかった。これらの結果，河内長野市では住民の間に放射性物質の使用そのものへの恐怖が広がった。

放射線は，かなり浴びても，痛くも痒くもない。放射線が怖いのは被ばくによる健康影響の程度で決まる。被ばく線量がわかれば，どの程度の健康影響が起こるかは，放射線の健康影響の調査資料と放射線の生物影響の研究資料から，正しい予測が得られるはずである。しかし，最近までは，放射線の健康影響の資料は，原爆被ばくの資料以外は，限られた資料しかな

かった。原爆の資料は，被ばく線量が0.2 Sv以下の低線量では信用できない。JCO事故と河内長野の放射能洩れの場合には，原爆影響の資料は適用できない。幸いにも，最近，英国放射線科医の過去100年の健康調査の結果と米国の原子力船修理作業中に微量被ばくした作業者大集団の健康調査の結果が報告された。これらの調査結果は，JCO事故と河内長野の放射能洩れの場合に適用できる。本稿では，この二つの資料の概要を紹介する。

2 適量の放射線被ばくが英国放射線科医の寿命をのばした

論文'100 years of observation on the British radiologists : mortality from cancer and other causes 1897～1997' by A. Berrington, S.C. Darby, H.A. Weiss and R. Doll は2001年6月発表された[2)]。これは放射線の健康影響に関する論文として今後長く引用されると思われる。この論文には，1897～1997年の100年間にわたって，英国放射線科医2,698人の死亡率と，放射線を浴びなかった一般の英国男性，ソーシャルクラス1†の男性，または一般臨床医男性の死亡率を比較したものである。調査は，放射線科医が初めて放射線学会に登録した年によって4期に分けてなされた。

2.1 死亡率の比較【初期1897～1920】

男性放射線科医の観察死亡数（O）と放射線を浴びない参照群（一般男性，ソーシャルクラス1の男性，または一般臨床医男性）の死亡率を用いて計算する期待死亡数（E）の比を，SMR（standardized mortality ratio：標準化死亡比）とよぶ。E は次式で求める：

$$E = n_1P_1 + n_2P_2 + n_3P_3 + \cdots\cdots\cdots\cdots + n_kP_k \qquad (1)$$

ここに，n_i は放射線科医集団の i 番目の年令階級の人数，P_i は参照集団の i 番目の年令階級の死亡率，k は調査集団で採用した年令階級数である。SMRが1より大きいか小さいかで，放射線科医の死亡率が参照群より高いか低いか判断する。

表1に初期（1897～1920）に最初の登録をした放射線科医の観察死亡数と期待死亡数の比SMRが，死因の違いによってどのように変わるかを示す。これによれば，ガンによる死亡では，放射線科医の死亡率が一般臨床医の1.75倍，ソーシャルクラス1の1.45倍で，いずれも統計的に有意に高い。一般人と比べても，有意の違いではないが，放射線科医のガン死亡率は高い。これらの事実は，1920年以前に最初の登録をした放射線科医は，臨床現場で，かなりの量のX線を毎日のように被ばくしたためであることは間違いない。ところが，表1によれば，ガン以外の原因による死亡では，放射線科医の死亡率は，一般臨床医の死亡率の0.86倍で，これは統計的に有意の減少である。一般人やソーシャルクラス1に比べても，放射線科医のガン以外の死亡率は，有意の違いではないが低い（表1）。すなわち，ガン以外の原因による死亡では，放射線科医が浴びた大量のX線は，死亡を防ぐ健康増進効果があったことを示唆する。

表1 初期（1897～1920）のSMR

死因	O	参照群	E	SMR
全原因	290	一般人	304.26	0.95
		ソーシャルクラス1	280.56	1.03
		一般臨床医	300.50	0.97
全ガン	60	一般人	47.16	1.27
		ソーシャルクラス1	41.41	1.45**
		一般臨床医	34.20	1.75***
ガン以外	230	一般人	257.10	0.89
		ソーシャルクラス1	239.15	0.96
		一般臨床医	266.30	0.86*

*$p<0.05$；**$p<0.01$；***$p<0.001$

*印の数字は，危険率（p 値）がそれぞれ5%以下，1%以下，または0.1%以下で，1に比べて相違すること（統計学的に有意の相違）を意味する．

† Social Class 1 社会統計のため英国で採用されている分類で，最上階級に属する人達；専門知識の職業人。具体例：科学者，医師，歯科医，獣医，教育者，研究者，裁判官，弁護士，検事，司法書士，経済学者，建築士，公的役人，図書館司書など。

原爆放射線の影響では，ガン以外の死亡で放射線の有害効果があると報告されている[3]。なぜ英国放射線科医の場合と違いが起こったのだろうか？　原爆放射線の被ばくは瞬時に起こった。他方，X線による医療現場での被ばくは少しずつ慢性的であった。医師として勤務した生涯（20年と仮定）被ばく線量は20 Gyと推定されている[2]。20 Gyは，急性被ばくの場合なら50%致死線量の4倍である。こんな大量被ばくでも，放射線科医に急性死亡がゼロであったのは，毎日少しずつの被ばくであったため，X線傷害はその日のうちに治って，累積しなかったからと思われる。事実，全原因による死亡では，放射線科医の死亡率は一般臨床医とほとんど変わらない（表1）。これは，死亡の20%がガン死であるから，ガン以外の死亡に対するX線の死亡抑制効果が，X線のガン死促進効果を相殺したためと考えられる。

放射線の健康影響では，被ばくが一気の場合は危険が多いが，少しずつの慢性被ばくの場合は，健康を増進する証拠が得られた。これは，酒の一気のみはしばしば危険を伴うが，同じ量の酒でも少しずつ飲むと百薬の長の効果があるのに似ている。

2.2　死亡率の比較【中期 1921～54】

1920年に，英国ではX線安全委員会が設立された。これにより，1921年以降では放射線科医の被ばく量が激減した。この結果，中期（1921～54）に最初の登録をした放射線科医の健康は向上した。

表2に示すように，ガンによる死亡では，放射線科医の死亡率は，一般臨床医の死亡率に比べて，中期前半（1921～35）で1.24倍，中期後半（1936～54）では1.12倍である。これらの少しの死亡率過剰は，統計的には有意でない。この中期放射線科医の生涯（20年）被ばく量は中期前半の医師で3.8 Gy，中期後半の医師で1.25 Gyと推定されている[2]。

2.3　死亡率の比較【後期 1955～79】

後期（1955～79）に最初の登録をした放射線科医の健康向上はめざましい。表3から明らかなように，全原因による死亡率では，放射線科医は，一般臨床医，ソーシャルクラス1の男性，一般の男性に比べて，31%から50%も低く，これは統計的に有意の低下である。ガン死亡率でも，放射線科医の値はいずれの参照群の値より低い（表3）。後期放射線科医の生涯（20年）被ばく量は約0.1 Gyで，年間約5 mGyと推定されている[2]。

表3は，毎年約5 mGyのX線を停年退職するまで浴び続けた放射線科医では，X線を浴びない一般医師よりも，死亡率が有意に減ったことを意味する。すなわち，人工放射線を全く浴びないより，少しは浴びた方が健康によいこと

表2　中期（1921～54）のSMR

死因	参照群	放射線科医の最初の登録年					
		1921～35			1936～54		
		O	*E*	SMR	*O*	*E*	SMR
全原因	一般人	271	338.58	0.80***	368	483.90	0.76***
	ソーシャルクラス1		292.73	0.93		373.53	0.99
	一般臨床医		295.71	0.92		367.23	1.00
全ガン	一般人	51	67.55	0.76	85	128.77	0.66***
	ソーシャルクラス1		55.02	0.93		96.87	0.88
	一般臨床医		41.02	1.24		75.84	1.12
ガン以外	一般人	219	271.03	0.81***	278	355.13	0.78***
	ソーシャルクラス1		237.71	0.92		276.66	1.00
	一般臨床医		254.69	0.86*		291.39	0.95

*p<0.05；***p<0.001（*印の意味は表1の脚注参照）

表3　後期（1955～79）のSMR

死因	O	参照群	E	SMR
全原因	113	一般人	226.07	0.50***
		ソーシャルクラスI	162.76	0.69***
		一般臨床医	165.69	0.68***
全ガン	32	一般人	69.36	0.46***
		ソーシャルクラスI	52.57	0.61**
		一般臨床医	45.03	0.71
ガン以外	77	一般人	156.71	0.49***
		ソーシャルクラスI	110.19	0.70**
		一般臨床医	120.66	0.64***

*$p<0.05$；**$p<0.01$；***$p<0.001$
（*印の意味は表1の脚注参照）

を示す信頼度の高い疫学的証拠が得られた。

3　米国の原子力船修理作業者は放射線の適量被ばくで健康が増進した

放射線の少量被ばくは健康によいか悪いかは放射線管理上最大の基本問題である。放射線の健康影響は科学的問題であるから，科学的証拠に基づいて，少量被ばくの影響に関する結論を出すのが筋である。このためには，放射線を長期間少しずつ浴びる作業現場が多数存在して，そこで被ばくした多数の作業者について長期間の健康調査が実施されていれば，それは最重要資料となる。

米国では，原子力潜水艦などの原子力船が製造され長年使用されている。これらの原子力船は定期的なオーバーホールその他の修理がしばしば必要になる。このような修理に従事する作業者（造船工，機械工，電気工，溶接工など多種多様の専門工）は，作業期間中少量の放射線を被ばくする。被ばくはほとんどが^{60}Co（これは船に搭載されている原子炉から放出される中性子により，炉と周辺船体部の鋼材内のCoが放射性同位体に変換したもの）からのγ線である。これらの原子力船修理作業者の被ばく線量は，初期にはフィルムバッジ，1976年以後は熱ルミネッセンス線量計を用いて測定された。被ばく放射線が単純なγ線であり，被ばく線量測定が信頼性の高い方法で実施された点は，この被ばく集団の資料の信頼性を高めている重要な要素である。

この被ばく作業者の健康調査は，米国エネルギー省の要請で，疫学者G.M. Matanoski教授が責任者となって行われた。その最終報告は1991年に提出された[4]。しかし，報告書の全容は科学雑誌にまだ発表されていない。この調査に対する査察委員会の委員であったJ.R. Cameronは，この報告書を重視し，概要を原稿にまとめて，*Health Physics*誌に投稿した[5]。本稿は後者に基づいて概要を述べる。

3.1　放射線の被ばく線量

原子力船修理作業は米国の8か所の造船所でなされた。このうち調査された6か所の公立の造船所の作業者の年間被ばく量の総括資料を表4に示す。被ばく量の中央値は年間0.28 cGyである（表4。なお1 cGy＝10 mGy）。

3.2　被ばく集団に対する対照集団の選定

この調査の特徴の一つは，被ばく集団と比べるための対照集団の選択に偏りが入らないように細心の注意が払われた点にある。もし，対照集団に米国の一般人を選べば，調査した造船所作業者は本来健康な人であるため，病弱な人も含む一般人より，調査集団の方が健康状態がよいという結果になる場合が多いだろう。このような健康作業者効果（healthy worker effect：より健康な作業者が調査集団に選ばれるための偏り効果）をさけるため，対照集団の選択には，次のような措置がとられた。

表4　放射線被ばく作業者集団の年間被ばく量に関する資料[4,5]

調査期間	1年間の骨髄被ばく放射線量〔cGy〕						
	平均値	中央値	標準偏差	25%位値	75%位値	90%位値	99%位値
1957～81	0.76	0.28	1.23	0.054	0.97	2.3	4.6

1) 原子力船の修理を行ったことのない造船所の作業者を対照集団に選んだ。
2) 原子力船修理造船所の作業者でも，原子力船のオーバーホール作業に従事しなかった人は除外した。
3) 造船所での作業期間が1年以下の人は，被ばく集団からも対照集団からも除外した。
4) 対照集団は，年令・作業の種類と危険度・就業年数が被ばく集団と同じになるように選んだ。
5) 健康記録の調査は完璧に近くなされた。健康状態不明の割合は被ばく集団と対照集団で等しい。

3.3 全原因死亡率の比較

原子力船修理に従事した被ばく作業者群と原子力船修理には全く従事しなかった対照作業者群の間で，全原因による死亡率を比較した調査結果を表5に示す。調査した人数は対照群が32,510人，0.5 cSv以下の被ばく群が10,348人，0.5 cSv以上の群が27,872人である（1 cSv＝10 mSv)。「人・年」は作業者の人数と作業者が仕事に従事していた期間の積を意味する。表5の調査集団各群の死亡数（O）に対応して，全米の一般白人における全原因死亡期待数（E）を計算して，$O:E$の比からSMR（標準化死亡比）を求めた（計算法は2節の式(1)とその後の記述参照)。

表5に示すように，対照群のSMRに比べると，0.5 cSv以下の被ばく群のSMRは19%小さく，0.5 cSv以上の被ばく群のSMRは24%小さく，両者は統計的に有意の減少である。すなわち，γ線を毎年少しずつ浴びて10数年間に0.5 cSv以下または0.5 cSv以上の被ばくに達した作業者群では，γ線を浴びなかった対照作業者群より，健康が増進し死亡率が有意に下がった。0.5 cSv以上の被ばく群を3亜群，0.5～1 cSv，1～5 cSvおよび5 cSv以上，に分けて比べると，死亡率はこの順に減少傾向を示した(表5)。

3.4 ガン死亡率の比較

表3に紹介したように，1955～79年に最初の登録をした英国放射線科医のガン死亡率は，一般臨床医の死亡率より，SMRで比べると29%も少ないのに，統計学的には有意の減少ではない。これは調査集団が小さかったためである可能性が高い。

原子力船修理作業被ばく者集団は英国放射線科医集団より桁違いに大きい。表6に示すように，全ガン死亡では，0.5 cSv以上被ばく作業者集団のガン死亡率は対照集団の死亡率より17%少なく，これは統計学的に有意の減少である。すなわち，毎年微量のγ線を10数年以上被ばくして，累積被ばく量が0.5 cSv以上になった作業者群では，γ線を被ばくしなかった対照作業者に比べて，適量γ線の有益効果として実際にガンの抑制が起こったという証拠が得られた。

表5　原子力船修理に従事した被ばく群と対照群の全原因死亡率の比較[4,5]

	対照	0.5 cSv以下の被ばく	0.5 cSv以上の被ばく	0.5 cSv以上の被ばく群を3亜群に分類		
				0.5～1 cSv	1～5 cSv	5 cSv以上
人数	32,510	10,348	27,872	5,431	13,357	9,084
人・年	425,070	139,746	356,091	69,489	172,531	114,071
死亡数	3,745	973	2,215	454	1,110	651
死亡率	0.009	0.0071	0.0064	0.0067	0.0066	0.0059
SMR	1.00	0.81*	0.76*	0.72	0.79	0.74
95% C.I.	0.97～1.03	0.76～0.86	0.73～0.79			

C.I.＝信頼限界，1 cSv＝10 mSv
*対照群のSMR値に比べ危険率5%以下（$p<0.05$）で統計学的に有意の相違.

表6　原子力船修理に伴う被ばく作業者群と対照作業者群のガン死亡率の比較[4,5]

ガンの種類	対照		0.5 cSv 以下の被ばく		0.5 cSv 以上の被ばく	
	O/*E*	SMR	*O*/*E*	SMR	*O*/*E*	SMR
全ガン	878/784.6	1.12	243/254.21	0.96	603/632.3	0.95*
消化器	224/199.4	1.12	65/63.7	1.02	146/156.1	0.94
呼吸系	323/288.9	1.12	110/95.5	1.15	259/242.3	1.07
中皮腫		2.41		5.75		5.11
白血病	29/30.96	0.91	4/9.87	0.42	21/24.2	0.93
リンパと造血系	84/79.1	1.10	13/25.6	0.53	50/53.6	0.82

*$p<0.05$（*印の意味は表5の脚注参照）．1 cSv＝10 mSv

4　むすび

英国の放射線科医として1955～79年に最初の登録をした集団（以下“英国被ばく医群”と略称）は，X線を毎年約5 mGyずつ，約20年の勤務期間で，累積被ばく線量約0.1 Gyになったと推定されている[2]。他方，米国で原子力船の修理に従事し0.5 cSv以上被ばくした造船所作業者集団（以下“米国被ばく作業者群”と略称）は，γ線を毎年約3 mGyずつ10数年浴び続け，累積被ばく線量が約3 cGyとなった（表4，表5）。

英国被ばく医群では，ガンまたは全原因による死亡率が，被ばくしなかった一般臨床医師より，29%または32%低かった（表3）。米国被ばく作業者群では，ガンまたは全原因による死亡率が，被ばくしなかった対照作業者群より，17%または24%低かった（表6，表5）。

すなわち，似たような低線量率のX線またはγ線を慢性被ばくした二つの集団で，数値的に同程度に放射線の健康増進効果が実際に起こった。これは，死亡率の減少が二つの集団で偶然に同様に起こったのではなくて，**放射線の健康増進効果**が実際に被ばくした人に現れた証拠であると考えるほうが自然である。すなわち，**放射線は自然放射線以外を全く浴びないより，人工放射線を少し浴びた方が健康によい**という有力な科学的証拠が得られた。したがって，放射線は微量でも危険だと主張するのは，科学的には間違いで倫理に反す

謝辞

投稿前の原稿を送信して下さったJ.R. Cameron博士と，原稿作成中に，内容について有益な批判・助言をいただいた[illegible]江友孝博士，上谷雅孝博士，梁治子博士，原稿のワープロソフト化を助け，原稿の誤りを指摘してくださった中島裕夫博士，原稿に対する助言と機器を使わせてくださった野村大成教授に感謝する。

参考文献

1）近藤宗平：「人は放射線になぜ弱いか―少しの放射線は心配無用―」第3版，講談社，ブルーバックス（1999）
2）Berrington, A. et al : *Br. J. Radiol.*, **74**, 507 (2001)
3）Shimizu, Y. et al : *Radiat. Res.*, 152, 374 (1999)
4）Matanoski, G. : Health effects of low-level radiation in shipyard workers. Final report, 471 pp. Baltimore, MD, DOE-AC 02-79 EV 10095. National Technical Information Service. Springfield, Virginia.
5）Sponsler, R. and Cameron, J.R. : Nuclear shipyard worker study (1980–1988) : a large cohort exposed to low dose-rate gamma radiation. *Health Phys.* (submitted).

（大阪大学名誉教授＝投稿）

リスクの理解とは　～市民の理解と専門家の期待～

土屋智子
財団法人電力中央研究所　社会経済研究所
（東京都千代田区大手町 1-6-1）

〔要約〕
一般市民と専門家の放射線リスクに対する認識の違いは様々な研究で指摘されている。その一因として、教育やマスコミ報道の問題が指摘される。確かに、知識や情報は私たちの考え方を大きく左右するものであるが、判断そのものに影響を与えているのは、長い時間をかけて一人ひとりが形成してきた物事に対する考え方の枠組みである。これは、専門家も同様で、専門家には専門家の物事をみる際の認知のバイアスがある。また、専門家がどれほど長い時間をかけて知識を習得してきたかを考えれば、多少教育やマスコミ報道が変わったところで人々の考え方を容易に変えることはできそうもない。重要なことは、専門家と同じ考えをもつ市民を増やす努力ではなく、市民が重視していることを専門家が理解し、その違いを踏まえてコミュニケーションを積み重ねることである。

１．市民と専門家の違い

科学技術リスクに対する人々の判断について社会心理学者が注目し始めた一つのきっかけは，原子力発電に関する専門家評価と市民の感覚の乖離の大きさであった。表１は，この分野の第一人者である Paul Slovic の調査結果を示したものである。同じ放射線リスクでも，市民にとって原子力発電は非常に危険なものであり，レントゲン撮影は安全なものと捉えられているが，専門家の判断は全く逆になっている。

この乖離の原因として，まずあげられるのが知識の違いである。確かに一般市民と専門家の知識は大きく異なっている。例えば，日本の調査においても放射線について正しく回答できる成人の割合は高くても 4 割程度である（表２）。また，マスコミ報道の問題を指摘する意見も多い。実際，市民の情報源は新聞・テレビなどマスコミ報道がほとんどであり，専門的科学的な情報に接することはできない。このため，原子力業界に限らず，科学技術に関する教育と報道内容の改善を求める声は大きい。

しかし，本当に教育や報道の改善が人々のリスク認知を専門家に近づける効果をもつのだろうか？　また，専門家と同じように考えることが本当に社会にとって必要なことなのだろうか？　本稿では，今注目をあびているリスクコミュニケーションの考え方から，専門家と市民のリスクの捉え方の違いについて考察し，科学技術情報の作成者・主たる伝達者としての専門家の課題を述べる。

2．専門家と一般市民は何が異なっているのか

前述したように，専門家と一般市民は科学技術を考える上で基礎となる知識と情報が大きく異なっている。しかし，専門的知識と専門的情報のみが乖離の原因とは考えられない現象が観察されている。図１に示すように，遺伝子組換え食物については遺伝子組換え技術の専門家であるバイオ専門家が，原子力発電については原子力専門家と電力社員が一般市民とは異なるリスク認知を示している。この図からいえることは，ある科学技術について専門家と非専門家のリスク認知が異なるということである。バイオ専門家は，原子力発電について一般市民とほとんど同じようにリスクを感じている。電力社員の回答結果については，技術系職員のみの回答ではないことから，心理学で指摘されている「組織に所属することによるバイアス」の影響が考えられる。

図２は遺伝子組換え食物と原子力発電について，回答者自身が思い浮かんだ言葉を自由記述した結果を示したものである。記述数は知識を表す一つの代理変数でしかないが，専門家がもっとも記述数が多く，非専門家は記述数が少ないことから，図１のリスク認知と関連があることはわかる。ただし，バイオ専門家は原子力発電について原子力専門家と同じ程度の記述数を示している。知識単独でリスク認知に影響を与えているわけではない。

情報源の違いについても，想定されるように，一般市民にとってマスコミ情報が８割以上を占め，専門家とは明らかに異なっている。また，心理学では，信頼している他者の発言が人々の考えに影響を与えることが指摘されているが，一般市民の会話相手はもっぱら家族や友人である。会話内容も，遺伝子組換え食物，原子力発電どちらについても「危険を示すような内容」だった。一方，専門家は当然のことながら，専門家と会話する割合が高く，「安全を示す内容」について話をしている。

この調査では，知識と情報源の違いだけでなく，そもそも科学技術に対する視点が異なっていることがわかった。図３と表３にその結果を示す。図３は科学技術に対する態度をたずねたものであり，肯定的な意見と否定的な意見に対する賛同割合を示している。科学技術を肯定する意見に対しては，一般市民と専門家との違いはほどんどない。科学技術を否定する意見については，一致しているものと一致していないものがある。一致している意見は「科学技術は誤用や悪用されることがある」「科学技術には予想もできない危険がひそんでいる」である。一方，一致していない点は「科学技術は人間にはコントロールできない」「科学技術の進歩が早すぎて人間はついていけない」「科学技術はよい面よりも悪い面のほうが多い」である。つまり，科学技術にはリスクもあるが，それを人智によってコントロールできると考えているのが専門家や電力社員であり，一般市民はコントロール可能性に対してそれほど信頼をおいていないといえる。

表３は，科学技術を評価する際の重視点である。専門家や電力社員が「社会的必要性」や「技術のコントロール可能性」を重視しているのに対して，一般市民は社

会的必要性以上に「将来何が起こるかどうかを予測できるか」を重視しており，「科学技術を扱う国や企業が信頼できるか」についても気にかけている。科学技術の評価の視点は，個別の技術についてたずねても同様の差異を示している。原子力発電について，原子力専門家と電力社員は「環境問題の解決に役立つ」ことや「電気が安く供給できる」ことも重要と考えているが，市民は「万一のとき国や企業が対処できるかどうか」を重要視している。遺伝子組換え食物でも同様に，バイオ専門家が食料問題の解決や安い食料供給を重視しているのに対して，市民はやはり「万一のときの対処能力」を気にかけている。

このような違いは，たとえ一般市民が専門家と同じような情報を得て，それを理解できたとしても，思考の結果としてのリスク判断には大きな違いが生じることを示唆している。図４をみてほしい。読者には何が見えるだろうか。人によって異なる絵が見えるはずである。しかし，この絵は若い女性でもあり，老婆でもある。老婆を見ている人が間違っているとか，視力が衰えているとは言えない。

リスクに対する一般市民と専門家の違いもある部分で図４を全く異なって解釈しているようなものといえる。市民は，無知で非合理的であるがゆえに原子力発電を危険視しているのではない。専門家とは異なる知識，異なる経験，異なる情報，異なる評価軸をもっているために，結論が異なってしまう部分も多いのである。もちろん，さまざまな誤解は正さなくてはいけないだろう。しかし，社会には多様な見方があることを専門家は認識しなければならないし，専門家が社会的有用性や技術のコントロール可能性のみに目を向けがちであることにも気づかなければならない。

３．専門家に望むこと

読者の中には，最近「リスクコミュニケーション」という言葉を聞かれた方もあるだろう。リスクコミュニケーションとは，専門家が判断したリスク評価の結果を市民に教えたり，説得したりすることではない。リスクについて一緒に考えるという姿勢をもって，専門家も市民も相互に情報と意見を交換するプロセスのことである。このようなリスクコミュニケーションは，化学物質や食の安全の世界では実践がはじまっている。放射線や原子力の分野でも実践が行われることを期待したい。

その際に専門家側，主たる情報作成者・情報伝達者が留意しなければならない点は，第一に専門的な技術用語の羅列や専門的な正確さへのこだわりをやめることである。図２に示した知識の分析では，記述数だけではなく，記述内容についても分類している。その結果が表４である。原子力専門家の特徴は，とにかく専門的な技術用語が多いということである。このため，すぐに技術用語を用いて説明しようとする傾向が強い。また，研究や学会発表の場で学問的な正確さを重視するように訓練を受けているため，「正確さ」にこだわる傾向が強く，これがまた技術用語を多用することに結びついている。

第二に，専門家は自分が伝えたいことではなく，人々が知りたいことを伝える努力をしなければならない。例えば表５は，専門家の伝えたいことと市民・学校関係

者が知りたいことを比較したものである。専門家はまず「基礎知識を理解させる」ことを重視するため，自然放射線のことから説明を始める。しかし，市民や学校関係者などの受け手が知りたいことは「健康や環境への影響」や「リスク管理の方法」である。学校教育とは異なり，社会人への説明ではまず受け手の興味や関心のある話題を提供して，読む気・聞く気にさせる必要がある。

また，専門家が重視する点と一般市民が重視する点が異なっていることにも気をつけなければならない。人は，自分が重要だと考えることを伝えたいと思うので，専門家の情報は，専門家が重視する社会的必要性や技術的コントロール可能性，経済的なメリットに偏りがちである。一方，人々は，将来の予測可能性や緊急時における対応能力，科学技術を扱う人や組織への信頼を重視している。市民にとって，わかりにくい科学技術情報も問題であるが，このように知りたいことが得られていない，「都合のよいことだけで，情報が偏っている」ということの方がより大きな問題と認識されている（図５）。

今日のような科学技術社会において，科学技術に関わる専門家とその恩恵とリスクを受ける市民の間に不信感が高まり，コミュニケーションができないということは，有用な技術が社会に受け入れられない可能性を秘めており，社会にとってのリスクである。放射線利用の有用性と放射線教育の重要性を社会に訴えるためにこそ，放射線に関わる専門家は，わかりやすいリスク情報を提供し，対話を重ねることが必要ではないだろうか。その際には専門外の科学技術について，どのような疑問を抱き，何を知りたいと感じているかが参考になるだろう。そして，市民の科学技術理解に過大な期待を抱かないでいただきたい。市民が理解しなければならない科学技術情報は，放射線以外にもたくさんあり，今後も増え続けていくのだから。

Slovic, P , Fischhoff, B. & Lichtenstein, S (1979). 'Rating the Risks', Slovic, P. *The Perception of Risks* (2000), pp.104-120, Earthscan.
土屋智子 (2004) 科学技術情報はなぜ伝わりにくいか，Isotope News, 2004 年 9 月号。

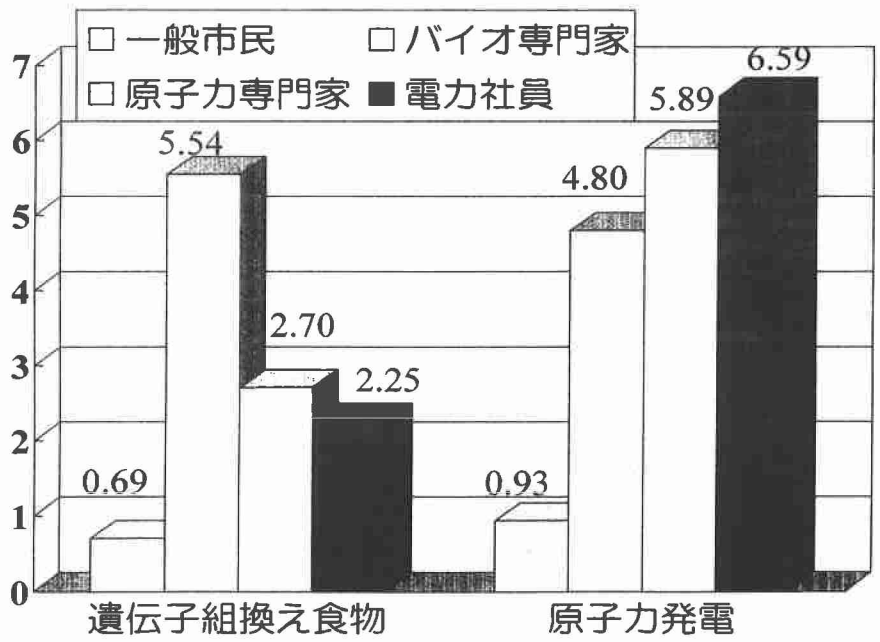
科学技術一般の評価で重視すること

	一般市民	原子力専門家	バイオ専門家	電力社員
国・企業などの信頼性	0.714	0.431	0.363	0.345
経済的貢献可能性	0.340	0.803	0.584	0.753
技術的コントロール可能性	0.469	0.890	0.876	1.162
社会の管理規制能力	0.531	0.448	0.272	0.412
社会的必要性	0.887	2.136	1.993	2.075
生じうる事故の規模	0.276	0.119	0.162	0.194
責任の所在	0.545	0.169	0.162	0.115
事故の発生確率	0.434	0.189	0.123	0.134
その科学技術の完成度	0.473	0.269	0.454	0.345
結果・影響の予測可能性	1.253	0.355	0.558	0.408

*一番重要なものに3点，2番目に重要なものに2点，3番目に重要なものに1点を加算

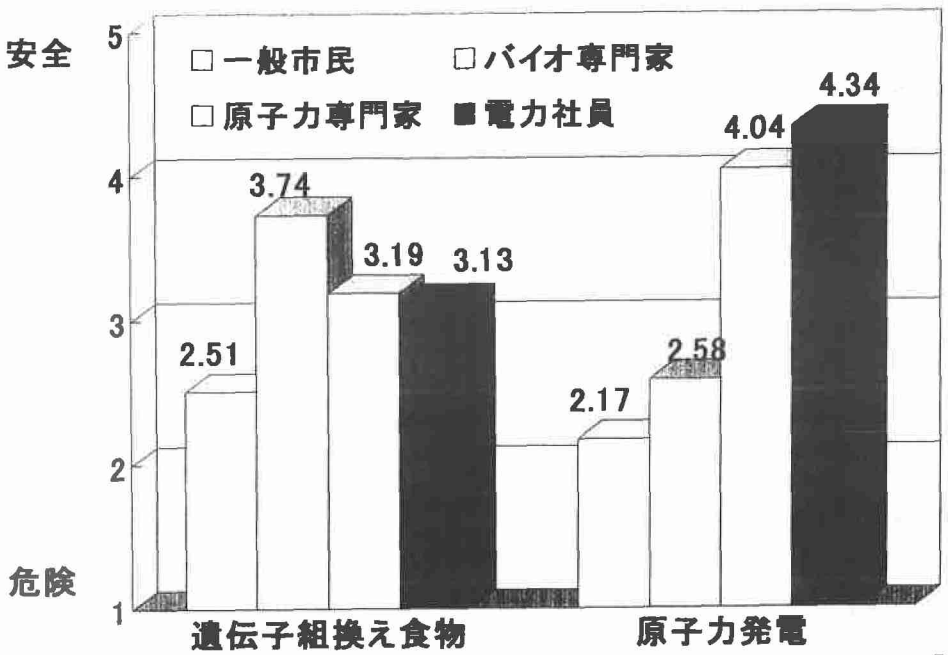
1999年電中研調査

キーワードの記述数の比較



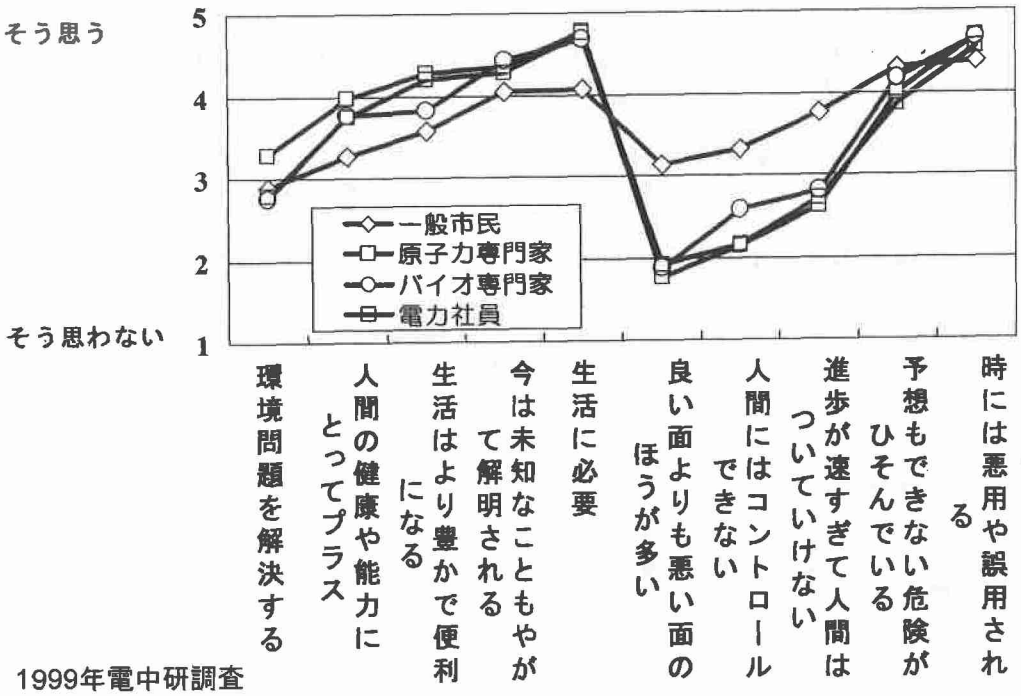
1999年電中研調査

安全性評価の比較(市民と分野別専門家)



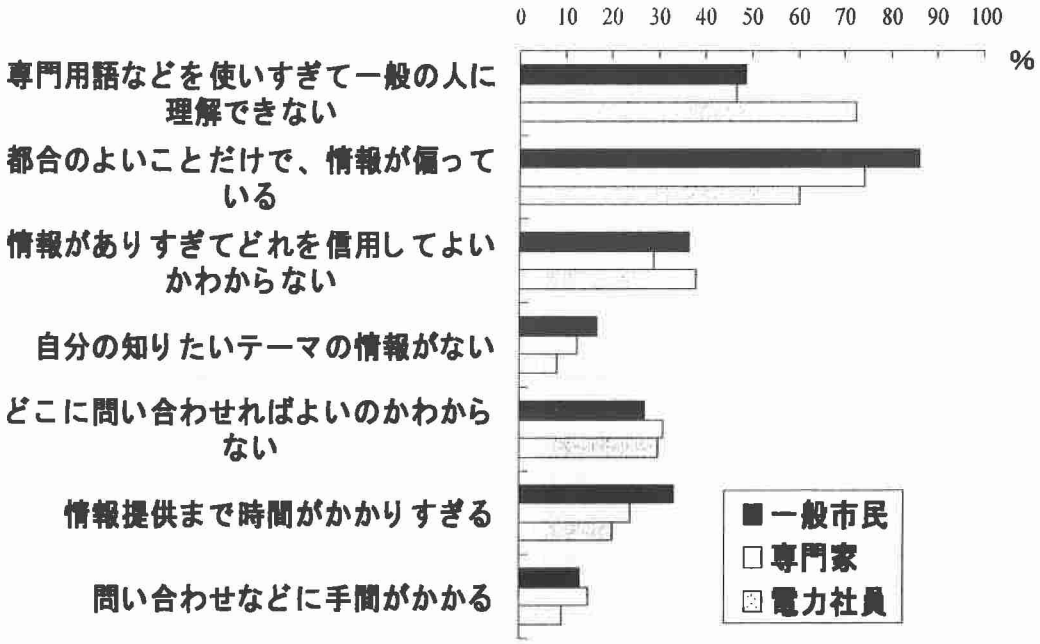
1999年電中研調査

科学技術に関する価値観



1999年電中研調査

科学や技術の情報提供の問題はどこにあるか



1999年電中研調査

表5 知らせたいこと/知りたいこと

	理工学専門家が知らせたいこと	一般市民が知りたいこと	学校教師が知りたいこと
1位	自然界にある量(79)	身体への具体的な影響(57)	身体への具体的な影響(74)
2位	身体への具体的な影響(64)	受けても害ではない限界量(52)	受けても害ではない限界量(61)
3位	医学での利用のされ方(61)	食品への使われ方(42)	事故による情報(61)
4位	受けても害ではない限界量(60)	事故による情報(39)	放射線を使った最先端の研究分野(60)
5位	原子力発電所の管理体制(58)	原子力発電所の管理体制(39)	自然界にある量(55)

出典:日本原子力文化振興財団「放射線と言う言葉に関する意識調査」2002年

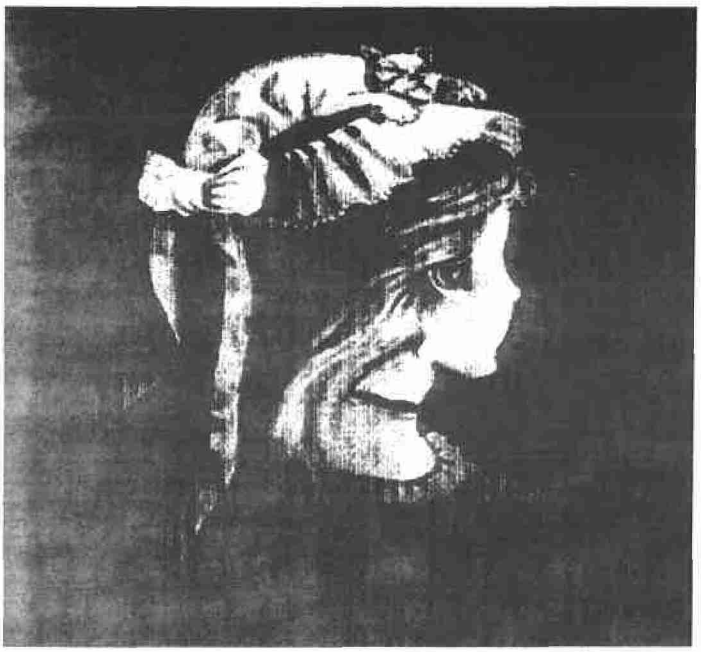


表4　原子力発電から連想された言葉の分類
（用語の種類の割合，％）

	一般市民	原子力専門家	電力社員
有用性	9	12	13
事実（連想語を含む）	14	3	10
規制	0	4	5
技術用語	30	63	46
不安やリスク	20	0	2
事故（連想語を含む）	19	7	8
社会の反応	0	7	16
原爆とその連想語	2	0	0
国策	0	0	2

1999年電中研調査

表1　リスク認知の違い（危険と感じる順）

女性	*大学生*	*専門家*
原子力	**原子力**	自動車
自動車	拳銃	喫煙
拳銃	喫煙	アルコール飲料
喫煙	殺虫剤	拳銃
オートバイ	自動車	外科手術
アルコール飲料	オートバイ	オートバイ
自家用飛行機	アルコール飲料	**エックス線**
警察の仕事	警察の仕事	殺虫剤
殺虫剤	避妊薬	電気
外科手術	消火作業	水泳
消火作業	外科手術	避妊薬
大規模建築物	食品添加物	自家用飛行機
狩猟	スプレー缶	大規模建築物
スプレー缶	大規模建築物	食品添加物
登山	自家用飛行機	自転車
自転車	航空機	航空機
航空機	**エックス線**	警察の仕事
電気	狩猟	消火活動
水泳	電気	鉄道
避妊薬	食品着色料	**原子力**
スキー	抗生物質	食品着色料
エックス線	登山	家電機器
高校や大学のフットボール	鉄道	狩猟
鉄道	自転車	抗生物質
食品添加物	スキー	ワクチン接種
食品着色料	高校や大学のフットボール	スプレー缶
電動芝刈り機	家電機器	高校や大学のフットボール
抗生物質	電動芝刈り機	電動芝刈り機
家電機器	ワクチン接種	登山
ワクチン接種	水泳	スキー

