「放射線教育」別冊

放射線教育の輪を広げよう

放射線教育フォーラム２００９年度活動報告書

ＮＰＯ法人放射線教育フォーラム

2010 年 3 月

序　文

中学校の学習指導要領の改訂が行われて、理科でエネルギー資源に関連して放射線が正式に取り上げられることになり、2011年度から全面的に実施されることになった。このことはわれわれの組織が16年前に設立されてから文部科学省に要望してきたことであり、われわれ内部の「教育課程検討委員会」ほかの委員会活動や勉強会による研鑽、また過去約10年にわたり学校教員を対象として毎年全国10地区で企画・運営してきた「エネルギー・環境・放射線セミナー」開催により蓄積したノウハウを活用して、今回の指導要領の改訂が単なる掛け声で終わらずに、実際に全国の全ての中学校で放射線に関する適切な授業が行われるように、できるだけ協力したいと考えている。

幸いに2009年度から3年間にわたり、文部科学省の研究費で「学校教育現場との対話に基づく放射線のリスクと利用の学習プログラム開発」というテーマで支援が得られることになったので、まず中学校や高等学校における放射線教育の現状などをアンケートで調査するとともに、放射線についてなじみの少ない教員のための放射線指導資料の作成に努力をした。昨年度に作成した資料はフォーラムのホームページで公開しているが、本年度に作成の改訂版は本報告書にも収録してある。

アンケートの結果分かったことは、教員一般の放射線に対する知識レベルは決して十分ではないが、われわれ専門家との交流により自分の教育能力の向上を望んでいる教員が大勢居られるので、今後、今回作成した資料を話題として教員との交流の機会を増やして行きたいと考えている。

放射線教育の中心的課題は、少量の放射線による人体への影響をいかに理解するかである。放射線影響の専門家はややもすれば放射線と生体との相互作用に関する分子学的あるいは細胞学的に微細なメカニズムに主たる関心が移り、生体のトータル的な生命維持能力に気づかない可能性がある。その結果、「少量の放射線の効果については正確にはわからない。」と正直かつ謙虚さをもって発言することが多いが、すでに「放射線は少しでも危険なものである」との固定観念に取り付かれている一般人にとっては、放射線恐怖症からの脱却ができない原因となっているのではないだろうか。

前にも書いたが、情報を人に伝えるには、伝える人と受け取る人との間の信頼関係が重要であり、また受け手のほうがある既存の観念を信じきっている場合はそれに合致しない情報は極めて受け入れがたい。科学的真実はひとつであるはずであるが、放射線影響・放射線防護に関する専門家から外部へ発信される情報は必ずしも一致せず、また、専門家の表現では一般人には理解できない場合が多い。科学技術の社会への受容を進めるためには「正しい知識」を説明する側も、相手側の知識レベルに応じて、種々の工夫・努力が必要である。

本冊子が、毎年のものと同様に、関係者にとりお役に立つことを期待したい。

２０１０年3月　　NPO法人放射線教育フォーラム　事務局長　松浦辰男

放射線教育の輪を広げよう

放射線教育フォーラム２００９年度活動報告書

目　　次

序　文
目　次
第１章　２００９年度の活動報告と２０１０年度の計画・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
　１．２００９年度の活動について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
　２．２０１０年度の活動・運営について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
　３．２００９年度の役員名簿・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
　４．理事会等会合・勉強会等の開催等の記録・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 6
　５．「北大プロジェクト」関係の報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8
　６．高等学校理科教員へのアンケート・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 9
　７．青森支部の報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・15

第２章　「エネルギー・環境・放射線セミナー」の報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・17
　１．２００９年度のセミナー実施報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・19

第３章　専門委員会の報告又は関係資料・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・31
　１．教育課程検討委員会・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・33

第４章　勉強会、セミナーその他の資料・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・55
　１．「放射線学習指導資料　－中学校・高等における放射線に関する学習指導の手引き－
　　（第１部）放射線・放射能の基礎」（松浦辰男ほか）・・・・・・・・・・・・・・・・・57
　２．「放射線実習指導資料（第２部）放射線実験の手引書」（森千鶴夫）・・・・・・・・・97
　３．「放射線実習指導資料（第３部）放射線の性質と利用の指導をいかに進めるか」（田中
　　隆一）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 109
　４．「放射線を正しく怖がる知恵－放射線が理解されにくい・しにくい減因はなんだろう
　　－」（輪島隆博）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・122
　５．「小学生にも大人にもわかる放射線実習の指導法－天然放射能を用いた放射線教育－」
　　（中村麻利子）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・132
　６．「知っておきたい、エネルギー・原子力・放射線」（大塚徳勝）・・・・・・・・・・142
　７．「放射線教育をいかに進めるか－国民の放射線リテラシーの達成を目指して」・・152

あとがき・奥付・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・153
協賛・協力団体に関する資料

第１章　放射線教育フォーラムの２００９年度の活動実績と２０１０年度の計画

この章では、フォーラムの２００９年度の活動と２０１０年度の計画の要約、２００９年度に開催した種々の会合の記録、並びに２００９年度の主要な実績として、「北大プロジェクト」と称する、新学習指導要領に沿って放射線を教えるための学校教員向けの指導書作成の作業実施状況と関連する高等学校へのアンケート調査の報告、および青森支部の活動状況等の報告をする。

１．　２００９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、原子力の専門家及び学校教員の有志により構成され、1994年4月に発足し2000年11月にＮＰＯ法人の認証を受けたボランタリー組織である。当フォーラムは、社会一般の人々が科学技術の進歩で恩恵を受けているにもかかわらず、若い人達に「理科離れ」、「理科嫌い」が見られること、また、知識レベルの高い方々も含む多くの人々が放射線や放射能に対して過剰の不安感をもっており、そのことが原子力の平和利用を大きく妨げている現状を憂慮している。

この現状を打開するため、当フォーラムは、小・中・高等学校の教育において、エネルギー環境問題・放射線・放射能・原子力に関する正しい理解がされるように、学習指導要領などの教育政策を改善し、教員を育成することに重点を置いて、勉強会やセミナー、国際シンポジウムを企画・開催している。またいくつかの専門委員会を設けて問題を検討し、それをもとに文部科学省はじめ関係当局に政策提言を行なうなど、種々の活動をしている。フォーラムの会員数は、2010年1月14日現在で個人会員数197名、団体会員数50団体である。

1－1　事業活動実績

フォーラムの定款では、事業は（1）放射線教育に関する国内及び国際シンポジウム、勉強会の開催（2）放射線教育に関する調査研究並びに情報発信、（3）放射線教育に関する政策提言の３つに分類されている。以下に、これらの各項について2009年度の実績を要約する。

（1）勉強会等の開催

（ア）フォーラムの会員を主な対象とする公開の勉強会の開催　　学校における放射線教育はいかにあるべきかを中心とする話題、放射線影響や放射線利用の最近の研究成果、現役教員による学校における放射線教育の実践報告などの幅広いテーマについて、勉強会を6月、11月、2月の３回開催している。

（イ）学校教員を対象とする「エネルギー・環境・放射線セミナー」の企画・運営　学校における放射線教育、エネルギー・環境教育の質を向上させるために、文部科学省からの委託で2001年度から毎年全国各地(10地区)で企画・運営している事業であり、2009年度は、札幌市、仙台市、新潟市、前橋市、東京都、沼津市、名古屋市、大阪府熊取町、広島市、宮崎市の10都市で開催した。セミナーの企画・運営は（財）放射線利用振興協会との業務請負契約に基づいて、各地の教育委員会の後援を得て実施しており、受講者総数は400名以上を目標としている。参加申込後の当日欠席があり、実際の参加者は合計391名であった。（本報告書第2章参照）このセミナーへの参加者の評価は年々向上している。

（ウ）地方支部のセミナー　2008年度に設立した青森支部において2009年度はセミナーを4回開催した。（青森支部のホームページあり）。

（2）調査研究・情報発信

（ア）専門委員会活動　放射線教育に関する諸問題について検討しその成果を情報発信する。テーマは、①学校における放射線教育課程、②放射線教育のための実験教材、③教科書記述に関する調査、④リスクに関する教育、⑤低レベル放射線影響の理解と教育、⑥放射線や核・原子力問題に関する報道における問題点の調査、などである。（本報告書第３章参照）

（イ）学校における放射線教育を有効に進めるための支援　30年ぶりに復活する中学校における放射線教育を支援するために、「北大プロジェクト」として学校教員のための放射線に関する学習指導資料の作成を2008年度から実施し、これをもとにした学校における先行的な教育実践の普及の全国的な展開を図る。2008年度は北海道大学の文部省委託事業「学校教育現場との対話に基づく原子力・放射線学習プログラム開発」に協力して全国の中学校の約半数にあたる5000校の理科教員へのアンケート調査をもとに教員のための指導資料「放射線・放射能の基礎」（試作版）を作成し、当フォーラムのホームページで公開した。2009年度はこれの改定版として、

中学校・高等学校共通の資料を作成するとともに高校3000校にアンケートを発信して教員との対話を図った。2010年度はこの資料を多くの学校へ普及させるとともに、同年度中に中学校や高等学校の教員が教室で直ちに授業に使えるような解説付きの指導資料の作成も企画している。(下記の「北大プロジェクト―放射線のリスクと利用の学習プログラム開発」参照)

（ウ）定期刊行物等の発行　放射線教育に関連する最新情報、勉強会等の開催案内、意見交換などを掲載した「ニュースレター」を年3回、機関紙「放射線教育」を年1回、年度活動報告書を年度末に発行している。これらの情報発信は、印刷物の刊行に加えて主な論文や報告についてはホームページで公開している。

（エ）その他の調査研究　放射性物質を撒き散らすようなテロが我が国で発生するような可能性は少ないが、このような事態に対する備えが必要である。緊急事態の対応に当たる消防隊員、警察官、自衛隊員等が放射線防護等に関する基礎知識を持っていることが必要とされるので、関係機関からの要請に応じて教育支援を行う（すでに約3年前から、防衛省、警察庁、消防庁からの要請に応じて、このような緊急事態への対処の基本的な考え方に関する講義を行ってきた。2009年度は12月に内閣府の要望に応えて講義を行なった。）

（3）政策提言

当フォーラムが16年前に設立されて以来、学校における放射線教育の充実のために文部科学省などに要望書を提出するなどの努力を続けてきた結果、2008年に公布された中学校理科の新学習指導要領で放射線がようやく取り上げられることになったことは慶賀すべきである。この改善の方向が単に見かけだけに終わらず実質的に成果が挙がるように、教育現場の実情を調査して、学習内容と教育人材の質の向上のための環境を整えるべく、更なる政策提言を行いたい。

具体的には、小学校で初歩的な放射線教育を行うための提案、中学校、高等学校で理科だけでなく社会科、技術・家庭科などの教科におけるエネルギー教育やリスク教育のための学習指導要領の改訂などを提案したいと考えている。

1－2　運営

(1) 定期的会合　会員総会（年1回）、理事会（年3回以上）、将来計画検討委員会（年数回）、顧問会（年1回）、セミナー打ち合わせ会（年2回以上）、教育指導資料作成委員会（年2回以上）が行なわれている。

(2) 財政状況改善のために　フォーラムと同様の趣旨で学校教育の改善や放射線やエネルギー問題の正しい知識の普及活動をしている他の団体との連携を進めて、これらの活動への公的な財政的支援を図る。一部印刷物を有料とすることも考えたい。

2．　２０１０年度の活動・運営について

「通常会員総会」を6月に開催。「理事会」を4回以上開催。「将来計画検討委員会」を適宜開催。「顧問会」を1回開催。

2001年度より、文部科学省の委託事業として毎年度実施されてきた「エネルギー・環境・放射線セミナー」については、(財) 放射線利用振興協会が2010年度の事業を競争入札で落札できなかったので、2010年度はこれまで通り実施できなくなった。

2010年度は2年毎のフォーラムの役員（理事と幹事）改選の年であり、昨年12月に役員選挙管理委員会を立ち上げ、投票による役員選挙が2010年2月から3月にかけて実施された。その結果12名の理事が決まり、4月の理事会で理事3名が追加されて合計15名の理事が決まる。新役員人事は6月の会員総会で承認される。

「北大プロジェクト」の計画については別項において述べる。

NPO 法人 放射線教育フォーラム 2009 年度役員名簿

2009 年 12 月 1 日現在 （五十音順）

会長：	有馬朗人	（日本科学技術振興財団会長･元文部大臣兼科学技術庁長官･元東京大学総長）
副会長：	飯利雄一	（広領域教育研究会代表幹事）
	河村正一	（神奈川大学総合理学研究所名誉研究員・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：	荒谷美智	（青森県六ヶ所村教育アドバイザー）
	石黒亮二	（北海道大学名誉教授）
	岩崎民子	（放射線医学総合研究所名誉研究員）
	大島 浩	（佐野日本大学中学高校教諭）
	大野新一	（理論放射線研究所長）
	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	（放射線影響協会顧問）
	工藤博司	（東北大学名誉教授）
	小高正敬	（立教大学理学部化学科兼任講師）
	笹川澄子	（(財)環境科学技術研究所調査役・主任研究員）
	田中隆一	（元日本原子力研究所高崎研究所長）
	橋本哲夫	（新潟大学名誉教授）
	堀内公子	（大妻女子大学社会情報学部教授）
	松浦辰男	（立教大学名誉教授）
	森 千鶴夫	（愛知工業大学客員教授）
	渡部智博	（立教新座中学高校教諭）
監事：	播磨良子	（伊藤忠テクノソリューションズ技術顧問）
	峯岸安津子	（神奈川大学理学部国内研究員）