表2　放射線に関する一般的知識の正答率（％）

	一般市民	報道関係者	学校教師
放射線は地球ができた時から自然界に存在している	43	90	88
放射線は近代科学が生み出したものである	42	100	91
放射線は宇宙からも降ってくる	31	73	62
放射線は常に微量ではあるが、人間の体からも出されている	19	45	52
放射線はふつうの食物の中からも出ている	26	72	71
胸部のX線撮影によって受ける放射線の量は、1年間普通に暮らしていて自然界から受ける放射線量より多い	28	45	44

日本原子力文化振興財団「放射線という言葉に関する意識調査」（2001年度）

第3章　１０．

放射線研究の魅力

井口道生

アルゴンヌ国立研究所

1 はじめに

日本の敗戦で第二次世界大戦が終わったとき、私は小学６年生だった。その数日前に広島と長崎に原子爆弾が投下された。幸いに優れた先生に恵まれていたが、そのうちの一人の理科の先生が原子爆弾の科学・技術についてかなり詳しい説明をして下さった。たぶん２０分位の、この先生のお話は私に強い印象を与えたし、今思い出しても内容が正確であった。私は原子爆弾の威力に感動し、それについてもっともっと知りたいと思った。

中学生になって大人向きの英語の本を読むようになって、初めて通読した科学の本は、スマイス報告[1]であった。これは原子爆弾の開発に関して最初に発表された文書であり、多くの言語に翻訳されている。私にとってこの本は現代物理への入門であった。この本で初めて名前を見たアルゴンヌ国立研究所で、私がその後今まで４０年も働くことになったのは、不思議な因縁というほかない。

放射線について特に興味をもった契機は、私が大学を卒業する直前に起こった、福竜丸事件であった。すなわちビキニ環礁における水素爆弾の実験の結果、近くの海で漁業に従事していた日本人が放射線の多量の被曝を受けた。それと同じ頃、医学の診断のためにＸ線が用いられることなど、人間の利益のための放射線の利用もあることを学んだ。これ以来、放射線の物理的、化学的、及び生物学的な効果を明らかにするために、少しでも貢献しようと思うようになった。この気持ちは今も変わりない。

放射線に関する研究の魅力は、問題の多様性にある。物理学の範囲で見ても、原子、原子核、素粒子、加速器、プラズマなどの分野に結びついている。化学の分野では、物理化学、有機、無機、合成、分析のすべてに関連している。放射線研究を始めて幸いだったと思うのは、思索と活動が狭い専門分野に限られないことである。私のように、広範囲の事項に興味をもつ者には、適切な分野である。謙遜していえば、放射線研究は雑学である。偉そうにいえば、それは百科辞典的な知識を集約する総合科学である。

放射線に関する研究は、基礎科学はもとより、工学、医学、環境などの広い応用がある。もともとは物理から始まって今では工学として確立しているものには、電気工学、電子工学がある。いつの日にか、放射線工学というものも確立すると、私は考える。

2　合成高分子物質に対する放射線の効果

東大の大学院のころは、この分野の一部を研究した。この分野が工業的な応用で重要であることは、良く知られているといいたいけれども、案外に一般の人々は気が付いていないらしい。ポリエチレンの普通の試料は、ヒモのような（専門的には「線形の」）分子からできている。これを照射すると、分子の間に、新しい化学結合（専門的には「架橋」）ができる。その化学結合の数が十分に多くなると、試料全体が編み目のように繋がってしまう。こうなると、力学的に強靭で、化学的にもどんな溶媒にも溶けないものになる。従って、多くの応用がある。そのうち実用的に重要で一般の人々に分かりやすいのは、自動車の部品などに使われているパイプ、チューブなどである。昔の自動車では、パイプやチューブが弛んだり、劣化して割れたりして、冷却水の漏れが起こって終いにはエンジンの過熱に至るという故障がざらにあった。今の若い人はこんなことを知らないだろう。それは今では照射したポリエチレンなどの材料を使っているため、この故障はほとんどないからである。

この技術の基礎は、１９５０年ごろイギリスの Arthur Charlesby とアメリカの Malcolm Dole が独立に発見した。しかし、自動車の部品その他への応用は、日本で始まった。この辺は、半導体技術の場合とよく似ており、日本の一つの強さを示している。

他の合成高分子、例えばテフロンは、常温で照射すると、高分子の背骨にある化学結合が切れてしまう（専門的には「主鎖切断」という）。しかし、最近の日本での発見によれば、テフロンも低温で照射して架橋させることができる。このように、高分子の架橋あるいは主鎖切断、どんな場合にどのようにして起こるかを理解したいと思ったので、このような問題を研究しているうちに、１９６２年にDole先生の助手になったのが、アメリカでの生活の始まりだった。

3　分子のなかの電子の励起

高分子物質はもとより、空気などの普通の気体、水などの普通の液体、生体分子を含む有機物などは、分子からできているので、分子性物質という。この種の物質の大部分は、電気伝導性をほとんど示さないので、絶縁物と呼ばれる。この種の物質に放射線があたったとき、始めに起こるのは何かというと、分子内の電子が掻き回されることである。放射線のエネルギーは、数多くの、色々な種類の微視的な衝突過程を経て、普通は大部分は分子内の電子に与えられる。なぜ、物質の構成要素のうち、原子核ではなくて電子かというと、電子が最も軽いからである。

分子内の電子に、平常のときに比べて余分のエネルギーが与えられる。これを専門的には、「励起」という。このエネルギーを吸収エネルギー、励起エネルギーなどと呼ぶ。その大きさは、個々の衝突過程によって異なる。すなわち、広い範囲に分布している。この分布がどのようなものであるかを研究することは、私の長年に亘るテーマである。

励起エネルギーが余り大きくなければ、電子の運動が掻き乱される程度は穏やかである。分子が目に見える光を吸収したとき、光のエネルギー量子は比較的小さいので、励起の結果、電子はいつもよりも高い軌道に上がるのとほとんど変わりがない。吸収エネルギーが大きいと、電子は分子のなかに居続けることができなくて、外に飛び出してしまうことが多い。電子が飛び出して残った分子は、正の電荷をもつ新しい分子種になるので、この過程ををイオン化という。

というようなことを、しっかり理解するためには、原子、分子、およびその集合体である液体、固体の電子構造はもとより、放射線との相互作用の微視的過程である衝突現象も取り扱う必要がある。これは原則として量子力学の応用である。さらに、数多くの衝突過程の結果、二次的に発生する粒子（主に電子）と物質の様子を記述するという、輸送および反応の解析が欠かせない。これは統計物理の一分野である。

励起したり、イオン化した分子は、単独に居るときでも、様々なやり方で余剰のエネルギーを処分する。　例えば、振動などの内部自由度へのエネルギー移行、化学結合の解離、発光などであり、これを緩和という。一般には、励起したり、イオン化した分子は、近くにいる分子と相互作用するので、緩和の機構ははるかに広範である。その結果起こることで、重要なのは化学反応である。すなわち、放射線が来る前にはなかった分子種の出現である。これは、放射線化学と呼ばれる、物理化学の一分野の中心的な問題である。

4　シカゴにおける二人の先生

いずれの学問でも、一つの魅力は優れた学者と交流することである。日本でも優れた先生と友人に接して多くを学んだけれども、４０年前にシカゴの近郊に来てからつきあった二人の先生は、私に最も強い印象と影響を与えた。それはUgo FanoとRobert L. Platzmanで、いずれも今は故人である。

Fanoは、イタリア出身で、２０世紀最大の物理学者の一人Enrico Fermiの弟子であり、その学風を受け継いでいた。前節でスケッチした、放射線の吸収の基礎過程の理論の開拓者であって、私は主にこのテーマについて教わり、彼のやり残したことを少しでも片付けようとして今でも働いている。同時に、もっと広く理論物理とはどういうものかを教わった。たくさんの彼の教えのうち、最も感銘をうけたのは「放射線研究などの応用科学をやるときにも、基礎科学の学者からみても尊敬に値することをやるべきである」という言葉である。

Platzmanは、アメリカ生まれで、物理化学と分光学で著明だったJames Franckの弟子で、やはりその学風を実践していた。分子内の電子が光を吸収するときに、原子核は重いから殆ど動くことがないという認識とその帰結を、分光学と光化学の基礎にすえたのは、Franckだった。この認識は、専ら実験事実に関する思索と直観によるものだった。（その後量子力学ができてCondonが理論的に

導いたので、今では Franck-Condon の原理と呼ばれている。）このような思索と直観による総合的理解は、物理よりも化学で多く見られる。

Platzman の業績で最も有名なものは、１９５２年に水和電子を予言したことである。液体の水に放射線があたったとき、水の分子のイオン化はたくさん起こる。水の分子は大きな双極子モーメントをもっているという特徴がある。これは水の分子のなかで二つの水素原子よりも酸素原子の近くに電子が寄っているためである。幾つかの水の分子が熱運動をするうちに、ちょうど都合良く水素原子の側で向き合っている場所のまん中では、イオン化で生じてよそからやって来た電子からみれば、正の電荷があるのでそこに引き寄せられる。こうして、その電子がその場所に来ると、水の分子の並び方はますます電子にとって都合がよくなる。（「都合がよくなる」ということを、専門的には「エネルギーが下がって安定化する」という。）このようにして、水のなかで電子が束縛されたものを、水和電子という。１９６３年になって、Boag と Hart がこれを実験的に確認した。その直後に、私は Platzman, Boag, Hart の三人の会話するところに居合わせた。そのときの三人の喜びの様子は今も忘れない。同じような電子の状態は、アルコール、アンモニアなど水以外の液体でも実現するので、一般に溶媒和電子と呼ばれる。これは、新しい化学種であり、様々な還元反応とを起こすことが知られている。

5　水に対する放射線の効果

水和電子、その他の初期生成分子種から始まる、水に対する放射線の効果は、二つの意味で重要で、極めて面白いテーマである。第一は、多くの原子炉で水が冷却材として用いられていること。第二は、我々人間を始め多くの生物の細胞の主な成分が水であること。

原子炉を開発した先駆者たちのうち、Eugene Wigner らは、水を冷却材に用いてよいかどうかを大いに考えたことが記録されている。この心配は当然のことであった。放射線によって様々な化学反応が起これば、終いには何が起こるかと素朴に考えるとしよう。水は一つの酸素原子と二つの水素原子からできているので、それがばらばらになって再び落ち着くとすれば、二つの酸素原子からなる酸素分子と、やはり二つの水素原子からなる水素分子ができるだろう。こうしてできた酸素分子も水素分子も、気体になって液体の水からそとに出て行くだろう。とすれば、原子炉の冷却水からはどんどん気体が出てくるだろう。もしこのようになるとすれば、原子炉を周りを容器で囲んでおくわけにはいかない。容器のなかの圧力がだんだんと高くなって、終いには耐えきれなくなるだろうから。

原子爆弾の製造のために始まって、まず原子炉の開発をしたマンハッタン計画のうちで、この問題を解くために、今の言葉でいう放射線化学が始まった。その後も長年に亘る研究の結果分ったことは、水は放射線の照射を受けても、分子運動から見れば長いけれども、我々の日常の時間から見れば直ちに、しかも殆ど完全に元の水に戻ることが判った。どうしてそうなるかを説明しようとすれば、長い話になるのでここでは割愛しよう。ただ一つ付け加えれば、水の他に、分子性物質で同じようにうまく元に戻る物質は、極めて稀である。例えば、油、ガソリンのような有機の液体を照射すると、水素、メタンなどの気体がどんどん発生して、泡になって出て来る。周知のように、固体の氷が液体の水より軽くて、コップなかでも海や湖でも浮き上がるのも物理化学一般の知識から見れば、特異な現象であるが、放射線の効果から見ても水は不思議なものだとつくづく思うのは私だけではないだろう。

7　放射線の量を測るには？

上の逸話で「照射の時間に比例して、腕時計の時刻表示が狂う」と述べたことを、立ち入って考えてみよう。簡単のため、照射に使う原子炉の出力、すなわち単位時間当たりの核分裂の数、従ってエネルギーの発生量は一定と仮定する。その場合、単位時間当たりの、原子炉内の中性子、ガンマ線、そしてこれから二次的に生じる荷電粒子の数は一定と考えられる。従って、原子炉のなかに置かれた試料、例えば腕時計は単位時間当たり一定の、「放射線の量」を被爆すると表現したい。でも、ここでいう「放射線の量」とは何だろうか。試料に当る粒子は様々な種類があって、様々な値の運動エネルギーをもつし、観測される物質の応答は、一般にはこの種類と運動エネルギーに依存する。物質の応答として観測する物理量も、色々ある。こういうと、「放射線の量」という概念

はひどく厄介で絶望的な感じを受ける方もあろう。実は、２０世紀の始め以来、専門家もあれこれと議論してきたことなのである。

今では、単位質量の物質に吸収される、放射線のエネルギーを「吸収線量」と定義している。一般に推奨されている単位は、「１キログラム当り１ジュール」（記号は J/kg）であり、「グレイ」（綴りは gray、記号は Gy）と呼ぶ。この定義を物質の種類も放射線の種類も問わず、いつでも用いる。この約束は、ある範囲の経験的事実にに基づいているけれども、本質に立ち入って考えれば便宜的なものだと理解できる。というのは、放射線によって気体の中にできるイオンの数、ポリエチレンの一定の試料の中に生じる架橋の数、あるいは金属のなかにできる原子変位の数などは、ある条件のもとで吸収線量に比例している。ここでいう条件を詳しく述べるのは厄介であるが、一般的に「吸収線量、従って問題にする生成物の数が極めて小さいとき」を含む。吸収線量が大きくて　生成物の数が大きいときには、比例関係からのずれが見られることが普通である。

吸収線量から始めて、放射線に関する諸量、その測定技術、計算技術、その結果、応用などの広範な分野での国際的な基準を与えるのが、放射線の単位と測定に関する国際委員会（International Commission on Radiation Units and Measurements、略称 ICRU）である。この機関は古く１９２５年に、放射線科の医学者の要望で設立された。私は１９８５年以来、この委員を務めて居る。ICRU の仕事は、放射線の測定という広い分野から、時宜に叶ったテーマを選び、国際的に同意できる基準を見い出し、これを解説する報告書を造って出版することである。委員の誰かが特定のテーマを選び、期待すべき報告書の大綱を試案し、執筆者の委員会の構成を含む企画を、ICRU に提案をする。これが、多くの場合は修正ののち採択されて、企画が実行に移される。執筆者の委員会が何回かの会合を含む、数年間をかけて造った報告書の原稿は、ICRU の年会で徹底的に審議される。その結果、普通は多くの修正のあとで採択された原稿が印刷されて報告書となる。今までに公表された報告書は７０編に及ぶ。２００１年以来、私は編集者を受け持って、報告書６５－７０の製作の最終作業に関わった。ICRU の活動の詳細については、www.icru.orgをご覧になることを勧める。このウエッブサイトには、ICRU News という雑誌も含まれている。最近のニュースは、２００３年９月のオックスフォードでの年会で、報告書の出版が２００４年からは、オックスフォード大学出版部に任されたことである。

８　生物に対する放射線の効果

第５節に続きとして、生物に対する効果について、少し述べよう。細胞は様々な分子からなる。そし幾つもの段階からなる、複雑な構造をもっている。専門家のうちの多数意見によれば、細胞核のなかの DNA（デオキシリボ核酸）の分子結合や構造の変化から、細胞の増殖などの正常な働きが乱されるために、生物効果が起こるという。生物効果のなかには、細胞の死、遺伝子の変異、癌の発生、生物個体としての障害や病気が含まれる。細胞のなかの別の成分、すなわち RNA（リボ核酸）、ヒストン、その他蛋白質にも、細胞質や細胞膜にも、放射線の物理的、化学的な影響があるに違いない。しかし、この影響がどのように生物効果に寄与するのか判然としていないと、私は思う。

第二の生物の細胞の主成分としての水について少しだけ述べよう。放射線のエネルギーの細胞による吸収については、水の寄与が圧倒的である。しかも細胞の他の成分である、蛋白質などの分子は、原子的な組成（もっと厳密には電子密度）だけを見れば、水と対して違わない。したがって、放射線のエネルギー吸収（専門的には「線量測定」）では、細胞の代わりに水を考えるという近似が悪くない。　細胞への放射線効果の一部は、エネルギーが水に吸収されたことから始まる。例えば、水酸基ができて、それが生体分子と反応する。これを間接効果という。放射線効果の一部は、生体分子そのものによるエネルギー吸収から始まる。これを直接効果という。一般には、間接効果と直接効果の両方を考えないと、完全な取り扱いとはいえない。第８節で、もう少し詳しく論じることにしよう。

６　金属に対する放射線効果

金属への放射線効果は、第２節で紹介した、高分子、水などの分子性物質の場合とは極端に違う。金属内の電子のうちには、原子核の近くに束縛されているものと、原子核からは遠いところで広い

範囲に動き廻るものがある。後者は比較的に少数だけれども、電気伝導性や磁性など金属の物性を支配している。専門的には、これを伝導電子という。放射線によって伝導電子がしきりに掻き回されるけれども、こうして伝導電子に移ったエネルギーは、短い時間のうちに緩和されてしまう。それで原子の位置が動く可能性はごく僅かである。結局、金属は吸収したエネルギーで少しだけ温度が上がるだけで、物性は殆ど変わらないですんでしまう。

従って、金属への放射線効果を観測するのに十分な程度まで起こすには、X 線やガンマ線などでは非常に多量のエネルギーを吸収させなければならない。例外は、陽子、アルファ粒子、その他の電子よりも二千倍以上重い粒子が低い速さでやって来るくるときである。ここで「低い速さ」というのは、原子の最も外側にいて、化学的性質や大抵の物性を支配する電子の速さ程度かそれ以下ということである。この場合、衝突によって電子励起は殆ど起こらない。しかし、金属のなかの原子核に強い力を及ぼし、その結果原子核が元の結晶のなかの正常の位置から外れて、全く新しい場所にいってしまうことがある。専門的には、これを原子変位という。原子変位がある個数以上できると、電気伝導、機械的な強度などの色々な物性に変化がおこり、それが観測にかかる。中性子の照射をすると、物質内で直接の原子変位も起こすし、かなり高速の重粒子ができて、それが原子変位を起こすこともある。従って、原子炉材料への放射線効果を論ずるときに主に問題にされるのは、重粒子と中性子の照射である。

上にスケッチした事情に関するひとつの話を紹介しよう。第２節で述べた、ポリエチレンの架橋の発見者 Charlesby に「先生はどのようにしてこの発見をしたのですか」と、ある座談のときに質問してみた。その答えは次のようなものであった。１９５０年ごろ、イギリスのハーウェル原子力研究所に勤めた Charlesby 先生に与えられた課題は、原子炉材料のうち構造上大切な金属に対する放射線の影響がどの位あるかを定量的に調べることであった。その当時でもその影響が余り大きくはないことは、マンハッタン計画のときの結果からもある程度まで判っていたけれども、長年に亘って電力を得るために原子炉を運転するとなれば、これは重要な問題である。すぐに思い付く方法を色々やってみたけれども、なにしろ僅かな効果なので、手近の測定器では信頼に値する結果が出ないので困ったと、先生は云った。これに悩んでいるとき、研究所の近くのオクスフォードの町を散歩していたとき、ふと考えが浮んだ。それで、安い腕時計をたくさん買った。今の安い腕時計とは違って当時の腕時計は、鋼鉄のばねの、ゼンマイを使っていた。この腕時計のゼンマイを巻いて時刻を合わせたうえで、研究所の原子炉で照射してみた。その結果、照射の時間に比例して、腕時計の時刻表示が狂うことを見つけてやっと報告を書くことができた。

腕時計の時刻表示が素晴らしい感度をもつ測定器になっていることを、直感的に悟ったこの先生は、実験物理の達人である。上述の経験にうんざりした先生は、放射線効果がもっと観測しやすい物質がないかを探すことにして、身近の材料を次々と調べた結果、当時の新製品であったポリエチレンに巡り会ったと云う。

DNA への影響でよく知れているのは、分子の鎖の切断である。そして、生体細胞のなかの DNA は、二重螺旋になっているので、鎖の一方だけが切れるか、両方が切れるかを実験的に区別できる。これは人工高分子との違いの始まりである。いずれの切断にしても、酵素や免疫系の働きによって、かなりの程度までは修復されることが判っており、これが無生物の物質とは著しく違う。

もう一つ生物に対する放射線の影響ですこぶる顕著なのは、効果の大きさが多くの場合に吸収線量に単純に比例しないことである。第７節で述べたように、無生物物質に対する放射線の効果の大きさは、吸収線量に少なくとも近似的に比例することが多い。生物に対する放射線の効果の大きさは、吸収線量に比例する部分とともに、吸収線量の二乗に比例する部分もある。例えば、DNA の切断などは、このような場合の例である。しかし、タンパク質の分子の鎖は、放射線の吸収線量にほぼ比例した確率で切れていく。どうして生物に対する効果はこんなに複雑なのだろうか。

その原因は、大きく分けて二つある。第一に、生体の空間的な構造から来る、物理の問題がある。第二に、生物あるいは生体の細胞の性質として、上に述べた修復機能がある。第一の、物理の問題から直ちに考えられるのは、相異なる放射線で同じ吸収線量を与えると、エネルギー吸収の空間的

な分布が異なるから、同じ効果が起こるとは限らないはずである。生物への効果では、まさにその通りである。例えば、一定の細胞の群れのうち、その半分を殺すための吸収線量は、X 線を用いると、中性子を用いるときの、3 倍必要であるというようなことになる。慣例に従って、X 線照射を基準として、この場合「中性子の相対的生物効果比（relative biological effectiveness、略語 RBE）は３である」と表現する。RBE は、個々の生物種の、個々の器官にも、個々の効果の種類にも、吸収線量にも依る、複雑な量である。

放射線の人体への効果を考えるときには、RBE その他の知識を総合的に検討して、等価線量、線量等量などと呼ばれる量を定義する。これは吸収線量に、放射線の種類と生物の器官などの関数である修正係数（modifying factor）を掛けたものである。この係数は無次元なので、等価線量などの単位は、吸収線量と同じの、J/kg であるといってもよい。しかし、特に等価線量などを表すことを明確にするためには、シーベルト（sievert、記号は Sv）と呼ぶ。この単位を用いて、公衆の被曝の線量限度は、1 年に 1m Sv であると決められている。放射線を扱う職業人の被曝の線量限度は、決められた５年間の平均が 1 年当たり 20 mSv と決められている。

大きな線量の例を挙げてみよう。国際宇宙ステーションでは、宇宙線および太陽からの陽子などによって、乗員は通常 1 日当たり、約 1 mSv の被曝を受ける。太陽フレアと呼ばれる、太陽表面の大爆発が起こっている時は、この１０倍に近い被曝になる。治療のため、癌細胞を殺すための目安は、60 Sv とされている。全身の被曝が、100 Sv を超えれば致命的である。（しかし、もし 100 J/kg のエネルギーを熱の形で人体に与えるとすれば、体温が僅かに上昇するだけで何の危険もない。体温が何度あがるかを計算するのは、高校生向きの問題である。）

防御に関する基準を定めるのは、大切だが厄介な課題である。これを主として担当するのが、放射線防御に関する国際委員会（International Commission on Radiological Protection、略称 ICRP）である。ICRU は主に基礎科学的な問題を取り扱うのに対して、ICRP は主に実用上あるいは社会ないしは政策に関する問題を取り扱う。両者の間には密接な協力関係がある。

9　放射線の利用の学問的な基礎

放射線の応用のうちで、今まで人間の生活あるいは健康の維持に最も貢献したのは、X 線による医学上の診断であろう。１００年以上前にレントゲンが創始し、今では計算断層像法（computerized tomography、略称 CT）にまで発展した映像技術の発展は目覚ましい。ある人の推定に依れば、CT ほど多くの人の命を救った装置はないそうである。映像と診断の技術は、材料科学、機械工学、構造工学などでも応用がたくさんある。さらに、この種の技術は、人工衛星による地球の表面と内部の探査による地球科学や軍事科学、さらに天文学にも繋がっている。

もう一つ簡単だけれども素晴らしい進歩があったことを指摘しよう。約３０年前には、平常時における一般の公衆の放射線被曝の原因のうち、最大の吸収線量は診断医学で使われる X 線によるものだった。今はそうではなくて、最大の吸収線量は自然放射能による。もちろん自然放射能の量は変わらないので、診断医学の装置、なかんずくフィルムなどの X 線検出器の感度が良くなったからである。

このような成功の一つの理由は、この技術の基礎が、放射線物理のうちで最もよく分っている領域に属するからである。放射線物理の問題は、大きく分けて二種類ある。第一種の問題は、放射線が物質と相互作用したあとで、放射線がどうなるかに関するものである。第二種の問題は、物質がどうなるかに関するものである。

第一種の問題は、実験的にも理論的にも研究しやすい。ごく大雑把にいうと、大抵の問題はすでに解けているともいえる。例えば、入射した放射線のうち、どれだけが吸収されるかという問題である。入射する放射線が X 線またはガンマ線で、エネルギーが特別に低くもなく高くもなくて、物質のなかの原子の原子番号が余り大きくない場合は、吸収の割合について多くの測定もあり、理論的な理解と計算方法もかなりの程度で確立している。正にこの知識が CT を含む X 線診断の基礎になっている。入射する放射線が荷電粒子の場合は、物質のなかでの吸収よりはむしろ運動エネルギーの減少の割合が問題であるが、これも特殊な場合を除けば、大勢は分っているといえる。

これに反して、第二種の問題は原理的にも実際的にもひどく難しい。なぜかというと、放射線にあたった物質のなかには、原子か分子か、その配列ないしは構造か、何か新しいものができているはずである。いいかえれば、照射された物質は何らかの意味で新物質であり、これを完全に理解するのは、現在の物理と化学では間に合わない恐れがある。第二種の問題は、どんなに簡単なものを取りあげてみても、完全には解けていない。

水素分子だけからなる純粋な気体のなかに、一定の運動エネルギーをもつ電子が入ってきたときに起こると考えられるすべての微視的過程を並べあげて、その確率を評価あるいは推定し、すべてのエネルギーの行方を論じるという仕事に、私は何年も費やしたことがある。これは第二種のうちで恐らくもっとも初等的な問題である。しかし、これまでに得た結果は完全とはとてもいえない。

この問題は基礎的な興味から研究し、その結果多くを学んだ。しかし幸いにも、木星の大気が大部分水素分子からできているし、星間物質という薄い気体の雲で水素分子を主成分とするものもあり、いずれも放射線にさらされているので、天文学者の一部がこの研究に興味をもってくれた。

第二種の問題で、古いけれどもっと厄介な例を挙げよう。ガイガー計数管のなかには気体が入っており、放射線がくればイオン化がおこり、それから電子の増幅が起こって電極の間に容易に検出できるほどの電流が生じる。こういえば分ったような気がするけれども、その様子を詳しく述べよといえば、お手上げである。ここに入っている気体は、アルゴンを主成分とし、アルコール、エーテル、あるいは塩素を含む分子種を少量加えたものである。この組成が最適であることを説明せよと云われても、私は困ってしまう。

１０　終わりに－宇宙の主要成分、および地球表面の環境の微量成分としての放射線

放射線に関する研究は、物理でも化学でも生物学でも、特殊な専門領域であると見られることが多い。これは誤解に基づくと思う。放射線は広い宇宙の重要な成分である。宇宙全体の物質のうち、無視できない運動エネルギーをもつ粒子となっているものは、無視できない量になる。我々の住む地球の表面は、大気の吸収によって放射線が例外的に少ないところである。大気の外では、かなりの数の放射線粒子が飛んでいて、天体の表面との相互作用は、宇宙科学の中心問題の一つである。

地球の表面に生命が生じた状況は、私の専門の外である。しかし、生命の発生に放射線がある役割を演じたはずだと聞いている。そして、初期の生命が暮らしていたときには、地球の表面での放射線の量は、現在よりもずっと多かったという。さらに、放射線に対する抵抗性が強い生命の形態が、進化の過程で選択されてきたともいう。

最後に、話の内容についてもっと詳しくご覧になりたい方のために、参考書を挙げておこう。放射線と放射能については、Draganic らの本[2]が素晴らしい。核エネルギーと核兵器に関する一般向けの解説としては、Charpak and Garvin [3]がよい。Charpak は多線式計数箱の開発でノーベル賞を受賞した人で、フランス政府の科学顧問であり、Garwin はアメリカ政府の科学顧問である。

文献

1. H. D. Smyth, Atomic Energy for Military Purposes (Princeton University Press, 1945). H. D. スマイス著、杉本朝雄、田島英三、川崎栄一訳「原子爆弾の完成－スマイス報告」、岩波書店、１９５１年。
2. L. G. Draganic, Z. D. Draganic, and J.-P. Adloff, Radiation and Radioactivity on Earth and Beyond. 松浦辰雄、今村昌、長谷川圀彦、橋本哲夫、朝野武美、小高正敬訳「放射線と放射能」、学会出版センター、１９９６年。
3. G. Charpak and R. L. Garwin, Megawatts and Megatons: The Future of Nuclear Power and Nuclear Weapons (The University of Chicago Press, 2002).

温泉と放射能

大妻女子大学社会情報学部　　堀内　公子

1. はじめに

わが国には沢山の種類の温泉が湧出するが放射能泉（ラドン温泉）もその一つで，主として天然に存在する放射性成分が多く含まれていることによって温泉と認められたものである．わが国の温・鉱泉の泉質頻度分布図（図 1）を見ると，わが国では食塩泉が 27%で最も多く，単純温泉が 25.8%でそれに続き，放射能泉は全温泉の約 7.7%である．

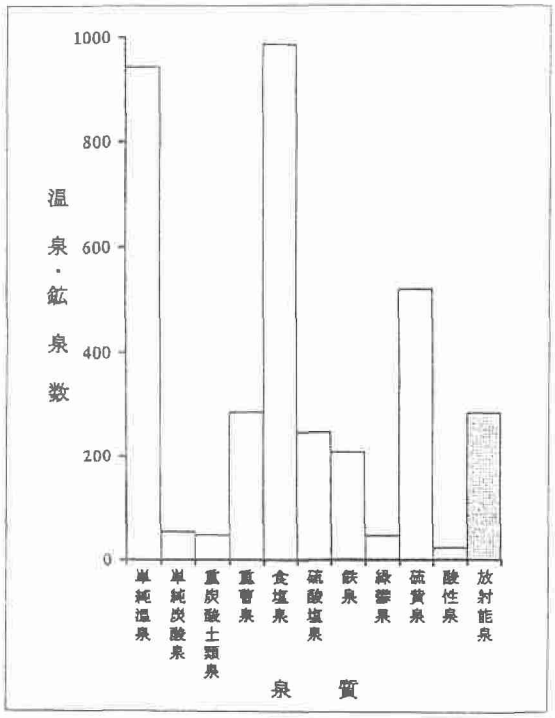


図 1　日本の温泉・鉱泉（総数 3, 659）の泉質頻度分布　文献 3 から

温泉水の中に含まれる放射性成分はラジウム(^{226}Ra)とラドン（Rn : ^{222}Rn），ラドンの放射性同位体トロン(Tn : ^{220}Rn)，アクチノン（An : ^{219}Rn）等である．しかし半減期が短く，存在量が少ないトロンとアクチノンは現在のところ放射能泉の対象ではなく，研究対象としてのみ興味を持たれている．またラジウムは温泉水中の濃度が少ない事と，計測方法が複雑であるため測定例はあまり多くない．図 2 にラジウム以降のウラニウム崩壊系列を示した。

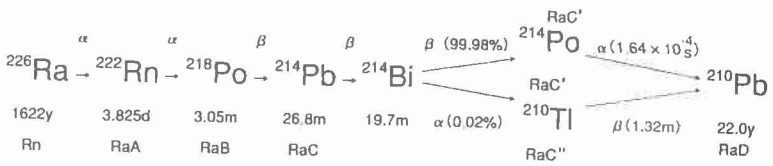


図 2　ラジウム以降のウラニウム崩壊系列

通常温泉水のラドンは親核種ラジウムの平衡量以上に存在しており，2 桁以上上回っている場合も珍しくない．この状況は世界的に同じであり，よって放射能泉はラドンが主流である．ラドンは半減期 3.825 日でα崩壊する放射性のガス成分で，温・鉱泉水中でほとんど他の溶存化学成分との相関はなく，単独に存在している．

2. ラジウムとラドンの発見

ラジウムは 1898 年キュリー夫妻によって発見・単離された元素である．ラドンはラジウムから放出されるガス状成分として 1900 年にドーンによって発見されたが，元素であることが確認されてからも長い間ラジウムエマナチオンあるいはニトン等と呼ばれていた．ラドンの名称は 1923 年の国際会議で正式に採用されたが，これはラジウムとの親娘関係をあらわした語である．温泉水中のラドンの存在は 1903 年アレンによってバース（英）のキングズ・スプリングで放射性気体として見出された．そして鉱泉水の治療効果はこの放射性気体による可能性があると示唆されたので，医学者もこれに関心を持つようになり，欧州各地の温・鉱泉水中のラドンの調査研究が始まった．1904 年にはラジウムもイタリアの鉱泥のなかにその存在が確認された．

わが国では 1909 年から湯河原，伊豆山，熱海等の温泉でラドンの調査が行われ，報告された．こうして我が国の環境放射能の研究は温泉水中のラドン濃度の測定から始まった．

表 1　ナウハイム決議・温泉法別表・療養泉（1 kg 水中）．　文献 1 から

A　通用しているナウハイム決議のMWの限界値（1911年）		温泉法第 2 条別表に示されている限界値（1948年法律第125号）			
成　分	限界値	B　鉱　泉　（常水と区別する限界値）		C　療養泉	
温度	+20℃	温度	25℃以上	温度	25℃
全ミネラル成分	1g	溶存物質（ガス性のものを除く）総量	1,000mg以上	溶存物質（ガス性のものを除く）総量	1000mg以上
リチウム(Li^+)	1mg			銅イオン(Cu^{2+})	1
ストロンチウム(Sr^{2+})	10	遊離二酸化炭素(CO_2)、遊離炭酸	250	総鉄イオン($Fe^{2+}+Fe^{3+}$)	20
バリウム(Ba^{2+})	5	リチウム(Li^+)	1	アルミニウムイオン(Al^{3+})	100
鉄(Fe^{2+}またはFe^{3+})	10	ストロンチウム(Sr^{2+})	10	水素イオン(H^+)	1
臭化物(Br^-)	5	バリウム(Ba^{2+})	5	ヨウ素イオン(I^-)	10
ヨウ化物(I^-)	1	総鉄イオン($Fe^{2+}+Fe^{3+}$)	10	総ヒ素(Asとして)	0.7
フッ化物(F^-)	2	マンガン(II)イオン(Mn^{2+})	10	総硫黄(S)[$HS^-+S_2O_3^{2-}+H_2S$に相当するもの]	2
ヒ酸水素($HAsO_4^{2-}$) または	1.3	第一マンガンイオン		ラドン(Rn)	30×10^{-10}
メタ亜ヒ酸（$HAsO_2^-$）	1	水素イオン(H^+)	1		キュリー単位以上
全硫黄S(水素硫黄HS+チオ硫酸+硫化水素)	1	臭素イオン(Br^-)	5		(8.25マッヘ単位以上)
ホウ酸(メタ)（HBO_2）	5	ヨウ素イオン(I^-)	1		
二酸化炭素（CO_2）	250	フッ素イオン(F^-)	2		
アルカリ度（狭義）4mval	340	ヒ酸水素イオン($HAsO^{2-}$)	1.3		
$NaHCO_3$に相当		ヒドロヒ酸イオン 4			
ラジウムエマナチオン	3.5	メタ亜ヒ酸イオン($HAsO_2^-$)	1		
	マッヘ単位	総硫黄［$HS^-+S_2O_3^{2-}+H_2S$に対応するもの］	1		
		メタホウ酸(HBO_2)	5		
		メタケイ酸(H_2SiO_3)	50		
		炭酸水素ナトリウム（重炭酸ソーダ：$NaHCO_3$）	340		
		ラドン(Rn)	20×10^{-10}		
			キュリー単位以上		
		ラジウム塩(Raとして)	1×10^{-8}mg以上		

25℃の由来は年平均気温が高い(台湾の南端部の値：戦前日本の領土)ためである。

3. 日本の温泉

3.1 温泉の定義

わが国の温泉は「温泉法」のもとに環境省の管轄下にある．温泉法は温泉を保護しその利用の適正を図り，公共の福祉の増進への寄与を目的としている．

ドイツ医学の流れを汲む我が国では普通の水（常水）と鉱水の区別を定めたナウハイム決議（1911）に準じて衛生検査指針中に鉱泉分析法ができ，今日の温泉法に於ける鉱泉の資格が決められている．表 1 に示した限界値は常水と区別する鉱泉の定義であり（1948），療養泉の（1978）定義である．温度が 25℃以上であるか，表の中のどれか一成分がここに示された値以上含まれていれば鉱泉，温泉の対象となる．

温度の限界値も国によって異なり，わが国では戦前日本の領土であった台湾の南端部の年平均気温より高い値として 25℃が採用されている．かつて泉温 25℃以下で含有化学成分を満たしているものを鉱泉または冷鉱泉と称して 25℃以上の温泉と区別していたが，現在では全て温泉と呼ばれている．温泉は温泉法第 13 条により，成分と共に禁忌症および入浴又は飲用上の注意等の掲示が義務付けられている．

療養泉は温泉法の対象ではなくこの限界値をどれか一成分は越えており，かつ温泉医学の経験から医治効果の期待出来る温泉と言う考え方で定められている．

3.2 放射能泉の定義

鉱泉分析法指針によれば，放射能による鉱泉の定義は

ラドン(Rn)　$20X10^{-10}$Ci 以上，常水との区別，鉱泉と認める濃度
(5.5 マッヘ単位以上：74Bq/ l)

ラジウム塩(Ra として)　$1X10^{-8}$mg 以上

ラドン(Rn)　$30X10^{-10}$Ci 以上，特殊成分を含む療養泉（放射能泉）
(8.25 マッヘ単位以上：111 Bq/ l)

である．

ラドン濃度についてはナウハイム決議が 3.5 マッヘ(47Bq)であるのに対し 5.5 マッヘ(74Bq)が与えられている．その根拠は不明であるが入浴を主とする我が国と，飲用を多く取り入れている欧州との温泉治療における基本的な利用方法の違いによるのかもしれない．

4. 温泉水中のラドンの定量法

現在水中のラドン濃度の測定は，トルエン抽出-液体シンチレーションカウンタ測定法が主流であり、ルーチンで安定したデータが得られ，操作も簡単である．この方法はラドンが有機溶媒によく溶けることを利用して開発された。絶対測定が可能であり，測定器の普及とあいまって広く用いられている．予め蛍光剤を溶解させたトルエン（液体シンチレータ）で直接ラドンを抽出した後，液体シンチレーションカウンタ計測により計数効率 100%で測定出来る．

5. 放射能泉の特徴

温泉の性質は地質に支配される。母岩や温泉水の上昇通路、あるいは比較的地表近くにある透水性地層，即ち温泉帯水層の岩石的・地質学的性質によって温泉水中の溶存化学成分が大きく影響される．

放射能泉は第三紀以前の花崗岩地帯に湧出するものが多く，常磐炭田坑内温泉，増富（山梨），湯抱（島根），三朝（鳥取），奥津（岡山），関金（鳥取），道後（愛媛），栃尾又（新潟），月岡（新潟）などの温泉がある．これらの温泉の一般的な特徴は，泉温の高いものが少なく，成分は希薄で放射能性が強い事である．

全国の放射能泉の数を都道府県別に集計すると特徴的に西日本に多く分布し(図 3)，我が国の花崗岩分布地帯と一致している．

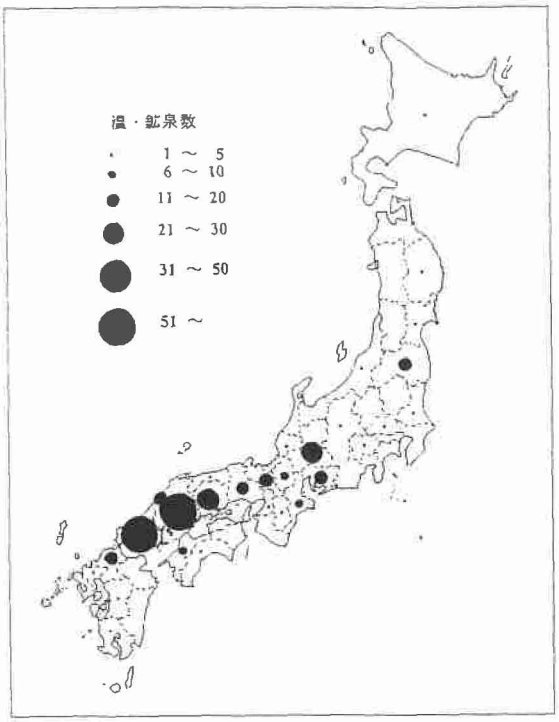


図３－１　都道府県別放射能泉分布図

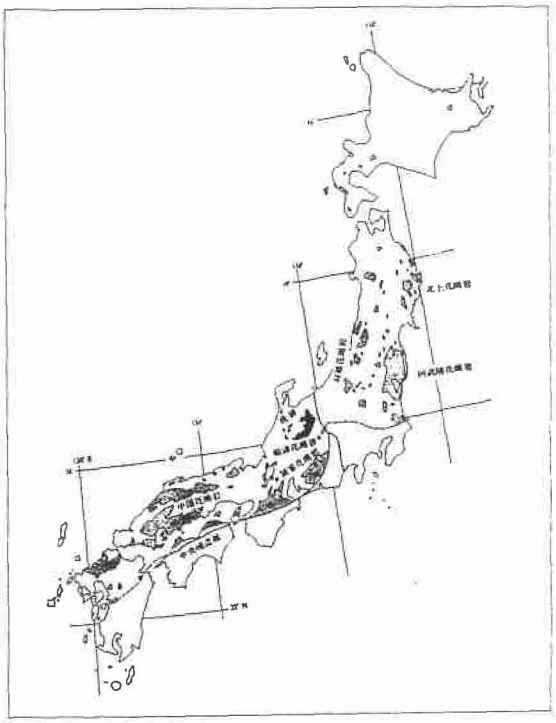


図３－２　日本の中生代花崗岩類の分布
〔紫田・野沢（1982）および山田・齋藤・村田（編）（1990）による〕　文献２から

我が国の温泉の源泉 1 本当たり平均湧出量はほぼ 100 *l*/min であるが，放射能泉の場合 20～50 *l*/min をピークとする非対象型を示している．また泉温については 25℃以下の冷鉱泉が多く全体の 86.5%をしめている．中でも 15～20℃が最も多く，地下水の温度領域に近い．

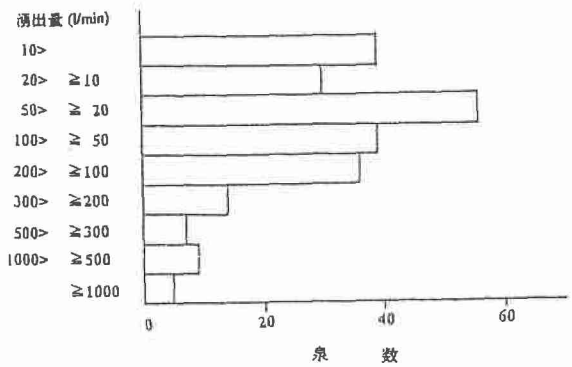


図４－１　湧出量（ℓ /min）段階別に示した日本の放射能泉の頻度分布

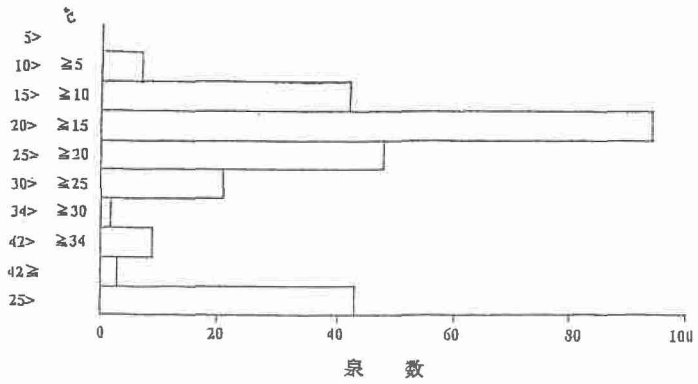


図４－２　温度別に示した日本の放射能泉の頻度分布

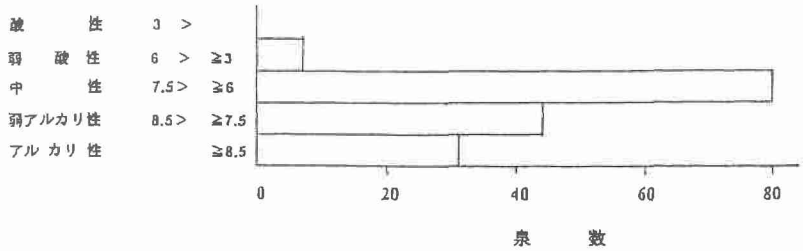


図４－３　液性別に示した日本の放射能泉の頻度分布

液性の頻度分布は図４の如くであり，以上の事から我が国の放射能泉は他の泉質の温泉に比べて湧出量は 1/2～1/3 と少なく，液性は中性から弱いアルカリ性を示し，ラドン以外ほとんど他の溶存化学成分を含まない単純冷鉱泉が主体である．

6. 放射能泉の種類（表 2）

放射能泉は主として含まれるラジウム，ラドン，トロンによって三つのタイプに分けられる．

表２　ラジウム，ラドン，トロン含有量による放射能泉の分布

泉　　名	Ra Bq/l	Rn Bq/l	Tn Bq/l
ラジウムタイプ			
有馬　唐櫃かた越	4.1	－	
玉造　松之湯	3.6	－	
増富　中の湯	1.2	－	
ラドンタイプ			
池田　８号泉	2.1	29.5	
関金　湯泉楼	0.06	0.2	
岐阜　湯之島１号	－	5.3	
トロンタイプ			
三朝　大橋霊泉		1.0	309
増富　岩風呂		0.04	0.3
玉川　４号泉		0.1	3,262

① ラジウムタイプ:ラジウムは存在するが娘核種のラドンが殆どみつかっていないもの
② ラドンタイプ:ラジウム及びラジウムとの平衡量をはるかに上回るラドンを含むもの
③ トロンタイプ：多量のトロンを含むもの

しかし，温泉水中のトロンの計測は一時期進んだがそれ以後殆ど伸びていないのが現状である．

7. 放射能泉の成因

放射能泉の成因については昔から多くの報告が見られるが何れも定説とは言い難く未だ研究段階である．

一般にラドン濃度の高い温泉は湧水量が少なく，温泉水中のラドン＞ラジウムの非平衡を考慮すると比較的少量の鉱水がラジウム濃度の高い放射性沈殿物などと地下のあまり深くない所で接触し，濃いラドン含有水を生じた可能性がある．また更には地表近くにある温泉沈殿物層を通った地下水の他に，さらに深い層に含まれる高濃度のラドンを含む地下水，即ち「ラドン地下水」の混入等も考えられている（図 5）．

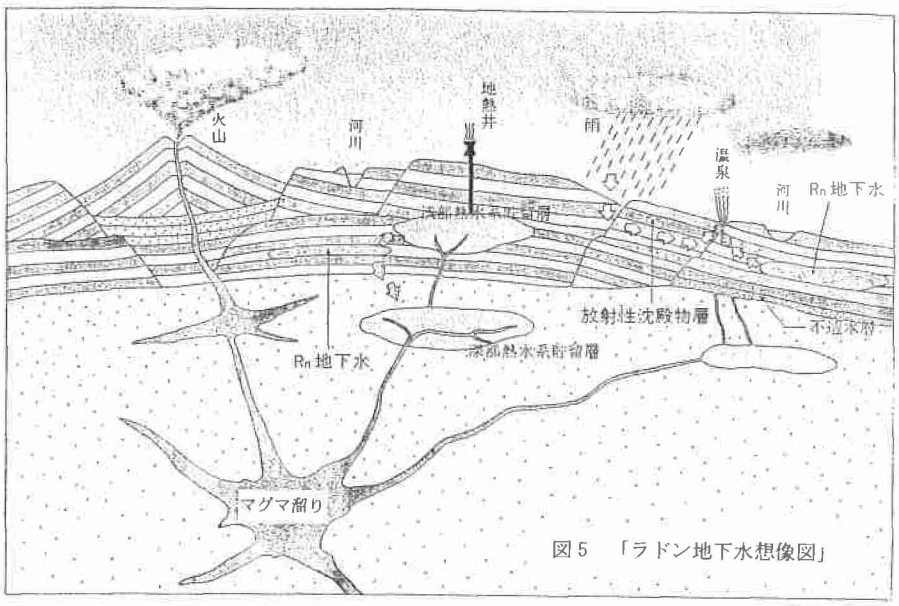


図 5 「ラドン地下水想像図」

「温泉大百科 II」ぎょうせい（1988） この部分執筆 堀内

8. 温泉生成放射性鉱物

温泉で生成されることが発見された放射性鉱物北投石は鉱物学的には含鉛重晶石である．重晶石 $BaSO_4$ と硫酸鉛鉱 $PbSO_4$ の固溶体で（Ba，Pb）SO_4 と表現される．北投石は 1906 年台湾の北投温泉の河床で発見され，1907 には放射性鉱物であることが確認されている．一方 1898 年に秋田県渋黒温泉（現在の玉川温泉）で発見された渋黒石が同一のものであることが確認され(1911 年)，翌年発見された北投温泉に因んで北投石(hokutolito) と正式に命名された．

現在，北投石の存在が確認されているのは玉川温泉と北投温泉のみであるが，両温泉の特徴は強酸性で高温，しかも塩化物イオンが多く含まれている（玉川温泉大沸：pH＝1.2，湧出温度：98℃）．このような条件において，地下からバリウムイオンが溶

脱され，鉛はクロロ錯イオンを形成して溶存すると考えられる．この水系が熱力学的に北投石生成条件に合った時，北投石を極微細結晶として晶出させ，岩石・その他の上に成長を開始するものと考えられている．北投石には放射線の強度にやや差異のある白色と褐色の互層がみられるが，温泉水の化学組成を反映しているかどうかは未だ明確ではない．北投石の生成する玉川温泉湯川のラドン濃度は 10〜15 マッヘ（135〜272Bq）程度で増富，池田といった強放射能泉に比較すると少ないが，北投石は湯川の 1000 倍以上のラジウムを濃縮している．

放射性の含鉛重晶石は火山活動の産物として玉川温泉と北投温泉に生成し現在でも生成し続けているが，その成長速度は時代により変動がみられ〜0.2mm/年（玉川温泉）程度と報告されている．

9．放射能泉の効用

放射能泉がなぜ有効なのかは未だ明確ではないが，近年，培養細胞あるいは動物を用いた実験からラドンによる適応症について科学的解明がなされつつある．

その一つとして、生体内の水の放射線分解によって生じた少量の活性酸素種が，解毒，細胞代謝，ミトコンドリア内でのエネルギー変換，酵素などの蛋白質や生理活性物質の生合成等種々の過程に刺激（情報伝達因子）効果として作用した結果と考えられている．また，また生体の代表的な防御機構の一つであるスーパーオキシドジスムターゼ：SOD 活性がラドンの曝露によりウサギなどで増加することから，ラドン療法による SOD の誘導合成が関係すると見られている．

温泉治療に利用されている放射能泉は，ラドンとその崩壊生成物が崩壊の際に生じた活性酸素種が，身体の細胞や組織に複雑な生化学的作用を及ぼし，各種器管の働きを活発にすると言われている．その効果は臨床医学的に自律神経の鎮静，ホルモンや代謝異常の調整，鎮痛，消炎作用などと言うことが出来る．α線には神経細胞の酸素消費量を下げて鎮静化させる作用があるため，放射能泉浴はリウマチ，関節炎，筋肉痛，神経炎等の痛みを和らげる効果がある．また組織学的に放射能泉浴が副腎皮質ホルモンの分泌を高めるとも考えられている．ラドン濃度を増すと鎮痛効果はあがるが，心血管や植物神経系統に反作用が起きるので，他の温泉成分と同様，適切な利用が大切である．また放射能泉の効果は単に放射能だけによるのではなく他の溶存化学成分や泉温等との相乗効果である．表 3 に放射能泉の適応症を示した．更に多くの物理療法や食餌療法，時には薬餌療法等も併用して総合的な医療を行うことが正しい温泉療法であり，温泉療法医等に相談して利用することが望ましいとされている．

表 3　ラドン泉の適応症　文献 6 から

浴用の適応症	飲用の適応症	吸入療法の適応症
リウマチ性疾患	痛風及び尿酸素質	痛風及び尿酸素質
痛風及び尿酸素質	リウマチ性疾患	リウマチ性疾患
動脈硬化症	慢性消化器疾患	慢性気管支炎
高血圧症	慢性肝・胆道疾患	気管支喘息
慢性肝・胆道疾患	糖尿病	
外傷後遺症		

10. 放射能泉の利用法

温泉の利用法としては外国では主として入浴，飲用，吸入の三通りに利用しているが，我が国では吸入はほとんど行われていない．しかしガス体のラドンは，湯の中に溶けているより空気中に逃げ出す分が多く，入浴の際ラドンは皮膚からだけでなく呼吸器からも吸入される．ラドンは吸入時には肺から吸収されて血液循環に入り，全身に拡がるかたちで体内に入ってくる．従って全身に対する利用は，消化管から摂取される飲用より効率が良い．ラドンは不活性ガスであるため他の放射性物質のように，体内の組織と結合して沈着することはない．また，ラドンは脂肪に非常に溶け易く，食物と一緒にラドン温泉を飲用すると，油脂の中に溶けながらゆっくりと吸収される．

ドイツやイタリアなど欧州諸国は、日本と違って湯船に浸る入浴の習慣を持たない人々が多いことから飲用が盛んである.「飲泉カップ」に飲泉所の新鮮な温泉を汲んで，保養公園（クーアパーク）を散策しながら温泉医に処方された量の温泉水を少しずつゆっくり服用するのが一般的飲用方法と言われる.「飲泉カップ」も散策しやすいように取っ手のついた，洒落た陶磁器製の物等が利用されている（図 6）.



図 6　「飲泉カップ」
FRONT　2月号（1991）

体内に入ったラドンの一部は崩壊し，次々と半減期の短い別の核種に変化して体内に残る.

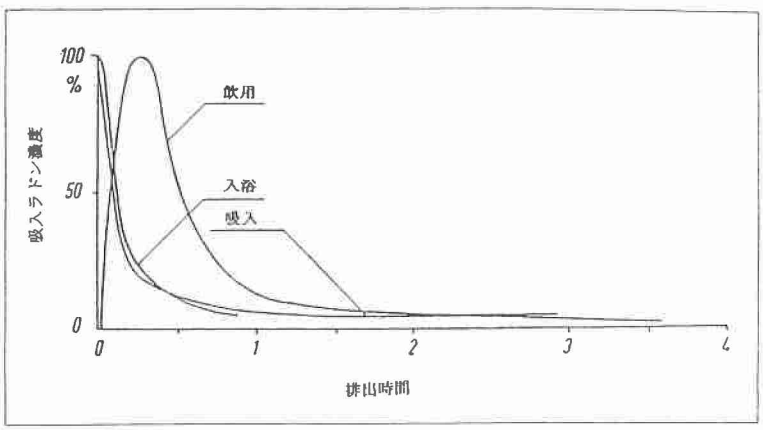


図 7　摂取後呼気に含まれるラドン　文献 6 から

ラドンの崩壊生成物はその濃度と体内にある時間に比例して多くなるが，やがてラドンの崩壊生成物に固有の生物学的半減期によって排泄される．ラドンの生物学的半減期は約 40 分程で，呼吸によって 180 分後にはほとんど排出されるとの報告がある．図 7 にラドン排出の状況を示した．

11．放射能泉を用いたホルミシス効果の研究

我が国でも有数の高放射能泉地域として名高い鳥取県三朝温泉で自然環境の放射線に長期間さらされた場合の疫学調査研究により，低線量放射線によるホルミシス効果の報告がある．

三朝温泉は，鳥取県のほぼ中央部，中国山地の北麓に位置し天神川の支流三徳川の両岸の三朝，山田地域で温泉が湧出する．三朝温泉は開湯以来 800 年以上を経過し，親代々人々が住み続けている．三朝温泉は，泉温：36～85℃，ラドン濃度：17.4～9,361Bq/l,平均ラドン濃度：436.6 Bq/l の含 Rn-Na-Cl 泉，または Rn-Na-Cl-HCO_3 泉地域である．この地の温泉水の湧出量は 3.02×10^6l/日で，温泉に起因するラドンの大気への放出量は 1.3×10^9Bq/日と推定されている．

三朝温泉で，1952 年～1988 年までの癌死が生活環境の類似した近隣地区と比較して調査された．屋外放射能は周辺地区の約 2.4 倍で浴室の放射能は 200～8,000Bq/m^3 であるとされている．しかるに癌死は有為に低く環境中のラドンが健康に有害だという考えを否定するものであった．この地域の住民は多年入浴，吸入，飲用をしているがまったく白血病，癌や先天性奇形などの発生率に他地域との差は見られていない．

このように，データ数はまだ充分ではないが，生体が長期間常時低線量の放射線曝された場合のホルミシス効果を知る貴重な研究データがラドン温泉地で得られている．

12．温泉利用の安全性と有効性

古来，放射能泉はリューマチのリハビリや鎮痛作用等の医療効果が認められ，温泉治療に利用されて来た．数多ある泉質の中で放射能泉は湯あたりを起こし易い，つまり刺激効果のある泉質である．これは一つの特徴でもあり，同時に「使い方に注意せよ」ということを示している．医療効果を求めるにはある程度の強さ（濃度）が必要とされる．放射能泉にも種々の強さがあり，どの位の濃度の温泉をどの様な形で使ったらよいか検討されなければならない．外国では入浴療法に用いるラドン濃度は通常 700Bq/l 以上，一般には 1,300Bq/l 以上が使用されている．温泉療法は一廻り，平均 15～20 回で終了し，繰り返す必要がある時には半年～一年経ってから次のクールを行うのがよいとされている．

人間の身体は，いろいろな外からの刺激侵襲に対抗するだけの力をもっている．自分の病気に対抗する力，自然治癒力とか，防衛力，抵抗力等を利用して病気を直すのが温泉療法の基本である．

13．人工ラドン泉

日本でも最近人工ラドン泉の施設が造られている．これは主としてウラン，あるいはトリウム鉱石を浴槽中に入れ，その中に含まれているラジウムから生成するラドンやトロンを湯の中に溶かし込んで利用する施設である．しかし，通常その大衆性と安全性のために現時点ではラドン濃度は 1～2Bq 程度に低く抑えられている． 放射能泉

の医療効果や適応症はラドンと他の溶存化学成分との相乗効果によるため，人工ラドン泉でのそれらの解明は今後の課題である．

人工ラドン泉はロシアで最も大規模に利用されており，入浴，飲用，吸入の三種類がバラエティーに富んだシステムで活用されている．ロシアの人工ラドン泉は天然温泉に人工的に得られたラドンガスを添加したり，ラドン温泉に CO_2，H_2S，O_2 などを加えて医療用に供している．国家が組織的に人々の健康維持と病気の治療に天然放射能泉と同一のレベルで利用している．

14. おわりに

1935 年の「温泉大鑑」に「放射能泉の項にラジウムの放射能が医学上の効果の多いことが判明すると温泉についても放射能が喧しく言われるようになった．温泉中にはラジウム及びその壊変物の如きガスを含有しているものが多い．一般には放射能鉱物のガス状壊変物たるエマナチオンを含むものが多く，その量の多いものを特に放射能鉱泉（ラジウム鉱泉）と呼んでいる」と記述されている．現在〇〇ラジウム泉の名称で親しまれている温泉も殆どその主成分はラドンであり，昔から放射能泉の代名詞としてラジウム泉と言う表現が使われて来ているにすぎない．

時には放射能泉の代名詞であるラジウム泉と放射線の結びつかない人や天然のラジウム泉は身体に良いが巷で取り沙汰される放射線，あるいは人工の放射線は危険だと信じている人さえ居る．しかし放射線には天然も人工もない．同じ核種，同じ濃度であれば同じ作用をする．ラジウムもラドンも量が多くなると危険ではあるが，日本各地の昔ながらの放射能泉で長い間行われ続けて来た湯治やその他の利用がそうした危険を招いたという話は聞いていない．量の問題は未だ研究段階であるが，これからも放射能泉の特徴を充分理解して適切に利用されることが望ましい．

15. 参考文献

1) 村上悠紀雄：温泉とリゾート開発，FORUM'89, 82-93, (1989)
2) 木村敏雄，速見格，吉田鎮男： 日本の地質，東京大学出版会 (1993)
3) 金原啓司：日本温泉・鉱泉分布図及び一覧，地質調査所(1992)
4) 大島良雄：温泉科学，31，64-68，(1981)，世界の温泉，日本温泉科学研究所編，(1981)
5) 堀内公子，村上悠紀雄：温泉科学，28, 39-52, (1977)， 温泉工学会誌，13，95-103，(1978)
6) 森永 寛：温泉科学，25，45-54，(1974)

宇宙空間と放射線

藤高和信

独立行政法人 放射線医学総合研究所
放射線安全研究センター
宇宙放射線防護プロジェクトリーダー

誰しも宇宙がどのようなものか、なぜ宇宙が存在し、これから宇宙はどうなるのか、を考えてみたことがあるに違いない。宇宙の来し方行く末を考えるのは宇宙論という分野だが、宇宙論の端くれを理解しておくことが、放射線というエネルギーの形態に理解を深めることになると信じる。

そもそもなぜ宇宙にエネルギーがあるのか、は誰も答えられない疑問である。大昔に、誰かが投げ込んだのが、エネルギーの束だったとしか言いようがない。何ごとにも必然性を求め、それを説明するのが自然科学の当然の方法だが、宇宙開闢だけはどうにも説明できない。あるものしかなく、現実にそれは存在する、としか言いようがない。それで不安を感じるなら、自然科学以外の世界で安心を得るべきである。もともと自然科学とは自然現象の説明学だったのである。ある一定条件の下に、どのような法則性があり、従ってそれから先々何が起きるかを予想することを目的としていた。その条件そのものが変わってしまうなら、話は別なのである。宇宙ではそのような変化もあり得るのである。また宇宙という容器がなければ何も無く、何も起きようが無い。その意味で、宇宙論とは万物の根本を扱う分野である。ただ、シニカルなことを言うなら、役に立つことをしたいという人には勧められない。どうにも役に立ちそうもないからである。

役に立つ分野の代表は医学である。誰も病気になりたくなく、病気から一瞬でも早く解放されたいはずである。その技術を持つのが医者であり、だからこそ医者は特別扱いされても当然とされる。最近航空機医学の雑誌に「良きサマリヤ人」の話がよく出るが、それは医学の本質を付いていると思う。良き医療技術者に過ぎなくても、それでいいのである。看護師も同様であるが、彼らは心理分析家かもしれず、親しい相談相手かも知れない。一方宇宙を扱う物理学では、なぜ、に答えることは出来ないが、どのような形で起きそうかは答えられる。また宇宙の今後を占うことも、或る程度可能である。

それでは宇宙を最も卑近な所から眺める事から始めたい。下部では地殻に含まれる放射性核種から出る放射線が強く出るが、地表面から高い方へ向かって上昇すると、線源から離れるため放射線量は減少し、それが 150m程度から上昇に転じる。これは航空機で実測したし、また高い鉄塔に上っても確かめた。このようにして、現在なら、宇宙線のせい、と言える。しかしこれは 90 年前にはどうしてそうなるのか、分からなかった。この「上方にある線源」はオーストリアの探検家の Hess が予想し、それから約 30 年後にノーベル賞を受賞した。これを分かり易く言うと、地上から航空機高度へ上ると 100

倍に増え、それが宇宙空間に出るとさらに 10 倍（つまり地表の 1000 倍）になる。これは放射線の線量率を計測した場合である。結論から先に言うと、世の中で「宇宙線」と称するものは、実は多くの粒子群の集合体である。実はそれらは大半が荷電粒子であり、故に磁場の影響を受けている。ところが地球磁場は荷電粒子と仲が悪く、磁場の強い所を荷電粒子は避けたいのである。太陽は一種のプラズマ発生源（荷電粒子群）だから、この流れの中にある地球は、地球磁気圏という独特な形を保つようになる(Fig.1)。このように、宇宙にあるのは線源に違いないが、それは通常の線源ではない。そもそもそれは約 100 億年前の線源である。だから宇宙線をコントロールしようとしても出来ないのである。これは各所にある放射線施設を監視する機器に関連して、常に頭を悩ました点だったが、それを理解するには天体物理学の情報が必要だった。

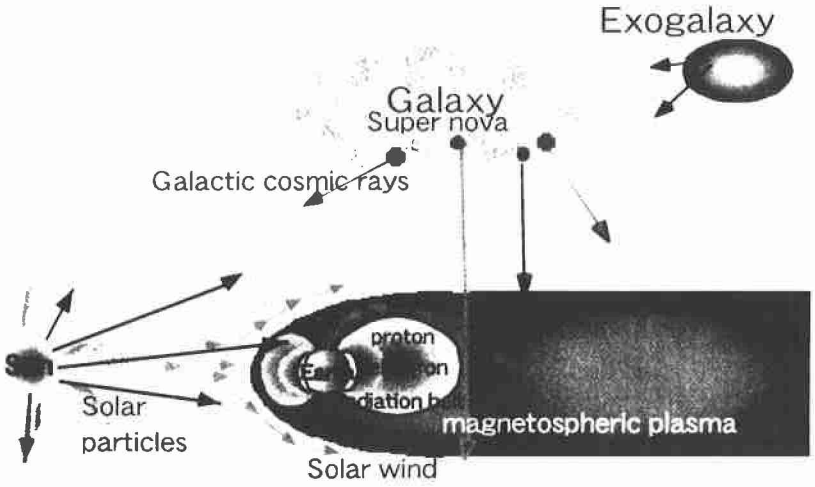


Fig.1 Rough sketch of magnetosphere

今日の知識で言えば、一般環境にある宇宙線とは、実は宇宙空間にある宇宙線そのものでなく、それらが大気と相互作用してできた 2 次宇宙線のことである。余りに種類が多いため、これらを総称して宇宙線と呼ぶ。宇宙ではほとんどが陽子であるが、これが大気粒子と衝突してそれを破壊すると、構成粒子がバラバラになって飛び出す。この過程のことを「核カスケード」と称する。飛び出すのが陽子かも知れず、あるは中性子、または中間子かもしれない。

このうち、中間子というのはπ粒子であって、それは電荷を帯びないπ^0粒子と、電荷を帯びた$\pi^{\pm}$粒子とからなる。電荷を帯びないπ^0は即 2 個の光子になってしまう。光子は動くと電子対を生み、その電子対が動くとが光子が生まれる。これは交互に起きるこ

とで、実際問題として区別しにくいため、単に「電子カスケード」と称している。航空機高度では電子による被ばくが問題になるが、それはこの理由による。一方、電荷を帯びたπ±粒子からは、もう一つの中間子たるμ±粒子が生まれる。ただしπ±はより寿命が長い（10^{-5}秒のオーダー）ので、地表やもっと深部まで達してから、μ粒子に転換される。今まで最も深い所で見つかったのはインドのコラ鉱山の中である。結果的に地表面では全体の被ばく源の 80%がμ粒子であり、残りが電子である。要するに地表の環境において、我々が遭遇する宇宙線はほとんどμ粒子である。

すると最初に生じた宇宙線はどうやってできたか。これは星の進化に伴う超新星の爆発だろうと推定されている。恒星は始め表面にある水素を核融合反応で燃やすが、それが尽きるとその内側にあるヘリウムが燃え出す。我々の太陽はまだそこまで達していない。ヘリウムに点火するとこれは燃焼効率が高いので巨大に膨らみ、太陽系を例にとって説明すると、地球軌道を呑込む程度まで膨らむ。ところが後が続かない。そして太陽は燃焼による膨張圧力と、縮む重力が競い合い、ついには後者が勝つ。そして星は中心に向かって急激に落ち込み、これが大変な圧力を生む。元々の星の質量が太陽の 3 倍以下しかない場合は、白色矮星を残し、太陽の 3 倍を越える時は、中心部に中性子星が残される。元々の星がさらに大きく太陽の 30 倍もあった時は、中央にブラックホールが生まれると言われる。

いずれも落ち込みが激しく、その際に中性子を含む様々な粒子群が生まれ、それが四方八方に飛散る。それが宇宙線の誕生である。なぜ様々な重さの自然放射性核種があるのか、その訳はこの中性子を考えれば説明できる。この減少は平均して 100 億年の寿命があるとされるが、我々の太陽はまだその半分程度しか消耗していない。しかし、いずれどうにもならない時が来る。天体物理を知り過ぎるとシニカルになるわけである

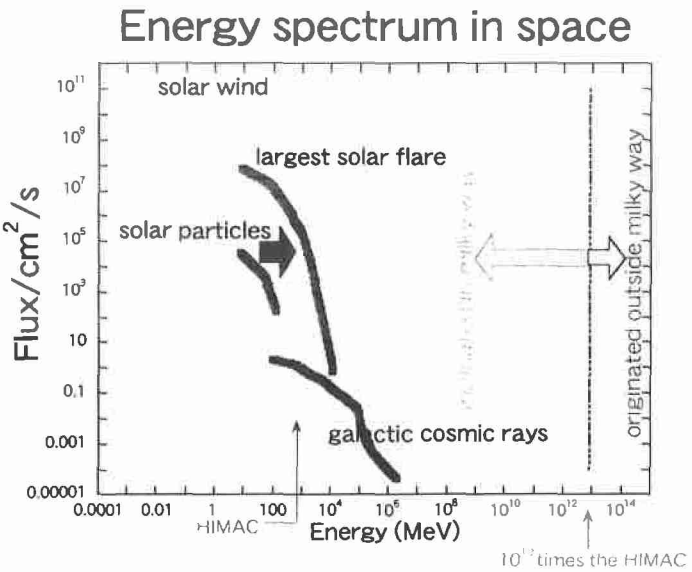


Fig.2 Enegy spectra of cosmic rays

宇宙線を両対数グラフ用紙にプロットしてみると、全貌が良く分かる(Fig.2)。ここには太陽風という極めて穏やかなプラズマ流から、太陽フレアと呼ばれる突発的な現象、また普通に宇宙線と呼ぶ高エネルギーの現象の各フラックス分布を示してある。そして太陽起源のものも、銀河起源のものも宇宙線の範疇に入れてある。そしてこの銀河で生まれる最大エネルギーは 10^{13}MeV/核子とされる。我々の銀河の外で生まれた超高エネルギーのものも無いわけではないが、それは星雲同士の衝突に起源を持つと考えられている。分かり易くすると、放医研が誇る加速器 HIMAC の最大出力が 800MeV/核子だから、その 100 億倍のエネルギーが、銀河内部で生まれる最大エネルギーである。人智の作り出す技術の小ささを感じさせる。

それでも地球は磁気圏の存在によって護られていることに触れたい。地球は全体として天然の棒磁石だが、そのモーメントは少しだけ回転軸から傾いている。我々はその中にいる限り、太陽フレアのような突発的な現象の時を除いて、かなり護られているのである。これが最も顕著に現れるのが、航空機で北回り路線と南回り路線のどちらを選ぶか、という問題が起きた時である。同じ欧州に行くとしても、南回りの方が時間がかかる。では線量はどうか。

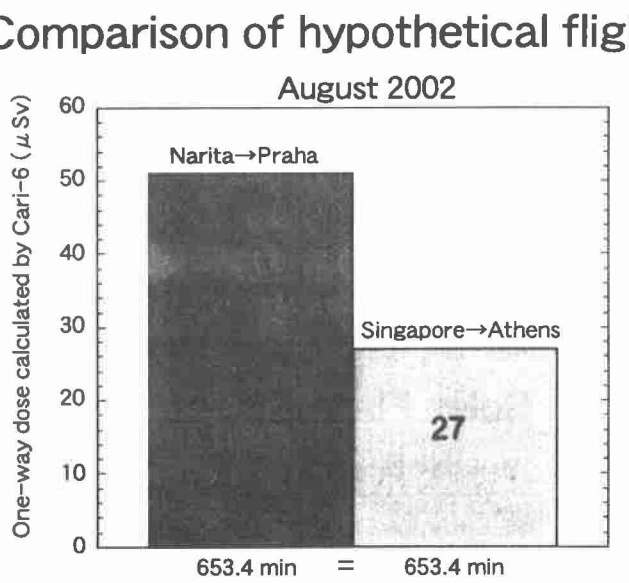


Fig.3 Northern root receives larger dose than southern root

ここにモンテカルロ計算コード Cari-6 を用いて計算した結果がある。仮想的な飛行ルートで、片方は成田→プラハへ飛び、もう片方はシンガポール→アテネに飛ぶルートである。モンテカルロ計算だから、色々な仮定に左右されるので、限界は自明だが、ここでは 370000 フィートの一定高度で飛ぶ場合を考えた。但し上昇時と下降時には各 30 分づつ時間をかけて移行するとした。明らかに成田→プラハの方がシンガポール→アテネより被ばく線量が大きい (Fig.3)。ほとんど 2 倍の差がある。モンテカルロ計算は便利だから、色々高度を変えた計算もしてみた。すると 37000 フィートと 31000 フィート

では、前者が約 55μSv 浴び、後者は約 34μSv を浴びることが分かった。さらに太陽活動の影響を調べるため、Heliocentric Potential という磁場のインデックスを計算したところ、成田発ではニューヨーク便が最大 40%の変化を見せ、ベルリンやモスクワもそれに準じた。ところがホノルルやシンガポールでは殆ど変化しなかった(Fig.4)。ここに描いていない国内便のグラフはもっと下になり、形も寝ている。繰り返すが、あくまでこれはモデル計算なので鵜呑みにはできない。

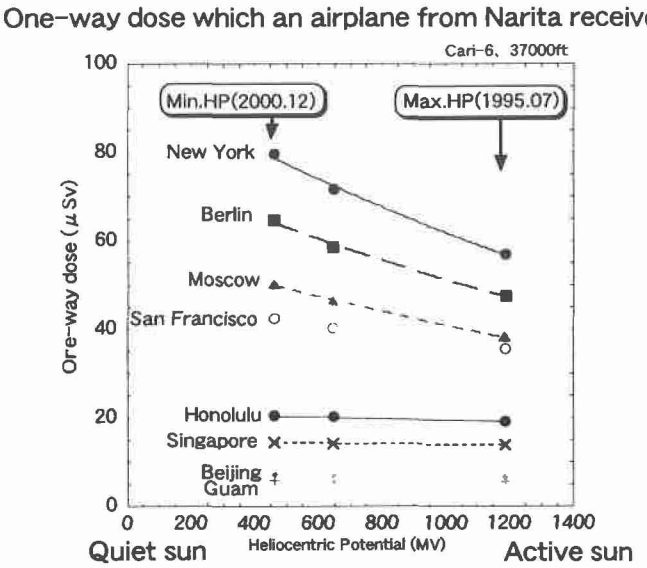


Fig.4 Effect of solar activity variation

太陽と言えば昨年のフレアの時どうなったのか興味あるだろう。これは太陽からの圧力で地球磁気圏が圧縮されて磁場が強くなり、もっと外側からくる銀河宇宙線が跳ね返さ

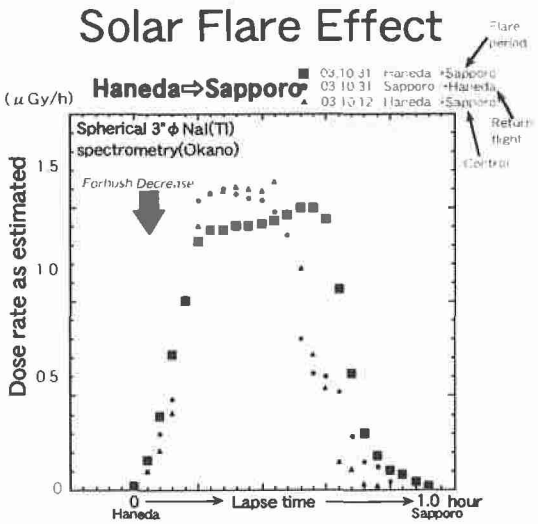


Fig.5 Forbush Decrease

れて、地球近傍の宇宙線は減ったのである。これはForbush減少と呼ばれる現象であり、日本のような低地磁気緯度で観測されたことは珍しい。その計測データを持っている。

どこまで飛んだらどれだけ被ばくすることになるかのデータも持っているが、これは簡易型のポケット線量計の結果であり、その限りにおいて、また中性子の評価法もその限りにおいて、とにかく校正してある。成田から各地で飛ぶ時の片道線量で、ニューヨーク行きが最も大きく、アジア地域では小さい。ただし経験から言うと、同じパリ行でもルートが大きく異なったり、また飛行高度が大きく異なったりした例があった。従って一般的にこうなる保証はないかもしれない。

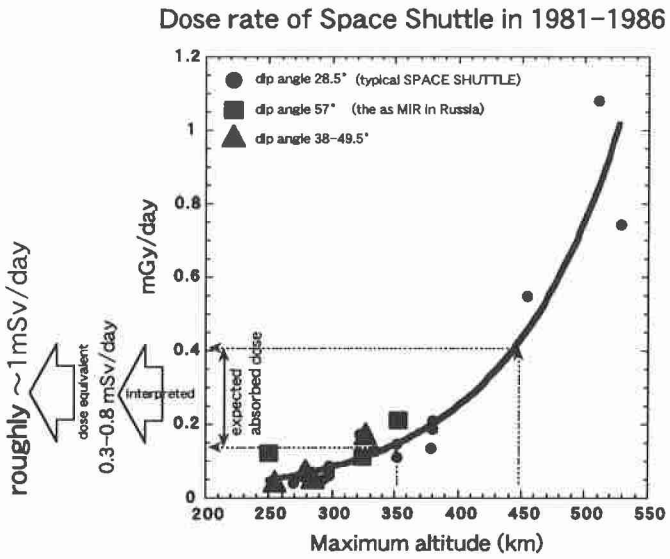


Fig.6 Dose rate in cosmos

そして宇宙である。我々の所では、その被ばく線量計測を調べている。米国 NASA のミッションが中断中なので、ロシアに頼み、プログレス・ロケットで打ち上げて貰っている。また中国からも長征 6 号に搭載して貰う話が進められているところである。今までのところ、磁気圏ない宇宙空間では 1mSv/日というのが線量の値として、世界中で使用されている。図はその内訳と簡略化の方法を示す (Fig.6)。

一方 JAXA(旧 NASDA)の計画している宇宙飛行士の受ける被ばく線量限度が発表されている。これをみると、火星に行くのは、40 歳にならないと 1Sv(シーベルト)を越すような被ばく線量を受け入れられないことになる。この Sv という単位は発がんを意識した単位である。比較すると、如何に火星ミッションが大きな被ばく源になるかが分かる (Fig.7)。この 1Sv という被ばく限界も法的な面でどうなるかは不明だが、その数値に頼って色々な星までの線量を距離から推定してみると、どうも人類は冥王星を越えられないようである。すなわち、太陽系から脱出できない。がんの治療線量になるからである。がん治療では合計 15 回程度に分割して患者に与え、その合計線量が約 70Sv になるが、

宇宙でも太陽系の境界まで行くと、その値に近づく。がん細胞を殺す事を期待していたが、同様の線量で正常細胞も死ぬかも知れないのである。これをさらに他の恒星に惑星系があったとして、アルファ・ケンタウルス星まで行くと、10 万 Sv となって到底無理なことが分かる。この線量をどうするか、という議論がさらに深まることを期待したい。

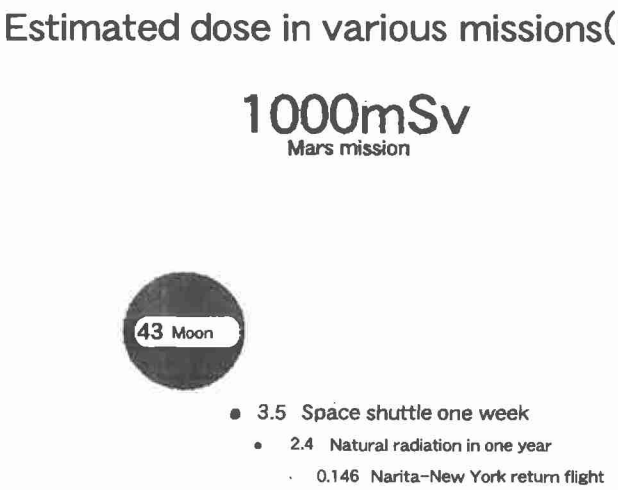


Fig.7 Doses received by various missions

宇宙線は約 92%の陽子と、7%の重粒子、1%の重粒子の合計からなる。これが人体に当たった時、何が起きるだろうか。体の特定細胞を考えるなら、陽子は2～3 日に1 回ぶ