理事・事務局長 ：松浦辰男（立教大学名誉教授）

幹事：朝野武美（元大阪府立大学先端科学研究所）、井上浩義（久留米大学医学部教授）、大野和子（京都医療科学大学教授）、奥野健二（静岡大学理学部教授）、笠井 篤（元日本原子力研究所）、岸川俊明（元熊本大学）、菊池文誠（元東海大学理学部）、黒杭清治（元芝浦工業大学教授）、斎藤 直（大阪大学アイソトープ総合センター教授）、佐伯邦子（元秋田経済法科大学附属高校教諭）、佐伯正克（元日本原子力研究所特別研究員）、佐久間洋一（東京工業大学特任教授）、佐藤正知（北海道大学大学院工学研究科教授）、白形弘文（日本エクスクロン（株）技術顧問）、下 道国（藤田保健衛生大学衛生学部教授）、砂屋敷 忠（放射線影響研究所臨床研究部顧問）、関根 勉（東北大学高等教育開発推進センター教授）、竹田 満洲雄（元東邦大学理学部教授）、田村直幸（元日本原子力研究所ラジオアイソトープ・原子炉研修所長）、鶴田隆雄（近畿大学原子力研究所教授）、中西 孝（金沢大学大学院自然科学研究科教授）、中西友子（東京大学大学院農学生命科学科教授）、西尾信一（埼玉県立本庄高校教諭）、坂内忠明（放射線医学総合研究所主任研究員）、広井 禎（元筑波大学附属高校副校長）、古屋廣高（九州大学名誉教授）、細渕安弘（元東京都立保健科学大学）、三門正吾（千葉大学高大連携企画室特任准教授）、村石幸正（東大教育学部附属中等教育学校副校長）、渡利一夫（放射線医学総合研究所名誉研究員）

顧問：今村 昌（理化学研究所名誉研究員）、工藤和彦（九州大学高等教育開発推進センター教授）、黄 金旺（中原大学栄誉教授）、佐々木康人（国際医療福祉大学教授）、篠崎善治（元都立アイソトープ総合研究所参事研究員）、村主 進（原子力システム研究懇話会フェロー）、住田健二（大阪大学名誉教授）、高島良正（九州大学名誉教授）、野崎 正（元北里大学教授）、更田豊治郎（元日本原子力研究所副理事長）、松平寛通（元放射線医学総合研究所長）、山口彦之（東京大学名誉教授）、山寺秀雄（名名古屋大学名誉教授）、吉田康彦（大阪経済法科大学アジア太平洋研究センター客員教授）

4．2009年度の理事会等会合・勉強会等の記録

講演者に関して、フォーラム会員は所属・肩書きを省略

2009年

4月16日（木）　第1回将来計画検討委員会（第一白川ビル放射線教育フォーラム事務所、7名）
4月25日（土）　第1回理事会（浜松町海員会館、17名）
5月9日（土）　第1回編集委員会（大妻女子大千代田校舎、7名）
5月20日（水）　第1回セミナーワーキンググループ（浜松町海員会館、15名）
6月13日（土）　第1回理事連絡会（科学技術館第1会議室、15名）
6月13日（土）　2009年度総会（科学技術館第1会議室、総会32名）
6月13日（土）　第1回勉強会（科学技術館第1会議室、勉強会36名）

（勉強会プログラム）

「放射線指導資料作成計画」
放射線教育フォーラム　松浦　辰男

「連携教育を推進するには」
佐野日本大学中学高校　大島　浩

「実践！　子ども達への放射線教育」
慶應義塾大学医学部　井上　浩義

ミニ・パネル討論会「地球温暖化と二酸化炭素」
理論放射線研究所　大野　新一、名古屋大学名誉教授　山寺　秀雄

7月29日（水）　北大アドバイザリー委員会（尚友会館1号室、17名）
9月15日（火）　第2回将来計画検討委員会（第一白川ビル放射線教育フォーラム事務所内、4名）
10月5日（月）　第2回編集委員会（尚友会館「すずらん」、7名）
10月10日（土）　第2回理事会（島嶼会館、16名）
10月10日（土）　第2回セミナーワーキンググループ島嶼会館、11名）
11月21日（土）　第3回理事会（科学技術館第1会議室、17名）
11月21日（土）　第2回勉強会（科学技術館第1会議室、30名）

（勉強会プログラム）

「小・中学生に「電気のゴミ」をどう教えるか」
玉川大学教職大学院　　谷　和樹

「教育委員会が期待するエネルギー・環境教育」
川西市教育委員会　　今北　眞奈美

「放射性廃棄物の最終処分―その考え方、伝え方―」
富士常葉大学　　湯佐　泰久

「高等学校における放射線の教育実践例」
熱田高等学校　　大津　浩一

「六ヶ所再処理工場から放出される放射性物質による環境影響評価について」
日本原燃（株）　　宮川　俊晴

「放射線実習用アイソトープジェネレーターについて」
元北里大学　　野崎　正

「高等学校教員へのアンケート調査から」

元日本原子力研究所　　田中　隆一

11月24日（火）　第1回選挙管理委員会（第一白川ビル放射線教育フォーラム事務所内、5名）
12月4日（金）　第3回編集委員会（大妻女子大千代田校舎、5名）
12月18日（金）　第1回教育課程検討委員会（第一白川ビル放射線教育フォーラム事務所内、8名）

2010年
1月22日（金）　第4回編集委員会（尚友会館「すずらん」、7名）
1月27日（水）　第2回選挙管理委員会（第一白川ビル放射線教育フォーラム事務所内、5名）
2月5日（金）　2010年度セミナー打ち合わせ（第一白川ビル放射線教育フォーラム事務所内、4名）
2月20日（土）　第4回理事会・顧問会（科学技術館第3会議室、18名）
2月20日（土）　第3回勉強会（科学技術館第3会議室、42名）

（勉強会プログラム）

「低レベル放射線の人体への影響について」

放射線医学総合研究所・放射線防護研究センター　根井　充

「食品照射技術の現状と社会的認知について」

日本原子力研究開発機構　高崎量子応用研究所　小林　泰彦

「高等学校理科総合Aにおけるエネルギー教育の授業実践報告」

静岡県立科学技術高等学校教諭　坂田　算浩

「中学校における「原子力・放射線」に関する実践事例の報告」

愛知教育大学附属名古屋中学校教諭　羽澄　大介

「北大プロジェクト」について

１．課題名　「放射線のリスクと利用の学習プログラム開発」　の中の
（小、中、高等学校用学習プログラム開発）

（この研究は、文部科学省公募プロジェクト「原子力基礎基盤戦略研究イニシアテイブ」の公募テーマ「原子力に対する信頼醸成のための社会学的アプローチ」の研究課題「学校教育現場との対話に基づく原子力・放射線学習　プログラム開発」（研究代表者：北海道大学大学院工学研究科杉山憲一郎教授）からの再委託による研究課題である。」

２．目標

生活環境のなかに自然放射線・自然放射能が存在すること、少量の放射線のリスクに関する知識、放射線が医療や諸分野の産業に利用されている現状について、最近改定された学習指導要領の趣旨、教員の知識レベルや教育経験を考慮し、小学校、中学校、高等学校の正規の学習単元および総合的な学習の時間の学習に組み込める放射線のリスク・計測・利用の学習プログラムを、教員との対話に基づき開発する。

３．業務の方法

この機会に、中学校・高等学校における放射線に関する教育の実情と理科教員の意識調査のため、全校の中学校・高等学校にアンケート調査を行う。

教育指導資料の作成はフォーラム会員の衆智を集めて実行する。そのために、フォーラムの既存の組織（理事会、勉強会、「教育課程検討委員会」など）を大いに活用する。1 年に 1 度「アドバイザリー委員会」を開催してフォーラム内外の関係者に諮問する。現役の学校教員で関心の高い方にこの資料を使用して教育実践を行なった結果を発表していただいて、その結果を資料に反映させる。

４．成果

（平成 20 年度）には全国の中学校 5,000 校へのアンケート（回収率 23%）を発送、中学校の教員向けの放射線学習教育用資料「放射線・放射能の基礎」（試作版）を作成した。

（平成 21 年度）前年度に作成した指導資料の試作版をホームページで公開するとともに、高等学校 3,000 校を対象にアンケート調査を実施した。教育用資料の基礎的な部分については、中学校・高等学校に共用できる内容とする方向で第一年度の試作版の改善を行い、高等学校教員（関心の高い中学教員）向きのやや程度の高いトピックス的な内容を加えた。また、小学校向きに、生活環境のなかに自然放射線が存在するという基本事項についての学習プログラムについても、種々の資料を収集して検討した。

平成 21 年度においては 4 月から 3 月の間に合計 9 回のこの研究協力者打ち合わせ会、理事会、勉強会を開催してこの研究を進捗させた。

５．平成 22 年度の計画

平成 22 年度は、前年度の資料をさらに内容・体裁などに検討を加えて理解し易いものとしてホームページで公開するとともに、それとは別に、教員の方々の要望に応えて、学校での授業実践で放射線をテーマにした場合に想定される授業時間数（1 年間に小学校では 1～2 時間、中学校で 3～4 時間、高等学校で約 5 時間）に応じて、それぞれの校種に対して、直ぐに授業で使える標準的なパワーポイント、ワークシートとそれに対する教師解説用資料を作成することを計画している。同時に、これまでアンケート調査の対象外であった中学校約 6,000 校、高等学校約 2,500 校に連絡して、指導用資料がホームページで公開されていることを伝えるとともに、多くの教員との交流を深め、放射線や原子力教育に関する教員の意識を高めて、多くの学校教育現場で着実かつ効率的に教育実践が行なわれるように努力したい。

２００９年９月１日

高等学校校長殿
理科主任殿

NPO 法人放射線教育フォーラム
会長　元文部大臣　有馬朗人
事務局長　立教大学名誉教授　松浦辰男

放射線教育に関するアンケートへのご回答のお願い

拝啓　夏休みも終わり、貴職におかれては、新学期の諸業務でご多忙のことと存じます。

さて、私どもNPO 法人放射線教育フォーラムは、研究者や学校教員の有志によるボランテイア組織でありまして、放射線やエネルギーの問題について正しい知識を社会に広める活動をしております（ホームページ(http://www.ref.or.jp)）。活動の重点を放射線・エネルギー関連の学校教育に置き、文部科学省に要望書を提出するなどの努力を重ねてまいりました。その甲斐あってか、昨年公示された中学校の新学習指導要領で、30 年ぶりに理科（第一分野）で放射線が取り上げられることになりました。また本年公示された高等学校の新学習指導要領においても放射線に関して従来よりも充実して取扱いとなりました。

私どもは昨年度に文部科学省の予算で、全国の 5,000 校の中学校の理科教員にアンケート調査を実施する一方で、「放射線・放射能の基礎」なる指導資料（第一版）を中学校の先生を念頭に置いて作成いたしました（上記のホームページで公開中）。今年度はこの資料の内容に手を加えて高等学校の理科の授業にも役に立つような、中学校・高等学校共通の「放射線指導資料」の作成作業に入っております。現在ホームページで公開してございます指導資料をご覧いただいて、ご感想・ご意見などをお聞かせ下されば大変有難く存じます。

つきましては、学校における放射線教育を充実させるための参考にすべく、ご多忙中のところ恐縮でありますが、同封のアンケート用紙を貴校の理科教員の人数分だけコピーしてお渡しいただき、各人から FAX にてご回答下さるようお伝え下さいますようお願い申し上げます。記名してご回答くださいました先生方には、今年度中に完成予定の放射線教育の最新の指導資料をお送り申し上げます。

また、高等学校の先生の中には放射線に関する教育実践のご経験が深い方もおられると思います。そのご経験を、今年度（11 月と 2 月）または来年度（6 月、11 月、2 月）に東京で開催する私どもの勉強会で発表していただける方を募集しておりますのでぜひお申し出いただきたく存じます。お申し出いただいた先生には追ってご連絡申し上げます。

以上、何卒私どもの活動につきご理解いただき、アンケートの回答に付きよろしくご協力を賜りますよう、お願い申し上げます。　敬具

（追伸）このアンケーは全国に約 6000 校あります高等学校のうち約半数にあたる 3,000 校に発送しております。

ファクス番号：０３－３４３３－４３０８　　　御校名：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿高等学校
ファクス番号：

～～

高等学校の理科教員へのアンケート（ご回答は全部の項目についてでなくて結構です）

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

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

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

a　ある　　　b　ない

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

a　原子力エネルギーの利用　　b　放射線の性質
c　放射線の利用(医療、製造業、農業、学術等)　　d　物質·原子核·素粒子科学
e　自然放射線・放射能　　f　放射線のメリット・デメリット
g　その他（　　　　　　　　　　）

２－２．（２．で「ある」と答えた方に）以下の時間のうち、あなたが放射線や放射能を扱った授業時間は１年間にどの程度でしたか？

a　１時間以内　　b　１ ～ ３時間　　c　３時間以上

２－３．（２．で「「ある」と答えた方に）そのときに放射線の実習（演示を含む）をしましたか？

a　実習した　　b　実習しなかった

２－４．（２．で「ある」と答えた方に）放射線の実習ではどのタイプの教具・教材を使いましたか。また、その教具・教材はどのように用意しましたか？使用した教具・教材にチェック印を付け、どのよう用意したかの選択肢（ア～エ）のうち該当するものに○印をつけてください。

ア．学校の備品　　イ．借用　　ウ．自作　　エ．その他

a．☐ 霧箱　　ア．　イ．　ウ．　エ．
b．☐ GM 計数管　　ア．　イ．　ウ．　エ．
c．☐ 電離箱　　ア．　イ．　ウ．　エ．
d．☐ はかるくん　　ア．　イ．　ウ．　エ．
e．☐ X 線フィルム　　ア．　イ．　ウ．　エ．
f．☐ その他（　　　　）　ア．　イ．　ウ．　エ．

３．現行の高校理科では、「科学技術と人間」の視点からの原子力・放射線の学習は理科総合 A の科目で扱われています。現在、あなたの学校では理科総合 A を教えていますか？

a．教えている。　　b．教えていない

4．物理ご担当以外の先生にお尋ねします。物理及び理科総合Ａ以外の科目の学習指導要領では放射線が扱われていません。ご担当科目での放射線に関わる学習の必要性についてあなたのご意見をお聞かせください。

5．平成 20 年に公示された新学習指導要領の中学校理科（第一分野）のエネルギー資源の内容に関連して「放射線の性質と利用にも触れること」と記載され、放射線の取扱いが復活したことを知っていますか。