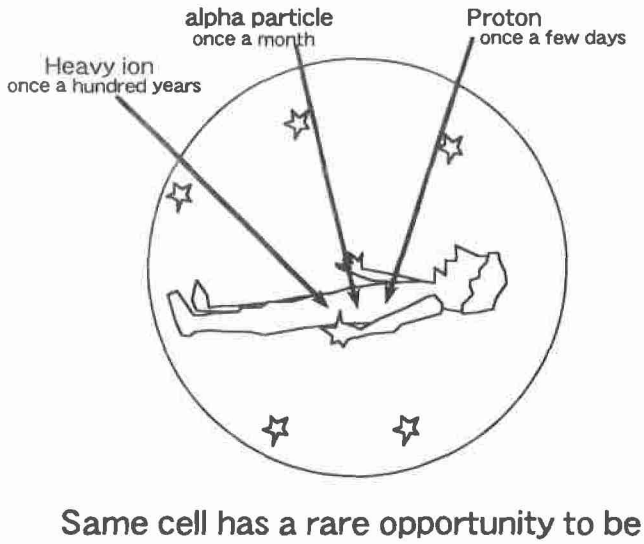


Fig.8 Collision of same cells

ぶつかるし、アルファ粒子(ヘリウム原子核)イオンは 1 ヶ月に 1 度ぶつかり、また重粒子に至っては 100 年に一度しかぶつからない(Fig.8)。一生涯当たらない人もいるはずである。ところが体のどこかの細胞にぶつかれば良いとして確率を計算すると、この関係は大きく変わる。即ち陽子は 1 秒に 3.3 億回、ヘリウム原子核イオンは 1 秒に 2300 万回、重粒子は 1.8 万回衝突するのである(Fig.9)。人体には 60 兆個もの細胞があるためだが、特定細胞でなく、そこから外れた細胞でも可、という所に興味が持たれる。放射線生物学では「バイスタンダー効果（当たっていない細胞が影響を受ける)」が昨今話題を集めているからである。

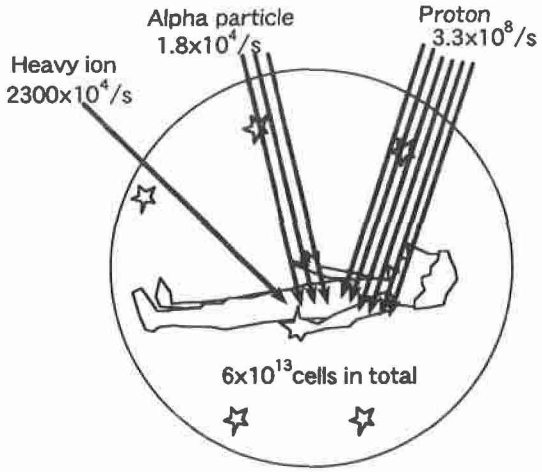


Fig.9 Collision of different cells

もう一つ指摘しておきたいのは、宇宙が微小重力だという点である。現在遠心分離器の原理に基づき、大型の装置を計画中だが、実際問題として人工重力を作らないと、長期間宇宙へ人間を送ることは困難だと思う。3 ヶ月間軌道にあったスカイラブ 4 号の宇宙飛行士の骨を観察すると、脱カルシウムが 5%程度見られたからである。永久に地球に戻らないなら、タコみたいになっても良いと言うなら、影響を無視することも可能だが、元に戻ることを想定するなら、この微小重力対策は重要と思う。今までロシアで行われたボランティアによる長期間の寝たきりテスト結果や、過去にあった 1 年を越すような長期間宇宙滞在の際の記録を点検する必要があると考えている。

今のところ、宇宙に行くのはある種のボランティアのような、使命感のある人たちだろうと思う。彼らはパイオニアであり、大切にされなければならないと思う。そして地上でも理論研究や加速器利用研究をもっと進めるなど、色々な方面の研究をしないと、宇宙の余りの巨大さに太刀打ちできないだろうと考える。

[参考文献] NASDA:有人サポート委員会放射線被ばく管理分科会報告書,H13.12 等

第３章　１３．

医療と放射線

藤田保健衛生大学
下　道國

１．はじめに

科学技術の進歩は、よく指数関数的に伸びてゆくといわれる。医療においても例外でなく、検査、診断および治療で使われる最新に技術には目覚しいものがある。そのなかで、今からおよそ１１０年前に発見され、ノーベル物理学賞第１号の対象となったＸ線、およびその後の１０年ほどの間にあらかたの基礎的知識が得られた放射線・放射能が、現在の医療で大きな存在となっていることは、いまさら言うまでもない。

ここでは、放射線治療の話しではなく、検査と診断で用いられる放射線機器、および厳密には放射線機器ではないがそれに近い装置と考えられる機器について、その原理と利用状況について簡単に紹介する。また、利用の対極にある放射線の人体への悪い影響についても、考え方や知見を紹介する。

２．　医療で使われる放射線機器類

医療域で使われている放射線に関連した機器類は数多くあるが、その分類の仕方も機器の原理・構造で識別するか用途によって区別するかによって変わる。また、コンピュータ断層撮影（ＣＴ）法が普及した現在、身体の立体画像も容易に得られるようになり、Ｘ線撮影のほか核磁気共鳴（ＭＲＩ）画像、超音波画像、ＲＩ検査での応用も進み、今日、画像診断法として確立している。ここでは、主に用途に準じて大別することにするが、それを表１にまとめて示した。

表１　医療で用いられる放射線機器類

用途・目的	原　　理	処理技術
診断・検査	Ｘ線（間接撮影、透視）、 ＲＩ（ガンマカメラ、ＰＥＴ、ＳＰＥＣＴ）ＭＲＩ、ＵＳＤ、	単純画像 ＣＲ ＣＴ
治療	Ｘ線・ガンマ線照射、リニアック、 ガンマナイフ、小線源照射・投与、 中性子捕捉療法、重粒子治療、	遠隔操作
その他	骨塩定量装置、器具の滅菌・消毒、	

１）診断・検査

（１）Ｘ線による診断

Ｘ線は、物質を透過する際その物質の密度の違いによって吸収される度合いが異なる。たとえば、水で吸収される割合を１とすると、筋肉などは水とほぼ同じであるが、肺は空

洞があることなどから 0.8 程度であり、骨では５倍も大きい。身体を透過したＸ線をフィルム上に映し出したとき、このような理由でさまざまな濃淡のある像が得られる。

単純なＸ線画像として、胸部を撮影した場合、その画像には肺、心臓、肋骨および筋肉など軟組織が映し出されるが、臓器の形態の変化と正常では見えない陰影から診断がなされる。胃の検査では、胃の粘膜に異常があるかないかの判断がなされるが、陰影をよくするために硫酸バリウムを飲用する。消化管や血管は造影剤（血管ではヨード製剤）の助けを借りなければ、周囲の筋肉などの組織と区別がつかない。

コンピュータラジオグラフィ（ＣＲ）は、フィルム画像の濃度差より鮮明が画像を得るために開発されたもので、Ｘ線を光信号に変換して情報を処理し、画像をカラー表示する。この方法は、フィルム画像より優れていて、フィルム画像では見えなかった異常が見つかることもある。

コンピュータ断層撮影（ＣＴ）は、原理的には、Ｘ線管を体の周りに回転させながらＸ線を照射し、透過Ｘ線を対極にある検出器で受ける。信号をコンピュータで処理することによって、体の横断面の画像を見せる技術である。同法は、イギリスのＧ．Ｎ．ハウンスフィールドとアメリカのＡ．Ｍ．コーマックによって独立に開発されたが、1979 年のノーベル医学生理学賞をともに受賞している。現在、同法は大変普及していて、脳出血、脳梗塞、肝臓がん、すい臓がんなどの診断に威力を発揮している。

Ｘ線ＣＴの発達には目覚しいものがあるので、少しその原理・装置の進化の状況を紹介しておく。初代は、Ｔ－Ｒ方式と呼ばれ、被検体をはさんで対向して設置されたＸ線管とＸ線検出器を１組とする。これを求めようとしている被検体の断層面に平行に直線的に動かして等間隔で投影データをとる。その後、断層面に直交する軸でＸ線管とＸ線検出器を微小角度回転させてデータを取る。この直線運動と回転運動を交互に繰り返すことによって、被検体に関する詳しいデータを取る。同法は、現在もう使用されていない。第２世代は第１世代の変形である。第３世代は、数百もの検出器が円弧状に配列されていて、Ｘ線管と検出器が一体となって被検体の周囲を 360 度回転するが、一定角度ごとに投影データをとる方式である。Ｒ－Ｒ方式と呼ばれ、現在最も多く使われている。第４世代はＳ－Ｒ方式と呼ばれるが、数千もの検出器が円周上に固定され、検出器と被検体の間に配置されたＸ線管が 360 度回転するようになっている。Ｒ－Ｒ方式と同様に一定角度ごとにデータが集積される。この後に出てきた装置はＮ－Ｒ方式とよばれ、Ｓ－Ｒ方式で動かなかった検出器がＸ線管の動きに応じて「うなづき運動」をするようになっている。さらに 1990 年には、撮影中に撮影位置を対軸方向に移動させながら広範囲に多層の撮影をする方法が開発された。ヘリカルスキャン（ら旋操作）方式と呼ばれ、撮影時間が大幅に短縮されるとともに、３次元ＣＴ撮影が可能となっており、現在のＣＴの主流となっている。

（２）ＲＩによる診断

放射性同位元素（ＲＩ）が出す放射線を利用した診断法は、通常、核医学検査と呼ばれている。この核医学検査は、次に述べるガンマカメラによる画像診断以外に、脳の血流や臓器の機能検査、生化学検査などにも利用されている。

ガンマカメラ（シンチカメラ）で使用される主なＲＩは、比較的寿命に短い核種で、テクネチウム 99m（Tc-99m）、ヨウ素 131（I-131）、タリウム 201（Tl-201）、ガリウム 67（Ga-67）などである。これらは元素としてそのまま使用されることはまれで、これらの

元素で標識した化合物が、経口か注射によって患者に投与される。これらの化合物が検査しようとしている臓器にいきわたった段階で、ＲＩが出すガンマ線をガンマカメラと称する検出器で体の外から測定して、その分布の様子を画像として見るのである。なお、同法は、脳、肺、心臓、肝臓、腎臓、骨、腫瘍、など多くの病気の診断に使われているが、これらの核種の半減期、診断対象、薬剤等を表２にまとめた。

表２　核医学検査でよく使われるＲＩ

ＲＩ	半減期	診断対象	薬剤
テクネチウム 99m	６時間	腫瘍、骨	Tc-99m リン酸化合物、Tc-99m パーテクネート
ヨウ素 131	８日	甲状腺	I-131 ヨウ化ナトリウム
タリウム 201	７２時間	潰瘍、炎症	Tl-201 塩化タリウム
ガリウム 67	７８時間	腫瘍	Ga-67 クエン酸ガリウム

ＰＥＴは、陽電子（ポジトロン）を放出する核種を利用した断層撮影技術である。通常の電子はマイナスの電荷をもっているのに対して、陽電子はプラスの電荷を持っている。陽電子は寿命が短く、通常の負の電子と結合して消滅するときに、180 度方向に２本の電磁
波（消滅放射線と呼ばれる）を出すので、診察者が臥せるベッドを挟んで向かい合うように設置された検出器でそれを計測することによって、放射線を出すもとの元素の体内の分布状況を詳しく知ることができる。陽電子放出核種には寿命の短い核種が使われ、それらは通常、併設した小型の粒子加速器（サイクロトロン）で製造される。また、表３に示した核種のうちフッ素 18 以外の身体構成核種の場合、身体機能がそのまま画像として得られ、診断には有益である。

表３　ＰＥＴで使用されるＲＩ

ＲＩ	半減期	診断対象
炭素 11　(C-11)	20.3 分	身体機能
窒素 13　(N-13)	10 分	身体機能、脳血流
酸素 15　(O-15)	124 秒	身体機能
フッ素 18 (F-18)	109.7 分	脳のブドウ糖消費量

ＳＰＥＣＴは、ＰＥＴとよく似ているが、次の点で違いがある。つまり、ＰＥＴが陽電子消滅で発生する一対の放射線（２本）を利用しているのに対して、ＳＰＥＣＴは体内のＲＩから出る１本１本の放射線を測定の対象としている。ただし、体軸と垂直な多方向から測定して、体軸に沿った断層像を得る装置である。ＰＥＴと同様ＳＰＥＣＴもコンピュータの発展とともに発達した方式である。

（３）　核磁気共鳴（ＭＲＩ）による診断

核磁気共鳴法の原理は、次のようなものである。すなわち、ある特定の元素は磁場の中

にあるとき、外部から特定の波長（周波数）の電磁波を照射するとその元素だけが共鳴してエネルギーを蓄え、次に外部電磁場を切ると共鳴していた原子がエネルギーを電磁波として放出して元の状態に戻る。この電磁波を信号として測定しコンピュータで処理すると、信号の出た位置におけるその元素の密度分布が分かる。周波数を換えることによって異なる元素からの信号を受けることができるが、医療では水素が主に使われている。

（4） 超音波による診断

超音波法は、魚群探知機などにも応用されているように、発信した超音波の反射音波を測定する方法である。その際、反射波の周波数がドップラ効果により送信波の周波数から若干ずれるのを利用している。同法は、近年に急速に発達してきた方法で、心臓は腹部の検査ではきわめて有用である。また、放射線を利用していない点で、被検者は被ばくのいらぬ心配をしなくてよいので安心感はあるだろう。

2）治療

放射線治療で主な対象となるのは「がん」である。がんの治療法としては、外科療法、放射線療法、化学療法、免疫療法の４種類があり、それぞれ一長一短で、あるがんには有用な方法も他のがんには不適切といったこともある。また、発生部位や症状により複数の方法が併用されることもある。放射線療法は、身体の形態と機能を温存できるのが利点であるが、副作用のあるのもまた事実である。使われる放射線は、X線、ガンマ線、中性子線、陽子線、重粒子線などがある。照射の形態としては、体の外から照射する（外部照射）方法と小線源を密着させたり、直接患部に入れて照射する（小線源治療）方法がある。

（1） X線・ガンマ線の外部照射療法

がんの治療で主に使われるのは、X線とガンマ線である。外部照射方法では、医療用線形加速器（リニアックまたはライナック）で発生させた高エネルギーX線や、コバルト60ガンマ線治療装置（テレコバルト）が使われる。また、脳腫瘍に威力を発揮するガンマナイフと呼ばれる特殊な装置もある。

（2） 小線源治療法

線源を密封した針（針状も器具）や環状器具があり、たとえば、舌がんでは患部にラジウム針を刺入して直接照射する方法がある。昔はラジウムが使われたが、今はイリジウム192が使われる。舌がんのほか、子宮頸部がんや食道がん、肺がんなどの治療でも使われている。

甲状腺にはヨウ素が集中的に集まるが、この性質を利用して、非密封性の放射性ヨウ素（ヨウ素131）を患者に投与して、甲状腺がんや甲状腺機能亢進症の治療に使われる。

（3） 中性子捕捉療法

この療法は、ホウ素が中性子をよく捕捉する性質を利用する。捕捉された中性子はホウ素と反応してアルファ線を出すが、このアルファ線をがんに当ててがんを殺す治療法である。がん細胞などの組織内におけるアルファ線の飛程は10～20 ミクロン程度であるので、正常細胞に傷をつけることは少なく、効果的にがん細胞を破壊する。したがって、同法では、あらかじめ、がん細胞にホウ素（化合物）を吸着させておいて（正常細胞には取り込まれないホウ素化合物が必要）、原子炉の中性子を当てる方法がとられる。同法は、脳腫瘍や悪性黒色腫などに効果が認められている。

（4） 陽子線、重粒子線療法、その他

陽子線や重粒子線は、X線・ガンマ線と異なり、その粒子が止まる直前でもっとも多くのエネルギーを失う（ブラッグ曲線として知られる；その周囲に多くのエネルギーを与える、すなわち破壊エネルギーが大きいということができる）性質がある。この性質をうまく利用すると、周辺の正常細胞を傷つけることなく、主にがん細胞だけを破壊することができる。陽子線を使った治療装置は、世界でもいくつか稼動していて効果を上げている。他方、わが国の放射性医学総合研究所では、世界に先駆けて、平成６年に大型の加速器で加速した炭素原子を使った重粒子治療（ハイマック）の臨床試験を始めた。平成 16 年２月までに、初期の試験治療も含めて１８００例近い治療が行われてきているが、平成１３年には国から高度先進治療として承認され、一般治療が行われるようになっている。装置が高額でかつ高度な物理・工学の技術者が必要であり、これら技術者と医師との連携などが重要である。

（5）IVR

IVR とは、画像診断的介入治療法である。同法は、直接 X 線透視手法に源を求めることができ、その手法が医師などの術者の被曝が多いことなどから使われなくなっていた。ところが、近年、装置の改良と術者の被曝低減化がはかられて、急速に発展してきて、よく使用されるのは、血管を対象とした血管造影手法と血管以外を対象とした手法である。

3）その他

（1）骨塩定量分析装置

骨粗しょう症やビタミンの代謝異常を検査するために、ヨウ素 125 からでるガンマ線を照射して、その透過吸収の様子をシンチレーションカウンタで測定する装置である。

（2）ECD 使用ガスクロマトグラフ

検出部に RI（Ni-63）と放射線測定器を配置して、試料である気体や揮発性液体などの成分を分析する装置である。

（3）輸血用血液照射装置

輸血後の移植片宿主疾患を抑制するために、輸血用血液を X 線またはガンマ線で 15～50 グレイ照射して、リンパ球を死滅させる装置である。

（4）器具の滅菌・消毒

一般に目のつきにくいところであるが、医療機器の消毒法として、煮沸滅菌法、蒸気滅菌法、科学滅菌法などと並んで放射線滅菌法がある。ガンマ線や加速器で発生させた電子線などを用いて、細菌を死滅させる方法である。熱に弱い器具に適用できること、室温処理できること、工程が簡単であること、同一条件で大量に処理できることなどから利用されている。現場で使用されるメス、カテーテル、注射器具、手術用糸、人工腎臓などが対象となって利用されている。

3． 医療被曝

1）医療被曝の現状

医療における放射線利用においても、工業利用など他分野での利用とまったく同様に被

ばくを考慮しなければならない。医療被曝には、治療時の被ばく、診断や検査における被ばくのほかに、子供や高齢者などの付き添いや介護でやむなく患者と一緒に浴びる被ばく、あるいは研究の検体として受ける被ばくなども含まれる。治療や診断は、放射線を受けることによる個人のメリットが明確であるが、介護や検体としての被ばくは、個人の利益が必ずしも明確でなくかつまた見過ごされがちである。なお、医師や診療放射線技師など医療関係者が仕事上被ばくするのは、職業被ばくに区分されていて、医療被ばくには含まれない。

特に治療においては、その利益に目がゆくのは当然であるが、被ばくのデメリットについてもよく承知しておく必要がある。がん治療では、がん細胞を殺すためにぎりぎりの線量を受けることがあるが、線量計算を誤ったために倍ほどの量をあびたことで、放射線障害が後遺症として出た報告が時としてある。がん細胞を殺すのに近い線量を周辺の正常細胞が浴びた場合、正常細胞も死ぬかあるいは傷が修復されないままそれががん化することもある。治療で放射線を使うこと、そしてその量を決めることはすべて最終的に医師の判断によるのは言うまでもない。それだけに、わが国の風土としてなかなか聞きにくい点はあるが、患者は自分自身のことであるから、よく説明を聞いて理解し、確認することが重要である。また、被ばく量は病気の状況や個人によって大きく違うのは当然のことである。

個人が個々に受ける診断や検査、あるいは胸部や胃の定期的な集団検診は、それ相当の利益があるために行われているのであるが、反面、マイナス面として被ばくを伴っている。わが国は、集団検診がよく整備されており、またＣＴの普及もあって、Ｘ線検診での被ばく量は諸外国に比べてかなり高い方である。しかし、それによる被ばく量の個人平均は、自然放射線からの被ばくとほぼ同程度であって、この程度の量では放射線による障害が科学的に認められることはない。受けなければならない、あるいは受けたほうがよい診断・検査を、被ばくを恐れるが故に受診しないのは利益に合致しないが、余分な検査や診断については、被ばくのほか医療費の面からも考えても、受診することはない。

表４に、１回の診断等で受ける平均的な線量を示した。なお、「線量」とは、放射線の量そのものではなく、放射線を受けることによって臓器や組織あるいは体全体が受けた影響のことで、もし放射線に当たっても体に影響を残さず通過してしまった場合は、線量は０で被ばくしたことにはならない。

表４　１回の診断等で受ける線量

診　断　行　為	入射面の皮膚線量（ミリシーベルト）
胸部撮影	０．２
腹部撮影	１
骨撮影	４
上部消化管検査（透視）	１０

表５に、平均としてわが国の国民一人当たりに医療で受ける被ばくの現状を示した。これからも、全体としてはＸ線診断による被ばく量が最も多いことが分かる。治療での被ば

く量が少ないのは、受ける人数は少ないからである。

表５　医療における被ばく量

			一人当たりの年間線量（mGy）	
			がん（有意線量）	白血病（同）
診	X線診断	撮影・透視	０．６１０	１．３００
断		ＣＴ	０．０１０	０．０２０
・	集団検診	胸部	０．０３０	０．０５０
検		胃	０．０８０	０．１００
査	放射性医薬品		０．００５	０．０１０
治	放射性医薬品		（０．４６０）	０．００７
	放射線	ビーム	（０．０４０）	０．２３０
		小線源	（０．１７０）	０．０２０
療	歯科X線	口内法	０．００７	０．００８
		パノラマ	０．００１	０．００２

２）放射線のヒトへの影響

放射線の生体への影響として、被ばくした本人に現れる**身体的影響**と子や孫に現れる**遺伝的影響**がある。身体的影響は、たとえば眼だけのように特定の狭い部位が被ばくした**局部被ばく**と、外部放射線によって体全体が被ばくしたような**全身被ばく**に分けられる。一回被ばくによる身体的影響について表６にまとめた。

表６　１回被ばくによる身体的影響

局部被ばく	線量（ミリシーベルト）	全身被ばく
急性潰瘍	10,000 以上	—
—	8,000	全員が 60 日以内に死亡
白内障、皮膚の紅斑	5,000	
永久不妊	4,000	半数が 60 日以内に死亡
脱毛	3,000	—
水晶体の混濁	1,000	悪心、嘔吐（10%の人）
—	500	抹消血中のリンパ球減少
—	200 以下	臨床症状は確認されず

遺伝的影響では大量の放射線を浴びせた動物実験では確認されているが、広島・長崎の原爆被爆者においても、それは確認されていない。

また、**早期影響**と**晩発影響**という分け方もある。被ばくして数日以内に症状が出る皮膚の紅斑などは早期影響であり、被ばく後何年もたってから出るがんは晩発影響である。

さらに、**確定的影響**と**確率的影響**という区分もある。確定的影響とは、「ある量」以上

の被ばくをした場合には確実に現れる症例で、がんと遺伝的影響以外のすべての症状である。症状が出現することになる「ある量」を「しきい値」というが、しきい値を超えて受けた線量が多くなるほど症状は重くなる。

一方、がん（白血病を含む）と遺伝的影響は確率的影響であり、被ばく量が多ければそれだけ発生確率が高くなる。しかし、がんの発生にはさまざまな原因があることから、100ミリシーベルト程度以下の低い線量では、本当に放射線が原因で発がんしたのかどうかは確認できていない。また、生物が持つ細胞修復機能や傷ついた細胞を自ら除外して体を正常に保持する機能、あるいは免疫機能などの作用があるため、がん発生にもしきい値が存在するという考えもあって、現時点で科学的には決着していない。

４．　おわりに

医療分野での放射線利用の状況を紹介した。診断と検査ならびに治療における被ばくと放射線の人体への影響について述べた。放射線は医療にとって有力な手段であり、現状では、放射線による影響（害）よりも利用による利益が上回っている。わが国のこの分野での放射線利用は、機器の普及とその技量は世界のトップレベルにあって、健康管理と治療に役立っているが、影としてある被ばく量の多いことにも留意して、必ずしも必要としない余分な診断は受けないなど、被ばくを減らす努力もして冷静に対応してゆく必要がある。

略記号　ＣＲ：Computer Radiography
ＣＴ：Computed Tomography
ＲＩ：Radioisotope
ＰＥＴ：Positron Emission Tomography
ＳＰＥＣＴ：Single Photon Emission Computed Tomography
ＭＲＩ：Magnetic Resonance Imaging
ＵＳＤ：Ultrasonic Diagnosis Equipment
IVR：Interventional Diagnostic Radiology
ECD：Electron Capture Detector

参考文献

１．瓜谷富三・岡部哲夫編：放射線診断機器工学、医歯薬出版、1999.
２．日本原子力学会編：原子力がひらく世界、日本原子力学会、2002.
３．辻本　忠・草間朋子著：放射線防護の基礎、2001.
４．日本保健物理学会編：新・放射線の人体への影響（改訂版）、2004.

第3章　１４．

環境の視点から２１世紀の暮らしを考える

松　岡　信　明

1.　環境問題の誤解とその理由

最近の高校生に「日本の昔（30 年前）と今を比較すると、どちらの環境汚染がひどいか？」という質問をすると、70%が「今がひどい」と答えるそうです。筆者も機会があるたびに中学生、高校生あるいは社会人の方々に同様の質問をしてみますが、ほぼ似たような結果になります。しかし、少なくとも「汚染の程度」という観点で見ると、今のほうがずっと環境はよくなっていると見た方がよいと思います。たとえば日本の大気中の硫黄酸化物濃度を見ると、この 30 年間で著しく改善されています（図 1）。また近年話題になっているダイオキシン類についても、専門家の研究によれば環境汚染のピークは 30 年前であったことがわかります（図 2）。つまり、一般人が抱いている環境汚染の印象と専門化が認識している現実は、かなりかけ離れているということがわかります。

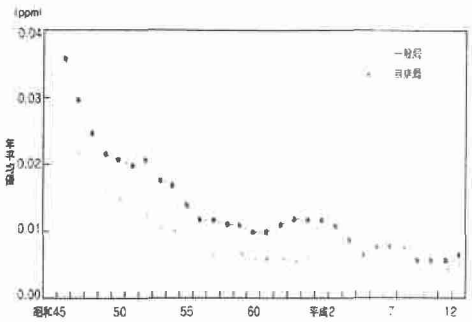


図 1　日本の環境汚染経年変化の例
（14 年版環境白書）

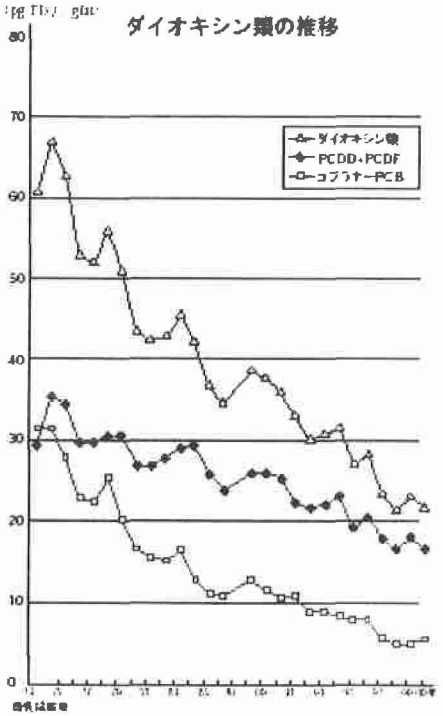


図 2　母乳中ダイオキシン類濃度の経年変化（厚生労働科学研究　母乳中のダイオキシン類濃度に関する研究班）

一般人と専門家の認識の乖離はどこに原因があるのでしょう。一つにはマスコミによる情報提供のあり方が考えられます。マスコミにも科学部門担当者がいますので、たとえばダイオキシン類については 30 年以上前の農薬起因の環境汚染が存在したが、現在では著しく低減しているということは知っています。しかし現実の報道段階になると、「ダイオキシン類は現在非常に深刻な問題となっている」ということになります。視聴率確保のための情報操作がなされ、一般人は誤った知識を与えられていると言えます。また一つには、教育の場に正しいデータがきちんと供給されていないということも考えられます。近年は環境白書や循環型社会白書などに詳細なデータが記載されるようになりましたが、以前は教育現場の先生方が科学的な根拠のあるデータを参照できる機会が少なかったのではないでしょうか。従って、教育の場においてもマスコミレベルに近い情報提供しかなされておらず、青少年が高校や大学までの教育課程の中で環境に関する正しい知識を身につけていないと考えられます。

国民が環境問題について正しい知識・認識を持つことは、種々の環境問題を解決するために不可欠です。マスコミによる正しい報道と、教育の場における環境教育の推進が望まれています。特に、総合的な学習の時間が導入され、学校における環境教育には大きな期待が寄せられています。

2. 環境問題の歴史

世界の歴史を環境の視点で眺めると、既に古代文明の時代から環境破壊が発生したと言われています。メソポタミアやエジプトでは銅の精錬などによる大気汚染があったことも記録に残っています。また、メソポタミアやギリシャは古代においては緑豊かな土地であったそうですが、地球の歴史で見ると極めて短時間のうちに環境からの収奪を行ったため、深い森は消滅してしまいました。わが国においても既に縄文人はごみ問題に悩んでいたと言われ、今に残る貝塚は考古学上重要な遺跡であると同時に、古代人が環境問題に悩んだ証しでもあります。

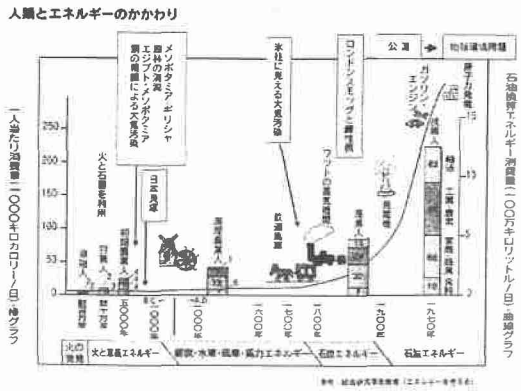


図3 人類とエネルギーのかかわり

環境問題は人類のエネルギー消費と密接に関連していますが、人間活動が再生可能な太陽エネルギーに依存している間は、致命的な問題に至りませんでした。しかし、19世紀初頭に始まった産業革命によって人類は再生不可能なエネルギーである化石燃料の大量消費に手をつけ、これによって環境問題が一挙に深刻化しました。グリーンランドなどの氷柱の分析をすると、産業革命以降に鉛などの重金属汚染が地球規模で進行したことがわかります。19世紀末のロンドンでは石炭燃焼による大気汚染に悩まされていましたが、この当時既に酸性雨が観測されていました。

20世紀初期の環境汚染は公害(Public Nuisance)という概念で取り扱われる局所的なものでしたが、次第に広域的な環境汚染が問題になるようになりました。たとえば欧州や北米大陸の大気汚染は、“越境汚染”として隣接する国の人間活動・産業活動が相互に影響を及ぼしています。そして、20世紀末には環境汚染は酸性雨、オゾン層破壊、地球温暖化などの“地球環境問題”として、まさにグローバルな問題になりました。

“公害”と呼ばれた環境汚染は、汚染地域が限定され、被害・加害の関係が明確で、人体への影響も特有の症状として表われました。このため原因究明も速やかになされ、技術的対策もとり易かったと言えます。日本ではいわゆる四大公害が発生しましたが、その一つである水俣病が発生した水俣市では、汚染海域の埋立て復旧事業が実施され、汚染はほぼ完全に封じ込められました。しかし、このために13年の歳月と485億円の資金を費やしました。

広域環境汚染は多くの場合いくつかの要因が複合して発生します。従って、因果関係を明確にすることが難しく、被害・加害の関係が明らかでありません。大量生産・大量消費・大量廃棄のライフスタイルの結果が広域環境汚染であるとすれば、これを追求する市民一人一人が被害者であり加害者でもあるということになります。また、広域環境汚染は人体や生物への影響も明確な現象として表われるわけではありません。これらのため、地球環境問題に代表される広域環境汚染については、過去の公害対策のような迅速で具体的な対策を立てにくいと言えます。結局解決のための早道は大量生産・大量消費・大量廃棄といったライフスタイルの変更ということになり、“循環型”とか“ストック型”と言われる社会の構築が重要であるとされています。

3. 残された環境問題はなにか

公害と呼ばれた環境問題は日本ではほぼ解決されています。しかし、日本が経験した公害が開発途上国で再び発生する可能性が指摘されています。特に水銀汚染については世界各地で実例が報告されており、このような問題に対して日本の国際貢献が求められています。

日本では煙道排ガスや自動車排ガスによる大気汚染、工場排水による水質汚濁なども深刻でした。しかしこれらについても、排出ガス浄化装置や排水処理施設の普及によって、人の健康に影響する汚染はほとんど無くなりました。大気中二酸化窒素濃度など、環境基準を未達成の部分もありますが、改善の方向にあることは間違いありません（図 4）。

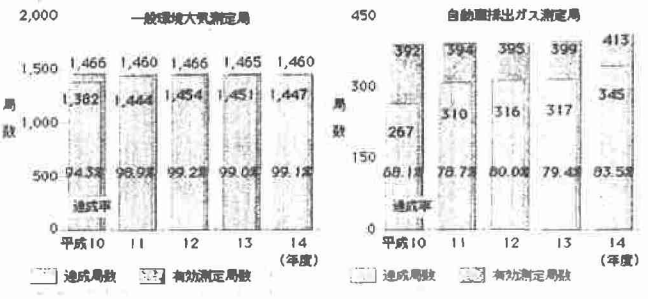


図 4　二酸化窒素の環境基準達成状況の推移
（平成 16 年版環境白書）

最近は以前の公害型環境汚染に替わって、農薬、ダイオキシン類、環境ホルモンなどの化学物質による環境汚染が問題になっています。しかし、これらの継続的な調査結果を見ると、使用規制や排出抑制の対策によって、最近の汚染レベルは非常に低くなっていることがわかります。

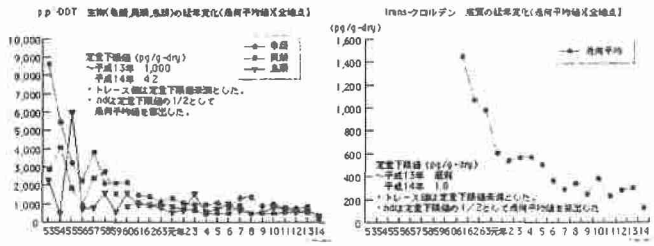


図 5　DDT、クロルデンのモニタリング調査の経年変化
（平成 16 年版環境白書）

身近な問題としてシックハウス症候群（化学物質過敏症）と呼ばれる室内空気汚染があります。近年の建築材料には様々な揮発性有機化合物（VOC）が含まれており、新築後暫くの間これら化学物質の室内空気中濃度が高くなることがあります。人によって反応は異なりますが、このような空気に曝されると様々な症状が見られます（図 6）。このため国では、室内空気汚染物質濃度指針値、建築材料基準、建築構造基準、換気基準などを定めており、この問題も徐々に改善されつつあります。しかし世界保健機構などの資料を見ますと、開発途上国などの室内空気汚染による健康被害は深刻であるとされており、公害問題同様日本による技術支援が望まれます。

症　状	発生頻度(%)
目の刺激	81
喉の刺激	71
頭痛	67
疲労感	53
鼻づまり	51
皮膚の刺激	38
息切れ	33
異臭	31
咳	24
めまい	22
吐き気	15

出典：池田耕一「室内空気汚染の健康影響」

図 6　シックハウス症候群の諸症状

地球環境問題に話題を転じますと、酸性雨については東アジア酸性雨モニタリングネットワーク（EANET）などを通じて、現状把握及び影響解明について国際協力体制が確立されています。将来的には原因物質である窒素酸化物や硫黄酸化物の排出抑制の国際協力へ進むと見られます。この場合に、日本がこれまで蓄積してきた有害物質除去技術（図 7）への期待が大きく、技術的、資金的援助が必要となるでしょう。

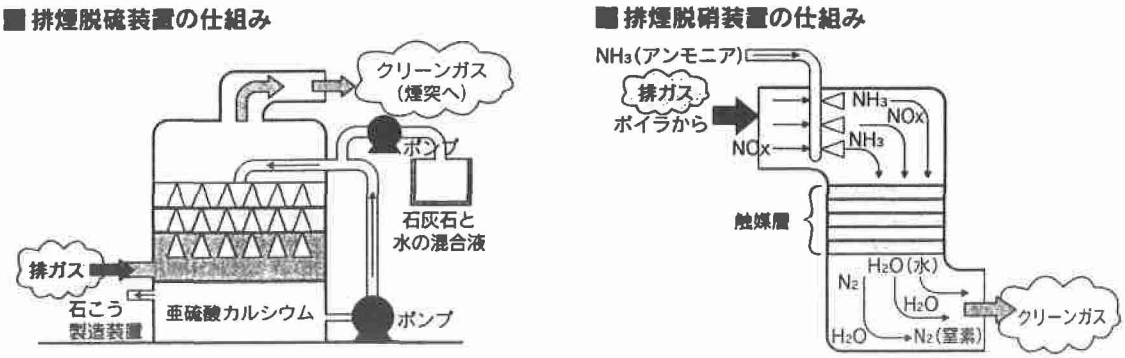


図７　排ガス浄化装置の仕組み（出典：電気事業連合会）

オゾン層破壊の原因物質であるフロンは 1930 年に合成され、その後冷媒、洗浄剤、噴射剤、発泡剤などとして幅広く活用されました。しかし、1970 年代に米国の化学者モリナとローランドが、フロンによるオゾン層破壊とそのことによる有害紫外線の増加について警告しました。人工衛星等による観測の結果オゾン層破壊が進行していることが確実となり、1980 年代後半にはフロンの生産・使用を停止する国際的取り決めがなされました。従って今後大気中のフロン濃度は減少に転じ、オゾン層破壊にも歯止めがかかると期待されます（図 8）。

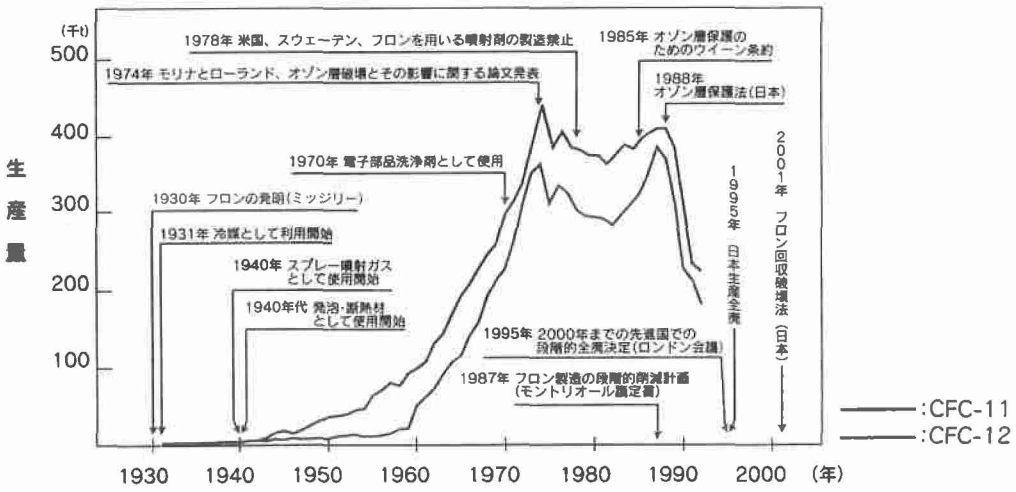


図８　フロンの歴史－生産量の推移と出来事－
出典：知っておきたいシリーズ②地球環境問題
（九州エネルギー問題懇話会）

以上述べましたように、旧来型の公害、最近話題の化学物質による汚染、地球環境問題のうち酸性雨とオゾン層破壊については何らかの対策が実施されつつあり、具体的な成果が表われているか、近い将来に表われることが期待されます。一方、残された地球環境問題である地球温暖化については、地球温暖化に関する国連枠組条約締約国会議（COP）で温室効果ガス排出量削減目標が定められています。しかしこの問題は経済やエネルギー消費と密接に関連しており、具体的対策が困難を極めます。人類に残された環境問題は地球温暖化問題であると言えましょう。

4. 地球温暖化の現状と影響

2001年9月に出された“気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第3次評価報告書”では以下の点が高い信頼性の下に結論されるとしています。

① 20世紀の世界の平均気温上昇は0.6℃（日本は1.0℃）。1861年以来1990年代が最も温暖な10年で、1998年が最も温暖な1年であった。
② 大気下層8km（対流圏）の過去40年の温度が上昇している。
③ 雪氷面積が減っている。
④ 海水面上昇（10～20cm、信頼性90～99%）、そして海洋熱含量の上昇。
⑤ 北半球中・高緯度の雨量増加。熱帯陸域の雨量増加。北半球亜熱帯は雨量減少。集中豪雨頻度の増加。異常高温頻度の増加と、異常低温頻度の減少。エルニーニョの頻発。
⑥ 南極の一部と南半球の海洋については変化が見られない。
⑦ 温室効果ガスである二酸化炭素の1999年の大気中濃度は1750年以来31%増で(図9)、過去20年間毎年平均1.5ppmずつ上昇している。1999年の濃度は過去42万年で最高、おそらく過去2000万年でも最高。20世紀の増加率は少なくとも過去2万年で前例がない。メタン、亜酸化窒素、フロン類などの他の温室効果ガス濃度も産業革命以前より相当に高い。
⑧ 過去50年の温暖化は人間活動に起因すると66～99%の信頼性で言える。
⑨ すべてのモデル計算が21世紀の温暖化進行と海水面上昇を予測している。気温上昇は1.4～5.8℃、海水面上昇は10～90cm。

第3次評価報告書は以前の報告書に比べて科学的情報量が格段に多く、評価の信頼性も高くなっており、地球温暖化とこれに伴う諸現象はもはや疑いのない事実であろうと考えられます。

地球温暖化の影響についてIPCCは6つの事象を上げています（図10）。このうち、海水面上昇は20世紀中に確認されており、21世紀はさらに進行すると予想されます。20世紀終盤の異常気象等も温暖化が影響していると考えられています（上記⑤）。その他の事象についても実際に起こることが強く懸念されております。たとえば健康への影響について、日本では一時期途絶えていた“ツツガムシ病”がこの20年間に再び発生するようになっていますが、伝染病の専門家は温暖化の影響の可能性を指摘しております（図11）。

また視覚的にも、氷河の後退や巨大棚氷の離岸など、温暖化の影響と思われる減少が認められています。

現在専門家の間で最も心配されているのは、2000年の周期で循環すると言われている海洋大循環（深層海

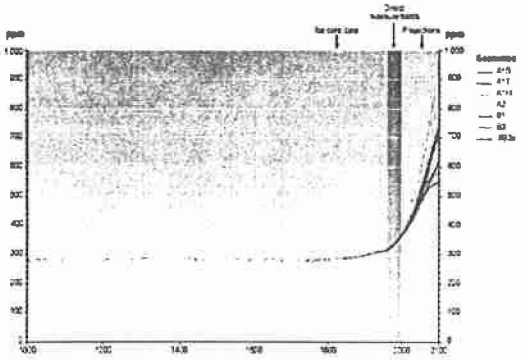


図9 大気中CO_2濃度の過去と未来
（第3次IPCC評価報告書）

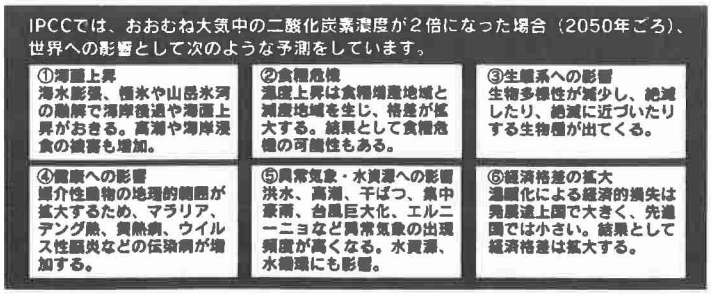


図10 地球温暖化の影響

洋流）への影響です。IPCC の最大予測値である約 6℃の気温上昇があった場合、グリーンランド沖での表層海水の深層への潜りこみが無くなる可能性が指摘されています。結果として、温暖な表層海水の北ヨーロッパ方面への流れが妨げられ、ヨーロッパが氷河期に突入するという破局的な影響の可能性も指摘されています。

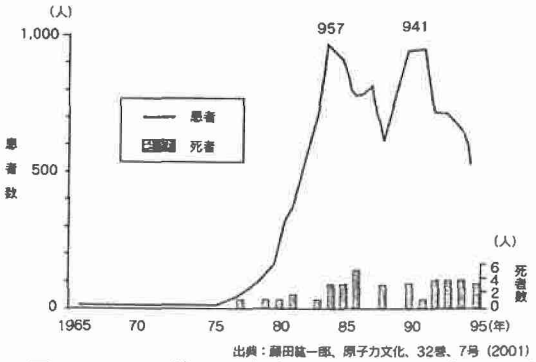


図 11　ツツガムシ病患者年別発生件数と死亡数

5.　温室効果ガス排出削減の取り組み

いくつもある温室効果ガスの中で二酸化炭素の温暖化への寄与度が最も高く、世界平均では 60.1%です。しかし日本では 93.7%で、温室効果ガスと言えば二酸化炭素と言ってもよいでしょう（図 12）。

他の温室効果ガスの排出削減も重要ですが、二酸化炭素の削減が地球温暖化対策の基本です。現在炭素換算で毎年 63 億トンの二酸化炭素が人間活動によって大気中に放出されています。しかし海洋や森林によって 31 億トンが吸収されていますので、差し引き 32 億トンが大気中に蓄積しています。大気中二酸化炭素濃度で毎年 1.5ppm の上昇になります（図 13）。

大気中二酸化炭素濃度を安定化させるためにはいずれかの時点で排出量を自然吸収量レベルまで削減する必要があります。京都議定書の削減目標は、現在 370ppm である大気中二酸化炭素濃度を 450ppm で安定化させることを目指したものであると言われています。

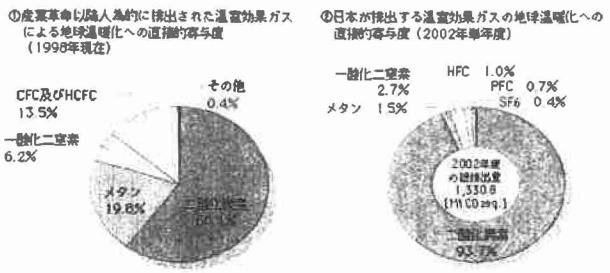


図 12　温室効果ガスの地球温暖化への寄与度
排出量は CO_2 換算
（平成 16 年版環境白書）

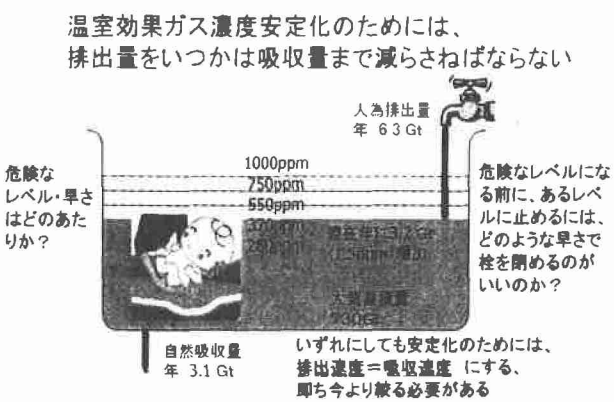


図 13　温室効果ガス（二酸化炭素）濃度安定化のためには
排出量と吸収量は炭素（C）換算

人間活動による二酸化炭素の排出とは、化石燃料消費による排出あるいはエネルギー消費による排出と言い換えてもよいと思います。日本における部門別二酸化炭素量（図 14）を見ますと、最も排出量が多いのは産業部門（38%）ですが、1990 年から 2002 年の間に 1.7%減少しています。家庭部門とオフィス部門（業務その他）は全体に占める割合はそれぞれ 13 及び 16%ですが、同じ期間にそれぞれ 28.8 及び 36.7%増加しています。オフィス部門には学校なども含まれます。運輸部門の割合は 21%ですが、同じ期間に 20.4%増加しました。実は運輸部門の 6%は家庭の自家用車の分ですので、家庭部門の割合は約 20%と見たほうがよいと思います。いずれにしても近年の伸び率が高い家庭、オフィス及び運輸部門の二酸化炭素排出量を削減するこ

とが日本の急務であると考えます。産業部門については、オイルショック以来の省エネとコスト削減対策が徹底されており、二酸化炭素排出量削減も限界に達しているという考え方が一般的です。

わが国には京都議定書によって、2008～2012 年の第 1 約束期間までに 1990 年比マイナス 6%の温室効果ガス排出量削減義務が課せられています（ロシアが議定書を批准した場合）。このため地球温暖化対策推進大綱の中で、分野ごとの削減目標をかかげています。しかし現実は 2002 年時点で 1990 年比 7.6%の増加となっており、京都議定書の削減義務を履行するためには今後全体で 13.6%の削減を実現しなければなりません（図 15）。京都議定書では、いわゆる京都メカニズムとして①共同実施（JI）、②クリーン開発メカニズム（CDM）及び③国際排出量取引が、他国での削減を自国の削減分に勘定する仕組みとして認められています。しかし、これらの手段だけで 13.6%の削減は到底達成できません。

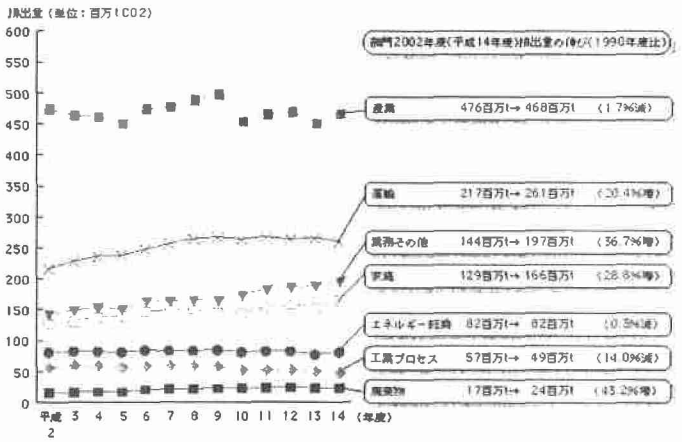


図 14　日本の二酸化炭素排出量
（平成 16 年版環境白書）

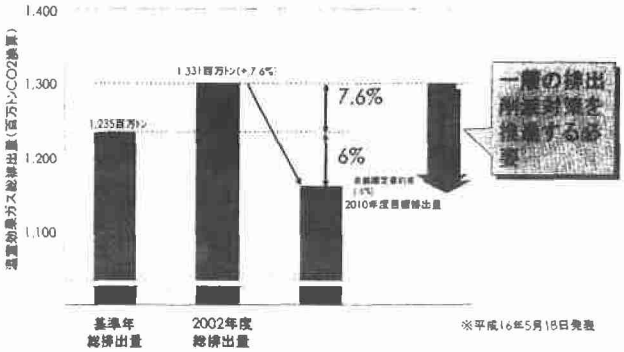


図 15　日本の温室効果ガス排出量の推移
（平成 16 年版環境白書）

日本の一次エネルギーの 40%は電気エネルギーです。発電の際にも二酸化炭素が排出されますが、単位発生電力あたりの排出量は電源の種類によって異なります（図 16）。従って、二酸化炭素排出量の少ない電源をより多く活用することが削減義務の履行、ひいては地球温暖化防止に寄与すると考えます。原子力と水力は二酸化炭素排出量が少ない電源であり、現在でも日本の一次エネルギーの 20%を担っていることから、環境保全と安全性に配慮しながら活用すべきであると考えます。

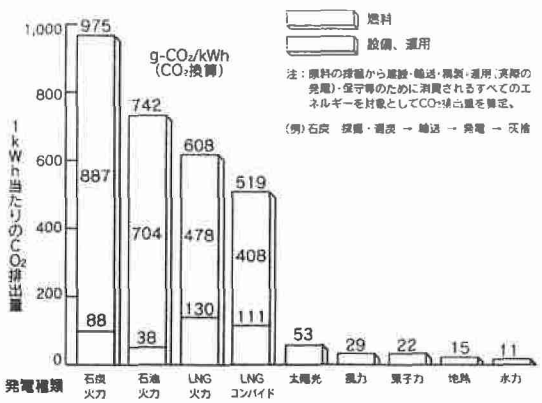


図 16　電源別二酸化炭素排出量
（電力中央研究所調べ）

6. おわりに

環境問題はこれまで公害型、生活環境型、都市型、有害化学物質型、地球環境型などと形を変えて表われてきました。人類は、特に日本人は一時的に重篤な健康被害があったことは事実ですが、何とかほとんどの問題を解決してきたと考えます。しかし前世紀末にいよいよ顕在化してきた地球温暖化の問題については、これが人口増大、経済活動、ライフスタイルなどと密接に関係していることから、いまだに有効な手段が実施されていないと言えます。地球温暖化対策、それと関連する資源・エネルギー問題が 21 世紀の人類に課された重要課題であると言ってもよいでしょう（図.17）。

地球温暖化防止には科学技術による解決という従来型の対応もさることながら、人間のライフスタイルの変更という極めて精神的な対応も重要です。節約、省エネ、省資源というキーワードがよく使われますが、最近はこれらをまとめて「循環型社会形成」とか「ストック型社会形成」などと言います。限りある地球の資源を最大限有効に活用するという姿勢が、最終的には地球温暖化防止に寄与すると考えます。

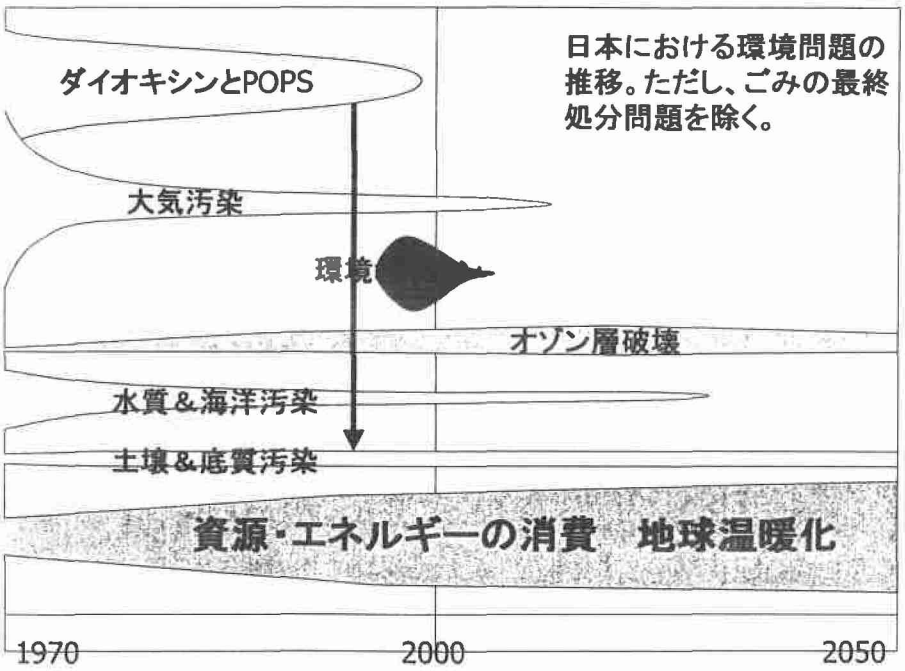


図 17　21 世紀の課題は地球温暖化、そして資源・エネルギー問題
（資料提供：東京大学安井至教授）

学校における放射線教育の実践とその在り方について

Practical Activity and Policy of Radiation Education in High School

立教新座中学校高等学校　　○　渡部智博

(WATANABE, Tomohiro)

１．はじめに

中等教育の現場を知る最初の手掛かりの一つは，教科書の記述である．１９００年前後から，旧制中学校の化学の教科書に放射性元素の記述が登場[1]している．また，２０世紀半ば以降は，その記述は様々な変遷[2]をたどり，現在まで多数の指摘[3]がなされている．

平成 15 年度から，新しい学習指導要領[4] にもとづいたカリキュラムが始まった．理科基礎，理科総合 A・B，物理 I・II，化学 I・II，生物 I・II，地学 I・II の科目が設置された．学習指導要領解説[5] を読むと，どの科目にも，放射線に関わる記述が見受けられる．

放射線に関する教育研究[6~9]は多数知られている．平成 12 年度には，GIS（Geographic Information System:地理情報システム）と自然放射線とを関連させた教育研究が開始され，続いて平成 13 年度には「放射線 Web による放射線教育の支援活動プロジェクト（財，日本科学技術振興財団）」[10] が活発な活動を展開し，現在に至っている．この教育プロジェクト「放射線 Web」[11]では，平成１３年からのアクセス数は，延べ１８０００以上に上る．小学校から高等学校の「測定実践事例」と「放射線 Web 質問箱」から出来ており，日常的に役立っている．

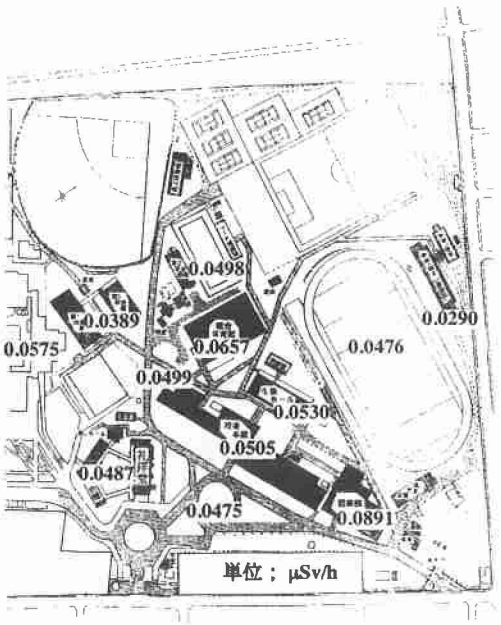


図１　校内の自然放射線

２．実践事例　ーはかるくんの活用例

本校では，「放射線 Web」を参考として，高校１，２年生の化学の授業で自然放射線を測定している．集計結果は，図１の通りである．また，放射線の単元を学習するに当たっては，補助教材として，「Key Science」[12]などを紹介するよう努めている．化学クラブでは，定点観測を行っており，結果の一例は，図２の通りである．

Rikkyo Niiza Junior and Senior High School

3．展望

最近の教科書の現状は「社会系の教科書における記述は大分改善されているが，まだ原子力に関する欠点が誇張されて記述されている傾向がある．」など[3]と言われている．また，日本化学会のアンケート調査[13]を読むと，高校までの学習だけでなく，新聞等による報道も，知識の重要な鍵になっていることがわかる．教科書の改善はもちろんのこと，マスメディアによる報道，学習指導要領や教員の再教育など，総合的な改善が実際の授業に反映されると考える．

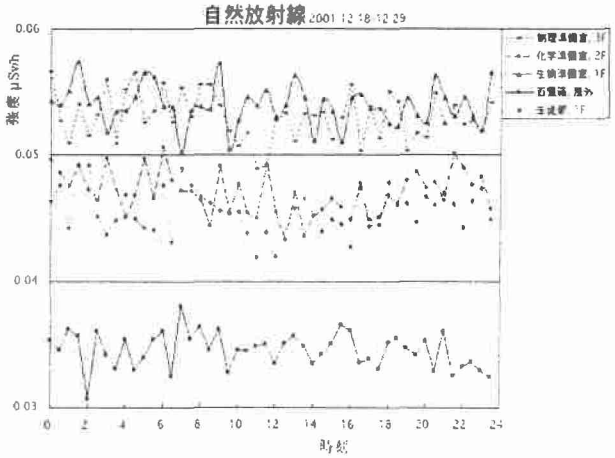


図２　自然放射線の日変化

4．謝辞　多くの方々のご指導，ご協力を頂きました．心より感謝申し上げます．放射線教育フォーラム教育課程検討委員会，放射線 Web による放射線教育支援活動委員会（財，日本科学技術振興財団），（財）放射線計測協会．

5．参考文献

1) 渡部智博，*放射線教育*，放射線教育フォーラム，**3**(1), 35 (1999).
2) 広井禎，村石幸正，三門正吾，渡部智博，*放射線教育国際シンポジウム報文集 (ISRE 98) JAERI-Conf, 99-011*, p.348 (1998).
3) 松浦辰男，高木伸司，関本順子，*放射線教育別冊　一段と重要性が増した放射線教育*, p.47 (2004).
4) 「高等学校学習指導要領」，文部省，平成 11 年 3 月．
5) 「高等学校学習指導要領解説－理科編，理数編－」，文部省，平成 11 年 12 月．
6)黒杭清治，化学教育，**20**(2)，p.139(1972).
7)丹伊田敏，化学教育，**23**(3)，p.244 (1975).
8) 高木義雄，化学と教育，**47**(4)，p.280(1999).
9) 鎌田正裕，深川志乃，市川和子，化学と教育，**48**(11)，p.736 (2000)．
10) 「放射線 Web による放射線教育の支援活動，測定実践報告書」（財）日本科学技術振興財団，平成 14 年 3 月．
11) http://hoshasen.jsf.or.jp/
12) E. Ramsden, "Key SCIENCE -Chemistry -", Stanley Thornes Ltd., (1996).
13) 日本化学会　環境・安全推進委員会，日本化学会　化学教育協議会，*環境用語アンケート調査報告　大学一年生は，環境をどの程度知っているか*，(2001).

中学校選択理科及び総合的な学習の時間における放射線教育の実践

北海道教育大学附属旭川中学校　高野拓実

１．はじめに

放射線教育について学ぶことは，日本の重要なエネルギー源である原子力発電との関連から考えて重要である。これまで原子力発電の安全性について国や企業，マスコミ等によって様々な形で報道されているが，一方的に信用するのではなく情報を客観的に理解し，自らの力で考え判断できる視点をもたせたいものである。その視点をもつためには，中学校段階から放射線に関する情報を的確に把握することを学んでいく必要がある。

しかし，北海道旭川市は川や水の多い，緑に囲まれた地域である。こうした環境を背景に，放射線や原子力に対する生徒及び教師の意識は，“危険なもの”といった一面的なイメージでしかなく，本校においても半ば無縁のこととして扱ってきた。

そこで，今年度は，中学校の必修理科の学習内容と関連付けを図った，選択理科及び総合的な学習の時間における放射線教育の学習を行い，本発表にて報告する。

２．本校生徒の放射線に対する意識調査

本校第２学年の生徒（120 名）を対象に，放射線や原子力に関する調査を実施した。その結果は，次ページに示したグラフの通りとなった。

①　放射線についての理解

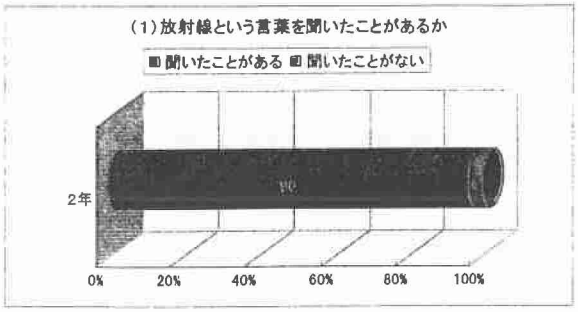
グラフ(1)『放射線という言葉を聞いたことがあるか』という設問に対して，96%の生徒が「聞いたことがある」と回答した。「聞いたことがある」と回答した生徒のうち，(2)『放射線についてどんなイメージを持っているか』を問うたところ（複数回答可），「危険・有害・怖い」という回答が全体の 51%を占めた。「危険・有害・怖い」と回答しなかった生徒は，120 名中わずか４人であった。

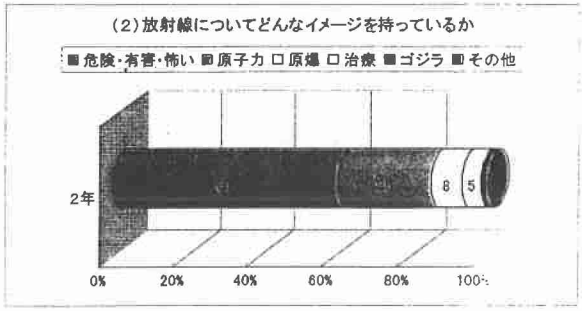
また，(3)『放射線はどのようなことに役立っていると思うか』という設問に対しては，14%が「原子力発電に利用されている」，10%が「放射線による治療に役立っている」と回答し，「わからない」と回答した生徒が 76%であった。

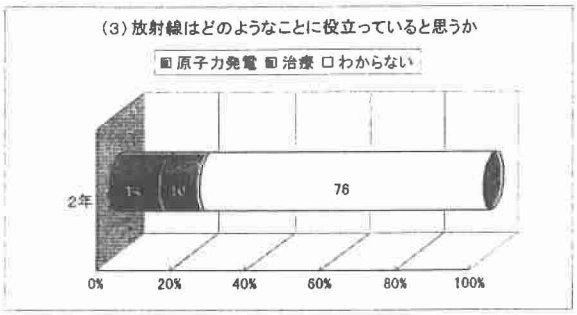
さらに，(4)の『自然界に放射線が存在していることを知っているか』という設問に対して，82%の生徒が「知らない」と回答した。また，「知っている」と回答した 18%の生徒のうち，(5)の『何で知りましたか』については「テレビや本から知った」と回答した生徒が 72%であった。

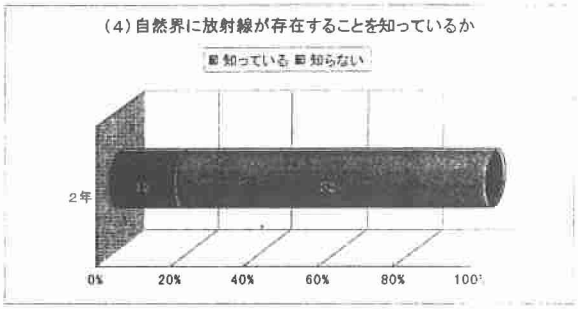
②　北海道の電力事情についての理解

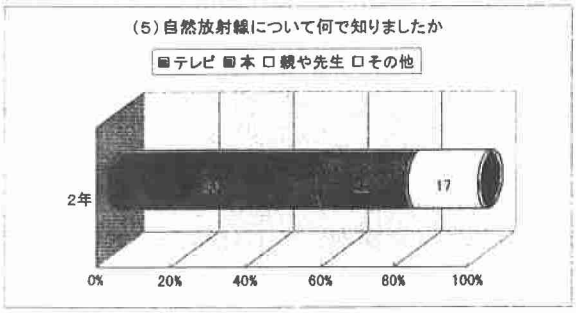
(6)の北海道の原子力発電所の名前（存在場所）について聞いたところ，正解（泊発電所）した生徒は 10%であった。また，「苫小牧」と間違って記憶している生徒２人ほどいた。また，(7)『北海道で最も多い発電方法』を聞いたところ，「水力発電」が 57%と一番多かった。逆に(8)『最も少ない発電方法』については，53%の生徒が「原子力発電」と回答した。

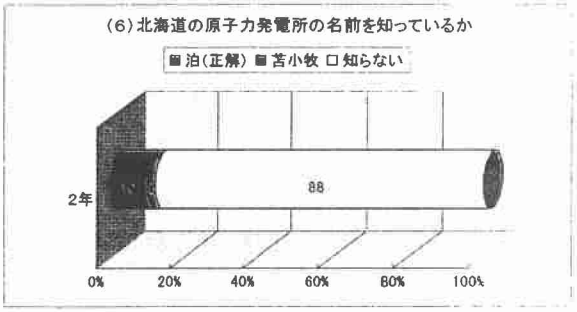


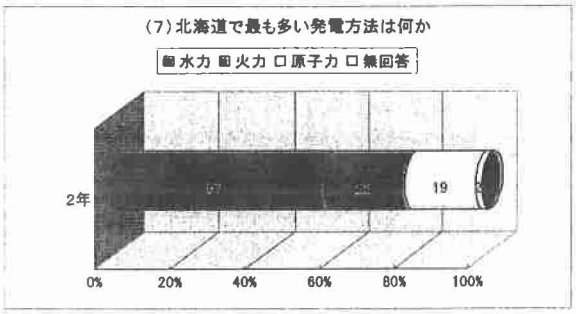


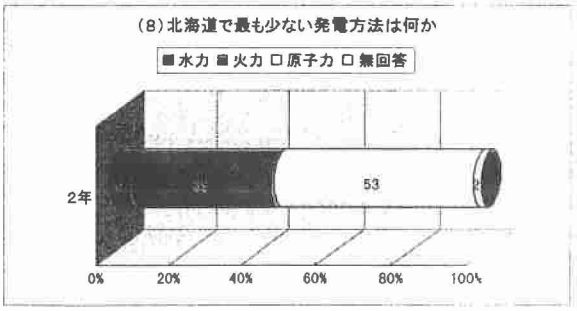












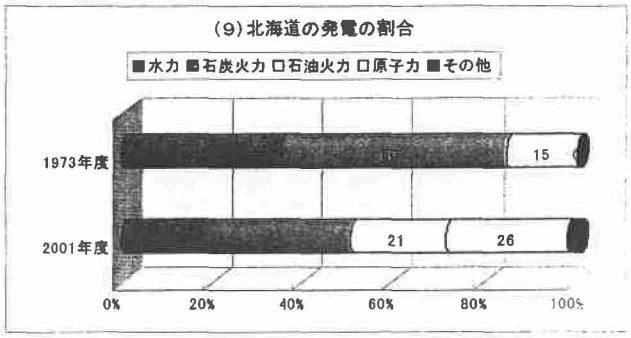
③　結果の分析と考察

(1)の結果からは，ほとんどの生徒が「放射線」という言葉を聞いたことはあるが，人体に有害であるとか，危険であるといった，マイナスのイメージを持っていることがわかった。しかし 120 人中 28 人の生徒が，「原子力発電や放射線治療に役立っている」ことも認識していることがわかった。また，「自然放射線」の存在について知っている生徒も 22 人おり，意外と多いように感じた。これは，テレビ番組等の報道の影響力が大きいようである。

次に，(2)の結果を分析すると，北海道に 1 カ所しかない泊原子力発電所の存在について，「知っている」と回答した生徒が 12 人と，予想に反して低い結果となった。

また，北海道で最も多い発電方法が「水力」，最も少ない発電方法が「原子力」と認識している生徒が半数以上を占めた。実際には，火力発電が最も多くて水力発電が最も少な

いが，やはり旭川の周辺には水力発電所が多く存在することや，川や緑が多いといった北海道のイメージから回答しているものと考えられる。このことから，中学校段階では，旭川周辺のエネルギー事情や環境問題を扱うのではなく，広い視野からとらえて学習していく必要性を感じた。



3．学習の重点

上記のような，「放射線や原子力発電」に関する意識調査の結果をもとに，次のような重点を設定し，選択理科と総合的な学習の時間の中に放射線教育の学習を位置付けることとした。

① 放射線に対するマイナスイメージを取り除くために，放射線に関する知識を正しく理解させることと，医療や農業，工業等の広い分野で利用され，私たちの生活に役立っていることを認識させる。

② 現在のエネルギー事情について正しく認識させるために，私たちが生活している北海道のエネルギー事情の実態把握と，原子力発電に対する依存度が増大していることを理解させる。

4．本校の必修理科と選択理科及び総合的な学習の時間との関連

本校の必修理科の単元配列と，選択理科及び総合的な学習の時間の環境コースにおける放射線教育に関する学習内容と時期との関連を示すと，以下の表のようになる。

月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
1年必修	身近な物理現象			植物の生活と種類			大地の変化			身のまわりの物質（放射性物質）		
1年選択										放射線の観察		
1年総合					北海道のエネルギー事情							
2年必修	動物の生活と種類			電流とその利用			天気とその変化			化学変化と原子・分子（原子の構造）		
2年選択	自然放射線の測定									放射線の種類		
2年総合					北海道のエネルギー事情							
3年必修	運動の規則性			生物の細胞と生殖	地球と宇宙		物質とエネルギー			科学技術と人間 自然と人間		
3年選択	放射線の遮蔽効果									放射線の利用		
3年総合					北海道のエネルギー事情							

5．放射線教育にかかわる指導計画

【第１学年　選択理科】

期	題材名	主な学習内容	教師の働きかけ	必修との関連
3学期	放射線の観察	・簡易霧箱を用いて放射線の飛跡を観察する。	・放射線の観察を通してその存在を実感させる。	［身の回りの物質］で放射性物質について存在について触れる。

【第２学年　選択理科】

期	課題名	主な学習内容	教師の働きかけ	必修との関連
1学期	自然放射線の測定	・簡易放射線測定器「はかるくん」を用いて自然放射線を測定する。	・放射線が身近なものであることを体感させる。	
3学期	放射線の種類	・周期表の作成を通して放射性を出す元素の仕組みとその種類を知る。	・放射性元素の種類と記号への興味・関心を高める。	［化学変化と原子・分子］で原子の構造について触れる。

【第３学年　選択理科】

期	課題名	主な学習内容	教師の働きかけ	必修との関連
1学期	放射線の遮蔽効果の測定	・距離と放射線量率との関係を調べる。 ・遮蔽材の材質や厚さによる遮蔽効果を調べる。	・放射線の種類と透過力の違いについて理解させる。	［運動の規則性］や［物質のエネルギー］で原子力エネルギーとの関連を図る。
3学期	放射線の利用	・放射線が日常の生活にどのような点で役立っているか調べる。	・放射線が生活に役立っていることを実感させる。	［科学技術と人間］で科学技術の進歩との関連を図る。

【第１～３学年　総合的な学習の時間：環境コース】

期	題材名	主な学習内容	教師の働きかけ	他領域との関連
2学期	北海道のエネルギー事情	・変電所の見学を通して電気がどのように運ばれているか知る。 ・電気を発電する仕組みについて知る。 ・北海道の昔と今のエネルギー事情を知る。 ・日本全体のエネルギー事情や他国のエネルギー事情と比較する。 ・地球温暖化等の環境問題との関連を考える。	・施設見学や外部講師等を活用しながら，北海道のエネルギー事情について認識させる。	［１学年社会科］地理分野・北海道地方との関連を図る。 ［２学年行事］雨竜発電所の施設見学との関連を図る。 ［３学年理科］科学技術と人間・自然と人間との関連を図る。

6．学習の成果と今後の課題

本校の選択教科は，各教科から設定された学習課題を，生徒の興味・関心や適性に応じて自己選択する方法をとっている。

平成16年度1学期の選択理科では，放射線教育に関わる学習課題として「身近な放射線を測定しよう」を生徒に提示したところ，120名中93名（約78%）の生徒が選択した。他の学習課題と比較しても，かなりの生徒がこの課題に対して興味・関心をもっていることが分かる。そこで，学習後に放射線に対する意識や考え方が変化したかどうかについてアンケートを実施した。

その結果，46%の生徒が「放射線に対してのイメージが変わった」と回答した。その主な理由としては，次のような内容であった。

○放射線は「危険」と表示してある所のみに存在していると思っていたけど，今も自然から放射線を受けていると思うとびっくりです。しかし，ふつうに生活していて少しでも放射線を受けていても体が溶けたり弱ったりしていないので放射線と聞いて感じる危険度が私の中で弱まりました。
○放射線の威力についての考え方や，身近なさまざまなものから放射線が出ているとは驚いた。他にも放射線について調べてみたい。
○放射線を少しでも浴びたら体に悪いものだと思っていたが，そうでないことがわかった。自然の中にふつうに存在することを知って，もっと身近なものだという印象をもった。放射線はもしかして必要なものなのだろうか？

上記のように，学習前までは「危ない」「怖い」といったイメージをもっていた生徒がほとんどであったが，今回の学習を通して「そうとは限らない」というイメージに変化している生徒が半数近くいることがわかった。一方で，残りの半数以上の生徒は，やはり危険であるというイメージをもっている。この2学年1学期の段階では，自然放射線が身近に存在していること体感させることをねらいとしているため，3学年の学習を終えた段階での意識の変容に着目してみたい。

また，今年度は放射線教育に関わる学習を選択理科と総合的な学習の時間を中心として扱う計画を立てているが，平成15年12月の学習指導要領の一部改正の趣旨に基づき，必修教科における指導の充実や総合的な学習の時間との相互関連をより一層図っていく必要があると考えている。

【参考文献】

1）文部科学省，「個に応じた指導に関する指導資料　中学校理科編」，2002
2）文部科学省・(財)放射線計測協会，「はかるくん」による放射線測定　実習テキスト
3）文部科学省・(財)放射線計測協会，「はかるくん」を活用するために
4）エネルギー環境教育情報センター，エネルギー教育指導事例集，2002
5）エネルギー環境教育情報センター，エネルギー教育ハンドブック，2003
6）教育出版，中学校理科1分野上・下
7）北海道教育大学附属旭川中学校，研究紀要〈52〉，2004

物理の授業における「エネルギー環境教育」実践報告

茨城県立土浦第一高等学校　綿引　隆文

1．はじめに

21 世紀を担う生徒たちが，環境に対して高い倫理感と実践力をもつことは環境教育の大きな目的である。おもに，前任校（茨城県立那珂高等学校）における物理の授業の中で，エネルギー環境問題の授業を実践した。内容は，学習編と実践編に分かれ，学習編では，エネルギー消費の物理的な側面と環境問題としての側面を学習する。実践編は，自宅で消費電力の省エネの調査と実践を行う。生徒の反応，感想もあわせて紹介したい。

2．授業の目標

学習編の授業は，物理ＩＢの「運動とエネルギー」の熱力学第二法則の後に実施した。調査と実践は夏休みに行った。授業の目標を次のように掲げた。

ア　エネルギー消費や技術の熱力学的側面を理解するとともに，エネルギーの大量消費による地球環境問題の実状を理解する。

イ　エネルギー消費において，南北間の格差が大きいことを理解し，省エネの意義を自覚，調査や実践を通してエネルギーづけでないライフスタイルを模索する。

3「学習編」の授業展開から

「学習編」の授業は３～４時間をかけた。物理室で行い，レジュメと資料は前もって配布し，説明はＯＨＰ等を使う。特に，環境問題の本質をユーモアと風刺をきかして表現している漫画も利用した[1)]。

3.1　熱力学第二法則

エネルギーを消費するとは，エネルギーはトータルとしては保存しているが，有用なエネルギーが不可逆的に，使い道のないエネルギー（たとえば低温熱）に変わっていくことを意味する。このような熱学的視点は，生徒がエネルギー問題を考える一つの視点として重要だと思われる。以下，自分のささやかな試みの中から，熱力学第二法則の視点に関連する部分を述べてみたい。

3.11 不可逆現象の説明

不可逆現象として次の例をとりあげた。

①　自転車にブレーキをかけ自転車が止まる。

②　熱くなったフライパンが冷めてくる。

③　インクを水にたらすとインクが広がって行く。

これらの現象を物やエネルギーの散らばり（拡散）としてまとめてみた。③は拡散そのものであり，①は，物体全体がもつ運動エネルギーが，ブレーキとその周辺の分子の熱運動のエネルギーに散らばったと考えられる。②では，フライパン分子？の熱運動が，まわりの分子との衝突を通して周辺の分子の熱運動へと散らばっていく現象だとみなせよう。

エントロピーという用語を使わないでエントロピーの増大を説明するために，「物やエネルギーは，全体としては散らばる（拡散する）方に変化が進む。」と表現してみた。

3.12　熱力学第二法則とそれを実感する実験

１ｍの高さから，亜鉛や銅などの金属粒を数十回落とすと，金属粒の温度が上昇し，力学的エネルギーが熱になったことがわかる，しかし，発生した熱がひとりでに仕事に変わり，亜鉛粒を動かすことはない。この不可逆現象を，次のような演示で実感させてみた。図のように，30～40 ㎝程度の木の枠に，ばね，または輪ゴム等で，10 個程度のおもり（10 ｇ程）を結びつける。おもりを分子に見立て、この教具を手で動かして急に止めると，おもりがばらならな振動をする（熱運動に対応）。しかし，ばらばらな動きになった状態から，すべてのおもりが向きをそろえて動き出すことはまずあり得ないことを話し，いったん熱になった状態から，仕事を 100 %取り出すことは不可能であることを印象づけてみた。

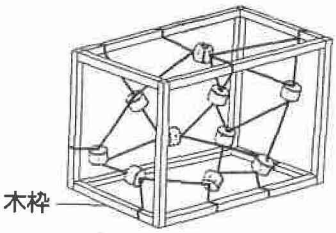


図１　熱運動のモデル

このような仕事と熱の不可逆性が原因で，熱力学第二法則「得られた熱をすべて仕事に変えるような熱機関は存在しない。」が成り立つと説明し，廃熱が必然であることを，次の実験で実感させてみた。

図２のように，先を細くしたガラス管をゴム栓に通し，水が入った丸底フラスコにゴム栓をつける。ガラス管の下端は水の中に十分入るようにする。フラスコに熱湯をかけると水が勢いよくガラス管から吹き出す。

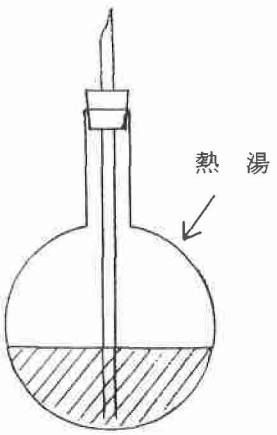


図２　熱の仕事への転換

この実験を演示し，フラスコ内の空気が熱を吸収し，水を噴出させる仕事に転換していることを話す。生徒たちに「熱湯をかけ続けるとどうなるか。」と質問する。熱湯をかけ続けフラスコ内の温度が上がりきってしまうと熱を吸収できなくなり，水を噴出できなくなる。そこで生徒に，「再び，水を勢いよく噴出させるにはどうしたらよいか」と問う。「冷やせばよい。」という答が返るときもある。実際，フラスコに水をかけ冷やしてから熱湯をかけると，再び水が勢いよく吹き出す。これらから，熱機関として，仕事を取り出し続けるには，高熱源から熱を得るだけでなく，必ず低熱源（環境）に熱を捨てなければならないことが実感できる。