ａ　知っていた　　ｂ　知らなかった

6．中学校理科に「放射線教育」が入ったことによって担当している教科の授業内容に変化が起こると思いますか。

ａ　変化すると思う　　ｂ　変わらないと思う

7．エネルギー・環境や原子力・放射線の学習で、専門的な内容を生徒に適切に理解させる方策として、外部からの協力･支援（講師派遣を含む）を受けたことがありますか。

ａ　ある　　ｂ　ない

７－１．外部からの協力･支援についてあなたのお考えをお聞かせください。

原子力や放射線については、その便益性だけでなく、危険の可能性（＝リスク）も理解することが「科学技術と人間」の視点から大切です。以下は、前提条件によって答えが変わると思いますが、理科教員という立場で（分からないことは調べてから）回答するのはなく、日常生活の感覚でお答え下さい。

8．あなたはリスクを扱う内容の授業を行なった実績がありますか？リスクという言葉にこだわることなく、その内容が実質的にリスクを扱ったかどうかを尋ねています。

ａ　ある　　ｂ　ない　　ｃ　どちらとも言えない

9．問８でａと答えた方は、それがどのような内容であるか該当する項目に○を付けてください。

ａ　安全（防災、防犯）　ｂ　食育　ｃ　健康　ｄ　情報　ｅ　理科実験
ｆ　金融　ｇ　環境･エネルギー　ｈ　消費者　ｉ　その他（　　）

１０．私たちの身の回りにはいろいろなリスクがあります。以下に挙げたリスクをあなたは受容できますか？

ア　受容できる、　イ　受容できない、　ウ　どちらとも言えない、　から選んでカッコの中に記号で答えてください。

ａ　胸部レントゲン検査を短期間に繰り返し受ける（　　）
ｂ　全頭検査を受けていない輸入牛肉を食べる　（　　）
ｃ　放射線照射で芽止めをしたジャガイモを食べる（　　）
ｄ　遺伝子組み換え作物を用いた食品を食べる　（　　）

１１．リスクを扱う教育は、たとえリスクとは明示しなくとも、実質的には学校で実施していると考えますが、個人的なリスクに限らず社会的なリスクに関する教育を、リスクと明示して、学校において実施するべきであると考えますか？

ａ　必要である　　　ｂ　必要ではない　　　ｃ　どちらとも言えない

１２．放射線・原子力やリスクに関する教育についてあなたのご意見を以下にご自由にお書き下さい。また、このアンケートに関連して、なにかご質問、ご意見、ご要望があればお聞かせ下さい。

１３．ホームページ(http://www.ref.or.jp)で公開中の放射線に関する指導資料「放射線・放射能の基礎」の改訂作業を現在行っております。この資料に関するご意見があればお聞かせ下さい。

１４．放射線に関する教育実践に関する発表をNPO法人放射線教育フォーラムの勉強会（東京）で行ってもよいとお考えの方は、発表題目及び概要をお書き下さい。期日などの詳細は後日ご相談致します。

回答者所属：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿高等学校　　都道府県名：＿＿＿＿＿＿

ご氏名：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿　　ご担当教科：＿＿＿＿＿

学校の住所：〒＿＿＿＿＿　＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

電話番号：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿　　FAX:＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

メールアドレス：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

全国高等学校の理科教員へのアンケート集計結果　２０１０年１月５日現在

アンケート出状学校数３０００校　　回答者総数６１４名

１．あなたが担当している科目についてお知らせ下さい。

専門を明らかにした先生はほぼ半数でした	人	率
専門教科の記載有り	303	49
専門教科の記載無し	311	51

教えている教科（複数科目の回答可）

延べ回答総数１１０１人	人	率
理科基礎＋理科総合Ａ＋理科総合Ｂ	342	56
物理Ⅰ＋物理Ⅱ	250	41
化学Ⅰ＋化学Ⅱ	237	39
生物Ⅰ＋生物Ⅱ	230	37
地学Ⅰ＋地学Ⅱ	38	6
回答無し	4	1

２．放射線や放射能について先生は授業で教えたことがありますか？

９割の先生が教えている。	人	率
教えた	544	89
教えていない	70	11

２－１．放射線や放射能について授業で教えた先生はどの分野を教えましたか？（複数回答可）

延べ回答項目　総数１８５１項目	人	率
a.　原子力エネルギーの利用	292	48
b.　放射線の性質	374	61
c.　放射線の利用	346	56
d.　物質・原子核・素粒子科学	246	40
e.　自然放射線・放射能	274	45
f.　放射線のメリット・デメリット	211	34
g.　その他	38	6
回答無し	70	11

２－２．放射線や放射能について授業で教えた先生は１年間で教えた授業時間数はどれだけでしたか？

教えた先生の総数は614人のうち544人でした。	人	率
a.　１時間以内	215	40
b.　１～３時間	241	44
c.　３時間以内	83	15
回答なし	5	1

２－３．放射線や放射能について授業で教えた方は実習をしましたか？

614人のうち544人が教え実習は158人でした	人	率
ａ．　実習をした	158	26
ｂ．　実習はしなかった	386	63
授業で教えていない先生。	70	11

２－４．放射線や放射能について授業で教えた方は実習をしましたか？（複数回答可）

158人の先生が実習で用いた器具は？	人	率
ａ．　霧箱	75	47
ｂ．　ＧＭ計数管	79	50
ｃ．　電離箱	6	4
ｄ．　はかるくん	84	53
ｅ．　Ｘ線フイルム	8	5
ｆ．　その他	17	11

３．原子力・放射線は「科学技術と人間」の視点から理科総合Aの科目で扱われている。理科総合Aを教えていますか？

約８割の先生が理科総合Aを教えています	人	率
教えている	487	79
教えていない	121	20
回答なし	6	1

５．「放射線の性質と利用にも触れること」と平成２３年度から中学校の理科で放射線の扱いが復活しました。知っていますか？

約４分の１の先生が知っていただけであった	人	率
知っていた	150	24
知らなかった	453	74
回答なし	11	2

６．中学校の理科に「放射線教育」が入ったことで、担当している教科の授業に変化か起こると思いますか？

３割が変化すると答え、７割は同じと思う	人	率
変化すると思う	181	29
変わらないと思う	414	67
回答なし	19	3

７．エネルギー・環境や原子力・放射線を生徒に理解させる方策として外部からの協力・支援（講師派遣を含む）を受けたことがありますか？

受けた先生はわずか１割強であった	人	率
受けたことがある	76	12
受けたことがない	526	86
回答なし	12	2

８．あなたはリスクを扱う授業を行ったことがありますか？

６割の先生がリスクについて教えている	人	率
ある	362	59
ない	130	21
どちらとも言えない	113	18
回答なし	9	1

９．６１４人中３６２人がリスクについて教えています。どの内容について教えましたか？(複数回答可)

健康、環境・エネルギーと答えた先生が約５割	人	率
ａ．安全（防災・防犯）	136	38
ｂ．食育	63	17
ｃ．健康	204	56
ｄ．情報	48	13
ｅ．理科実験	126	35
ｆ．金融	8	2
ｇ．環境・エネルギー	190	52
ｈ．消費者	28	8
ｉ．その他	9	2

１０．私たちの身の回りにはいろいろなリスクがあります。次のリスクをあなたは受容できますか？

ａ．胸部レントゲン検査を短期間に繰り返し受ける

約３割が受容できると答えた	人	率
受容できる	174	28
受容できない	297	48
どちらとも言えない	135	22
回答なし	8	1

ｂ．全頭検査を受けていない輸入牛肉を食べる

約２割弱が受容できると答えた	人	率
ア　受容できる	110	18
イ　受容できない	341	56
ウ　どちらとも言えない	154	25
回答なし	9	1

ｃ．放射線照射で芽止めをしたジャガイモを食べる

約４割強が受容できると答えた	人	率
ア　受容できる	250	41
イ　受容できない	179	29
ウ　どちらとも言えない	176	29
回答なし	9	1

ｄ．遺伝子組み換え作物を用いた食品を食べる

受容できる、できない、どちらとも言えないが	人	率
ア　受容できる	195	32
イ　受容できない	197	32
ウ　どちらとも言えない	215	35
回答なし	7	1

１１．個人的・社会的なリスクに関する教育を学校教育で必要ですか？

リスク教育はどちらとも言えないを含めるとほ	人	率
ａ．必要である	383	62
ｂ．必要ではない	30	5
ｃ．どちらとも言えない	188	31
回答なし	13	2

青森支部活動報告

青森支部は設立以来3年を経過した。2009年度は，支部活動の中心であるセミナー開催を，予定よりも2回多い4回（第6〜9回）実施した。そのうち3回はサイエンスカフェを試みた。また，他団体主催のサイエンスカフェを，依頼を受けて共催した。各回の概要を以下に記す。詳細は「放射線教育」第13巻（印刷中）を参照されたい。支部HPも閲覧されたい。なお，支部の陣容および活動資金は昨年度と同様であった。

第6回セミナー

日　　時：2009年7月11日（土）10:00〜12:00，13:30〜15:30
場　　所：六ヶ所村文化交流プラザ「スワニー」小会議室
テ　ー　マ：医療における放射線の利用
参　加　者：約60名
プログラム：講演の部「放射線を用いたがん治療」（佐々木康人氏）
　　討論の部

講演は午前と午後の2回行った。その理由は，高度医療や高度がん治療に対する希望は青森県では高いものがあり，そのため，できるだけ多くの地元の方々にお話しを聴く機会を設けたいと考えたからである。講師の佐々木康人博士（(社）日本アイソトープ協会・常務理事，NPO法人放射線教育フォーラム・顧問）には快諾いただいた。

第7回セミナー「サイエンスカフェ六ヶ所」

日　　時：2009年11月8日（日）13:30〜15:30
場　　所：六ヶ所村文化交流プラザ「スワニー」小会議室
テ　ー　マ：霜月の昼下がりに科学と文学に親しむ
参　加　者：約50名
プログラム：話題提供　科学の部「農漁業におけるイオンビームの利用」（小林泰彦氏）
　　文学の部「太宰治と真実の愛」（津島園子氏）
　　おしゃべりタイム

この回から「サイエンスカフェ」とした。プログラムは話題提供と「おしゃべりタイム」と表した質疑応答・意見交換とし，茶菓などを用意した。科学の部は（独）日本原子力研究開発機構（高崎）の小林泰彦博士にお願いした。文学の部を設け，青森支部の津島園子支部長にお願いした。支部長は，本県津軽地方の生まれで昭和を代表する作家・太宰治の親族として著明であるが，太宰治生誕100年を迎えたこともあって快諾いただいた。

第8回セミナー「サイエンスカフェ五所川原」（共催：五所川原はつらつ虹の会）

日　　時：2009年11月29日（日）10:00〜12:30
場　　所：五所川原地域職業訓練センター2階視聴覚室

テ　ー　マ：科学も文学も面白い
参　加　者：約 40 名
プログラム：話題提供　科学の部「心身健やかに生きる秘訣」（筆者）
　　文学の部「科学する心　文学する心」（三村三千代氏）
　　おしゃべりタイム

昨年度の第 5 回と同様に，開催地・五所川原市の市民学習グループが共催した。科学の部は埋め草あるいは前座として筆者が話題提供した。文学の部は地元・八戸短期大学客員教授の三村三千代氏にお話しいただいた。タイトルはご自分でお考えになったものである。

第 9 回セミナー「サイエンスカフェ五所川原」（共催：五所川原はつらつ虹の会）
日　　時：2010 年 2 月 21 日（日）13:00～15:00
場　　所：五所川原地域職業訓練センター2 階視聴覚室
テ　ー　マ：備えあれば憂いなし
参　加　者：約 80 名
プログラム：話題提供　科学の部「活断層って何？どこにある？活断層を知って地震に備えよう」（島崎邦彦氏）
　　文学の部「太宰治と真実の愛」（津島園子氏）
　　おしゃべりタイム

この回も開催地・五所川原市の市民学習グループが共催した。科学の部は昨年度の第 4 回（開催地　六ヶ所村）の五所川原市での再現である。講師の島崎邦彦博士は地震予知連絡会第 5 代会長に就任されたが，昨年度と同様に接して頂いた。文学の部は，第 7 回（前出，開催地　六ヶ所村）の五所川原市での再現である。作家・太宰治が生誕した金木町が市町村合併によって五所川原市に組み込まれたために，ご当地での親族登場となった。会場の収容人員数 45 名をはるかに超える参加者があった。

共催「サイエンスカフェ in 五所川原」（主催：あおもりｱｰｽﾚﾝｼﾞｬｰ西北五連絡協議会）
日　　時：2009 年 6 月 28 日（日）10:00～12:30
場　　所：五所川原地域職業訓練センター2 階視聴覚室
テ　ー　マ：環境問題を自分の視点で考えよう
参　加　者：約 10 名

主催者のあおもりアースレンジャー西北五連絡協議会の依頼に基づき，青森支部が共催した。研修会の表記「サイエンスカフェ in 五所川原」は青森支部の提案，テーマ「環境問題を自分の視点で考えよう」は主催者の指定であった。講演（筆者担当）だけでなく実習「植物標本作成」も行った。さく葉（押し葉）は筆者が前もって作成したが，台紙への貼り付けやラベル記入などの実習は好評であった。

文責：笹川澄子
青森支部事務局長

第２章　「エネルギー・環境・放射線セミナー」の報告

この章では、フォーラムが(財)放射線利用振興協会と共に小・中・高校の教員を対象に２００１年度から企画・運営している「エネルギー・環境・放射線セミナー」の２００９年度の実施報告について紹介する。

２００９年度「エネルギー・環境・放射線セミナー」の実施報告

（１） はじめに

このセミナーは、小・中・高等学校の教員を対象にエネルギー・環境問題・放射線を正しく学校教育に取り入れるために、これまで全国１０地区において各地の特徴を生かして企画・運営を行い実績を積み重ねてきた。２００１年度に始めて実施されてから、９年間が経過した。２００１年度から２００５年度まで、NPO 法人放射線教育フォーラムは、文部科学省と財団法人放射線利用振興協会主催の「原子力体験セミナー文系コース」に共催団体として協力し、２００６年度からは、文部科学省主催のもとで財団法人放射線利用振興協会と当フォーラムが企画・運営に当たることとなった。この事業は、NPO 法人放射線教育フォーラムも定款に掲げた目的にまさしく適ったものである。

（２） セミナー開設の経緯

原子力・放射線に関する正しい知識の普及を図ることを目的として、全国の中学校および高等学校の教員等を対象とする「原子力体験セミナー」が、当時の科学技術庁からの委託事業として、１９９０年度から日本原子力研究所によって実施された。１９９８年度から、その事業のすべてを財団法人放射線利用振興協会によって引き継がれ、１９９９年度から「原子力体験セミナー」と名称を改めた。

２００１年度からおも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」が実施されるのに当たって、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」を開設した。このセミナーは、教職員などのエネルギー・環境。放射線などに対する理解を深めることにより、２００２年度から始まっている「総合的学習の時間」などを通して、正しい知識を生徒に普及させることを目的とした。２００７年度及び２００８年度は、原子力体験セミナーのなかで、「地域コースⅢ」の位置づけで実施した。２００９年度は、これまでの「原子力体験セミナー」から「教職員理解促進対策事業」のなかで「実践型コース」と名称を変えて総合的学習の時間や学校教育の実践に役立つ魅力ある内容とすることとなった。

（３） セミナーの内容

① コースの内容：教育現場における原子力・放射線の教育実践報告、資源・エネルギー・環境などの課題を通して、正しい知識の習得・関心・興味に応えられる内容であった。

② 開催場所および募集人数：セミナーの開催は、全国１０地区（北海道地区、東北地区、北陸・新潟地区、北関東・長野地区、南関東地区、静岡・山梨地区、愛知・岐阜・三重地区、近畿地区、中国・四国地区、九州・沖縄地区）で実施した。このうち２日開催コースは北海道地区と南関東地区の２地区だけで、それら以外の地区は１日開催コースで実施した。２００９年度の参加募集人数は、４００名で、応募者は、４２０名、実際の参加者の総数は３９１名であった。参加者によるアンケートによる各地区のセミナーの評価は、総じて好評であった。

２００９年度の各地区での詳細な開催実績については、次頁以降に記載する。

２０１０年度セミナー事業につきましては、文部科学省との委託契約が不調に終わったため、((財)) 放射線利用振興協会との協力のもとでこの事業の実施が困難となりました。

平成21年度 北海道地区エネルギー・環境・放射線セミナー実施報告

開催日時：　平成21年10月3日（土）～4日（日）　9:30 ～ 17:00
開催場所：　ホテルポールスター札幌及び北海道電力(株)泊原子力発電所

講座内容：　第一日　①講義「欧米のエネルギー環境教育」山下宏文（京都教育大学教授）　②テーブルディスカッション　コーディネーター：橋本雄一（北海道大学大学院文学研究科准教授）③実験「教育現場で役立つ放射線を観測する実験」住吉孝（北海道大学大学院教授）
第二日　①施設見学への往路バス内での車中講義「原子炉の話」住吉孝（北海道大学大学院教授）②北海道電力(株)泊原子力発電所見学　③帰路バス内での車中討議「エネルギー環境問題、科学技術と社会，原子炉の安全性」司会：佐藤正知（北海道大学大学院教授）

実施状況

第一日　受講参加15人（参加申込18人）　第二日　見学会参加14人（参加申込18人）

［講義1］欧米先進国におけるエネルギー環境教育の取組みについて、エネルギー重視型のフランス、環境重視型のドイツ、科学重視型の米国の異なる類型を紹介し、これらをもとにわが国独自の教育のあり方の確立を目指すことの重要性が説かれた。

［テーブルディスカッション］地球温暖化と海面上昇を題材として、配布資料、ビデオ教材等を使った授業展開法を4つにグループ分けしてセミナー参加者に討論させ、それをもとに作成した授業計画案を発表させた。活発な討論が行われ、参加者からも大好評であった。新しい教員研修のあり方として評価したい。

［実験］ペットボトルと加圧型キャップを用いて霧を発生させる演示を含めて放射線作用に関するわかりやすい講義に続いて、簡易型霧箱の作製と飛跡の観察を参加者全員が行った。受講者の満足度が高かった。

［車中講義］原子炉の歴史、軽水炉を中心に、原子炉のしくみやエネルギー発生について説明した。丁寧な説明という評価を得たが、車中なのでより簡潔な内容をとの希望が多かった。

［施設見学］原子力ＰＲの「とまりん館」で概要説明があった後、3号機の中央制御室及びタービン発電機、並びに1号機の放射線管理区域での新燃料・使用済燃料貯蔵施設を見学した。説明が丁寧であり、貴重な経験ができたと全般に好評であった。

［車中討議］軽水炉の安全性に関する話題提供をもとに、見学後の印象を含めて参加者の間で話し合った。廃棄物問題などを題材に科学技術と社会の関係についても討議した。

総括

本年度は教育現場で直接役立つ内容や教材を用いて実践的なメニューを用意したが、参加者が少なかった。北海道地区でのこれまでのセミナーは全て7～8月の夏休み期間に実施しており、毎年50名以上の受講参加があったが、本年度は初めて10月に開催した結果、参加申込が急減した。このことを次年度への反省として受け止めたい。テーブルディスカッションは初めての企画であったが、受講者同士が互いに意見を交わすことが出来たと好評であった。この形式の討論を学校教育の現場でも活かしたいと言う意見もあった。山下先生の講義や霧箱実験についても総じて高い評価を得たと判断している。

平成21年度
「東北地区　エネルギー・環境・放射線セミナー」　実施報告書

1. 日時・場所：平成21年9月12日（土）9時40分～16時30分・東北大学川内北キャンパス
2. 後援：宮城県教育委員会、青森県教育委員会、仙台市教育委員会
3. 内容

講　　義：　新エネルギーと原子力 -持続可能な未来のために -
工藤博司（東北放射線科学センター理事）
講　　義：　地球共同体時代の科学教育
小笠原正明（筑波大学特任教授）
講義・実習：　下記の実験テーマのいずれか一つを受講する。

「環境放射線を測る」　木野康志（東北大学准教授）
「光のスペクトルと太陽電池」　藤原充啓（東北大学助教）
「リンの分析による広瀬川の水質評価」小俣乾二（東北大学助教）
総合討論：　コーディネーター　荒谷美智（六ヶ所村文化・教育アドバイザー）

4. 受講者数
受講申込数：32名
受講参加者数：31名
5. 実施状況

40名の募集を行ったが、結果として31名が受講した。セミナーの開催にあたり、青森県、宮城県、仙台市の教育委員会の後援を得ていたが、申込期間がお盆の時期にかかっていたため、募集にやや支障を来したものと思われる。セミナー当日は各講演・実習とも、ほぼ定時に開始・終了し、滞りなく運営された。

講義では、エネルギー問題の考え方を広くとらえたものと、多次元的な視野を持った教育の重要性についての内容であった。前者は、一般的な内容であるとともにわかりやすい講演であった。後者はディシプリンを超えた教育の講演であったため、内容的には高いレベルになったが、いずれの講義も高い評価を得た。

実習は、東北大学初年次学生向けの理科実験から本題に関連するものを3つ選び、マイナーヴァージョンで体験してもらった。中でも「太陽電池」に関する実験の受講希望が多く、3/4 の参加者が第一希望であった。エネルギー問題への関心の高さがうかがえる。

総合討論の運営では、質問用紙に質問を記入してもらい、事前に回収しておき、質問に対する回答をとおして討論とする方法とした。ただし、質問が多すぎてその回答にほとんどの時間を費やしてしまい、質疑応答となってしまったことが反省点である。好意的な評価を与えた参加者のアンケートで目立った意見は、質問に答えてもらったので理解が深まった、あるいは様々な意見を聞くことができたという内容が多く見られた。

平成21年度 関東信越地区(1)エネルギー・環境・放射線セミナー実施報告

開催日時：　平成21年11月28日（土）　9:30 ～ 17:00
開催場所：　群馬大学医学部刀城会館　（群馬県前橋市昭和町）
講座内容：　講義1「小中高等学校の学習指導要領改訂とエネルギー・環境・放射線教育」清原洋一（文部科学省 教科調査官）講義2「岐路に立つエネルギー・資源問題」金氏　顕（三菱重工業(株) 特別顧問）講義3「切らずになおすがん治療 ― 群馬大学重粒子線がん治療施設の紹介―」大野達也（群馬大学医学部准教授）報告1「放射線の性質と利用の学習内容について」田中隆一（元日本原子力研究所高崎研究所長）報告2「中学・高校における放射線学習の実践と課題」大島　浩（佐野日本大学中学・高校教諭）施設見学　群馬大学重粒子線医療研究センター
実施状況

前橋市教育委員会、群馬、栃木、長野、埼玉県の教育委員会及び群馬大学重粒子線医療研究センターからの後援を得た。受講参加48人（参加申込52人）。前橋市教委、群馬県教委等からの積極的な協力が得られた。受講参加者の内訳は群馬(29)、栃木(7)、埼玉(4)、長野(8)。

［**講義1**］学習指導要領改訂のポイントについてわかり易く解説するとともに、エネルギー、環境、放射線に関わる小・中・高での学習内容と指導の考え方について、理科を中心に解説していただいた。理科教育及びエネルギー・環境教育の内容や目標を今後どのように重点化していくのかについて、教育的な広い視点から述べられた。

［**講義2**］豊かな社会を維持してきた安くて豊富な石油資源も油田の発見や採掘のコストも高くなり、代替エネルギー確保がわが国の死活問題となっているという認識に立って、新エネルギーが救世主となり得るのか？原子力の役割とは何か？という疑問に対して、国内外の豊富なデータやコンセントの向こうにある複雑な現実を踏まえて、わかりやすく具体的に答えていただいた。教室やマスコミ情報では習得できないエネルギー・環境問題の講義がたいへん好評であった。

［**講演3**］なぜ、いま、重粒子線なのかの問いに繋がるがん治療の現状の話から始まって、がん治療のしくみ、最新臨床例の動画、群馬大学で完成間近の重粒子線治療施設の概要なども含めて丁寧に紹介された。高度な先端医療を先生方にわかり易く説明したのがとても好評であった。

［**実践に向けての報告**］学習指導要領改訂によって中学校で復活する放射線学習の実践を考えていただく機会の提供を目的に、「放射線の性質と利用」の学習内容について専門家が報告し、続いて放射線学習の実践と課題について理科教諭が報告した後に質疑応答を行った。報告内容への受講者の関心はたいへん高かったが、実験・観察の教材、外部との連携の在り方等を含めて幅広い問題意識に対応するには、報告や討議の時間が短すぎて論点が定まらず、消化不良に終わった。

［**施設見学**］診断機器類の未整備、がん治療設備完成に向けて調整段階にあったにもかかわらず、普段は見られない管理区域内のシンクロトロンのビームラインも見学することができて、受講者にはたいへん満足していただいた。病院とは異なる施設の雰囲気にも驚かれたようである。臨床試験が始まると治療施設の見学が難しくなるので、貴重な体験をしていただいたと考える。

［**総括**］

重粒子線がん治療の全国に先駆けての普及事業という地域性の高い話題に焦点を合わせたことが受講参加の促進効果もあって2年前のセミナーに続いて成功した。今回はエネルギー・資源問題の講義も含めたこともよかったと考える。しかし、「実践に向けての報告」は質疑応答も含めてその内容にふさわしい時間が確保できず、先生方の期待に充分に応えられなかった。放射線について教えたことも習った覚えもない先生方に焦点を当て、改めて授業実践に向けた取り組みの必要性を強く感じた。セミナー時間割が全体として詰め込み過ぎであったと思う。（田中隆一）

平成21年度関東・信越地区（2）エネルギー・環境・放射線セミナー事業概要

期日　平成22年1月10日(日)～11日(月)　**会場**　日本科学未来館7F会議室1・2

重点目標　1．小・中・高等学校新学習指導要領改定要点の理解
2．新学習指導要領中学校理科に復活する「放射線教育」に沿った先行的授業報告

後援団体　東京都・神奈川県・千葉県・茨城県各教育委員会

応募状況　申込者（64）　出席者（60）　欠席者（4）　他に聴講出席者（3）　（括弧内は人数）
受講者内訳　小学校（18）　中学校（23）　中高等学校（1）　高等学校（16）
指導主事他（2）　合　計（60）（括弧内は人数）

プログラムと実施状況

第1日目　平成22年1月10日(日曜日)

講義1「放射線を正しく怖がる知恵　講師：輪嶋　隆博（北海道医科大学放射線技師）

1．低線量域放射線の健康への影響　①放射線は微量でも有害（しきい値はない）②低線量の放射線は健康への影響がない（しきい値がある）③少量の放射線は健康によい（ホルミシス論）の3つの説がある。放射線ホルミシスは教科書に書いてないが、ラドン温泉などで鎮痛・鎮静効果のあることが知られている。

2．放射線の有害度を判断する物差し①科学的根拠で検証　②放射線防護学の立場で検証　③法的管理規制の立場で検証。同じ条件でも設定を変えると評価が変わる。管理目標値が健康被害の目安にされることが多い。

3．放射線に関する考え方の時代的変遷：1982放射線ホルミシス論提唱　1998低線量放射線健康影響国際シンポジウムで放射線ホルミシス論再確認　2004国際放射線防護委員会（ICRP）1990年勧告　仏科学アカデミー200ミリシーベルト/年以下無害と提唱したが　CRP2007年勧告で100ミリシーベルトに下げられた。放射線リスク概念が変更された場合のインパクト・影響は大きい。放射線リテラシーの涵養を阻害する実態として報道が怖がり情報を重用していることが挙げられる。たとえ話が豊富で適切、わかりやすい話であった

講義と実験「小学生にも大人にもわかる放射線実習の指導法　講師：中村　麻利子（鳥取大学）

小・中・高等学校への出前実験の紹介と三朝恩泉水を持参しはかるくんⅡで測定実験。放射線の単位の説明。宇宙からのの放射線の種類。レントゲン、ベクレル伝。放射線利用の樹（医療　農業　食品照射　工業　分析）。原子力発電と原子爆弾。放射線漏れと放射能漏れ。壊変、半減期、原子の構造、不安定な原子核がある理由、放射線の種類（α線　β線　γ線　中性子線）　手づくり霧箱提示　放射平衡　デンタルフィルムの活用など放射線に関する基礎知識を盛りだくさん与えた実験授業であった。