噴水実験においては，温水をかけるより熱湯をかける方が水は勢いよく飛び出す。
次に，温度差発電を演示する。市販されている熱起電力実験器を使い，お湯と水により，温度差を作る。このとき，高熱源のお湯の温度が高いほどプロペラがよく回転する。

このことから，高温の熱源から吸収した熱の方が低温の熱よりも多くの仕事に転換できる。つまり，高温の熱の方が，仕事に転換するのに，より有効なエネルギーであることがわかる。

3.2　仕事として取り出せるエネルギー

現在，火力発電，原子力発電の発電量の合計は日本全体の発電量の９割近くを占めてい

る。これらは，一種の熱機関であることを図３を使って説明する。高熱源から吸収した熱によって，水が高温高圧の水蒸気になる（図の左側）。この水蒸気は低熱源の冷却水によってよって冷やされ，水に戻って減圧される（図の右側）。タービンは，この圧力差を利用して仕事をすることになる。廃熱は冷却水を通して環境に捨てられる。

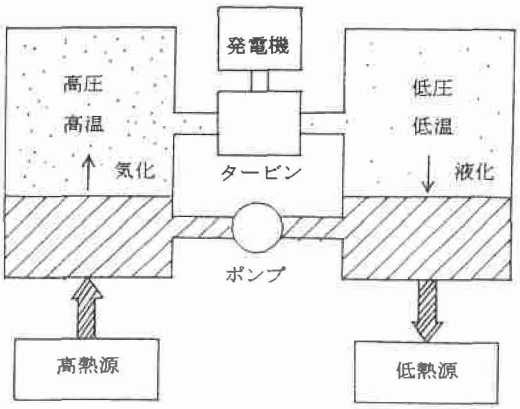


図３　火力発電の原理

ところで，高温熱は，低温熱に較べ，その温度が高いほど仕事としてとりだしやすかった。火力発電や原子力発電では，図の左側の水蒸気の温度が高いほど熱を仕事に変える効率は増す。原子力発電は，原子炉内が放射線にさらされる影響で，水蒸気の温度を火力発電よりも低く設定しなければならない[2]（鹿島火力発電所：538 ℃[3]　柏崎刈羽原子力発電所：282 ℃[3]，いずれも東京電力）。このため効率としては，火力発電が約 40 %で，原子力発電は 35 %弱である[3]。

100 万 KW の発電所では，効率が 1/3 の場合，300 万 kw の高温熱を得てもそのうち 100 万 KW が電力になり，残りの 200 万 kw は低温熱として環境に捨てられる。生徒には，100 の電力を我々が使うとき，200 の熱が廃熱として環境に捨てられていることを自覚しようと話した。また，関連して「発熱量が同じ電気ストーブと石油ストーブでは，どちらがより多くのCO_2を出していることになるか。」という質問をし，解説した。

発電の時の廃熱は，熱力学の必然であるが，一方で，この廃熱を利用するシステムがコージェネレーションである。特に，デンマークでは，電力と共に，熱の地域への供給を積極的に押し進めており，開発された熱電併給プラントは，熱と電気で 90 %のエネルギー効率になっている[4]。これは，CO_2排出削減に大きく貢献する。デンマークの新エネルギー計画（Energy21）では，CO_2を 2030 年までに 1990 年レベルの半分以下に削減することを目標に据え，熱電併給以外の火力発電所の建設は禁止としている[5]。

日本は，冬の寒さがヨーロッパと異なり，同列では論じられないが，日本の火発や原発では，コージェネは行われておらず，コージェネは工場など一部に限られている。将来，燃料電池による発電が家庭単位で普及すれば，コージェネによって，エネルギーの利用効率を格段に高めることが期待できる。

3.3　熱力学第二法則から技術やリサイクルを考える。

生徒は，技術が進歩さえすれば，環境問題も解決できるという意識が強い。しかし，熱力学の第二法則は，技術の進歩にかかわらず，できないことがあることを教えてくれる。熱力学第二法則を，「物やエネルギーは全体としては拡散していく。」と言い換えてみると，環境技術の中で，ある一部分を改善しても，トータルでは（たとえばCO_2まで含めれば），地球に負荷を与えることに注目する必要がある。

図４をＯＨＰで生徒に示し考えさせる。「来たるべきゴミ焼却炉」[1]，いろいろな有害物質を濃縮，除去できる装置が本体の何十倍の規模でついている。内藤正明氏は，「防除

技術に関して注意すべきは，ものによって局所的，一時的な環境改善はするが，全地球的な環境負荷でみると何の改善にもなっていないものや，かえってトータルには増大しているものがある。少なくとも，エントロピーという指標で見るならば，一部の生物的処理技術以外はその増大しかもたらしていないことになる。」と指摘している[6]。この戯画でいえば，大量のエネルギーと原料を投入して処理したということは，最終的には，煙突などを通し，大量のCO_2等の物質や熱を拡散せざるを得ない，ということになるだろうか。エントロピー的には，系の中で部分的にエントロピーを減少させても，全体では増加するから，大量のエントロピーを系外に廃棄しなければならないことを意味している。

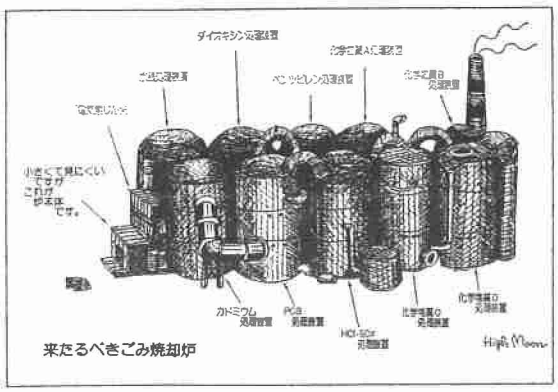


図４　来るべきゴミ焼却炉

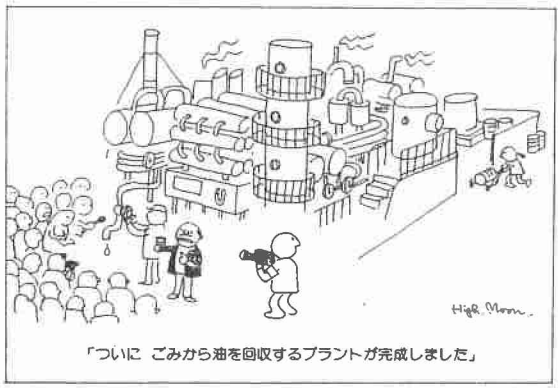


図５　ごみから油を回収するプラント

高月 紘　漫画ゴミック「廃貴物」第１集（日報）より

次は，「ついに，ごみから油を回収するプラントが完成しました。」という漫画[1]。石油からできたプラスチックからひとりでに石油を回収することはできない。したがって，石油を回収するためには新たに多くのエネルギーを投入しなければならない。コップ一杯の油を取り出すために，皮肉にもプラントの裏の方で原料の石油がドラム缶で運び込まれている……このように，熱学の視点は，技術をトータルで見なければならないことを教えてくれると思われる。

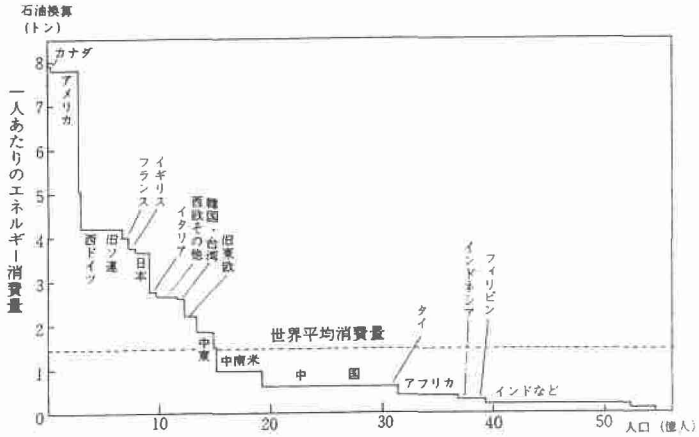
リサイクルが環境保全のキイワードという見方があるが，これを熱学的視点で考える。製品が作られる過程は不可逆だから，製品が使用済みになったものを元に戻すのに，必ず，エネルギーや原料を投入しなければならない。そのとき，廃物や廃熱によって，環境に負荷を与える。したがってリサイクルについては，リサイクルを行うことによる環境への負荷と，リサイクルを行わず製品を使い捨てにした場合の資源の消費や環境への負荷（特に，廃棄による毒性の評価）を，総合的に比較検討しなければならないことになる。

現在は使い捨てが多く，ダイオキシンなど，焼却処分で有害物質が生み出されるケースや，廃棄物処分場から漏れだした有害物質による環境汚染の問題が起こっている。大量生産，大量消費，大量廃棄からの脱却が必要であることを話し，生徒には，Reuse（修理しながら何回も使う）や Reduce（エネルギーや資源の消費そのものの縮小，ゴミの量の縮小）がまず必要であることを強調した。自分が小学生の頃の Reuse のエピソード（靴，靴下，傘など，いろいろなものを修理したり繕ったりして何回も使ったこと）を話し，21世紀にふさわしいライフスタイルは何なのか問いかけてみた。

3.4　世界のエネルギー消費のかたより

各国のエネルギー消費を国民一人当りに換算したものが図６（EDMC 編：エネルギー・経済統計要覧，（省エネルギーセンター，1995 年版）をもとに筆者作成）である。縦軸は一人当りのエネルギー消費量，横軸は人口を表す。図の階段の下側の部分の面積はその国の総エネルギー消費量を表している。

一人当りのエネルギー消費量を見ていくと，先進工業国と途上国では大きな差がある。地球上のすべての人がアメリカのようなエネルギー消費をしたら，地球環境は破綻する。一方，途上国では，先進国の物質的豊かさを手にいれたいと望んでいる。



注：EDMC編、エネルギー経済統計要覧(1995年版)から作成

図６　一人あたりのエネルギー消費量のかたより

世界の人々が共生できるためには，先進国の人々は何をしなければいけないか生徒に問いかける。我々は，現代の生活を見直し，エネルギーの飽食を改めなければならないのではないか，各人が生活の場で省エネを工夫し，実践することは大きな意義があるのではないかと訴えた。

なお，１人当りのエネルギー消費を１秒間当りに換算すると日本人の場合は 5.4 ｋｗ[7]である。日本全体では 1000 ｗのストーブを 5 億台以上昼も夜もつけっぱなしにしていることに相当する。

3.5　地球温暖化の影響について（詳細は省略）

地球温暖化の原因と影響，特に，気候の変化に伴う影響，食糧危機の可能性について説明した。

3.6　生活を見つめなおす

我々は手軽に電力を利用しているが，家庭で使われるエネルギー源の中で，電力が二酸化炭素の放出に最も大きな割合を占めている[8]。電力をつくるのに，多くの化石燃料を燃やしているからでる。したがって，生活の中で，電力消費を工夫して抑えることは，二酸化炭素の放出の抑制に大きな意義がある。

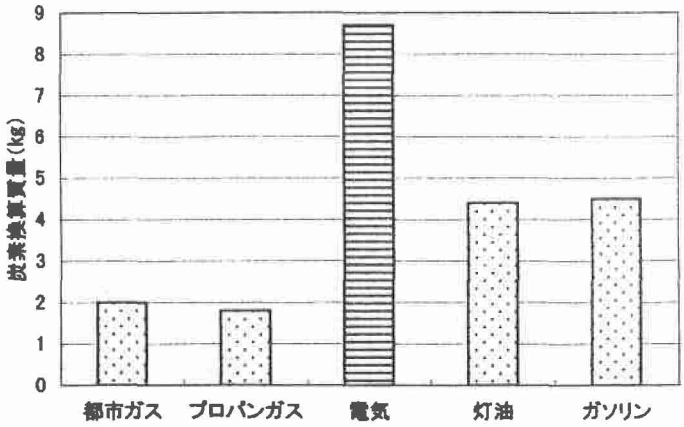


図7　家庭の週あたりのエネルギー消費量
グリーンピースジャパン編;ストップ！地球温暖化(1991)より

家庭で使われる電気器具の消費電力を示しながら[9]，エアコンの消費電力量が家庭電気器具の中で最大級であることを示す。モーターで風を送り，体表から気化熱を奪うことで涼しさをもたらす扇風機は，消費電力がエアコンの 1/20 ～ 1/30

程度である。つまり，エアコン１件分は扇風機を使う 20 ～ 30 件分に相当する。

エアコンが，室内の熱Ｑを電気のエネルギーＷを使って外にくみ出すとき，くみ出される熱はＷ＋Ｑとなる。都市部ではエアコンからの廃熱で外はますます暑くなり熱の島（ヒートアイランド）になる。暑くなれば，ますますエアコンを利用し，エネルギー消費はますます増大する。近年の都市部の夏の気温の上昇の資料[10]を示しながら，エアコンや扇風機という我々が何気なく使っている電気器具も，何千万という人の利用の仕方で，エネルギー消費や環境を大きく左右してしまうことを話した。

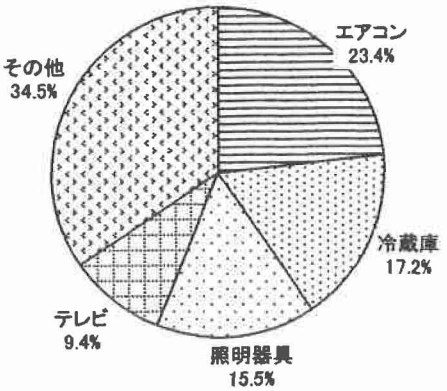


図8　家庭における電気器具の消費電力量
資源エネルギー庁　平成11年度電力需給の概要より

また，全国の自動販売機の消費電力の資料[11]，ヨーロッパでは路上に自販機をみかけないという事実，マイカーと公共交通機関の環境への負荷を示す資料[12]などを示しながら，地球環境まで視野にいれたとき，文明の利器をただ便利だからと安易に利用するのでなく，環境への配慮から見直す必要があると話した。

最後に，君達の子や孫たちが安心して暮らしていける環境を残すためにも，環境問題に関心をもち続け，できるところから実践や行動を起こしていこう。こう結んで，学習編を終えた。

４．「実践編」の概要

夏休みごとに 1994 年度から「消費電力の省エネに挑戦」というテーマで，物理を選択している生徒に課題を出した。以下にその方法を示す。

① 家庭の積算電力計で消費電力量を調べる。最初の３日間を今までの生活通りに過ごし，後半の３日間を生活の中で節電に努力して過ごす。

② ３日間の消費電力量を前半と後半で比較する。１ kwh の電力消費は炭素換算で 120 g の二酸化炭素の放出に相当するというデータ[13]をもとにすれば，各家庭の電力消費による二酸化炭素の放出量を計算することもできる。

③ 電気の省エネで実行したこと，省エネを実践してよかったこと，困ったことを報告する。

５．生徒の実践報告

生徒のレポートから，電力の省エネで実行した具体的な方法を次に示す。

「電灯をこまめに消す。」「頻繁に冷蔵庫の開閉をしない。開閉をすばやくする。」
「ＴＶをつけっぱなしにしない（見たくもないＴＶを見ないようする）。」
「ＴＶをなるべく一カ所で見る。」
「エアコンを扇風機に変える。」「エアコンをなるべく使わない。または，設定温度を上げる。」「早めに寝る。」「家の窓，ドアなどをすべて開け風通しをよくする。」「髪の毛を自然乾燥させてからドライヤーを使った。」など

生徒の報告によると，前半３日間の消費電力量の平均値（1994 年～ 1999 年　世帯数 229 世帯）は 43.5kwh で，省エネを工夫した後では，３日間で 35.4kwh になった。つまり，各家庭の努力によって平均 20 ％の省エネが実践できたことになる。これを，日本全体の家庭で実践したとすると，１日あたり実に約１億キロワット時の省エネになるという計算になる。これは，二酸化炭素排出係数[13]をもとに灯油に換算すると約 1700 万リットルである。特に，エアコンを扇風機に変えたり設定温度を上げたりした場合は，30 ％近い省エネができるという結果がでた。

ここで，生徒の感想から一部を紹介する。

「最初はめんどうと思ったが結果が出たときは何ともいえない喜びが得られた。」

「節電していると，『自分も地球環境に協力しているんだな。』というような充足感のようなものを感じた。」

「スイッチをこまめに切ったりしただけで，これだけの電気量が節電できて，これを各家庭でやったら真夏の午後の電気量のピーク時に役立つと思った。」

「生活の中でだいぶ電力を無駄に消費していることがわかった。しかし，猛暑の中，扇風機だけだと，風をおくるだけなのであまりすずしくもないし，部屋の温度が下がらないのでやはりエアコンの方が便利だと思った。」

「節電をして特別困ったこともなかったので日頃いかに電気を無駄使いしているかがわかった。」

「省エネに挑戦し，それがどれだけ大変なのかがよくわかった。というのは，今の自分たちの生活がとても電気に頼っているから，それを改善するのは大変困難だと思った。だが，それだけに電気の大切さ，重要さがわかったのでこれからもできるだけ省エネに努めたい。」

「エアコンをいつも低温で使っていて，それをやめただけでも電気の使用量は違うなあと思いました。」

「意識して電気を消す行動をほんの少ししただけで節電の結果が出た。私一人が少し心がけるだけで結果が出るのだから世界中の人々が少し節電をすれば膨大な量の節電になり二酸化炭素排出量も減り地球にやさしくなれると思った。うっかり節電していることを忘れそうになるのでがんばって意識した。」

また普段のエネルギー漬けの生活が，便利ではあっても，いかに生徒の自然な生活のリズムや健康を損ねているのかがうかがえる感想も少なからず見受けられた。いくつか紹介したい。

「普段はクーラーをかけすぎて部屋から出るとめまいがしたがそれがなくなり，体調もよくなった。」

「クーラーを使わず，窓を全開にして自然の風を入れるようにしたらかえって，気持ちよかった。」

「良かったこと：地球の温暖化防止，体調が良い。悪かったこと：暑い，めんどう。」

「クーラーを使わないようにするために，朝早く起きるようにしたら，夜更しがなくなり，体調がよくなった。

次の感想は運動部の練習に熱心な女子のものである。

「エアコンを使うと体が弱くなると思うし，電気代もかかるし，外の部活をやった後だと

家の中は涼しく感じるので使わなくても平気だった。」

しかし，以下の感想も多かった。「クーラーを切って扇風機にしようとしたら，父に怒られた」「親が会社でエアコンになれてしまっているせいで温度を28度に設定するとすぐに温度を下げてしまった。」「家族の協力が得られない，特に兄はまったくだめだった。」「節電は一人でがんばってやるのは難しいので，家族全員の協力がないと無理だなと思った。」など，省エネにしても，結局，生き方や人生観の違いが根底にあるので，家族の中でも，合意していくのは難しいようだ。しかし，だからこそ，環境に対する倫理感を若いときに養うことは大切ではあるまいか。

６．おわりに

生徒には，科学技術が進歩さえすれば，エネルギー問題も環境問題も解決できるという意識が強い。技術の進歩自体は素晴らしいが，技術の進歩で車や電気器具のエネルギー効率が向上しても，全体の意識が大型指向になると，環境への負荷が軽減されない。また，熱力学の法則は，技術がどんなに進歩しようと，できないことがあることを教えてくれる。

この実践では，いたずらに技術の進歩に期待するのでなく，我々の生活を見つめ直し，できるところから実行していく実践力を養いたかった。機会があれば，今後は，エネルギー政策の国際比較を取り入れたい。エネルギー政策に対して，21 世紀を支える生徒が見識と判断力を養うように支援していきたいと考えている。

引用文献および注

１）高月　紘；漫画ゴミック「廃貴物」第１集～第３集，（株式会社日報，1986 ～ 1995）

２）武谷三男編；原子力発電，（岩波新書，1976）42.

３）資源エネルギー庁原子力政策課による

４）林,矢野,青山,和田:地球温暖化を防止するエネルギー戦略，（実教出版，1997）217.

５）和田　武（立命館大学）の報告による

６）内藤正明；エコトピア，（日刊工業新聞社，1992）122.

７）EDMC 編：エネルギー・経済統計要覧，（省エネルギーセンター，2000 年版）217.から算出

８）グリーンピースジャパン編：ストップ！地球温暖化,(グリーンピースジャパン，1991) 40.

９）資源エネルギー庁；平成１１年度電力需給の概要より

１０）朝日新聞（朝刊）（1998.7.9）

１１）ＰＨＰ研究所編；地球環境にやさしくなれる本，（ＰＨＰ研究所，1994）22.

１２）環境庁：環境白書（平成９年版）114.

１３）環境庁：環境家計簿（1996）10.

環境教育の授業実践

石川県立富来高等学校
教諭　高木　義雄

１．はじめに

昨年まで勤務していた石川県立高浜高等学校で実施した環境教育の授業実践を報告する。平成１５年度、石川県の環境教育推進校に指定され、２年生の総合的学習「地域環境」１単位で履修生徒１５名と３年生の学校設定科目「科学研究」３単位で履修生徒１２名で実施した。この授業は実習を中心に進めており試薬作りも生徒にさせた。普通科の授業は黒板を使う授業が多いが、この授業は野外実習が多く、活動的で印象深いものになった。

また、学校のある志賀町には、絶滅危惧種のトミヨが棲んでいる川があり自然保護への関心も高まり、環境保全の大切さを知ってもらえたと思う。

２．実践内容

水質調査、大気汚染調査、環境放射能調査、ゴミ処理の仕組みの４つのテーマで実施した。それぞれについて概要を示す。生徒向けの実習テキストも作成した。

（１）　水質調査

学校の近くの於古川、米町川と、トミヨの生息する「さぎ池」と、そこから流出する河川の水質調査を実施した。「さぎ池」は常に湧き水が出ていて夏でも水は冷たかった。

① 透明度

直径３０㎝の白い円盤が見えなくなる深さが透明度である。

② ｐＨ測定

ｐＨメーターでｐＨを測定した。

③ ＤＯ（溶存酸素）の測定

ＤＯは水に溶けている酸素を示しＤＯの値が大きいほど水はきれいである。酸素ビンを用いて溶存酸素を固定しウインクラー・アジ化ナトリウム変法により測定した。

④ ＣＯＤ（化学的酸素要求量）の測定

ＣＯＤは水の中の主に有機物の量を示しており、ＣＯＤの値が大きいほど水が汚濁している。硫酸酸性過マンガン酸カリウム法により測定した。

⑤ リン酸イオンの測定

水の中のリン酸イオンの濃度は水質の富栄養化の程度を示し、リンが多いと藻の繁殖により水質が悪化してくる。今回は、リンモリブデン青法によりリン酸イオンの定量をした。分光光度計を用いて比色分析をした。

⑥ 塩化物イオン濃度の測定

塩化物イオンの濃度は、志賀町のように海に近い河川では、満潮時での海水の逆流の程度がわかる。今回は、モール法により塩化物イオン濃度の測定をした。クロム酸カリウム溶液を指示薬とし、硝酸銀溶液で滴定してオレンジ色になったところを終点として求めた。

⑦ 生物学的水質判定

河川に生息するいろいろな生物により水質判定した。水生生物、魚などを用いた。生徒には、あらかじめいろいろな地点で採集しておいたサンプル管に入れてある水

生生物を使って、スケッチ図を描かせた。生物学的水質判定についても説明し、川の石についている水生生物を見るだけでも水質がわかることを理解させた。

⑧ 池のプランクトン調査

プランクトンネットを用いて池のプランクトン調査をした。プランクトンの多い池は水質が汚れてきていることを示す。プランクトンによる水質判定も説明した。

（２） 大気汚染調査

① 松葉の気孔の詰まり具合による大気汚染調査

松葉の気孔の詰まり具合により大気中の浮遊粉塵の量を調査した。気孔が完全に詰まっている＋＋、少し詰まる＋、詰まっていないーとして顕微鏡を１００倍の倍率にして、ステージの上から懐中電灯を照らして気孔観察をした。＋＋と＋を汚染した部分と考え、全体の気孔数の何％が汚染しているかを汚染率で示した。

② ザルツマン法によるNO_2測定調査

フィルムケースにアルミホイルを外側に貼り付け、ペーパークロマト用ろ紙を９㎝に切って小さなセロテープで止めたものをケース内に入れる。ろ紙はフィルムケースの入り口付近にいくようにセットしておく。次にトリエタノールアミン（５０％）溶液をスポイドで、ろ紙に均一に浸み込ませて、コルクボウラーで穴を開けたフィルムケースのフタをして閉じる。風のみだれを防ぐために、ビニールの網をさらにフタにかぶせ、輪ゴムで縛ったものを、下向けにして、道路横のポールなどにガムテープではっておく。１～２日放置後、フィルムケースをビニール袋に入れて回収し、実験室へ持ってくる。普通のフィルムケースのフタと交換し、蒸留水を少し入れて振る。次にザルツマン試薬を５mℓ加えてよく振り、約１０分放置後、その溶液を２０mℓメスフラスコに入れ、蒸留水でメスアップして分光光度計を用いて波長５４５ｎｍで比色分析する。

（３） 環境放射能調査

① カリウムの放射能を測る。カリウムには、放射性元素のカリウム４０が含まれており、ここからベーター線やガンマー線が常に出ている。カリウムは植物や岩石、土にも多く含まれており自然放射性核種とよばれている。

（実験１）今回は、ガイガー（ＧＭ）カウンターを用いて塩化カリウムの粉末から出るベーター線を測定した。「はかるくんⅡ」では、ベーター線とガンマー線の両方を測定できる。「はかるくんⅡ」をベーター線測定用にして測定する。今回は、塩化カリウムの粉末を、精密ばかりで、２ｇから８ｇまで適当な間隔で量りとり、それぞれをサランラップで広がるように包み、ＧＭカウンターに設置し２分間のカウント数を求めた。そのカウント数を２で割って１分間のカウント数ｃｐｍを求めた。実験結果より試料をのせないで測定したバックグランド値を差し引いて正味のカウント数を求めた。グラフ用紙に実験結果を記入し考察する。

（実験２）喫煙室のタバコの灰を０．１ｇから１．０ｇまで０．１ｇ間隔で量りとり実験１と同じ方法でＧＭカウンターに設置し１分間のカウント数ｃｐｍを求めてグラフ用紙に実験結果を記入して考察した。

この実験は^{40}K（カリウム４０）から出る自然放射線を測定する実験である。自然界のすべての食品にも含まれている放射性元素である。

② ゴム風船を摩擦し静電気で大気中のラドンを捕集し、GM管でベーター線測定する。

③ 「はかるくん」を用いたいろいろな地点での環境放射線量の測定

校舎内、校外のいろいろな地点で「はかるくん」を用いて放射線量を測定する。単位はマイクロシーベルト毎時（μＳｖ／ｈ）になっており、ほぼγ線（ガンマー線）を測定している。この値を１，０００倍すると北陸電力志賀原子力発電所の近くの高浜高校や富来高校にも設置してある空間線量率測定用のモニタリングポストのデーター（ｎＧｙ／ｈ）ナノグレイ毎時とほぼ同じ値になる。この空間線量率は校舎外に設置してあるモニタリングポストのデーターを表示している。この値は主に大地の中に微量に含有しているウラン系列の放射性元素から出た気体の^{222}Ｒｎ（ラドン２２２半減期３．８日）が崩壊（壊変）してできた娘核種の^{214}Ｐｂ（鉛２１４）や^{214}Ｂｉ（ビスマス２１４）から出るガンマー線をモニタリングポストで測定しているのである。雨天時は、塵にくっついているこの放射性元素が、上空から降りてくるので空間線量率の値が大きくなる。

（４） ゴミ処理の仕組み

能登地域のゴミ処理対策として、羽咋郡市のゴミを処理している羽咋市滝谷町のＲＤＦ製造工場のリサイクルセンター「クリンクルはくい」と志賀町に建設されたＲＤＦ専焼炉の石川北部ＲＤＦセンターの見学をした。この施設は、ダイオキシン対策として平成１５年３月に建設された。

① リサイクルセンター「クリンクルはくい」の見学

「クリンクルはくい」では、リサイクルについて学び、アルミは原料のボーキサイトから作るエネルギーを１００％とするとアルミ缶からのリサイクルでは３％のエネルギーですむことを学び、資源ゴミの種類とゴミを出す時の注意点も教えてもらった。

燃えるゴミをＲＤＦ（固形燃料）にするまでの工程で、特に困っているのが金属類の混入で、ゴミを細かく砕いている歯車が欠けて大きな損害になっていると指摘された。

また、ペットボトルの出し方で、飲み残しがあると手選別の際に作業している人に迷惑になっていることも知った。この施設を見学して生徒も大変勉強になったようである。

② 石川北部ＲＤＦセンターの見学

石川北部ＲＤＦセンターには、１日約１００ｔのＲＤＦが石川県北部地域の５カ所のＲＤＦ製造工場から運ばれてくる。８００℃以上でゴミを燃やすとダイオキシンの発生が防げるのでこの施設が作られた。このＲＤＦセンターでは溶融炉で１３００℃に加熱しダイオキシンを分解している。石川県でも金沢、加賀地区のゴミ処理場は、ゴミを２４時間燃やし続けているのでこの施設はない。１日１８０ｔのＲＤＦを燃やし発電量は最大で７，０００KWである。この施設で余った電気は電力会社へ送る。

燃え残った飛灰（ひばい）は重金属をキレートで除去し群馬県の草津の埋め立て場へ運んでいる。スラグは、U字溝の製造に使われている。排ガス中の窒素酸化物はアンモニアと触媒を用いて除去している。

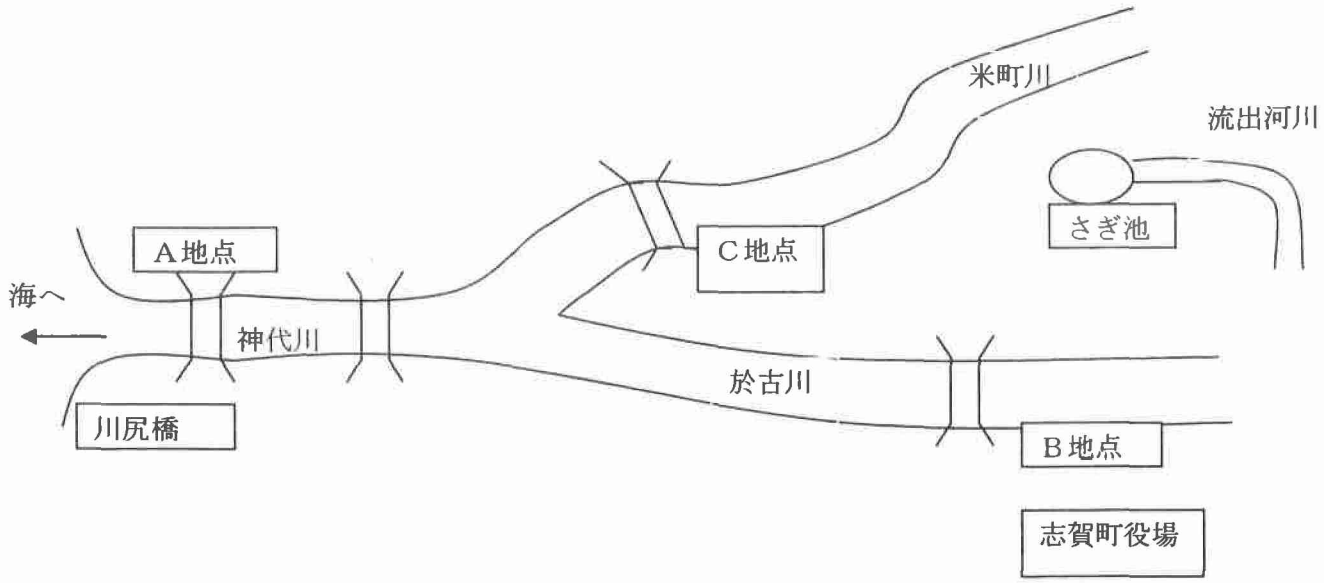
この石川北部ＲＤＦセンターでは２，５００ｔのＲＤＦを貯蔵できるサイロを２つもち、平成１５年１０月に２号サイロで異常発熱し、ＲＤＦの一部が炭化した。この原因は、ＲＤＦに湿気が混ざると微生物のためにＲＤＦが発酵して熱が発生したためであった。サイロに窒素ガスを入れて熱を下げた。三重県では、この発熱のために火災が発生した。石川県では、防止対策としてサイロ内に温度の常時監視装置とガスの検知器を設置した。

3．実践結果

（1）水質調査結果

① 志賀町の河川の水質調査

地点 / 測定項目	A地点 6／12(木) 15：00	B地点 6／3(火) 14：00	B地点 9／16（火） 14：50	C地点 6／17 14：30	C地点 11／14 12：00
天候	晴れ	快晴	快晴	くもり（雨の後）	快晴
水温（℃）	23．5		24	22．0	13．0
pH	7．17	6．88		7．00	
COD(ppm)	4．68	3．82	2．14	4．96	5．09
DO（ppm）	7．71	6．23	8．22	8．70	11．4
リン酸イオン（ppm）	0．415	0．48	0．69	0．51	0．61
塩化物イオン Cl^-（mg／ℓ）	6416	1079	606．6	89．1	1521



於古川と米町川は下流で合流して神代川となって海へ流れていく。満潮時には海水もかなり海から逆流してくることが塩化物イオン濃度の測定でわかった。Ｂ地点とＣ地点を比較すると、Ｃ地点の方が汚染していることがわかった。これは、Ｃ地点の上流の方が住居も多いのと一致している。川が濁っている原因は、海水が満潮時に逆流してくる関係で、水の中の泥や有機物が塩析をおこして沈殿してくるためと考えられる。同じＢ地点で６月と９月に２回測定したわけであるが、９月の測定の際に川に魚がたくさん泳いでいるのが確認できた。水質も９月は６月の時よりもきれいになっており魚がたくさん棲める環境になったのだと考えられる。Ｃ地点の１１月は水量が減っており川には中州もできていた。しかしＣＯＤが高いということは河川が汚濁しているといえる。

②「さぎ池」と流出河川の水質調査

採水日	６／２６ さぎ池	１０／７ さぎ池	１０／２８ さぎ池	１／９ さぎ池	１／９さぎ池 の流出河川
水温（℃）		１５	１６		
ＤＯ（ｐｐｍ）	１２．５１	１７．５２	１９．７	１６．６	９．０５
ＣＯＤ（ｐｐｍ）	１．７２	１．３７	２．１６	１．０４	０．６１
リン酸イオン （ｐｐｍ）	０．７５	０．６１	０．３９	０．３５	０．３５
塩化物イオン （ｍｇ／ℓ）				２２．６６	２２．２

１／９のさぎ池とそこから流出する河川をみると塩化物イオン濃度がほぼ等しく同じ水源であることがわかる。ＣＯＤの値を見ると、さぎ池よりも流出河川の方が水質がきれいで、トミヨの生育に適しているといえる。６／２６のさぎ池の採水時にはアオミドロの発生も見られなかったが、１０月以降のさぎ池調査では、底の砂の中に赤ユスリカがいて、アオミドロも繁殖していた。近所の人の話によると「さぎ池」は、昨年度、ヨシ原を刈り取り、底の泥も掘り起こして池の整備事業をした。しかし、ヨシ原を刈り取ったために水が汚れてきたそうである。ヨシ原は水の中の窒素・リンを吸収してくれるので水質の富栄養化を防いでくれる。水質汚濁の原因として、アオミドロの腐敗も関係していることがわかった。水がきれいなのは、湧き水だからである。さぎ池の調査では、トミヨは、まったくいなかった。フナが一匹採れただけである。

（２）大気汚染調査結果

①　ザルツマン法によるＮＯ２調査結果

今回のザルツマン法によるＮＯ２測定でわかったこと

（ａ）高浜高校周辺で窒素酸化物濃度の最も高かった地点は、高浜バスターミナルの所にあるタクシー乗り場であった。次に高かったのは５月に開店した大型スーパー「どんたく」

の近くであった。
（b）消防署向かいの電柱に設置した高さごとの変化をみると下から１．５ｍぐらいが最も窒素酸化物濃度が高かった。１．５ｍは、人の鼻ぐらいの高さである。

（平成１５年４月～５月の数日間設置）

設置場所	学校前電柱	消防向かい（上2m）	消防向かい（中1.5m）	消防向かい（下5㎝）	学校駐車場Pの上	学校駐車場Pの下
NO_2（ppm）	０．１０	０．１４５	０．１９５	０．１５	０．１０	０．１６

タクシー乗り場	どんたくの電柱	バス停	高浜保育所前	志賀町役場近く	男子トイレ入口	中学の道路の電柱
０．２７	０．２０	０．１２	０．０８	０．１１	０．０７	０．１１

② 松葉の気孔観察による大気汚染調査結果（４月２１日測定）

（a）高浜保育園前

汚れの程度	＋＋	＋	－	汚染率（%）
４／２１(月)	０	３	２１	１２．５

（b）消防署前の空き地

汚れの程度	＋＋	＋	－	汚染率（%）
４／２１（月）	０	３	７	３０．０

（c）１年生の自転車置き場

汚れの程度	＋＋	＋	－	汚染率（%）
４／２１（月）	０	２	７	２２%

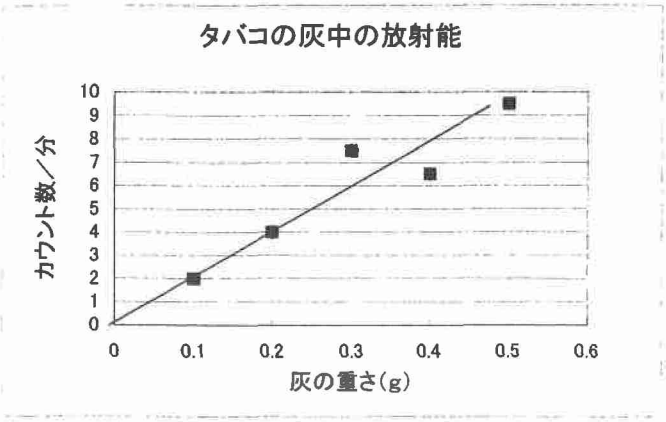
３地点の比較では交通量の多い消防署前の汚染率が高かった。

（３）環境放射能測定結果

① タバコの灰中の放射能測定

タバコの灰の中にはカリウムが多く含まれておりカリウムの中の^{40}K（カリウム４０）から放射線が出ている。これをβ線が測定できるGM管を用いて測定した。バックグランドを差し引いてカウント数を示した。

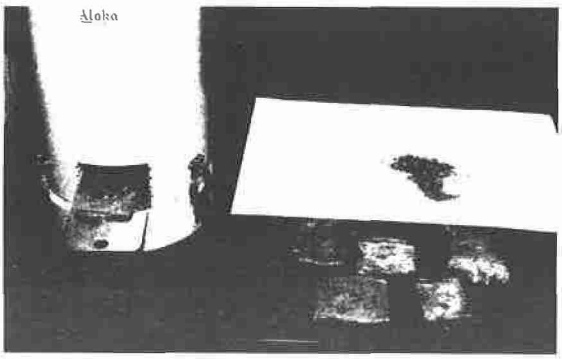
灰の重さ（g）	０．１	０．２	０．３	０．４	０．５
カウント数／分（cpm）	２	４	７．５	６．５	９．５



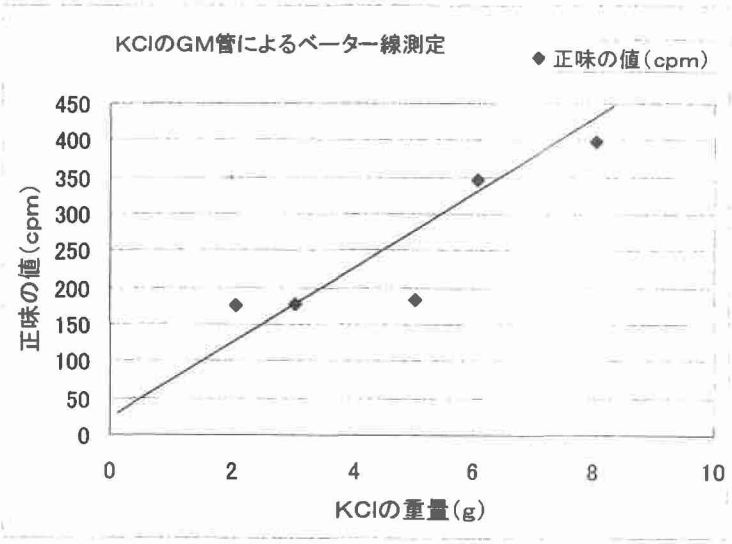


② 塩化カリウムの放射能測定結果

塩化カリウムを２ｇ～８ｇまで適当な間隔で精密ばかりで量り取りサランラップで薄く広がるように包む。^{40}Kから出るベーター線を右図のようなGM管で測定した。カウント数はバックグランドを差し引いた正味の値で示してある。