実　習．選択1「霧箱の組立」選択2「放射線測定器の自作」選択3「放電箱の組立」の3班に分かれて実習

第2日目　平成22年1月11日（月曜日・成人の日）

講義2．「小・中・高等学校新学習指導要領改定の要点」講　師：　清原　洋一（文部科学省　教科調査官）

児童・生徒の思考力・表現力、学習・生活習慣、体力など様々な課題が見られるため、今回の学習指導要領改訂では「生きる力」と併せて観察・実験やレポートの作成、論述を活用して基礎的・基本的な知識・技能をしっかりと習得させることなどを重視した。学習内容では、エネルギーや環境に関する学習の充実を図った。

理科の改定では、小学校で手回し発電機で発電し電気の性質について学習、生物の間には食物連鎖のあることについて学習するなどを加えた。中学校では、エネルギーや生態系について科学的な視点から理解し、原子力、火力、水力、新エネルギーなどのエネルギー資源の利用や科学技術の発展と人間生活とのかかわりについて認識を深められるよう「仕事」「放射線」などの内容を充実した。高等学校では選択科目を一新し時間数を変更。また、社会科、家庭科、技術・家庭科などの教科、総合的な学習の時間においても、エネルギーや環境に対する認識を深める学習を重視している。改定の要点がよく理解できる

実践報告　報告1：小泉　静恵　平成20年度千葉県長生郡長南町立長南中学校での実践報告
報告2：宇多川賢一　平成20・21年度千葉県市川市立塩浜中学校での実践報告

パネルディスカッション：「小・中・高等学校での放射線教育の具体的な指導展開について」

コーディネーター長谷川圀彦　意見提示：田中　隆一：専門化の立場から「放射線の利用と性質」の望ましい取り扱い。**渡部　智博**：教育現場の立場から小・中・高等学校における放射線教育の具体的テーマの事例提示。**中村日出夫**：中学校学習指導要領解説理科編作成協力者の立場から「放射線教育」復活の経緯と位置付けについての紹介と意見提示があった。

討論：学習指導要領は柔軟に解釈してよいのではないか。放射線についての知識を持っていない教員が多いが理科・社会科だけでなく全教員が知識をもつ必要があるのではないか名殿意見が出された。

まとめと評価：本年度は放射線教育に的を絞り偏りがあったが、講義・実験・実習とも初めて放射線を教える必要のある教員にとって勉強になったことが受講アンケトによく表れていた。

平成21年度　エネルギー・環境・放射線セミナー　(北陸・新潟地区)実施報告書

1.　日時・場所:　平成21年　7月26日(日)　9:50～16:55・　新潟市万代市民会館

2.　後援:　富山県、石川県、福井県、新潟県、および新潟市の各教育委員会

3.　内 容

講義1:　放射線利用のベネフィットとリスクについて　加藤　和明(高エネルギー加速器研究機構名誉教授)

講義2:　見えない放射線を「視」ています－新潟県の原子力発電所周辺放射線監視－
山崎　興樹(新潟県放射線監視センター所長)

教育実践報告(1):　学校設定科目"環境科学"の取り組み　鈴木　留美(県立三条高校教諭)

教育実践報告(2):　中学校理科新学習指導要領に沿った放射線教育の実践報告
小泉　静恵(千葉県立岬高等学校教諭)

参加者全員による全体討論　(コーディネーター:竹内　文亮(県立正徳館高校校長)

講義・実習(実習は選択):講義　放射線をどのように教えるか。教育現場で使用に耐える霧箱を作ろう！　戸田　一郎(北陸電力エネルギー科学館)

実習(1):自然放射線測定－霧箱による飛跡観察、実習(2):自然放射線測定－大気塵埃付着放射性物質(ラドンの娘核種)の連続測定

4.　受講者数　　受講申込数:　39名、オブザーバー4名、計43名　(当日欠席3名)、

実際の受講参加者数:　38名、オブザーバー2名、計40名(福井県5名、石川県4名、富山県1名、青森県1名、新潟県29名)

5.　実施状況

【講義1】自然界に放射線が満ちているだけでなく、現代文明は放射線を便益の手段として活用しているので、人は放射線との付き合いを避けるられない。生命の営みを続けて行く上で不可欠な、光・熱・酸素・水などでさえ、一時に大量に摂取すると健康を損ねるが、放射線も例外ではなく、その量が重要である。放射線との付き合いを安心して続けるために必要な知識と知恵を、聴講生が参加する形で解説していただいた。

【講義2】一昨年度の中越沖地震で原子力発電所が停止し、ようやく運転再開に向けて動き出した。原発の運転は安全の確保に万全を期すために、新潟県が行っている周辺環境の安全確認と防災体制の整備状況を丁寧に説明頂いた。即ち、1983年に始まった柏崎刈羽原発周辺地域における環境放射線の監視体制の整備維持や監視結果の広報など、県放射線監視センターの環境放射線監視業務のあらましについて説明があった。

【教育実践報告1】学校設定科目として、身近な自然への理解を深め、科学的な自然観を育成することを目標に「環境科学」を開講した。地元の福島潟の環境調査を主とした野外授業の内容が生徒の様子を中心に、紹介された。

【教育実践報告2】平成20年3月告示の新学習指導要領、中学校理科第1分野において「放射線の性質と利用にも触れること」となった。学習指導案に沿い平成21年2月に千葉県長生郡長南町立長南中学校3学年理科3時間の授業を「放射線の性質と利用」に絞り実践した際の成果と課題が報告された。

【講義と実習】霧箱の説明を受けたあと、2グループに分かれ飛跡観察または大気塵埃付着のRn-子孫核種からのα線とβ線の連続観察の実例を学んだ。

参加者のアンケートから有意義なであったセミナー(特に教育実践報告)との意見が多かった。

静岡・山梨地区セミナー実施報告

長谷川圀彦

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２１年１０月１７日（土）　　９時２０分～１６時４０分
開催場所：　静岡県立沼津東高等学校「香陵記念館」（静岡県沼津市岡宮812番地）
セミナーのプログラム
講演１「エネルギー環境教育リテラシーからみた新しい学習指導要領と教育実践のポイント」
熊野善介（静岡大学教育学部教授、同附属静岡中学校）
講演２「放射線・放射能とは？」　　奥野健二（静岡大学理学部教授）
実験「霧箱の作成と空気中の自然放射能の観察」と「はかるくんによる放射線の測定」
矢永誠人（静岡大学理学部准教授）、大矢恭久（静岡大学理学部准教授）
教育実践報告「高等学校理科総合Aにおけるエネルギー教育の授業実践報告」
坂田算浩（静岡県立科学技術高等学校教諭）

実施状況

文部科学省、財団法人放射線利用振興協会・NPO法人放射線教育フォーラムの企画・運営、静岡県教育委員会、沼津市教育委員会の後援により開催した。受講応募者は３３名、２名欠席、受講参加者は、３１名であった。その内、小学校教員が3名、中学校教員が１０名、高等学校教員が１６名、その他特別支援学校教員及び教育関係者が２名であった。セミナー実行委員として、奥野健二、熊野善介及びオブザーバーとして、北条、湯佐氏（富士常葉大学）２名が参加した。

講義１（熊野善介氏）新しい学習指導要領の理科で、エネルギー教育や環境教育がどのように扱われているかを分析し、科学的リテラシーの理解増進のために、エネルギー概念やシステム概念の理解が大切だることをまとめ、どのように展開しうるかを明らかにした。参加者から質疑応答があった。

講義２（奥野健二氏）放射線の種類、性質、利用および人体への影響を解説し、「放射線・放射能」のメリット・デメリットを正しい科学的知識に基づいて理解しておくことが放射線及び放射能と共存することが人類にとって大切な時代であることを話された。そのご質疑応答がなされた。

教育実践報告（坂田算浩氏）新しい学習指導要領では、小・中・高等学校を通じた理科内容の構造化が図られている。現行の高等学校｛理科総合A｝エネルギー資源の利用の授業実践例紹介し、新課程での教材の取扱いを考察した。

実験（矢永誠人氏、大矢恭久氏）作成された霧箱から、身の回りの自然放射線を実感できた。さらに、放射線を簡単に測定することができる“はかるくん”を用いて、距離、種々の遮へい物に対する放射線の強さ・規則性について実践を行った。また、机上の模型から火力発電、原子力発電の原理を学んだ。

総括

アンケートの回答結果から、セミナー全体としては好評であった。講義１および講義２についての評価は、それぞれの持ち味をいかして文系教員にとっても好評であった。エネルギー・環境と社会との関わり、そして原子力の利便性とリスクについての話しを聞きたかったなどの要望があり、これらのの問題を広くとらえた講義が必要と感じた。会場内の室内設備はセミナーを行う上では申し分なかったが、遠方からの参加者にとって沼津市の郊外の場所で交通の不便さがあった。なお、今回のセミナーの参加者が募集定員（４０名）に満たなかったのは、セミナーの準備が遅きに失したこと、開催日当日が学校以外の行事が重なったため小学校・中学校教職員の参加者が極端に少なかった。アンケートからもこのことが指摘されたのは、残念であった。

なお、当日のセミナーの運営は、毎年行っているように現地の小学校、中学校、及び高等学校の教員それぞれ2名、計６名が携わり、会を盛り上げるとともに、柔らかな雰囲気で行うことができた。

エネルギー・環境・放射線セミナー　愛知・岐阜・三重地区　報告書（平成21年度）

報告者：地区代表　森　千鶴夫

日時：平成21年10月31日（土）9：20～17：00
場所：名古屋大学 シンポジオンホール　〒464-8601 名古屋市千種区不老町
参加人員：51名 （小10、中15、高22、特別養護学校2、教育委1、オブザーバー1（大学講師））
放射線利用振興協会：柴田　功
放射線教育フォーラム本部：田中隆一理事

講演1「学習指導要領の改訂と放射線の基礎的事項に関する解説」講師　田中隆一
（元日本原子力研究所高崎研究所長）

中学校理科の学習指導要領の改訂に伴い、原子力や放射線にかかわる学習指導要領の過去の変遷および今回の改訂の内容を分かりやすく解説し、電磁波、放射線エネルギー、線量などを学ぶことはなぜ大切なのか、それらを学ぶに至らなくとも放射線を理解するにはどうすればよいか、など、理科における放射線教育の位置づけを明確に示した。受講者を納得させる講演であった。

講演２　「放射線の産業への利用」講師　山本匡吾
（帝国ピストンリング㈱技術顧問、元豊田中央研究所　研究室長）

人々の生活に直接関係のある産業分野を中心にした放射線利用に関する講演で、新しい内容を含み、分かりやすい解説であったため、アンケートでは、身近な利用の話は放射線の理解に極めて有効である、もっと聞きたい、などの評価があった。

講演3「放射線の医療への利用」講師　大野和子
（京都医療科学大学教授）

放射線の医療利用において、最近は極めて詳細な人体内部の画像取得が可能となり、放射線診断の精度がより一層向上したこと、また、免疫学を応用し特定の病巣のみを放射性物質で治療する方法、手術では到達困難な人体深部の悪性腫瘍への放射線治療、X 線透視技術を応用した血管内治療など、最新の放射線診療の実際を紹介し、受講者を引き込む講演であった。

見学：名古屋大学博物館ノーベル賞展示コーナー　解説担当（佐久間、緒方、高橋）

受講者を３班に分けて、見学し、館内に設けられたノーベル賞展示コーナー（野依良治、小林 誠、益川敏英および下村脩各教授の業績展示）では、フォーラムの会員３名が解説を担当し、熱心な説明が好評であった。

実習と実演：実習１；市販の霧箱セット（放射線利用振興協会扱）による実習　高橋郁子（名城大学薬学部教務技師）、実習２；シャーレを使った最も簡便な霧箱　早川一精（中部原子力懇談会技術部長）、実演１；ガラス容器を使った霧箱、大津浩一（愛知県立熱田高等学校教諭）、実習３；「はかるくん」による環境放射線の測定　杉本勇二㈱イング名古屋支店長）、実演２；GM サーベイメータを使った測定（遮へい、距離の効果など）、緒方良至（名古屋大学医学部助教）

受講者にいろんな方法を体験してもらい、できるだけ授業に実際に取り入れて頂けるように配慮した。好評であった。

今回のセミナーは、受講者が学校において、実際に理科の授業で放射線を取り扱う場合に役立つような内容にした。アンケートの結果も、講義のこのような内容ならば生徒に伝えやすい、とか、実験のこの方法ならば自分でも十分に取り入れることができる、とかの意見が多く、セミナーの当初の目的を達することができたと思っている。

募集案内において、「実際に役立つ内容である」ことを強調し、応募者が多いことを期待したが、いつものように、受講者の人数を確保することが容易ではなかった。理科の先生方は、「放射線の性質や応用にも触れること」との内容の指導要領の改定が、一般的にはまだ実感として認識されていないように思われる。徐々にこのような認識が高まると思われるが、そのためにも、地域の教育委員会、理科勉強会、校長会などとの緊密、良好な関係確保、連携が重要であると思われる。

平成21年度　エネルギー・環境・放射線セミナー（近畿地区）　実施報告書

１．事業名：近畿地区　エネルギー・環境・放射線セミナー

２．後援団体：熊取町教育委員会、大阪府教育委員会

３．期日：平成21年11月8日（日）9:50ー16:25

４．開催場所：京都大学原子炉実験所事務棟大会議室（大阪府泉南郡熊取町朝代西2-1010）

５．受講者数：35名（小学校19名、中学校9名、高等学校5名、熊取町教育委員会2名。都道府県別内訳：京都府4名、大阪府23名（内、熊取町から14名）、兵庫県6名、和歌山県2名）

６．実施内容（プログラム）：

講義１「身近で利用されている放射線・・・放射線と医療・・・」
　　丸橋　晃（京都大学原子炉実験所特任教授）

講義２「環境・エネルギー問題をどう教えるか。小学校の授業プラン」
　　川原雅樹（兵庫県篠山市立八上小学校）、許　鍾萬（兵庫県立香寺高等学校）、
　　前川　淳（姫路市立大津小学校）

施設見学「研究用原子炉と加速器施設」　　原子炉実験所担当者及びセミナー世話人

実習「簡易型霧箱を用いた放射線の飛跡の観察と放射線教育への適用方法」
　　宇根崎博信（京都大学原子炉実験所教授）、吉岡潤子（大阪大学工学部）、
　　朝野武美（元大阪府立大学）

７．実施状況：

講義１：放射線は私達の身近な場所で利用され、日常生活の豊かさに無くてはならないものになっている。ここでは放射線が医療にどのように使われているかを基本的なお話から始めてわかりやすく概観された。講義２：環境やエネルギーの問題を、小学生とどう考えていくかということを、これまでの実践から報告された。また発達障害の子どもたちへの対応など、授業を進める上で問題になっていることについても、具体的な指導場面を通して取り上げられた。施設見学：京都大学原子炉実験所には、研究用原子炉とサイクロトロンなどの加速器が設置されている。これらの大型装置の施設を見学し、放射線が身近でどのように利用されているか体験していただいた。実習：簡易型霧箱を製作し、それを用いて放射線の飛跡を観察するとともに、放射線教育において霧箱をどのように活用していくべきか、意見交換が行われた。

８．まとめ：今回は、参加者にとって必ずしも便利な場所での開催ではなかったが、定員40名に近い参加者を得ることができた。アンケートの集計結果からは、全ての内容について妥当との評価で、好評であった。特に施設見学への関心が高かった。また、講師の谷和樹先生が急用で欠席されたため、3名の先生により急遽同じ内容をテキストを使ってリレー講義の形でわかりやすくお話しいただいた。

（報告者：世話人代表　柴田誠一）

平成21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

セミナーの名称：エネルギー・環境・放射線セミナー　－総合的な学習の時間のための情報提供－

開催日時：平成21年11月14日（土）　9:30－16:30

開催場所：広島市まちづくり市民交流プラザ（広島市中区袋町6-36）　研修室C（主会場）およびB

参加者は30名で、小学校10(33%)、中学校9(30%)、高校10(33%)、その他1(3%)。教諭82%、管理職7%、その他11%で、担当教科は人文系4%、理科系57%、小学校教諭21%、その他18%であった。昨年に比べ人文系の教科担任、管理職が少数であった。地区内の各県から1名以上の参加者があった。

放射線利用振興協会担当者および放射線教育フォーラムから河村正一副会長、講師を兼ねて田中隆一理事らの出席があった。世話人阪田祐司のほか、地区実行委員の向井景昭、原田忠則、加藤一孝、地京久美子、荘川博之、岩谷和夫、中村悟が参加（高橋忠義、砂屋敷忠、永井博は都合で欠席）し、運営にあたった。

プログラム：

１０：００－　講義１　放射線の性質と利用　学習内容の試案　田中隆一（放射線教育フォーラム）

１１：２０－　実験

Aグループ（研修室C）　霧箱作成と観察・検討　加藤一孝（広島こども文化科学館）地京久美子

Bグループ（研修室B）　「はかるくん」を用いた計測と検討　岩谷和夫（元県立広島大学）中村悟

１３：３０－　講義２　放射線の健康影響　　児玉和紀（放射線影響研究所）

１５：００－　討論　学校教育で放射線をどのように取り扱うのか（高校、中学、小学校それぞれの場合）

「私の考え・プラン・要望」を参加者全員で討論　　司会　向井景昭、原田忠則

講義１は、新学習指導要領の放射線の取扱い改訂の流れを説明。主題に関連して理科の改定について、その目指すものや小学校・中学校について、これまでの放射線教育フォーラムで取り上げてきた調査結果、教科書の記述などから、小学校から高等学校での取り上げたいテーマを説明した。とくに、自然放射線の存在、放射線と人間生活の関連、人体影響などを客観的にとらえられるような教育を希望した。放射線利用、エネルギー問題、原子炉事故、放射線の性質、人体への影響、などリスクや安全性など幅広いお話であった。

質疑で、放射線物理の基礎、性質、利用の実態などに触れ、参加者の疑問に丁寧に答えた。

講義２は、放射線が発見されて100年以上たった今日、放射線はさまざまな分野で利用されている。しかしながら放射線はポジティブな側面とネガティブな側面とを併せ持っている。現代社会において放射線の利用は不可欠ではあるが、放射線の健康への影響にはどのようなものがあるか、などをよく知ったうえで放射線と付き合っていく必要がある。そこで、原爆被爆者の長期疫学調査の結果を中心に、「放射線の健康影響」について、被曝後60余年の調査で判明した事柄、依然解明出来ていないことなど、国際的な放射線防護の基礎データとして評価されている放射線の人体影響について最新の内容が紹介された。

討論　学校教育で放射線をどのように取り扱うのか　（高校、中学、小学校それぞれの場合）

新学習指導要領に示された「放射線」を授業計画にどのように具体化するか。各人各様の考えがあると思われる。充実した授業計画作成の参考にするため「私の考え・プラン・要望」を参加者全員で討論を行うことにした。まず、広島での中学や高校生への課外活動指導の具体例を紹介し、討論に移った。教育現場で具体的な活動が始まっておらず、活発な討論に至らなかったが、司会者の解説や参考事例は参加者の今後のプラン作りに参考になるところ大であった。

実験は、Aグループ（研修室C）霧箱キットの組み立てと観察

放射線の性質を説明したのち、簡易霧箱を作成、キットの添付線源、室内の塵埃試料による観察を指導した。また、α線の遮蔽効果についても実験と解説を行った。

Bグループ（研修室B）「はかるくん」を用いた計測と検討

放射線測定器「はかるくん」を用いた実験で、取扱法説明後、自然放射線計測、遮蔽物による減弱の測定実験を行った。この計測器は自然に存在する放射線を「計測」によって体感してもらうにも適している。

総括

積極的に放射線問題を組み入れ、小学校から高等学校の教諭が、放射線の問題を共有できるようプログラム編成を行った。実験は、これまで同様、放射線の存在を実感させるもので好評であった。基礎教育課程の全般を視野にいれ、自分の立場との関連を考えることは、授業で環境・放射線問題を取り入れる際に参考となったと考える。　本セミナーは、参加者のアンケート調査の回答からも好評をえており、内容について肯定的な回答がよせられた。今後、放射線関連のテーマの講義や実験、見学に加え、参加者が交流できる、ゆとりあるセミナーとしたい。

九州・沖縄地区エネルギー・環境・放射線セミナー報告

世話人代表　工藤和彦（九州大学）

１．実施日時、開催場所およびプログラム

日　程　：　平成 21 年 9 月 26 日(土)　10：00～17：00

開催場所　：宮崎市民プラザ　大会議室

〒880-0001 宮崎市橘通西 1 丁目 1 番 2 号

TEL 0985-24-1008 FAX 0985-29-2244

プログラム

9:30～10:00	受付
10:00～10:05	開会の辞　工藤和彦（九州大学高等教育開発推進センター　特任教授）
10:05～11:20	講義１　「小・中・高等学校新学習指導要領の要点」
	講師　文部科学省国立教育政策研究所教育課程研究センター研究開発部
	教育課程調査官初等中等教育局教育課程課　教科調査官　清原洋一氏
11:20～12:30	講義２　「新学習指導要領に基づいた授業実践に関する報告（中学校の例）」（仮題）
	講師　愛知教育大学附属名古屋中学校　研究部長　教諭　羽澄　大介氏
12:30～13:30	昼食
13:30～14:30	講義３　「知っておきたいエネルギー・原子力・放射線」
	講師　九経連・九州エネルギー問題懇話会顧問　元東海大学 大塚　徳勝氏
14:30～14:45	休憩
14:45～16:45	講義４・実習　「放射線を見てみない、測ってみない？」
	講師　九州大学大学院　工学研究院　助教　若林源一郎氏
16:45～17:00	修了書授与
	閉会の辞　柴田　功（(財) 放射線利用振興協会 国際原子力技術協力センター）

２、実施状況

九州全県から 56 名の受講申込者があり、3 名が当日欠席され、受講者は 53 名であった。受講者の内訳は次のとおりである。(数字は人数)

校種別　小学校　13　中学校　22　高校　15　その他　3

年齢別　20 代　5　30 代　7　40 代　27　50 代　10　60 代以上　4

受験歴　0 回　39　1 回　3　2 回　3　3 回以上　8

性別　男性　41　女性　12

参加者が予定(50 名)よりも多かったが、会場に余裕があったので問題はなかった。また各講演にそれぞれ活発な質問が出された。

放射線利用振興協会よりアンケートがなされた。詳しい分析は作業報告書で報告するが、清原洋一氏（文科省）の学習指導要領に対する関心が高く、その他の講演に関してもほとんどの参加者が講演内容、テキスト等の教材についてほぼ満足したとの感想であった。

３、実施協力者　大塚　徳勝（元東海大学、九州エネルギー問題懇話会）

岸川　俊明（元熊本大学、九州エネルギー問題懇話会）

第３章　専門委員会関係報告

この章では、現在活動しているいくつかの専門委員会のうち、「教育課程検討委員会」の活動についての報告書を収録した。

平成22年(2010)3月

2009年度の教育課程検討委員会活動の記録

委員長　飯利　雄一

1. 設立趣旨

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

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

2. 委員名簿(2009年度)

委員長	飯利　雄一	元信州大学教授
委　員	黒杭　清治	元芝浦工業大学教授
同	広井　禎	元筑波大学附属高等学校副校長
同	船田　優	千葉県立船橋法典高等学校教諭
同	三門　正吾	千葉大学特任准教授
同	渡部　智博	立教新座中・高等学校教諭
相談役	松浦　辰男	本フォーラム事務局長　立教大学名誉教授

3. 活動経過と成果

（1）前年度までの活動と成果

1998年度：委員長広井禎（2002年度まで）：小中高校生の放射線に関する知識・意識調査。

1999年度：JCO臨界事故に対する生徒の疑問を集め、放射線教育のあり方を検討。

2000年度：上記調査をもとに小・中・高等学校における放射線リテラシーとは何かを検討。

2001年度：放射線教育を「総合的な学習の時間」の中にどのように取り組むかを検討。

2002年度：科学技術振興財団「エネルギー環境教育情報データwebシステムの構築に協力。

2003年度：委員長黒杭清治(2006年度まで)放射線リテラシー育成資料作成の資料収集。

2004年度：活動状況：1）大学生、教員対象「放射線に対する知識・意識アンケート」を行い、集計結果を100名の理科教員に再アンケートを行って報告書にまとめた。2）三門正吾委員自作放射線測定機器による実験を検討し「平成16年度南関東地区エネルギー・環境・放射線セミナー」で演示実験実施。以降毎年受講者実験にして継続実施。

2005年度：①「児童・生徒の発達段階別・項目別放射能・放射線リテラシー育成のための計画案」及び、②「教員の放射能・放射線リテラシー向上のための資料集（序章、及び5章構成)」を作成する計画を立て、Ⅰ章　放射能・放射線用語の基礎知識　Ⅲ章　誤解しやすい原子力・放射能・放射線の知識「Q&A」を本活動報告書に掲載。

2006年度：委員長江田稔(2007年度まで)　1)前年度までの資料を学習指導要領改訂の参考資料として文部科学省に提出。2)前年度資料集のタイトルを『児童・生徒の放射能・放射線リテラシー育成のための指導資料集』と変更して4章構成とし、『はじめに』、及び『第1章　原子力・放射線について小・中・高校生が卒業時までに身に付けてもらいたい知識』を完成。

2007年度：昨年度報告の指導資料集『第1章』を授業に組み入れるため、ア．授業展開例イ．図書やインターネットで紹介されている放射線学習資料の一覧表を作成。

2008 年度（昨年度）：

１．中学校理科新学習指導要領の内容検討と放射線学習計画

１-1．授業展開（学習内容）の検討

放射線を、原子の構造、原子炉のしくみ、放射線の種類（α，β、γ線）などから導入するのが一般的であり、放射線の本質を理解するために必要であるが、中学生を対象とした場合は、必ずしも原子構造などを既習事項にせず、例えばレントゲン検査のような身近な「放射線の利用」から導入する方がわかり易いであろうということになった。

１-2. 放射線の性質について

新学習指導要領の解説では放射線の性質について「放射線は透過性などをもち、その性質を医療や製造業などにも利用している」と記されているだけで、放射線の電離作用には触れていない（などという言葉の中に含ませている）ため、この解説を迂闊に読むと「放射線の透過性という性質のみを医療や製造業に利用している」ように誤解されることが考えられる。そこで検討の結果次のような表現が良いであろうということになった。

①：物質には放射線が透過しやすいもの（組織、空気など）と、透過しにくいもの（骨、水など）があり、この性質を利用してレントゲン検査が行われている。

②：中学生を対象にして電離作用の用語を使うのは難解過ぎて良くない。放射線は物質の性質を変える働きがあり、この性質を利用して病気の治療、タイヤの製造、品種改良などが行われている。

下線部については「放射線はものの性質を変える働きがある」と言い切ってよいのかという意見が出たが、結論には至らず次年度の検討課題になった。

２．放射線学習指導案（学習計画）の作成

学習指導案の作成は千葉県長南中学校小泉静恵教諭に依頼した。提出された指導案は「科学技術と人間」全体をカバーしていたが、分量が多すぎるため「放射線の性質と利用」のみを３時間の指導展開にするように変更してもらい、次の３テーマで作成された。

①放射線の性質と利用　　②自然放射線　　③放射線の防護

この内容を検討した結果「放射線の人体への影響」に関することが３つの指導案に分散しているので、③は「放射線の人体への影響と防護」というテーマにしてまとめてはどうかという意見が出されたが、放射線の人体への影響については専門家の間でも意見が分かれるほど難しく、指導案の作成は今後の課題として先送りし、原案通りの学習計画を 2008 年度関東・信越地区（２）エネルギー・環境・放射線セミナーで小泉静恵教諭が**「中学理科新学習指導要領に沿った放射線教育の先行的実践計画」**という演題で報告した。

３．北大プロジェクトの学習プログラム開発※

2003 年度より開始し継続中の『児童･生徒の放射能・放射線リテラシー育成のための指導資料集（以下放射線リテラシーと略記）』の作成を一時中断し、上記１．２の学習計画・授業展開例を北大プロジェクトの一環として役立て、学習プログラムを開発することが決まった。