塩化カリウムの重さ(g) KCl (g)	正味の1分間のカウント数 (cpm)
2.07	174
3.03	178
5.01	182
6.04	347
8.03	397



この結果より塩化カリウムの重量が増えるにつれて、ベーター線の量も比例して増えることがわかる。

③ ゴム風船を用いた大気中のラドンの捕集

ゴム風船をふくらませてペーパータオルで摩擦して静電気を発生させ、しばらく大気中のラドンを集める。約５～１０分後に風船の空気をぬき、GM管、または、「はかるくんⅡ」でベーター線を測定する。大気中のラドンが捕集できたか調べる。

ラドンは、大地やコンクリートに含まれているウラン系列の放射性元素から出ている気体の放射性元素で、アルファー線を出した時に陽イオンになるので、静電気で捕集できるわけである。この実験は風船を使うので生徒は大変喜んだ。この実験では、風船そのもののバックグランドを調べて、静電気で捕集した後の風船の放射線量と比較するわけである。風船が大きいほどラドンの吸着量も多かった。

９月２日（火）晴れゴム風船によるラドンの捕集結果

（ｃｐｍ）は（カウント数／分）を示す

ブランク値	風船（中）	風船（中）	風船（大）	風船（大）	風船（大）
２５ｃｐｍ	３４ｃｐｍ	３１ｃｐｍ	３７ｃｐｍ	３７ｃｐｍ	３８ｃｐｍ

④　「はかるくん」を用いた放射線量測定

７月２日（水）午前９時　晴れ

「はかるくん」を生徒全員に持たせて、最初に「はかるくん」の使い方を説明してから、校舎内外のいろいろな場所で放射線量を測定させた。データーの一部を次にのせておく。

場所	２階生物実験室	３階物理実験室前	２階生物実験室前	１階化学実験室前	第一体育館
μＳｖ／ｈ	０．０６９	０．０７６	０．０７９	０．０８３	０．０３７

前庭芝生上	花崗岩（白みかげ石）	花崗岩（黒みかげ石）	花崗岩（赤みかげ石）	防火用水	運動場
０．０４４	０．１０２	０．０５４	０．１０７	０．０３３	０．０４９

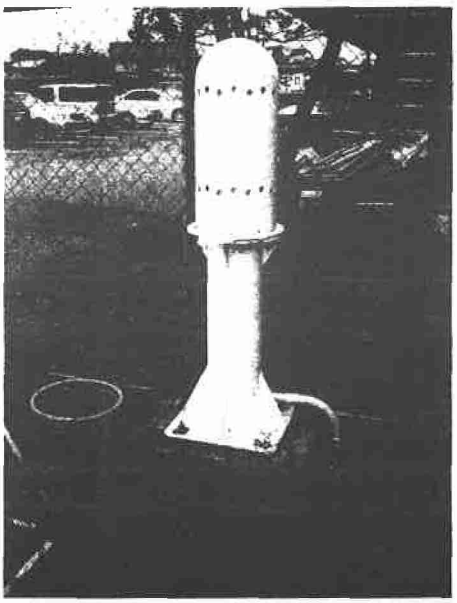
女子トイレ	２階図書室	２階職員室前	玄関	鉄棒の所	談話室（１階）
０．０８３	０．０６６	０．０９２	０．０６	０．０４２	０．０６７

- 校舎の中でも窓が少なくコンクリートで囲まれた職員室前の廊下、女子トイレが多かった。
- 体育館のように木製の板が多く使われている場所は放射線量が少なかった。
- 花崗岩でも、赤みかげ石、白みかげ石からは、放射線が多く出ているが、黒みかげ石からは放射線が少ししか出ていないことがわかった。このことから、石英や長石の多く含まれる石から放射線が多く出ていると推測できる。
- 防火用水の水の上は最も放射線の量が少なかった。これは水が大地から出る放射線を遮蔽するためであると考えられる。

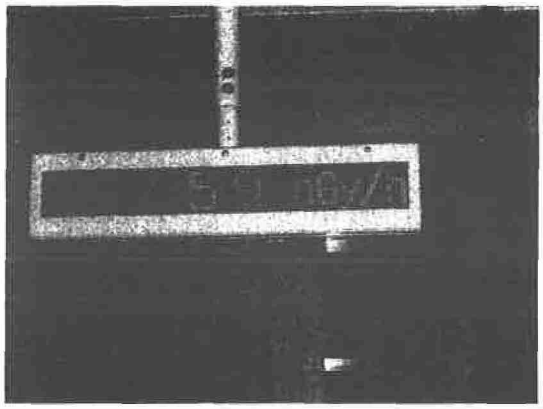
⑤　空間線量率の季節変化（高浜高校のモニタリングポスト）

平成１２年９月から平成１５年４月にかけて、高浜高校に設置してあるモニタリングポ

ストの空間線量率を調べたが、冬は一般に高く、特にミゾレ混じりの雨の強い日に空間線量率が高くなることがわかった。また、大雪で地面が雪でおおわれると、大地からのラドンの放出が妨げられるので空間線量率が減ることもわかった。夏でも降雨の激しい時は、ラドンの娘核種が地表付近へ降りてくる関係で空間線量率が高くなることがわかった。

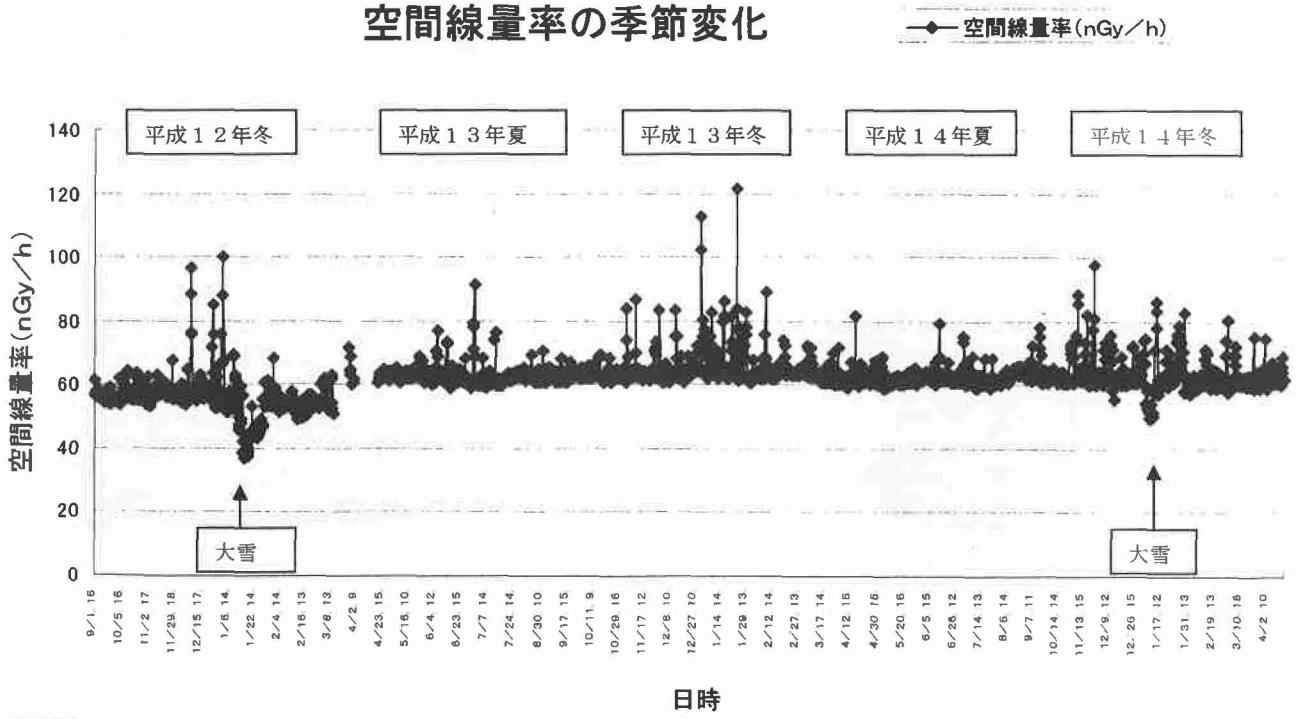


モニタリングポスト

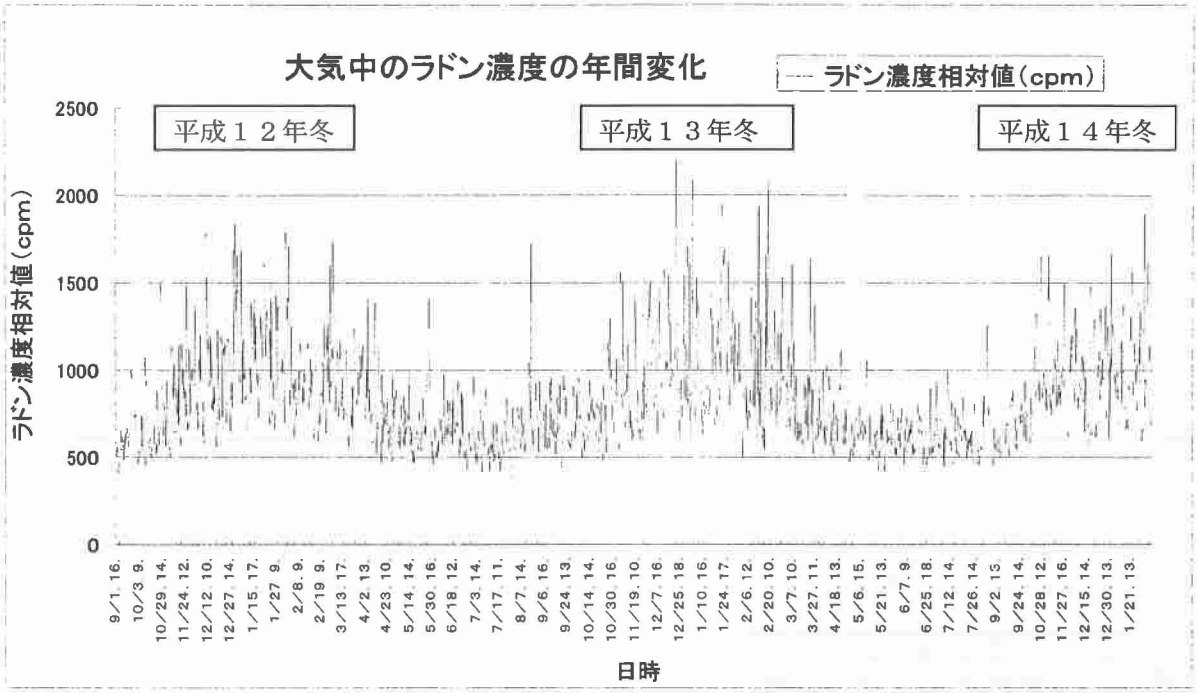


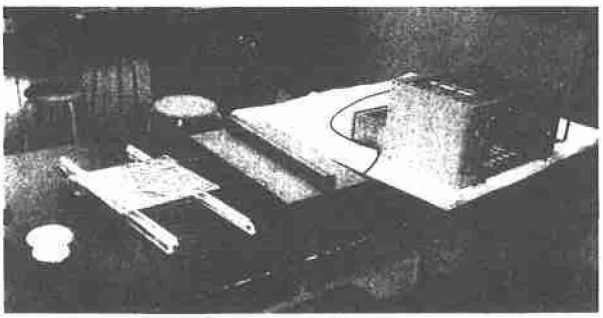
富来高校や高浜高校に表示されている
空間線量率の値

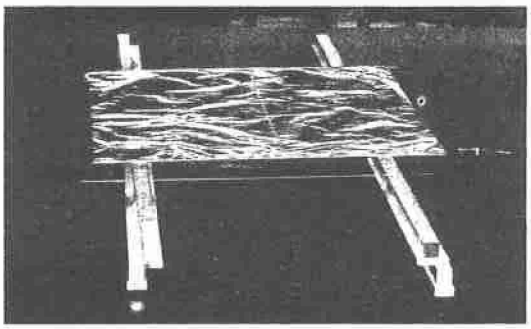
（高浜高校のモニタリングポストのデーター）



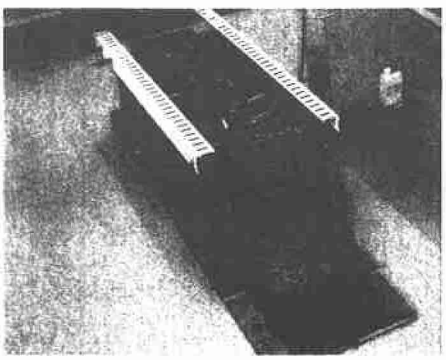
⑥　大気中のラドン濃度の季節変動



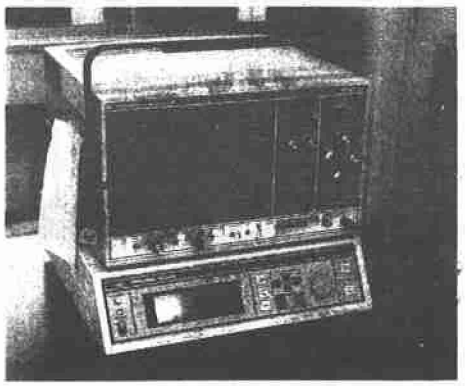




直流高電圧発生装置とアルミホィルを巻いたラドン捕集装置



鉛の遮蔽装置（検出器が入っている）



ＮａＩ－シンチレーションカウンター

この装置は、直流高電圧発生装置で４００ゲインにし電圧を一定にする。(電圧計で測定すると電圧２，１８２Ｖであった。) 銅板と銅板の間隔を１．５cmになるようにプラスチックの角棒が２本はさんであり、上側の銅板をマイナス極にしてアルミホイルにラドンを静電気で吸着する方法を考案した。ラドンは、マイナス極の上側のアルミホイルにのみ吸着することも確認した。約１．５時間通電した後、マイナス極側のアルミホイルをタッパーの底になるべく平らに広げてセロテープでとめてＮａＩ－シンチレーションカウンターを用いて、１０分間隔で９回測定し、そのデーターを片対数のグラフ用紙にプロットしグラフを延長して０分の時のカウント数を求めた。その値を１０で割って１分間のカウント数(ｃｐｍ) を求め大気中のラドン濃度相対値とした。

$$^{238}U \rightarrow\rightarrow {}^{222}Rn \xrightarrow{\alpha、\gamma} {}^{218}Po \xrightarrow{\alpha} {}^{214}Pb \xrightarrow{\beta、\gamma} {}^{214}Bi \xrightarrow{\beta}$$

（３．８日）　（３．１分）　（２６．８分）　（２０分）

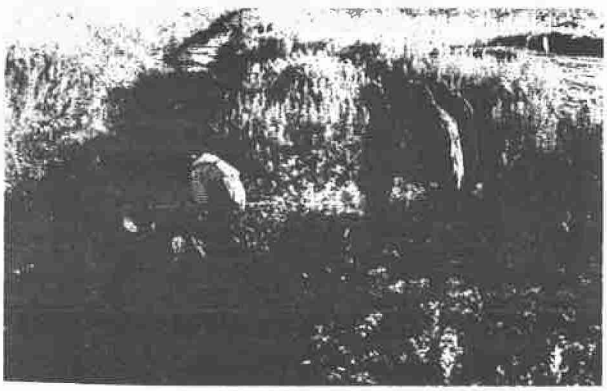
ラドンの原子核からα粒子が飛び出す時に反跳現象により電子の偏りを生じ一瞬、陽イオンになるところをマイナス極のアルミホイルに静電気で吸着させるわけである。

この実験は、３階の物理実験室の窓を開けておいて空気の出入りが生ずるようにして、ラドンを静電気で捕集した。実験結果を見ると冬季にラドン濃度が高く、夏にはラドン濃度が低くなるのがわかった。冬は北西の季節風が強く中国大陸からもラドンが日本へ飛んでくるのが原因していると考えられる。夏は日本海側は風も弱く中国からのラドンの飛来が少ないと考えられる。春と秋はその中間のラドンの飛来が見られた。

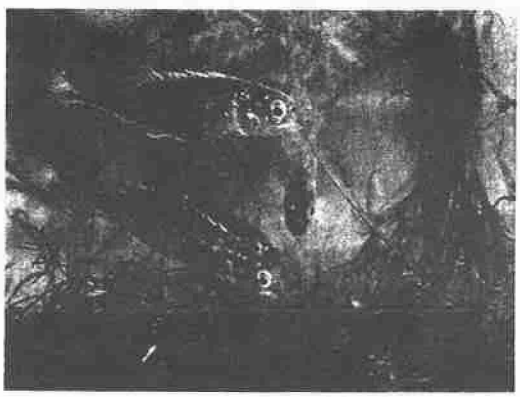
（４）トミヨの観察

水質調査の際に網で、さぎ池から流出する河川でトミヨを採集し、水槽で観察させた。トミヨのエサはホームセンターで売っている冷凍赤ユスリカを与えて飼育した。

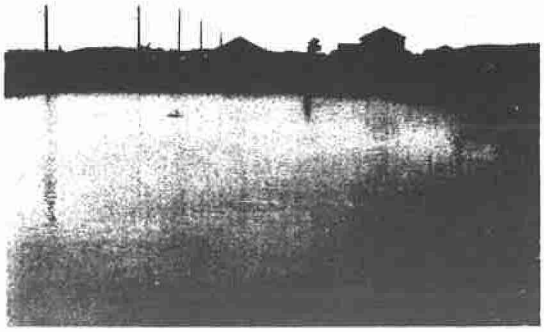
トミヨは、絶滅危惧種で、日本では、石川県が南限で、水温１５℃以下の湧き水のでる水質の所に生息している。トミヨはトゲウオの仲間で背中に小さなトゲがあるのが特徴である。メダカぐらいの大きさである。石川県では、高浜高校のある志賀町と手取川が流れている美川町の２カ所で生育が確認されている。さぎ池からの流出河川で、生徒は、トミヨを捕まえて感動した。また、その川で、ドジョウや白く透き通ったザリガニも採集し、自然環境の豊かさと、保護の大切さについても自ら体験した。



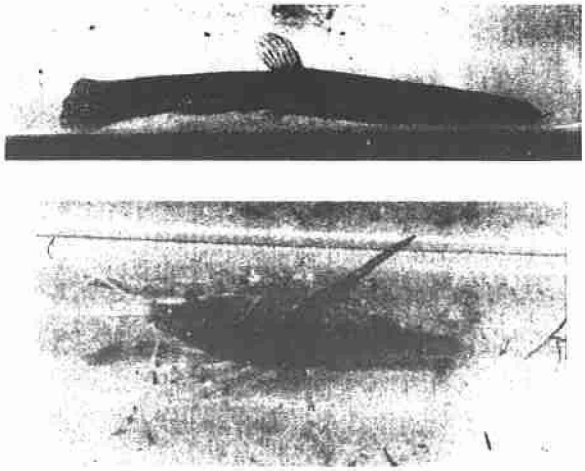
トミヨの生息している川



トミヨ



さぎ池

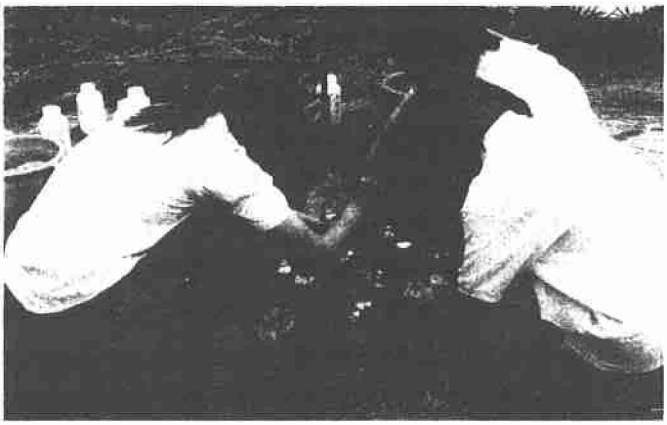


さぎ池からの流出河川にいたドジョウとザリガニ

（5） 実習風景のスナップ



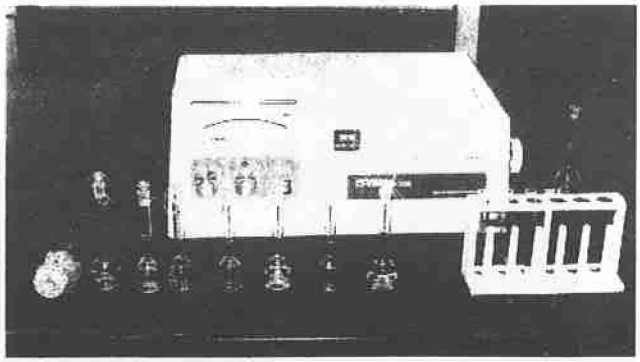
採水風景



溶存酸素の固定



ＣＯＤの測定



分光光度計による比色分析（NO_2測定）

（6）総合的学習発表会

２年生普通科の総合的学習発表会を３月１８日に、１，２年普通科全員と先生方の前で実施した。発表力もつき、他のグループの活動もわかり意義のあるものになった。１年生にとっては、２年生になった時の総合的学習でどのグループを選ぶかの参考になり事前学習にもなる。発表前に２年生全員に自己評価と他のグループの発表評価用紙を渡しておいて、全グループの発表後に教師の方で回収し総合的学習の評価にも利用した。





（7） まとめ

志賀町には、絶滅危惧種のトミヨも棲んでいて自然環境が豊かであるが、米町川下流の採水時に、自転車の不用品やゴミも捨てられてある光景も見て、環境保全の大切さを知ったようである。２年生の総合的学習１単位は、６限目を授業にあててもらっており、野外実習の移動には、理科担当の２名の教師の車を利用しておこなった。近くの川の採水では、車に全員乗れないので採水現場まで歩かせたり、自転車で来させたりもした。遠くの場所にある施設見学では学校のマイクロバスを利用した。３年生の学校設定科目「科学研究」は３単位あり、４限目１回、６限目２回にして野外実習をしやすくした。３年生は実験操作もかなりスムーズにできるまでになった。

生徒の感想では、特にゴミ処理をしている「クリンクルはくい」と石川北部ＲＤＦセンターの見学が印象深かったようである。見学の際も礼儀正しく挨拶し、よい体験をさせたと感じた。また、トミヨの採集のために、川へ長靴をはいて入った経験や、水槽でトミヨを観察をしたことも印象深かったようである。

私が、今年度より勤務している富来高校の総合的学習は、１年生は、全員で「地域学習」というテーマで取り組んでおり、内容は漁業と環境を主に扱っている。昨年度勤務していた高浜高校とは違い、１単位３５時間を、施設見学１日、富来町の各種職場、施設等での就業体験２日、漁業に対する理解を深めるために「石川とぎ漁港」の協力を得て、地引き網体験も半日行う。また、全校生徒で海岸清掃をすることで海水浴場をきれいにするとともに、ボランティア精神もつけさせている。富来高校のある、富来町は、増穂浦という海水浴場とリゾート施設があり、ギネスブックに登録されている世界一長いベンチもある。また、西海漁協があり、能登でも水産業の盛んな地域でもある。

７月７日には１日がかりで、バス２台を使い、石川県水産総合センター、リサイクルセンター「クリンクルはくい」、能登島水族館を見学し、講義を聞いた後で、施設見学を行った。石川県水産総合センターはアワビ、サザエ、ヒラメの栽培漁業をしていて、少し大きくしてから海へ放流している。能登島水族館では、「日本海の魚」というテーマで講話を約１時間聞いた後で、館内の魚やラッコの見学、イルカショーを楽しんだ。７／７の施設見学の感想を作文用紙に書いて全員提出させ総合的学習の評価をつけることにしている。

エネルギー・放射線関係教育における地域団体との協力

鈴木 高廣
名古屋経済大学高蔵高等学校（〒456-8577 名古屋市熱田区横田1丁目1-56
Tel: 052-681-0331, E-mail: takakura@educet.plala.or.jp

1．はじめに

中学、高校における理科や総合学習において、エネルギー・環境・放射線のようなやや特殊な分野の内容に関しては、重要ではあっても、教師の従来の担当範囲からやや外側に位置する内容である場合がある。このような場合に、こうした内容をカバーする外部地域団体などが提案している出張授業がある。しかし、このような出張授業の内容は、学校側からみれば若干とも修正等を望みたい場合がある。具体的に言えば、原子力・放射線のみの内容の出張授業の受け入れは、学内での合意・協力が得にくい場合がある。そこで我々は率直にこのことを出張授業を提供する地域団体に話し、学校側が受け入れやすくするためにテーマに関して双方が案を出し、検討し合い、授業の内容や形態の幅を広げることを試みた。結果的には、いくつかの新しいテーマの開発につながり、それらのテーマを含めた形で実際に授業を実施している。このように、双方から検討し合い、双方がより納得の行く形態のテーマ・授業の開発とその実施は、やや特殊な内容の分野では文系を含めて今後促進する余地があると思われるので、ここに実施例を報告する。

2．出張授業の改善

中部地域では、エネルギー・放射線関係の分野で中部原子力懇談会（放射線教育フォーラムの愛知・岐阜・三重地区と連携関係にある）が、内部組織として放射線部会を持ち、中学、高校を対象に提案している「出前理科教室」がある。このような出張授業は受け入れる側に大いに利点があるので、年1回過去3年間受け入れてきたが、当初は、霧箱や「はかるくん」などのいわゆる放射線関係のみの実験や講義であった。学校側から、より一般的なテーマを組み込むことはできないかとの意見が出て、中部原子力懇談会側と相談した。

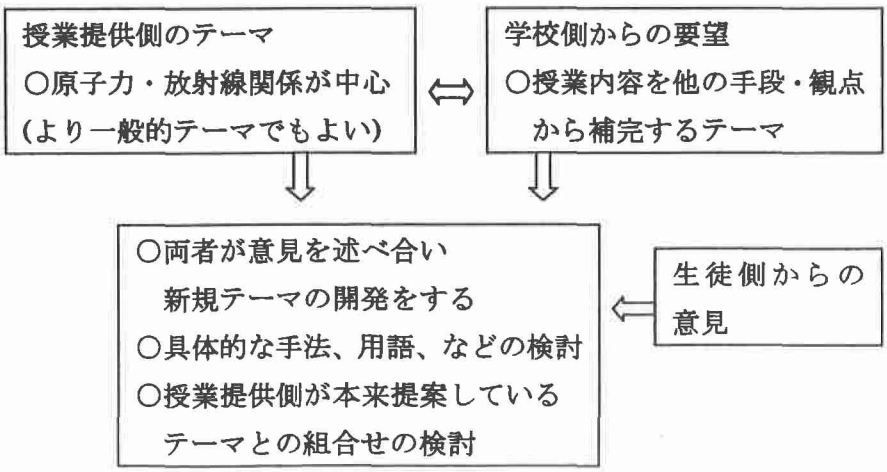


図1　出張授業受け入れのテーマ検討の流れ

図1に示すように、学校側からの要望は、教科の中に既にある内容で、それを補強でき

るような実験または講義であり、中部原子力懇談会側からの要望は、新しいテーマは若干とも原子力・放射線に関係した内容の実験または講義、であった。今回はできなかったが、もし、図１に示すように、生徒側の意見もあらかじめ反映させることができればより好ましいであろう。

人体に関する内容が理科の教科の中にあり、これに関する実験があれば学校側の要望を満たしている。このような実験を検討したところ、水血圧計実験の着想を得た。血圧は誰しも関心があり、最近は各家庭にも電子式血圧計が備えられるようになって来ているがその仕組みや人体との関係は分かりにくい。水血圧計は、１）その構造が極めて簡単で分かりやすい、２）従来にないユニークさがある、３）安価に製作できる、４）人体のみならず、圧力などの物理的概念の理解にも役立つ、などの特徴がある。その上、図２に示すように、人体における血液の流れと、原子力発電などにおける蒸気の流れ、エネルギーの移行に大きな類似性があり、中部原子力懇談会側

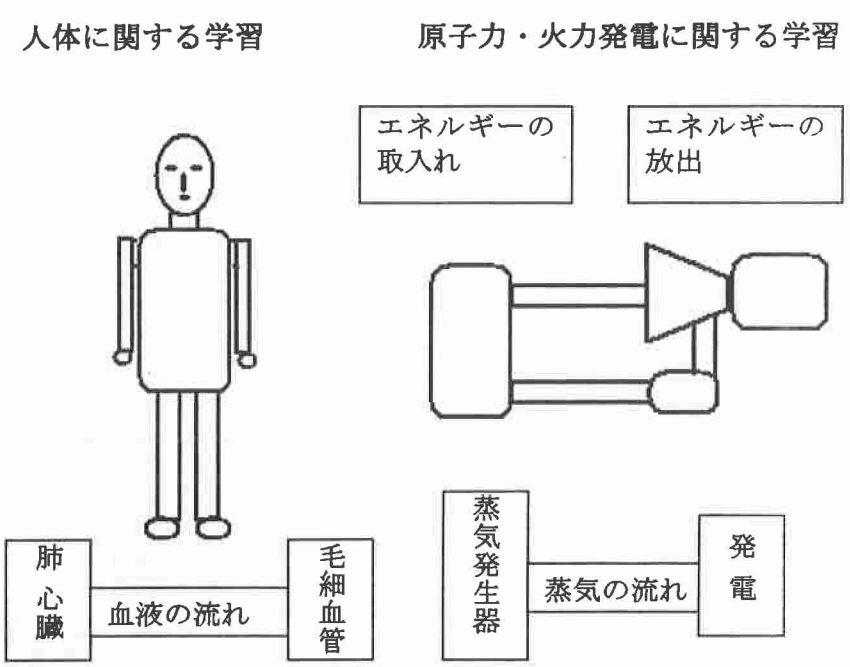
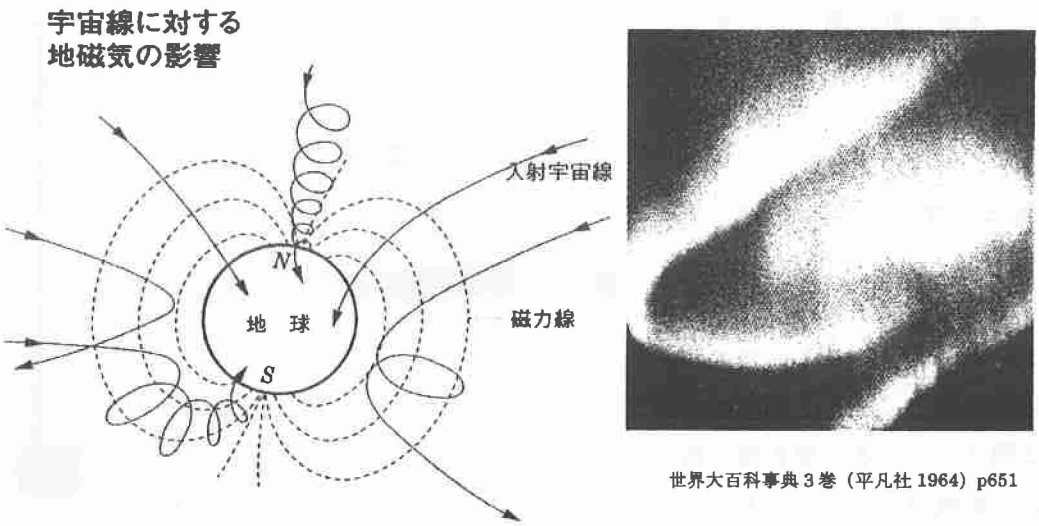


図２　人体、エネルギー、発電における類似性



世界大百科事典３巻（平凡社 1964）p651

図３　地磁気と宇宙線、オーロラの発生

の要望も満たしている。

地球に関する教科内容は地学に限らずいくつかの教科に現われる。しかし、地球全体を眺める視点を持つ必要があるような実験は少ない。このような実験として地磁気実験を考えた。

地磁気はどのようになっているか、宇宙線の地表への侵入はどうなっているか、宇宙線とオーロラの発生との関係はどうか、などは、学校側と中部原子力懇談会側の双方の要望を満たすものである。このほか 静電気実験（静電気と放射線による放電）なども検討された。

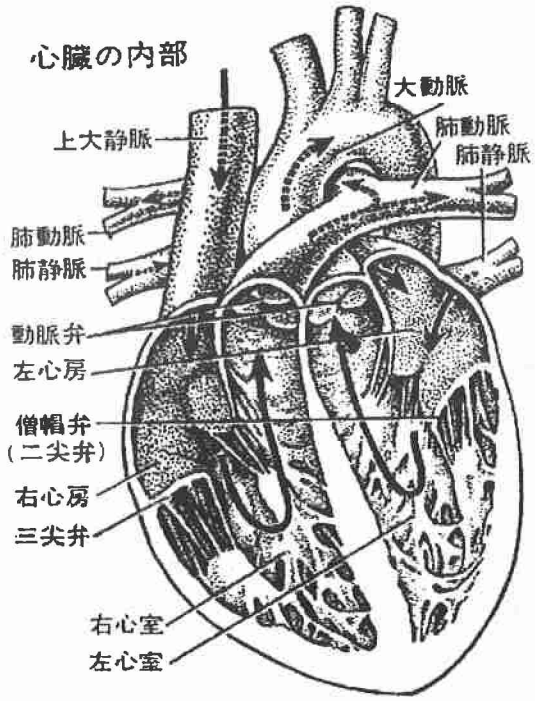


図４　心臓の断面模式図

国民百科事典 No.4(1961,平凡社)p177

３．採択実験テーマの内容

（A）水血圧計

実験に先立って、図４に示すように、心臓の構造、心臓と肺の働き、動脈血流、毛細血管、静脈血流の説明、図２に示すように原子力・火力発電における蒸気の流れとの類似性を説明する。また、心臓の音は心臓の左心室の収縮に伴い、血液が勢い良く動脈に流れ出る時の音と、左心室が膨張する直前に閉まる大動脈弁に逆流気味の血流が当たる音の２つの連続した音（ズートンと表現されている）から成っていることを説明しておく。

図５に水血圧計の構成を示す。リークバルブを閉じ、手動ポンプで腕に巻いたパッドに空気圧力をかけると、水柱が上昇する。水柱を 180cm 程度にすると、血流が止まる。リークバルブを開放すると、水柱が徐々に下がり始め、圧力の低下にともない、やがて血流の音が聴診器を通じて聞こえ始める。これは閉まっている血管を急に押し広げて血液が流れる音である。この時の水柱の高さ H_{WH}(mm)を

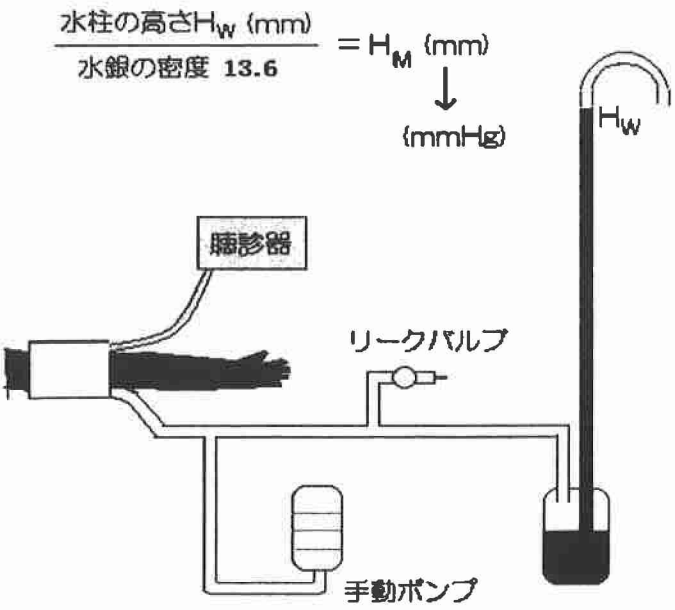


図５　水血圧計の構成

読取る。この値を水銀の比重 13.6 で割ると最高血圧値が得られる。空気圧力がさらに低下すると、やがて血流の音が聞こえなくなる。これは、血管がいつも開いているために血管を押し広げる音が生じないためである。この時の水柱の高さ H_{WL}(mm)を読取る。これを 13.6 で割ると、最低血圧値が得られる。厳密には水柱の高さに相当する空気の浮力を考慮しなければならないが、血圧値に与える影響は約 0.1%なので無視してよい。

この実験は、聴診器で血流の音を聞かなければならないので、聴診器に慣れるために、先ず自分の心臓の音を聞かせることにしている。自身の心臓の音を聴診器で聞くのは始めてである生徒がほとんどである。講義の説明にあったように、心音が 2 つのやや連続した音の繰り返しであることを実感する。

この実験は、4 人 1 組で行なうのがよい。血圧を測ってもらう人、手動ポンプで圧力をかけたあと、リークバルブを操作し、読取られた水柱の高さを記録する人、聴診器を聞いて音の有無を知らせる人、水柱の高さを読取り声を出して知らせる人、の 4 人である。この役割を順番に 4 回繰り返すので、各自の血圧が測定される。自分が分担した仕事に失敗すると皆に迷惑をかけるので、かなりの緊張感のもとで実験が進められる。

(B) 地磁気実験

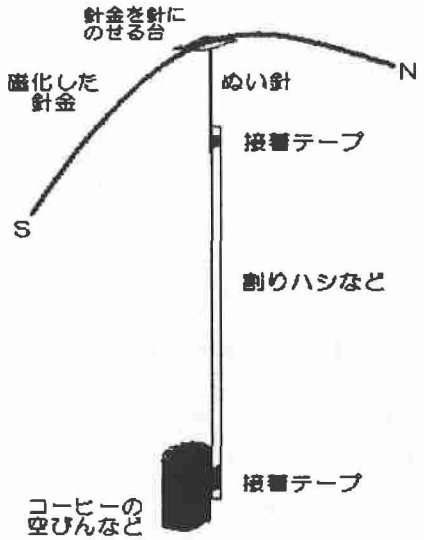


図 6　手作り針金磁針

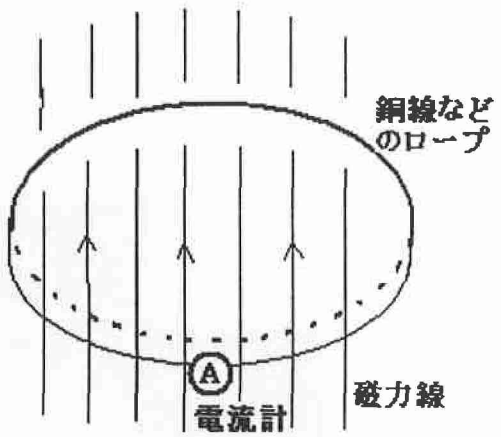


図 7　地磁気発電の模式図

地磁気に関する実験では 2 つの実験を行なう。1 つは図 6 に示すように、ヤジロベー形にした鉄の針金を、ボードに張り付けるマグネットで磁化する。これにプラスチックの台をセロテープで付け、縫い針の上にのせる。これで地球磁場の方向を向く磁針となる。鉄製の机の脚などのそばや、鉄筋コンクリートの柱のそばなどでは方向が変わることが確認できる。

図 7 は、感度の高いエレクトロニック検流計につないだ直径 2 mほどのループ状の導線を 2 人で持って、半円の部分を回転させれば、検流計に電流が正負方向に流れることが分かる。検流計がやや高価であることが難点である。

4．実験の計画と実施

テーマの組合せA　120分授業		テーマの組合せB　120分授業	
霧箱の実験 60分 2～4人で1組 講義　15分 実験　45分	水血圧計実験 60分 4人で1組 講義　15分 実験　45分	「はかるくん」 による実験(60分) 2人で1組 講義　10分 実験　50分	地磁気の実験 60分 1~2人で1組 講義　15分 実験　45分

図8　実験テーマの組合せ

図8に示すように、実験は基本的に2コマ120分を連続して行なうようにした。テーマは一つは霧箱または「はかるくん」を用いた放射線の実験である。他の一つは、新しく開発したテーマである。時間的にややタイトであるため、あらかじめ準備をしておくことが肝要である。

授業に先立って、打ち合わせを行い、前日には数名の理科担当教師、場合によっては文系の教師も交えて実際の実験の手伝いができる程度に予行演習を行う。1クラス40名程度を2クラス交代で行なうことが多い。それぞれのテーマにおいて、最初に15分程度の説明を授業提供側が行なう。実験では学校側も実験指導に加わる。生徒に後片付けをさせ、質問、アンケートを実施しこれらを参考にしつつ、反省会を持つ。



図9　水血圧計の実験風景



図 10　地磁気発電の実験風景
検流計をつないだループ状の導線の半分を
を回転させて、検流計の針の振れを見る

図 9 は水血圧計の実験風景であり、図 10 は地磁気発電の実験風景である。

5．まとめ

近年、ボランティアで出張授業を提供する個人あるいは組織は少なくない。しかし、提供側が申し出るテーマは受け入れ側の希望に必ずしも沿うわけではない。

授業内容を補完する内容を持つテーマをという受け入れ側の要望と、原子力・放射線関係の内容を若干とも含ませるという提供側の要望の双方を満たすテーマとして、水血圧計を組み立てて各自の血圧を測る実験と、地磁気に関する実験の二つを考えた。それぞれを、提供側が本来考えていた霧箱の実験と「はかるくん」を用いた実験に組み合わせて、講義および実験を行なった。

結果的に生徒への理科教育に、より適したテーマになった。また、多くの教諭の協力、学校側の協力が得られるようになった。生徒の評価も非常によかった。

理系、文系にかかわらず、こうした外部との協力は、今後大いに進める価値があると思われる。その際、双方が忌憚のない意見を述べ合い、より良い内容にしてゆくことが重要であると思われる。

謝辞

本文中でも述べてきたように、この授業の実施は中部原子力懇談会の忍耐強い協力のおかげである。ここに謝意を表する。

付章　「会長有馬朗人先生の叙勲をお祝いする会」の記録

有馬朗人先生の叙勲をお祝いする会の報告

フォーラムの会長である有馬朗人先生が昨年秋に文化功労者ならびに旭日大綬章の叙勲をお受けになりました。誠におめでたいことであり、このような立派な方に会長になっていただいていることは、われわれにとっても喜ばしく、光栄に思うものであります。

有馬先生のご経歴、文化功労者受賞理由・旭日大授章功労概要、フォーラムでのご足跡は次ページ以下に示すとおりです。

このおめでたい出来事をお祝いすべく、われわれフォーラムが中心となり、1月21日(金)午後5時から午後7時まで、尚友会館8階の2号会議室でささやかながらお祝いの立食パーテイーを開催いたしました。当日の司会はフォーラムの飯利副会長と松浦事務局長が勤めさせていただきました。出席者は47名（他に寄付の参加5名）でした。

初めに飯利副会長がお祝いの言葉を申し上げたのち、出席者の中から松浦祥二郎氏（原子力安全委員会委員長)、齋藤伸三氏（原子力委員会委員長代理)、岡崎俊雄氏（日本原子力研究所理事長)、住田健二氏（元日本原子力学会会長・大阪大学名誉教授)、佐々木康人氏（放射線医学総合研究所理事長)、長瀧重信氏（日本アイソトープ協会常務理事・長崎大学名誉教授)、平尾泰男氏（日本分析センター会長）の7名の方々からご祝辞をいただきました。いずれもお心のこもった味わいのあるものでありました。この会に参加できなかった方々のために、これらの祝辞を以下に記録させていただきます。

祝辞をいただいたあと、伏見康治先生の音頭による乾杯に移り、そのあと有馬先生からご挨拶をいただきました。そして約1時間歓談の時をすごしました。非常になごやかで、心暖まる会合となりました。有馬先生がご退席される前に、フォーラムを代表して、秋田経済法科大学付属高校の佐伯邦子教諭から有馬先生に花束を差し上げました。

なお、当日の会の参加者には、会の次第・先生へお祝いの下記のメッセージ・有馬先生のプロフィールなどを記載した資料（4ページ）と有馬先生のエネルギー環境問題に関する最近のご講演テキスト（8ページ）をタトウに挟んだもの記念としてお持ち帰りいただきました。

有馬朗人先生　このたびの文化功労者並びに旭日大授章の叙勲は誠にお目出度うございます。

今後とも各方面へのご指導をお願い致しますとともに、ご健康で永くご活躍下さいますことを祈念いたします。

会員一同

文化功労者受賞理由

（財）日本科学技術振興財団会長
科学技術館長

東京大学名誉教授　　有馬朗人（ありまあきと）

昭和5年9月13日生

昭和28年 3月　東京大学理学部物理学科卒業
昭和31年 3月　東京大学大学院理学系研究科博士課程退学
昭和33年 8月　理学博士
昭和50年 8月　東京大学理学部教授
昭和56年 4月　東京大学大型計算機センター長（昭和50年3月まで）
昭和60年 4月　東京大学理学部長（昭和63年3月まで）
平成 元年 4月　東京大学長（平成5年3月まで）
平成 5年 4月　法政大学工学部教授（平成6年9月まで）
平成 5年10月　理化学研究所理事長
平成10年 7月　参議院議員（平成16年7月まで）
平成10年 7月　文部大臣就任（平成11年10月まで）
平成11年 1月　科学技術庁長官兼任（平成11年10月まで）
平成12年 6月　（財）日本科学技術振興財団会長（現在に至る）
平成16年 7月　科学技術館長（現在に至る）

（賞）
昭和53年12月　仁科記念賞（「原子核の集団運動現象の解明」に対して）
昭和62年12月　フンボルト賞
平成 2年 5月　フランクリン協会ウェザリル・メダル
平成 3年 9月　ドイツ連邦共和国功労勲章功労大十字章
平成 3年12月　オランダ王国オレンジナソウ勲章
平成 5年 6月　日本学士院賞（「原子核の力学的模型と電磁相互作用の国際的研究」に対して）
平成10年　フランス共和国レジオン・ド・ヌール勲章
平成14年9月　名誉大英勲章

氏は、多年にわたり物理学の研究・教育に努め、とりわけ原子核物理学の研究に優れた業績を挙げ斯学の発展に多大な貢献をするとともに、文部大臣、科学技術庁長官、東京大学長、理化学研究所理事長などを歴任し、日本の科学技術・学術の振興ならびに教育の振興に多大な貢献をした。

原子核は複数の陽子と中性子が強い相互作用を通じて結合した量子力学的少数多体系であり、その構造を解明することは極めて困難である。原子核の構造・性質を理解するためには、本質をとらえた模型を作り上げ、それによって実験的に解明されている諸性質を体系的に説明しなければならない。氏の第一の大きな業績は、単純なポテンシャル模型として提唱された殻模型を大きく発展させ、原子核の芯の編極を表す配位混合が重要であることを見出し、原子核の種々の性質、例えば、電磁モーメント、遷移強度、電子散乱における形状因子などの値が系統的に理解できることを発見したことである。また質量数の小さい原子核においては、アルファー粒子（ヘリウム原子核）を構成要素とするアルファー・クラスター模型が原子核の性質を理解する上で重要である事を示し、新たに殻模型との融合模型を提唱して、ネオン 20 のエネルギー順位、アルファー崩壊幅などを見事

に説明した。

第二の大きな業績は、核子が集団で運動する集団運動をボソンの相互作用として理解するという革新的モデル、IBM（相互作用するボソンモデル）を Lachello とともに提唱したことである。このモデルは閉殻外にある核子のペアをボソンとして扱うものであり、ボソンの一つｓボソンは超伝導におけるクーパー電子対に対応するものである。氏の極めて独創的特徴的方法は、原子核集団運動における対称性を探り出し群論的考察をおこなったことである。

一方、氏は文部大臣、科学技術庁長官、東京大学長、理化学研究所理事長として、また中央教育審議会会長として、日本の科学技術・学術の振興、高等教育、初等教育の改革を進めるなど大きく貢献した。

旭日大綬章

（功労概要）

文部大臣として国政の枢機に参画するとともに、国会議員として議案審議の重責を果たした。また、東京大学長等として教育に尽力するとともに、原子物理学の研究に優れた業績を挙げ、学術の発展に貢献した。

放射線教育フォーラムにおける有馬朗人先生のご足跡

1994 年 4 月	放射線教育フォーラム設立、会長に就任
1994 年 11 月 21 日	勉強会で講演
1995 年 4 月 26 日	中央教育審議会会長に就任
1995 年 6 月 30 日	文部省へ「放射線教育の改善に関する要望書」提出
1995 年 11 月 26 日	文部省へ要望書「エネルギー・環境問題に関連したこれからの放射線・放射能教育の在り方」を提出
1995 年 12 月 18 日	科学技術庁長官へ要望書「学校および社会における放射線・放射能教育を効果的に行うための方策について」」提出し、記者会見を行う
1998 年 7 月	参議院議員に当選（2004 年 7 月まで）
1998 年 7 月	文部大臣並びに科学技術庁長官に就任（1999 年 10 月まで）
1998 年 12 月	放射線教育に関する国際シンポジウム（ISRE）開催、招待講演
1999 年 10 月	勉強会で講演（JCO 事故について）
2000 年 11 月	放射線教育フォーラム、特定非営利活動法人（NPO）となる
2001 年度	教員に対する「エネルギー・環境セミナー」を全国 10 地区で実施 この年度は大阪・名古屋・北海道・仙台・東京での講師を勤め、 「教育問題」あるいは「エネルギー・環境問題」ついて講演
2002 年度	セミナーの講師として北海道・静岡・高崎・東京で講演
2003 年度	セミナーの講師として鹿児島・広島・東京で講演
200４年度	セミナーの講師として松山・敦賀・長崎・五所川原・東京で講演
2004 年 8 月 22～26 日	第３回放射線教育に関する国際シンポジウムの組織委員長を務め 招待講演及び記者会見を行う

（文部大臣並びに科学技術庁長官在任中は、会長を伏見康治氏と交代）

有馬朗人先生への７名の方々からの祝辞

１．松浦祥次郎様　（原子力安全委員会委員長）

有馬朗人先生、おめでとうございます。この度の、有馬先生の栄誉この上ない旭日大授章ご受賞、心よりお祝い申し上げます。このおめでたい席に参加させていただき、皆様とご一緒に先生にお祝いを申し上げることが出来ますのは、私にとりまして大変幸せなことでございます。

と申しますのは、人は誰しも人並みはずれた大きい功績をお挙げになった方と、何かの縁“えにし”を感じ、また見つけますと、言いようの無い幸福感を持つことができるからです。私はまさに幸いにも先生にそのような“えにし”をいただくことができまして、先生のご受賞を伺った時に内心で大喜びをしておりました。

そのはじめは、原子核、原子力の世界へのそもそもの入り口のお話です。先生はあるご著書のなかで、「自分が原子核物理に強い興味を抱いたのは、石原純先生の“世界の謎”（日本小国民文庫）を読んだことがきっかけだった」と述べておられます。実は私も子供の頃から「将来は原子力を仕事にしよう」と思い続けましたのは、同じ本のためでした。思わぬ“えにし”がつながっているのは、時代と科学技術の由縁ではありますが、知らない間に先生に繋がり、引っ張っていただいているかと思うと、大変に心強く、幸せに感じるわけであります。

次は、この10年くらいの間のことであります。確か先生が理研の理事長をなさっておられた頃と思いますが、パリ出張の帰りの飛行機で全く偶然に座席が先生と隣り合わせになったことがございました。この時は先生がその後文部大臣や科技庁長官におなりになるとは予想だにしませんでしたが、原研の将来計画、とくに大強度陽子加速器設置の計画、むしろ野心をご説明する思いがけない機会を得たのでした。これがもう、相当な“えにし”をいただいたわけであります。

そして、その後しばらくして先生のお言いつけで、パリのユネスコ本部で開催されましたINPC/98（核物理国際会議1998年）におきまして、大強度陽子加速器による核種転換に関する招待講演をさせていただいたことです。これはマリー・キュリーによる放射能発見100周年を記念して開催された大国際会議で、もともとは有馬先生が座長をなさるセッションで講演をさせていただく予定でしたが、先生が文部大臣に突然ご就任されましたので、先生は会議へのご参加はかないませんでした。おかげで、私は先生の前で下手な英語の恥をかくことから免れたわけであります。ともあれ、この国際会議で、大強度陽子加速器の話をさせていただけたのは、その後のこの計画実現への道を開く上で大変大きいきっかけをいただいたものと今も思っております。

その後、原研の大強度陽子加速器計画と高エネルギー加速器研究機構の大型ハドロン計画を合流させるべく、私が原研の理事長を勤めさせていただいております時に、高エネ研の菅原所長との間で「中性子科学研究と大型ハドロン計画の推進に関する覚書」を交わしました。私が原研を去りました後は、今日ここにお見えの斉藤元原研理事長や岡崎現原研理事長にしっかりと受け継いでいただき、現在は東海村の構内でJ－PARC計画となって施設の建設が着々と進められております。この統合計画に対しましては、有馬先生は科学技術振興上の重要性を深くお認めいただいた上で、さらに「これは文部省と科学技術庁との統合のシンボル的計画である」とのご認識を強くお示しになり、文部大臣兼科技庁長官として計画の立ち上げと推進に大変なご支援をお与えくださいました。有馬先生がこの時期、両省庁の大臣の席におられたことがこの計画推進に決定的でした。まさに天の配剤による“えにし”と思うばかりです。

私は、J－PARC 計画は施設の完成後、研究に携われる研究者、技術者の創意と精進によって、わが国と世界に多くのすばらしい知識をもたらす可能性が計り知れないほどであろうと信じております。その糸口をおつけいただいた先生のご業績は、先生の多くのご業績のほんの一部でありましょうけれども、このご業績だけでも将来わが国と世界は共に先生に大きな感謝を捧げることになろうと確信いたします。

先生からいただきました、この上ない貴重な“えにし”に深甚の感謝を抱きつつ、先生の栄誉のご受章に心からのお祝いを重ねて申し述べさせていただきます。本日はまことにおめでとうございます。

２．齋藤伸三様　（原子力委員会委員長代理）

ご紹介いただきました齋藤でございます。

有馬先生、このたびは文化功労者ご顕彰並びに旭日大綬章のご受章、重ね重ねおめでとうございます。心よりお祝いを申し上げます。

有馬先生のご功績につきましては、先ほどより多くの方々のご祝辞にございましたし、また、私自身、浅学の身で先生のご専門に精通しておりませんので、専門分野のお話はお許し戴きたいと存じます。先生には、色々な場で大変お世話になり、お会いさせて戴くたびに、大変博識で、鋭く的確なアドバイスを戴き、いつも感銘を受けておりました。

ところで、一つ思い出されますのは、6 年半程前ですが、先生が理化学研究所の理事長から参議院議員にご当選された祝賀会での先生のご挨拶であります。先生は、物理も俳句も何年も前から、これをやろうとお決めになって計画的にやって来られたけれども、国会議員になろうとは、全く計画されなかったと仰っていらっしゃいました。そして、計画的にご精進された物理の方では、今回のご顕彰以前に仁科記念賞、日本学士院賞と斯界の最高の栄誉をお受けになられ、俳句の方では、句集を数多く出され、俳人協会賞を受けられるとともに、国際俳句交流協会会長をお勤めになられるほど、それぞれ、その道を極められていらっしゃいます。

一方、計画的でなかった国会の方でも、全く異例中の異例で、いわゆる一年生議員でおありになりながら、先生の高いご識見、指導性等から、直ぐに、文部大臣兼科学技術庁長官にご就任になられました。将に、適材適所で、八面六臂のご活躍をなされ、さらに、先生だからこそお出来になったことですが、大臣直々に子供を相手に理科の実験をされるなど、一般国民も大変感銘を受け、身近に感じられる等立派に重責をお果たしになられました。当時、原研におりました私などは、度々、議員会館にお邪魔し KEK との共同の大強度陽子加速器プロジェクトの推進にご助力賜りました。また、工事着工前の東海研究所の松林の現地をご視察賜りました際、この松林の中に、研究室があると最高だねと仰せられたのを記憶しております。私は、原研を離れましたが、加速器施設が完成しましたら、是非、また、お訪ねいただき、松林の中で、あるインタビューの中で仰ってましたクオークのレベルから原子核がどのように出来るかご研究いただき、余暇に俳句をお作り戴ければと存じております。

私は、現在、原子力委員会におりますが、先生には、元原子力委員長として、この放射線教育とともに、原子力全般にわたり、今後ともご指導、ご助言を賜りたくお願い申し上げます。

先生の益々のご健勝とご活躍をお祈り申し上げ、お祝いのご挨拶とされていただきます。

3. 岡崎俊雄様　（日本原子力研究所理事長）

今日は有馬先生に科学技術行政の面からお仕えをした立場から、一言お祝いのご挨拶を述べさせていただきます。

この20世紀後半におけるわが国の歴史的な発展と、その後の大変厳しい改革の時代を通して、有馬先生が我が国の科学の発展を文化としての発展につなげる大変大きな仕事をされてきたことから、有馬先生の業績を称えるのにふさわしいこのたびの授賞を大変喜んでおります。有馬先生から直接ご指導いただくようになりましたのは、有馬先生が東大の学長を辞され、科学研究の第一線、理化学研究所の理事長に就任されてからでございます。その後、科学技術基本法の制定に大変ご尽力をされ、科学技術創造立国を目指すという基本的方針を打ち立てられたこと、また、時の橋本内閣の大きな改革のなかでも一番重い課題であった省庁再編という行政改革においては、行政改革会議委員として参画をされ、今日の総合科学技術会議や原子力両委員会を内閣府に設置するとともに、科学技術行政の責任省庁としての文部科学省の設置を実現されたことは、まさに有馬先生のお力でありました。今後有馬先生の築かれた世界をリードする科学技術体制の実現に向け努力していかねばならないと思います。

その後、当時の自由民主党首脳からの強い要請を受けられ、参議院議員として国政の場に身を投じられ、程なく、文部大臣、科学技術庁長官という教育行政・科学技術行政の最高責任者として大いに力を発揮されました。原子力の分野におきましても、もんじゅの再開、ＩＴＥＲ、Ｊ－ＰＡＲＣ等、重要な計画がその後の発展に繋がっているところであります。

そして、それ以上に私の心に残っておりますのは、大臣、国会議員という要職におられたその中でも、若い人への教育、特に小学生・中学生・高校生に対して、自ら白衣をかぶり、科学の楽しさ・面白さを語っておられた先生の生き生きした姿を思い出します。まさにその動きが今日の有馬先生の動きにつながっているということで、大変感激した思い出があります。

今後なお一層有馬先生が健康に留意をなされ、ますますのご活躍と、ご指導を頂くことをお願いいたしまして、お祝いの言葉と致します。

4. 住田健二様（大阪大学名誉教授．元原子力安全委員会委員長代理）

住田でございます。有馬先生このたびはお目出とうございます。なぜ，私のようなものが，早々にご挨拶かと思いましたが、他の方と違って先生とは不思議なご縁がありましたので、お許しください。

先ほども司会者から先生のお生地の紹介がありましたが、実は私も同じ大阪生まれで，生年月日も二週間くらいの差です。ですから、同じような物理屋の仲間ということで、先生のような毛並みのよい理論物理学者と、非常に応用的な実験屋の違いはあ りながら、よくご同席するような機会にめぐまれ、生意気にもよく議論をさせていただいてきました。先生がいわゆる象牙の塔の学究としての立場を超えて、違った分野の人々と交流して下さる姿勢のおかげで、知己をいただいてきた一人と言えます。

学界や大学における指導的まとめ役としての先生の存在は、あまりにも知名です。しかし、他方ではかの寺田寅彦以来の存在と言われているのですが、物理学者にしてしかも一派をリードする大俳人としての人間的な幅の広さがあります。これに加えて、子供達の未来のために実践的な科学教育を進められて、あれだけのお忙しさの中で、文部大臣室にきた子供たちに白衣を着て実験をなさって、お役人達の肝をつぶさせられたのは有名な話です。

私個人としては、あのＪＣＯ臨界事故の時、現場の第一線に立ってあれこれと作業を進めながら、先生が総理官邸での対策会議に出てくださっていると知ったときに、本当にほっとしたことを思い出します。これで、後顧の憂いなく、必要な事は手を尽くせると思いました。日本にとってなくてはならぬ人が，まさしくその場所にいてくださったのですから。今日、その時の仲間もかなり参加しておられますが、そうした方々の分まで含めて、改めてお礼を申し上げて、お祝いの言葉とさせていただきます。ありがとうございました。

5. 佐々木康人様　（独立行政法人放射線医学総合研究所　理事長）

有馬先生がこの度叙勲されましたことを心からお祝い申し上げます。
当然のこととはいえ私共日頃ご指導を受けている者にとっては誠に嬉しいニュースでした。

私自身にとって有馬先生は東京大学総長、科学技術庁長官として職場の最高責任者であり、雲の上の方であります。それにもかかわらず親しくお話する機会を得、このような会にも参加できることを大変幸せに思っております。

私は 1990 年に群馬大学医学部から東京大学医学部に移動したのでありますが、その時有馬先生が東京大学総長でいらっしゃり、「行動する総長」として評判でありました。先生が大学の貧弱な研究施設の現状を積極的に政財界にアピールされ、それが科学技術推進予算増強の契機となったと理解しております。

ご記憶の方もおられると思いますが、1989 年 12 月に東大病院 RI 研究施設、ビキニ研の放射線管理不行届が指摘され、世間を騒がせました。私は放射線科教授、ビキニ研管理責任者として 32 項目の指摘事項改善に務めました。ある時医学部長が総長が何故か君のことを気にしておられるといわれました。ご専門外の部局の一介の教授の名前を総長が覚えて下さることだけでも異例のことであります。既に全学の問題となっていたビキニ研事件の後始末を担当する新任の教授がとても頼りなく、懸念されたのだと思います。その後病院新外来棟開棟式でお目にかかる機会を得て親しくお話することができました。

私が科学技術庁所管の放射線医学総合研究所に移った時には、有馬先生は文部大臣と科学技術庁長官を併任しておられました。この時にも放医研の放射線疫学研究が国会で取り上げられる事態がもち上がりました。答弁に立たれる大臣にご説明に上がったのですが、私共の立場や状況をよく理解して下さると共に、科学者として貴重なご助言やご指導を賜りました。

これらの事柄は私にとって決して歓迎すべきことではなかったのですが、有馬先生とお近づきになる機会を作ったという点で、これらの事件に関与したことが幸いであったと思っています。

何かにつけご迷惑、ご心配をかけたにも拘わらずご支援、ご指導を頂いた有馬先生に深く感謝の意を表し、心からお礼申し上げます。

先生には益々お元気でご活躍下さいますようお祈り致します。また、これ以上ご迷惑をおかけしないつもりではありますが、今後共宜しくご指導をお願い致します。

この度は誠にお目出度うございました。もう一度お祝い申し上げます。

6．長瀧重信様　（日本アイソトープ協会常務理事）

皆様と同じく最初に旭日大綬章の受章をお祝いさせていただきますと同時に、ご挨拶の機会を賜りましたことに心からお礼を申し上げます。

先ほど松浦祥次郎先生の祝辞に出てきました有馬先生との縁（えにし）を最初に感じましたのは、長崎大学を定年になりまして、放射線影響研究所の理事長になったときであります。日米両国が出資している日本の法律による財団法人の理事長の待遇は、設立以来理化学研究所の理事長と同じと決められていると聞きました。私の待遇は、実際には月給だけでありますが、有馬先生と同じなのだと先生との縁を感じた次第であります。現在はアイソトープ協会におりますが、先生が仁科記念賞の受賞者と伺っておりますし、アイソトープニュウスに何回かご高見や俳句のお話をお寄せいただきましたことに感謝いたしております。

今日、特に、お話させていただきたく思っておりますのは、昨年の夏の長崎で開催されました第3回放射線教育に関する国際シンポジウムであります。ここにお集まりの多くの方々は良くご存知のことと思いますが、シンポジウムの開催趣意書に対しまして、長崎県、長崎市、長崎大学などすべての団体に後援を拒否されました。原爆被爆地としてこのようなシンポジウムは受け入れられないというものであります。長崎での原爆問題の経験者として、このような外国の方も加わった国際学会を妨害なく開催するためには、マスコミ対策がもっとも大切であると思いまして、開催直前の記者会見を慎重に計画いたしました。勿論有馬委員長が記者会見の中心であります。

前もって事情をご説明と思っておりましてもその機会もなく、直前に会場の入り口で数分間お話ができただけであります。ところが記者会見が始まりますと、その雰囲気をすぐに理解されまして、「私は物理学者として科学が原子爆弾をつくったこと、そして長崎に投下されたことに深い悲しみを感じ、心からの哀悼をささげる」とお話を切り出されました。後は全く有馬先生の独壇場といっても良いくらいにマスコミをひきつけてくださいました。
その雰囲気は講演会場にまで続きまして、素晴らしい開幕となりました。テレビも新聞も全く非難のかけらもない記事でありまして、心から安心した次第であります。本当に日本の国にとって有馬先生はかけがいのない存在であることを目の当たりにいたしましたので本日ご紹介させていただきました。今後の先生の益々のご健康を心からお祈りいたしましてご挨拶といたします

7．平尾泰男様（日本分析センター会長）

有馬朗人さん、今回の栄えある叙勲をお受けになられましたこと、まことにおめでとうございます。

さて、ご祝辞の末席を私が汚しておりますのが、有馬さんと私とは同期の桜なのであります。有馬さんは創立間もない東大原子核研究所に新進気鋭の理論物理部助手として、私は阪大原子核研究所施設の実験助手として、戦後の核物理学復興の意気に燃えていたのであります。有馬さんが intermediate coupling shell model とかで励起準位の理論計算をする、私は当時 sd-shell 原子核の励起準位の実験研究をしていましたが、東京から大阪へ電話で励起準位の理論予測をいわれ、注文どおり実験で実証してさしあげて、有馬さんの理論の正しさの後押しをしていた時代もありました。理論計算といっても当時は手回しのタイガー計算器、やがて電動のモンロー計算器に進化したようですが、これが机の上をがたがたと動くので、モンローウォークといって楽しんでいた懐かしい時代です。そのような中で有馬さんは早々と次々素晴らしい研究業績を挙げてこられました。

やがて、大阪から東京に引っ張ってくださったのも、既に本郷に移っておられた有馬さんのご尽力でした。私は何時しか核物理学・加速器物理学から医学応用に移ってしまいましたが、有馬さんにはいつも何かにつけてお世話になりっぱなしだったように思います。

有馬さんは我々“花の28年組”の中の大輪の花であります。どうか何時までも咲き続けて下さい。本当におめでとうございました。

謝　辞

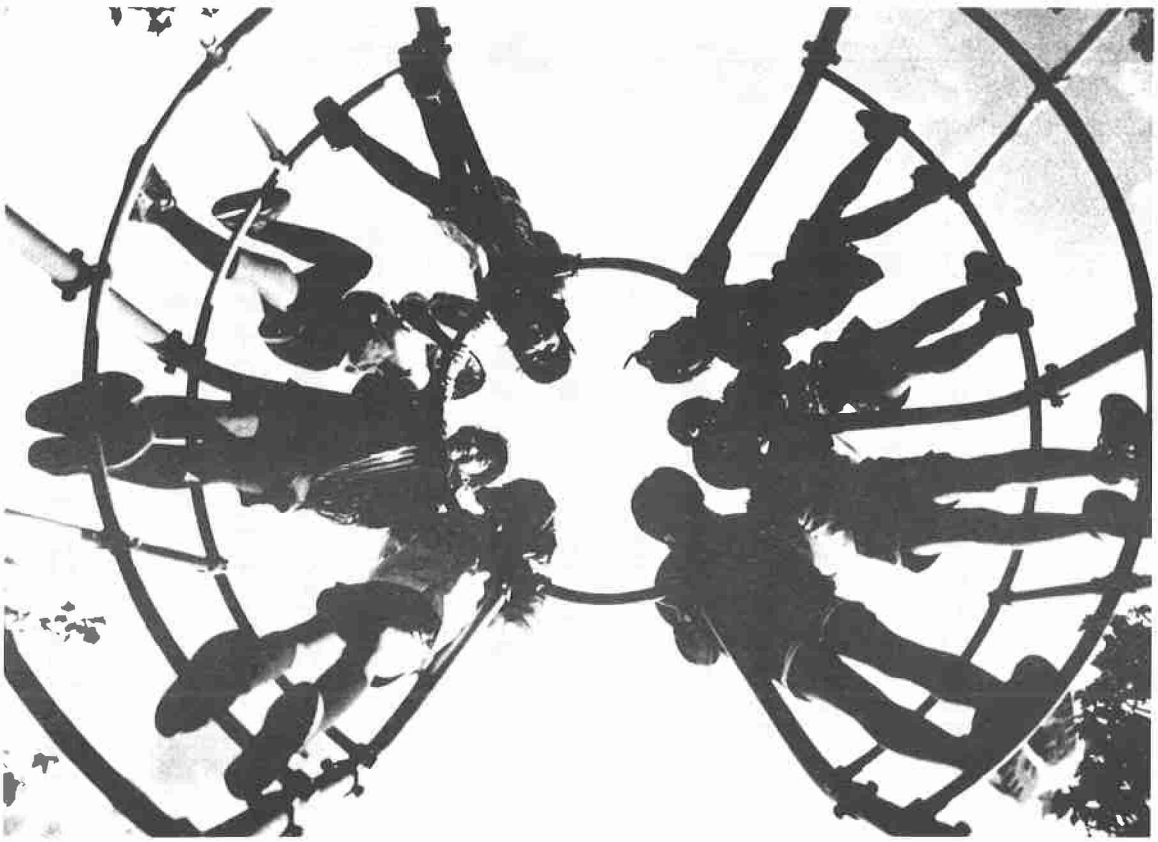
本資料は、放射線教育フォーラムの2004年度の活動に関して、2004年8月に開催した「第3回放射線教育に関する国際シンポジウム」に関するする諸資料、２００４年度に開催した教員を対象とした「エネルギー・環境・放射線 セミナー」の全国１０地区の開催責任者による事業報告書、およびフォーラムの勉強会やセミナーの講師の方々が作成されたテキスト、その他の資料をもとに、事務局長松浦辰男が中心となり、フォーラム理事田中隆一、理事高木伸司、会員関本順子、及び会員辻満亀雄各氏らのご協力により編集作業を行なって作成したものである。ここに、国際シンポジウムの開催に関係した多くの方々、セミナー開催責任者、国際シンポジウム、勉強会およびセミナーでの多くの講師の方々、及び諸資料の編集協力者の各位のご努力に感謝する。また、これは毎年のことであるが、巻末に広告を掲載して下さって本資料の出版費をご支援下さった諸団体に感謝する。　（松浦辰男）

発行　ＮＰＯ法人放射線教育フォーラム 事務局
〒100－0013　東京都千代田区霞ヶ関３－３－１
尚友会館地下１階
電　話：　０３－３５９１－５３６６
ＦＡＸ：　０３－３５９１－５３６７
Ｅメール：　mt01-ref@kt.rim.or.jp
ホームページ：　http://www.ref.or.jp
発行日　２００５年３月３１日

Japan Association for Promotion
of Science Education and Equipment

明日の地球を担うサイエンティストたち

みんなの好奇心を応援します。



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

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

社団法人 日本理科教育振興協会

〒101-0052 東京都千代田区神田小川町3-26(山本ビル3F)
TEL. 03-3294-0715 FAX. 03-3294-0716
URL：http:/www.vinet.or.jp/japse





人のこころを結ぶ…これも電気の仕事です。

通信機器が主役なら、
電気はその機能をささえる脇役…
もちろん、通信機器をつくるためにも電気は必要です。
電気は、衣・食・住をはじめコミュニケーションの分野まで、
今日の快適な暮らしに欠かすことのできない存在ですね。
しかし、資源の乏しい日本は、電気をつくるための
エネルギー資源を海外から買わなくてはなりません。
日本の電気の約30%は原子力によってつくられていますが、
原子力発電の燃料であるウランには
"再利用できる"というメリットがあります。
エネルギー資源を大切に使うために…
電気のつくりかたにも
"リサイクル"が進められているのです。



エネルギーから あなたへ

電気のリサイクル

全国10の電力会社でつくる
電気事業連合会

ホームページにもぜひアクセスを…
http://www.fepc.or.jp/

ボンジュール、アリス…
今朝、サクラが咲き始めました。



電話やパソコンなど、通信技術の進歩には目をみはるものがあります。
携帯電話を持つか、どうか…迷っていたのが、この間のように思えるのに
今やカメラ付き携帯電話が普通になって…。
ウエディングケーキ・カットの時に、サッと携帯電話を持った腕が何本も差し出されるなどという光景も、
結婚披露パーティーの風物詩になりました。最近では海外への映像通信も瞬時に送信できるようになり、
映像の画質や、音質もグレードアップしています。
「ケイタイ」という新しい日本語もすっかりおなじみです。
電話を発明したのがアメリカのグラハム・ベルなのは、ごぞんじでしょう。
1876年3月10日のことでした。当時、ベルの研究所には2人の日本人がいて、
日本語でも話ができるので大いに驚いたとか。
日本で電話が開通したのは1890年(明治23年)、東京・横浜間で営業が開始されました。
ちなみに、銀座通りにアーク灯がともったのは1882年(明治15年)のこと。
遠く離れた人と話ができたり、夜の闇の中に明るい光をみつけたり…
明治の人びとの・はじめて・の感動を現代の私たちも忘れたくないものですね。
さて…日本がサクラなら、フランスではミモザが春の訪れを告げます。
やがて・春を映す・メールが届くかも知れません、あなたの許へ…。



原子力・放射線をテーマに

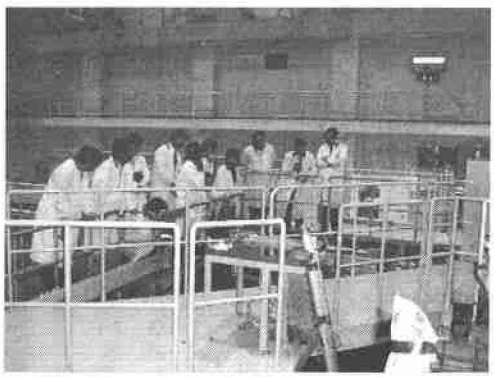
資源・エネルギー・環境教育の教材を提供・・・
見て、聞いて、触れて、考える、教員のための研修

文部科学省受託事業
原子力体験セミナー

本セミナーには国の原子力総合研究機関である日本原子力研究所を主会場として全国の先生方を対象に開催するコースと、全国各地に講師陣が出張して１～２日間で開催する「地域コース」「文系コース」があります。内容は、講義、実験・実習、施設見学、ワークショップで構成され、基礎的知識や科学的知識を獲得するコース、資源・エネルギー・環境・防災教育といった「総合的な学習の時間」等へも役立てていただける内容のコースまで、担当教科や興味・関心に応じてご参加いただけます。また、教材も提供しています。

ここでの体験や専門家とのふれあいから、２１世紀を担う児童・生徒達にとって魅力ある教育を探っていただければ幸いです。





- 参加資格：主として小・中・高等学校の教職員及びこれらに準ずる教育関係者
- 参加費用：セミナーの参加に要する旅費、宿泊費（対象者）並びに実習教材費、テキスト代等は主催者が負担いたします
- セミナーの予定やカリキュラムの詳細については下記にお問い合わせください

RADA

財団法人　放射線利用振興協会
国際原子力技術協力センター　国内研修部
〒319-1106　茨城県那珂郡東海村白方白根２－４
ホームページ: http://www.rada.or.jp　　E-mail: taiken@popx.tokai.jaeri.go.jp

原子力図書館

げんしろう

http://mext-atm.jst.go.jp



インターネットで
カンタン検索!!

解説や論文、クイズ、
最新情報など原子力に
関する情報がギッシリ!!
調べ学習にも最適!!

原子力百科事典 ATOMICA

収録数2,400件を超すデータベース形式の百科事典です。世界の原子力や放射線など最新情報を豊富な図版とともにていねいに解説します。

文献データベース NUCLEN

一般から専門家にも役立つ収録数60万件を超す文献データベースです。世界中の原子力やエネルギー関係の文献に日本語の要約をつけてわかりやすくしています。

君は、どこからチャレンジする? げんしろうクイズ

放射線・原子力・環境・エネルギーをテーマに小・中学校生でも楽しめるクイズです。子供達の学習に活用できるコーナーです。

New さあ、調べてみよう! キッズデータベース

エネルギー・原子力・放射線について小学生向けにわかりやすく解説してあるデータベースです。

JST 独立行政法人
科学技術振興機構
受託出版課 ☎03-5210-4962

放射線測定の信頼性向上に　作業環境の安全確保に





(はかるくん)

計量法による認定事業者

作業環境測定機関
(放射性物質取扱作業室)

放射線測定器の点検校正●
放射線測定器の基準照射●
作業環境測定●
「はかるくん」無料貸出●

高度な計測技術に基づいてそれぞれの業務を行っています。

●放射線測定器の特性試験
●放射線計測技術の調査及び試験研究
●放射線(能)測定
●原子力関係要員の研修

財団法人 放射線計測協会

放計協

〒319-1106 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4(日本原子力研究所内)
http://www.irm.or.jp/ TEL 029-282-5546 FAX 029-283-2157

社団法人 日本電気協会
JAPAN ELECTRIC ASSOCIATION

日本電気協会は大正10年に設立された、日本で唯一の電気関係総合団体です
電気の生産から消費に関わる幅広い会員を有し、電気関係事業の健全なる発展に寄与しております

電気の今を学ぶために



あなたの知りたいこと
－電気事業について44の質問と答－
本体価格510円＋消費税25円 送料290円 A5判・154頁
一般社会人，学生などを対象に，電気の生産，供給をになう電気事業者(電力会社等)の今日のありのままの姿や当面する諸問題について知っていただくために，Q&A方式で図表を多く取り入れ，わかりやすく説明しています



東海林のり子の
電気事故リポート
－突然の災害から身を守るために－
本体価格28,572円＋消費税1,428円 VHS・18分
災害が起こった時，あなたは冷静に対処できますか？このビデオは，災害で起こる電気事故から日常生活まで，家庭で必要な電気安全知識をわかりやすく紹介しています。テレビでおなじみの東海林のり子さんがリポートします！

他にも多数の電気関係書籍・ビデオを発行しております

お問い合わせは 出版部 03－4283－2002
または下記ウェブサイトから！

電気の今を知るために



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
または下記ウェブサイトから！

購読料
1ヶ月 3,990円
(本体価格3,800円＋消費税190円)

www.denki.or.jp

三菱重工

地球の熱さまし。
温暖化による“発熱”によく効きます。



いま、地球が“温暖化”という病気にかかりかけています。早めに治すには、省エネルギーや新エネルギーとともに、CO_2を排出しない原子力がよく効きます。美しい地球を健康のまま未来にのこすために、私たちは、これからも安全で信頼できる原子力発電プラントを提供してまいります。

STOP! 温暖化

三菱PWR原子力発電プラント

三菱重工業株式会社

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

各省庁研究費公募及び配分、内容等も紹介

我が国唯一の基礎科学専門紙

研究助成団体の募集及び結果
文部科学省等の情報
教授人事、国際会議派遣、大学ニュース、研究成果など

海外科学ニュース
海外雑誌を航空便で取り寄せ翻訳速報

その他の主な内容
人物紹介、海外出張者、国内科学ニュースダイジェスト、学協会行事、科学雑誌・学協会誌目次総覧、外国雑誌、新刊案内、書評、新製品紹介、研究所紹介、科学読物、教授・助教授等公募、科学者が語る自伝

科学新聞　週刊（金曜日発行）

1カ月　1,835円
6カ月　9,700円(前納)
1カ年　18,350円(前納)
(送料・消費税込)

科学・技術・医学用語など69万語の辞書を装備！！
米国商務省・日英科学文献機械翻訳センターで採用！　文部科学省・科学技術振興調整費による成果！

パソコン用ソフト **科学と技術の翻訳パートナー** －日英－ Ver1.1
Windows版(バージョンアップ版)―― 定価(本体　95,000円＋税　買換価格20,000円＋税)
Macintosh版―――――― 定価(本体120,000円＋税)
(CD-ROM1枚、ユーザーズ・マニュアル1冊)

科学新聞社
東京都港区浜松町1-8-1(〒105-0013)
TEL 03-3434-3741(代) FAX 03-3434-3745
http://www.sci-news.co.jp

資源・エネルギー・原子力・環境について知りたいこと、疑問に思うことはありませんか?

①「**エネルギーと環境**」**講座**では、学校の先生方に最新の情報を提供しています。

②10月26日の「原子力の日」を記念して、**中学生や高校生から作文・論文を募集**し、入選者を表彰式と施設見学会にご招待します。

③高校生を対象に**放射線実習セミナー**を開催し、放射線に関する基礎的知識を講義と実習を通じて習得できるように、お手伝いします。

④先生方の研究会や勉強会に**講師を派遣**したり、発電所などの**施設見学会の開催**をお手伝いします。

⑤エネルギー、原子力などに関する、**ビデオや写真を貸し出し**ています。

- 講師派遣などの経費は無料です。
- お問合せは、電話、ＦＡＸ、または手紙でお願いします。



財団法人日本原子力文化振興財団

〒103-0012　東京都中央区日本橋堀留町 2-8-4　　Tel：03-5651-1570　Fax：03-3639-6636