※：文部科学省平成 20 年度プロジェクトの１つ「原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ」【テーマ７：原子力に対する信頼醸成のための社会学的アプローチ】学校教育現場との対話に基づく原子力･放射線学習プログラム開発（北海道大学　杉山憲一郎　通称北大プロジェクト）より本フォーラムが再委託された**「放射線のリスクと利用の学習プログラム開発に関する研究」**

（２）2009 年度の目標と活動

(2)-1. 目標

(2)-1-1. 本年度(2009 年度)のエネルギー・環境・放射線セミナーで報告する「中学理科新学習指導要領に沿った放射線教育の先行的実践報告」の内容を検討する。

(2)-1-2. 北大プロジェクト学習プログラム開発に使う教材として、本委員会が昨年度までに作成し、蓄積してきた資料を活かす。

(2)-2. 活動内容

(2)-2-1.「中学理科新学習指導要領に沿った放射線教育の先行的実践報告」の検討

2009 年 7 月 26 日に新潟市万代市民会館で開催された「北陸・新潟地区エネルギー・環境・放射線セミナー」で小泉静恵教諭が標題の実践報告をした記録内容を検討し、次のような意見が出された。

ア. 生徒がワークシートに書いた感想を、日本原燃株式会社安全技術室放射線管理部の宮川俊晴氏，藤野優子氏らが分析した結果は参考資料として謝辞とともに巻末に付記し、いくつつかの代表的な感想を原文のままの文で紹介する方が参考になってよい。

イ. 「授業後も放射線に安心感がもてない」という感想を書いた生徒がいたことが記載されているので、報告のとき口頭で付け加える方がよい。

ウ. 学習指導案の分量について、指導案に網掛けをした部分（後記指導案参照）は時間不足で教えることができなかったところという反省になっているが、反省ではなく、網掛け部分を除いた分量が 1 時間分の目安（適量）というべきであろう。

以上の意見などが活かされ、2010 年 1 月 11 日に日本科学未来館で開催した「平成 21 年度関東・信越地区(2)エネルギー・環境・放射線セミナー」で同じく小泉静恵教諭が報告し、好評であった（末尾受講者の評価参照）。

(2)-2-2. 本委員会蓄積資料の内容再検討

★「北大プロジェクトの学習プログラム開発」についての目標を検討

中学校の教員が放射線に関する授業ですぐ利用できる教材を作成する計画を立てた。具体的には年間 3 時間ぐらいと考えられる放射線に関する授業で使えるパワーポイント形式の図表（1 時間当り 10 枚くらい）と、それぞれの図表に対する説明文の作成である。

★同上教材の内容・レベルは学習指導要領に準拠

教材を組み立てるための素材は、本委員会が 2003 年度～2007 年度に作成し、2008 年度に中断している『放射線リテラシー』他、昨年度までに蓄積した学習資料（以下蓄積資料と略記）を活用する（『放射線リテラシー』の作成は未完成のまま終了する）。

★蓄積資料の再検討　『放射線リテラシー』は新学習指導要領が公示される以前から作成していたものであるが、内容は「放射線の性質と利用」を主体にしていることなど、基本姿勢が学習指導要領と共通している。が、全く同じではない。そこで、『放射線リテラシー』を含めた蓄積資料を新学習指導要領との整合性を良くするために再検討した。以下は検討中であり、来年度継続して検討する。

Ⅰ. 放射線について

前年度「放射線はものの性質を変える働きがある」と言い切ってよいのかという意見が出ていたので再検討し、下記のように改めたが、なお検討の余地がある。

① 放射線は物質を透過する性質がある。物質には放射線が透過しやすい物質（生物の組織、空気など）と透過しにくい物質（骨、水など）がある。

② 放射線は量などの条件によって物質の性質を変化させる働きがある。

この性質を利用して、放射線を医療・工業・農業へ役立て人類の福祉に貢献している。

Ⅱ．小・中・高校生が卒業時までに身に付けてもらいたい放射線の知識の再検討

（内容の取り扱いは 2005 年度に作成したものから 1 部を抜粋）

理解させる　＝　知識を与えて理解させる　　気付かせる　＝　探求させて自ら理解させる
触れる　＝　知識は与えるが理解まで求めない

1．小学校（総合的な学習の時間などに組み込む）

ア．放射線は自然界にある。　イ．放射線は日常生活に役立てられている。
ウ．原子力は火力、水力、太陽光などとともに発電に使われる。

（内容の取り扱い）アでは、放射線は地球が誕生したときから紫外線などとともに自然界にあることを理解させる。イでは、放射線はものを通す力などの性質を利用して医療や空港の手荷物検査などに役立てられていることに触れる。ウ．では、日本の電気は、火力、水力などのほか、およそ３分の１を原子力によって発電している。「原子力発電」は大電力を安定供給するための基幹電力として重要な役割を果たしていること、太陽光発電や風力発電などでは少量過ぎて代替できないことを理解させたい。

意見

小学校では地球温暖化の問題に大変熱心な場合が多いと思われるので，下線部には原子力発電が二酸化炭素を減らすことに対しても貢献していることも加える方が良いのではないか。（中学校で二酸化炭素のことを扱うとすれば，もう少し定量的な扱いにしても良い）。

2．中学校（理科）―　項目、内容を新学習指導要領に合わせて手直し（検討中）―

ア．原子力発電は核燃料から取り出すエネルギーで発電する。
イ．原子力は火力・水力などと共にエネルギーの安定供給に役立てられている。
ウ．放射線は医療、製造業、農業などで広く役立てられている。

（内容の取り扱い）アでは、原子力発電はウランなどの原子核が分裂するとき発生するエネルギーで発電することを理解させる。ウランなどの核燃料は限りあるエネルギー資源であることに気付かせる。イでは、資源の乏しいわが国は、太陽光、風力などの再生可能エネルギーも利用しているが、必要なエネルギーを大量かつ安定に供給するためには火力、水力のほか、原子力を加える必要があることを理解させる。ウでは、放射線が物質を透過することや、物質の性質を変化させる働きのあることなどを利用して、病気の診断や治療、空港の手荷物検査、半導体製造の工程や非破壊検査（鋼板の厚み検査など）、品種改良・育種なとに使われていることを列挙するだけではなく、生活の質を高めることに貢献していることに気付かせたい。また、利用する放射線は人為的に発生させていることにも触れる。

意見

下線部は非破壊検査（鋼板や紙の厚み検査など）に使われて・・・と「紙」を加えてはどうか？　製紙工場などを見学すると，放射線を利用しているというマークをいろいろな場面で見ることができる。

3．高等学校（物理選択者を除く）

ア．放射能と放射線　イ．放射線をなぜ使うのか。　ウ．放射線の身体への影響

（内容の取り扱い）ア．では放射能と放射線の用語の意味を理解させる。イ．ではなぜ放射線を使うのか、他のものでは代替できないのかが理解できるようにする。ウ．では医療などで使われる放射線が身体にどのように影響するかが考えられるようにし、どのように管理されているのかを理解させる。（詳細は 2006 年 3 月：本フォーラム活動報告書 p39～42）

意見

高校生の知識指導例の一つに年代測定を加えてはどうか。社会科の歴史分野にも貢献しているということは知っていても良いことと思う。

（３）2010 年度の活動計画

蓄積資料の再検討を継続し、北大プロジェクト学習プログラムの開発を進める。

（文責　黒杭　清治）

教育課程検討委員会報告（つづき）

平成21年度関東・信越地区(2)エネルギー・環境・放射線セミナー実践報告

中学校理科新学習指導要領に沿った放射線教育

― 3時間の授業実践「放射線の性質と利用」 ―

千葉県立岬高等学校教諭
小泉 静恵

はじめに

平成20年3月に告示された新学習指導要領，中学校理科第1分野の内容（7）「科学技術と人間」の「ア エネルギー」の「(イ) エネルギー資源」で，内容の取扱いにおいて「放射線の性質と利用にも触れること」となった。

放射線は一部の先進的な実践校・教員を除いて，多くの中学校で長年詳しく取扱われることがなかったため，このたびの復活によって教育現場では戸惑うことも考えられる。そこで，すべての中学校でだれにでも新学習指導要領に沿った授業ができるような学習計画案の作成を試みた。今回は「エネルギー資源」全体の授業計画ではなく，「放射線の性質と利用」に絞り，3時間で最大限どれだけのことを教えるべきか※を考察し，授業計画を立てた。

この学習計画案は平成21年1月11日に，平成20年度関東地区エネルギー・環境・放射線セミナーで報告した。その後平成21年2月に，千葉県長生郡長南町立長南中学校3学年（3学級）の理科において，3時間の授業を実践した。授業実践を終え，学習計画案の見直しと，授業実践の成果と課題を報告する。

※放射線教育については，NPO 法人放射線教育フォーラム教育課程検討委員会で，中学生が卒業時に放射線について何をどれだけ理解できるようにしたらよいのかを議論した結果を同フォーラム2006年度年報に報告している。2008:3 NPO 法人放射線教育フォーラム2006年度活動報告 p39～p42

1 新学習指導要領での放射線教育の位置付け

中学校学習指導要領における放射線教育の変遷と新旧対比は昨年度（平成20年度）報告したので省略する（本フォーラム2008年度活動報告 p36～39参照）。

新学習指導要領で放射線は理科第一分野(7)科学技術と人間（内容の取り扱い）の中で「放射線の性質と利用にも触れること」とわずか1行足らず記されているに過ぎないが、同解説（平成20年7月）では理解させるべき7項目と課題3項目が具体的に示されている。その部分を以下に抜粋する（見出しと①～⑦の番号は筆者が付記したもの）。

（7）科学技術と人間 ア．エネルギー （イ）エネルギー資源と人間

ここでは，人間が水力，火力，原子力など多様な方法でエネルギーを得ていることをエネルギー資源の特性と関連させながら理解させるとともに，エネルギーを有効，安全に利用することの重要性を認識させることがねらいである。

理解させるべき7項目

① 日常生活や社会で利用している石油や天然ガス，太陽光など，エネルギー資源の種類や入手方法，

② 水力，火力，原子力，太陽光などによる発電の仕組みやそれぞれの特徴。

③ その際，原子力発電ではウランなどの核燃料からエネルギーを取り出していること。

④ 核燃料は放射線を出していることや ⑤ 放射線は自然界にも存在すること。

⑥ 放射線は透過性などをもち，⑦ 医療や製造業などで利用されていることなどにも触れる。

課題３項目

① 日本はエネルギー資源が乏しくその安定確保が大きな課題であること。

② 化石燃料には長い年月の間に太陽から放射されたエネルギーが蓄えられていること，その大量使用が環境に負荷を与えたり，地球温暖化を促進したりすることなどから，省エネルギーの必要性を認識させ，エネルギーを有効に利用しようとする態度を育てる。さらに，今後，環境への負荷がなるべく小さいエネルギー資源の開発と利用が課題であることを認識させるとともに，

③ 太陽光，風力，地熱，バイオマスなどのエネルギー資源の利用，燃料電池や新たなエネルギーの開発の現状や課題についても触れる。

２ 放射線をどこで教えるか

昨年度３つの案を考えた。案1・2は新学習指導要領にそのまま沿ったものである。案3は放射線を科学技術教育的な取扱いにしたため，新学習指導要領の流れと異なる部分はあるが，（7）科学技術と人間 イ.「科学技術の発展」の中で「放射線の性質と利用」を取扱うことは、放射線が新素材の開発や，医療，農林水産業，工業の先端技術として利用されていることからみて妥当ではないかと考えた。

（案 1,2,3 の詳細は NPO 法人放射線教育フォーラム 2008 年度活動報告 p39 参照）

３ 授業計画

昨年度立てた授業計画通りに実践したが、時間にゆとりがあれば３時間扱いを下記の理由により４時間扱いにするとなお効果的である。

１時目：放射線の性質と利用（１時間）

２時目：自然放射線（１時間）演示実験を生徒実験にして２時間扱いに変更できれば、観察したり、自然放射線の測定を屋外で行ったりすることができ，生徒の興味や関心が高められるであろう。

３時目：放射線の防護（１時間）

（事業計画の詳細は 2008:3 NPO 法人放射線教育フォーラム 2006 年度活動報告 p41 参照）

４ 授業実践

学習指導案 （1） 放射線の性質と利用

ねらい

中学生にとって身近な X 線を導入とし，医療利用だけではなく，他の色々な産業でも放射線がその性質から利用され，私たちの生活に役立っていることを知る。

目標

① 放射線に関心を持ち，放射線がその性質からどのように利用されているか，意欲的に考え調べようとすることができる。＜関心・意欲・態度＞

② 放射線には，透過しやすい物質と透過しにくい物質があることを見いだすことができる。＜科学的な思考・判断＞

③ 放射線は人為的に発生させることができ，放射線には物質を透過する力と物質の性質を変えるはたらきがあることを理解し，知識を身につけている。＜知識・理解＞

展開

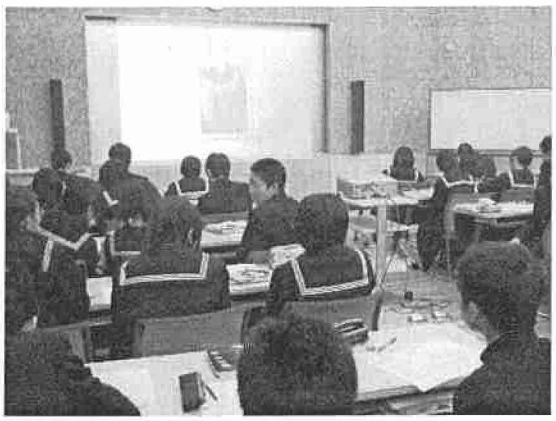
	学習内容と学習活動	指導上の留意点	資料・教具
導入10分	レントゲン撮影でどんなことを注意されたのか思い出し，レントゲン撮影のイメージを話し合う。 スライドの X 線写真を見て，なぜ骨が見えるのか予想し，ワークシートに記入する。 放射線はどのように利用されているのか	レントゲン撮影をするとき、撮影する人が外に出たり，ボタンのあるシャツを着ないように言われたり，妊娠の可能性を訊かれたりすることなど，放射線に対するイメージを膨らませるような具体例を挙げる。 放射線は X 線のほかにもあることを説明する。	スライド ワークシート
展開30分	1　放射線発見の歴史を知る。 ・ レントゲンによる X 線の発見。 ・ 放射能，放射性物質の発見。	レントゲン，キュリー夫妻らを紹介し，発見の歴史を簡単に説明する。 放射能，放射線量の単位には触れない。	スライド ワークシート
	2　放射線は医療分野で広く利用されている。 ・ X線診断。 ・ 放射性物質を含む薬剤を投与し，診断や治療を行う。 ・ 放射線を当てて治療する。 ・ 医療器具の滅菌。	X 線を透過しやすい物質と透過しにくい物質がある性質を利用し，診断していることを説明する。 放射線には物質の性質を変えるはたらきがあるため，治療や滅菌に利用されていることを説明する。	スライド ワークシート
	3　放射線は工業分野で広く利用されている。 ・ 非破壊検査。 ・ 半導体の製造。 ・ タイヤの製造。 ・ プラスチックなどの新素材の改良。	2008 年 4 月，千葉県市原市の検査会社「非破壊検査」から放射性物質が盗まれ，その後発見された事件を紹介する。 放射線には物質の性質を変えるはたらきがあるため，製造業でも利用されていることを説明する。	スライド ワークシート
	4　放射線は農業分野で広く利用されている。 ・ 食品照射。 ・ 害虫駆除。 ・ 品種改良。	放射線には物質の性質を変えるはたらきがあるため，農業でも利用されていることを説明する。	スライド ワークシート
まとめ10分	放射線についてわかったことをワークシートに記入する。 ・ 放射線は人為的に発生させることができる。 ・ 放射線には物質を透過する力と，物質の性質を変えるはたらきがある。 ・ 放射線は医療・工業・農業などで広く利用され，私たちの生活に役立てられている。	ワークシートに各自まとめる時間がとれるよう配慮する。 机間をまわり，スライドの内容を思い出せるよう助言する。	ワークシート

実践報告

概ね指導案通りの展開で，時配に無理はなかった。スライドを見せる都合で，いつも授業を行う理科室ではなく，視聴覚室で授業を行った。

放射線が身近なところで多く使われている例を，多くの画像で具体的に紹介した。私語や居眠りもなく，生徒は集中してスクリーンを見ていた。

要点は口頭での説明のほかに，できるだけ簡潔に箇条書きにしてスライドで見せた。提出された生徒のワークシートを見ると，書く量は適当のようだった。



視聴覚室後方からの写真

中央はスクリーン。

スライドは学習内容ごとに区切り，説明を忘れないうちにワークシートに記入できるように配慮した。

視聴覚室前方からの写真

ワークシートに学習内容のまとめや，自分の考えを記入する際に，近くの席の生徒どうしで話し合う姿も見られた。

生徒の感想（一部）

- 安全に使えばとても便利。
- 放射線は便利なものと思いました。
- 私たちの生活にあった方がいい。
- 透過できるからすごい！！
- 身近に放射線を使ったものが多く，とても便利だとわかった。
- 害がないわけではないが，とても便利で使いやすいもの。
- 今まで知らなかったことをたくさん知れたので良かったと思います。
- いろいろなところで使われていて，こわいイメージじゃなくなった。
- 自分が思っていたほど危なくないと思った。
- 放射線は広島の原爆で聞いたことがあったので悪い印象があったけど，様々な分野に利用されていて，すごいなと思いました。
- 医療以外にもこんなにも使われているなんて知らなかった。驚いた。イメージだけでなく，放射線について正しく理解できてよかった。

学習指導案　　（2） 自然放射線

ねらい

身のまわりにも，私たちの身体の中にもどこにでも放射線が存在することを，放射線簡易測定器「はかるくん」（以下「はかるくん」と略記）を使って生徒自身で確認する。そして自然放射線の量はごくわずかであり，健康を害するおそれがあるとされている量には全く及ばないことを知る。

目標

① 放射線に関心を持ち，自然界に放射線があるか，意欲的に調べることができる。＜関心・意欲・態度＞
② 「はかるくん」を使い，正しい操作で自然放射線を測定し，記録することができる。＜実験・観察の技能・表現＞
③ 放射線は自然界に存在し，自然放射線の量がごくわずかであることを理解し，知識を身につけている。＜知識・理解

展開

	学習内容と学習活動	指導上の留意点	資料・教具
導入5分	前時の復習をする。 放射線は透過性やものの性質を変えるはたらきがあることから，様々な分野で利用されている。 身のまわりに放射線は存在するのだろうか 放射線が身のまわりに存在するのかどうか予想し，発表する。	放射線は人為的に発生させることができ，様々な分野で利用され、生活に役立っていることを思い出すよう指示する。 放射線は身のまわりに存在するのかどうか予想させ，指名によって発表させる。	ワークシート
展開35分	1 放射線を目でとらえる。 （霧箱の演示実験） ・ 霧箱で放射線の飛跡を観察する。	霧箱のしくみについては，放射線の性質から放射線が飛ぶと目に見えるように工夫した装置である，という程度の簡単な説明にとどめる。	霧箱 ドライアイス マントル ウラン鉱
	2 （GM計数管の演示実験） ・ 放射線は検知器を使うと放射線の存在を知ることができるようになるようになることに気付かせる。	放射線の種類（α・β・γ線、中性子線など）や性質，GM計数管のしくみについては触れずに，「放射線には放射線検知器を使うと数えられるようになる性質がある」という程度の簡単な説明にとどめる。	GM計数管 ライター マントル カリ肥料
	3 放射線が測定できることを知る。 ・ 「はかるくん」で放射線を測定できることを知る。 ・ 接頭語（μ）と単位（Sv）。 ・ μSv／h ・ 「はかるくん」の使い方を確認する。	「はかるくん」が1台13万円することを強調し，大切に扱うことを約束させる。 接頭語（μ）と単位（Sv）について説明する。 μSv／hについて説明する。	「はかるくん」 マントル カリ肥料

	4　「はかるくん」で理科室内のいろいろなものの放射線量を測定する。 ・ 班で協力し，いろいろなものの放射線量を測り，記録する。	「はかるくん」を正しく操作できているか確認する。	電卓 岩石標本 ちり 食品 ワークシート
まとめ10分	放射線は身のまわりに存在している。 ・ カリウムやウランなど天然の放射性物質からの放射線を絶えず受けている。 ・ 宇宙線を絶えず受けている。 ・ 自然放射線の量はごくわずかである。 ・ 日常生活で受ける放射線の量を知る。 ・ 多量の放射線を受けることは人体にとって危険である。	日常生活で受ける放射線の量はごくわずで，人体への影響はほとんどないと考えられていることを説明する。 多量の放射線を受けることは人体にとって危険であることを，図を配布して説明する。	図（日常生活と放射線） ワークシート
	放射線を遮ることができると思うものを予想する。 班で相談して持ち寄るものを決める。 班で持ち寄るものをワークシートに記入し，提出する。	次時の連絡として，放射線を遮ることができると予想したものを各班で幾つか用意してくるように指示する。	

実践報告

展開１として霧箱の演示実験を，展開２としてGM管の演示実験を予定していたが，時間が無くて実施できなかった。指導案の網かけ部分はできなかった内容である。

３学級のうち最初に授業を実施した学級では，理科室内で展開４のいろいろなものの放射線の測定を行ったが，授業終了後，生徒から屋外で測定したかったという声を聞いたため，残りの２学級では，屋外で展開４を行った。しかし，教室の移動時間（往復 10 分間程度）がかかるため，屋外で展開４を行うのは時間的にかなり厳しかった。

計算が苦手な生徒が多いため，平均値を求めるのに想像以上に時間がかかった。電卓は班で最低でも１台，できれば人数分用意できるとよいと感じた。

池の水の上で測定する生徒

「はかるくん」を水没させないように慎重に操作していた。

水の上で測定値が小さくなることに，生徒は一様に驚いていた。

校門の花崗岩から出る放射線を測定する生徒

測定値が大きくなることに驚いた生徒が多かった。数値の変化に単純に楽しんでいるように見えた。

クロマツの幹に「はかるくん」を押し当てる生徒

水の上，地面などワークシートの測定項目を終えると，班ごとに興味のあるものを測定していた。

生徒の感想（一部）

- 放射線はどこにでもあるけど量はすごく少なかった。
- 放射線はどこにでもある。存在しない場所はないということが分かった。
- 身の回りや食べ物にまで放射線があるとは思わなかった。
- 身の回りにある放射線は量が少なかったので少し安心した。
- 放射線はどこにでもあるということに驚いた。また，たくさんあびると大変なこともわかた。
- 放射線はいろいろな所であることが分かりました。意外に少なかった。けれどたくさんの量をあびると危険なので，こわいなと思った。
- 自分が生活している中で，どこからでも放射線がでてくることがわかった。自然放射線は少量なので人に害がないことも分かった。
- 放射線は少しでもあびるといけないかと思っていたけど，どこにでもあると知っておどろいた。「はかるくん」はすごいと思う。
- 放射線はとても身近だと思った！！こわいイメージはほとんど消えて，親近感がわいた一放射線はすごーい！。
- すごく楽しい授業だった。まさか放射線が身の回りにあると思わなかった。もっと放射線について知りたくなった。
- 放射線は原爆とかでしか聞いたことがなかったから，どこにでもあると知って驚きました。また，自分も放射線をもっているということがとてもびっくりしました。私たちが放射線の中で生活していると思うと少しこわいなと感じました。
- 放射線の学習をして，放射線は私達の身の回りにたくさんあって，すごいなと思いました。放射線は，必ずゼロの所はどこにもなくて，はじめは本当に大丈夫なのかなと思ったけど，学習したら大丈夫なんだなとよく分かりました。

学習指導案　　（3） 放射線の防護

ねらい

放射線を遮蔽する実験、放射線が距離によって減衰する実験を通して、放射線を正しく怖がる態度を身につけさせたい。また、放射性廃棄物の処理や、原子力発電所の施設の問題を考える基礎的な素養を身につけさせたい。

目標

① 放射線の防護に関心を持ち、意欲的に考え、調べようとすることができる。＜関心・意欲・態度＞
② 放射線の防護について考え、方法を見いだすことができる。＜科学的な思考・判断＞
③ 「はかるくん」を正しく操作し、放射線を遮蔽できることや、線源から距離をとることによって防ぐことができることを確かめ、記録することができる。＜実験・観察の技能・表現＞
④ 放射線を防護する方法を理解し、知識を身につけている。＜知識・理解＞

展開

	学習内容と学習活動	指導上の留意点	資料・教具
導入10分	前時の復習をする。 ・ 「はかるくん」の使い方の確認。 ・ 自然界にはごくわずかな放射線がある。 ・ 多量の放射線を受けることは人体にとって危険である。 放射線は防ぐことができるのか 班で持ち寄ったものを見せ合い、何が一番放射線を遮ることができるか予想すし、発表する。	「はかるくん」の正しい操作について再確認させる。 班で持ち寄ったものを机上に出し、教室内を回って他の班の物を見て回るよう指示する。	ワークシート
展開30分	1 放射線は遮ることができることを確認する。 ・ いろいろなもので線源を遮り、放射線の量が減るか、「はかるくん」で測定する。 ・ 結果を発表する。	机間をまわり、用意が不足している班には、金属板やコンクリート板などを渡して放射線を遮ることができるか確かめるよう指示する。	ワークシート 「はかるくん」 カリ肥料 紙 金属板 コンクリート板
	2 線源から離れると、放射線の量が減る ことを確認する。 ・ 線源から離れていき、「はかるくん」で放射線の量を測定する。 ・ 結果を発表する。	4班合同で円滑に実験できるよう、班ごとの役割を決め、手順を確認させる。	ワークシート 実習用「はかるくん」

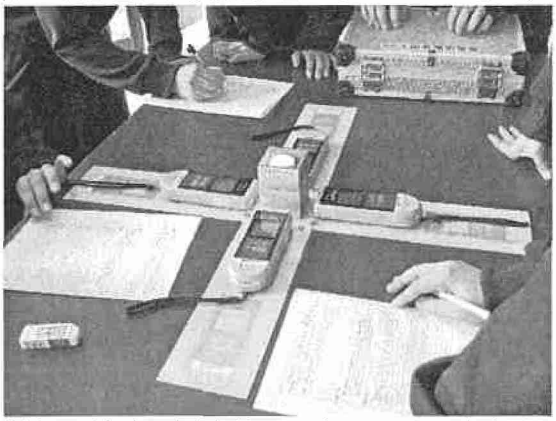
まとめ10分	放射線は遮ることができる。 放射線から身を守る３原則をまとめる。 ・ 遮蔽する。 ・ 離れる。 ・ 受ける時間を短くする。	放射線は種類によって透過力が変わることを説明する。放射線の種類については言及しない。 放射線を受ける時間を短くすることについては、「はかるくん」のμSv／hから説明する。 電灯のスイッチを切ると明かりが消えるように、放射線を遮ると後に放射線は残らないことを理解させる。	スライド ワークシート
	放射線について学び、わかったことやイメージが変わったことなどの感想をワークシートに記入する。		ワークシート

実践報告

前時の「自然放射線」の授業が時間的に非常に厳しく，本時の連絡をすることができなかったため，放射線を防護できると考えられるものを生徒に持ち寄らせることができなかった。指導案の網かけ部分はできなかった内容である。

前時で「はかるくん」の使い方に慣れたことと，電卓を十分な数用意できたことで，時間的には余裕があり，網掛け部分を除き，指導案の時配通りに授業を進めることができた。

実習用キットを３セットしか用意しなかったため，１セットあたり最大 10 人の班編成にしてしまったことは大きな失敗だった。「はかるくん」４台の測定値を記録する生徒４人，時計係１人，計算係２人で分担していたので，各班３人程度が暇で遊んでいた。



実習用キットのマントルや船底塗料などの試料は，前時の測定値よりもはるかに大きく，生徒には大人気だった。実習用キットは工夫が凝らされており，大変わかりやすく，扱いやすかった。セット数を確保することが重要だと感じた。

生徒の感想（一部）

- 危ないけれど，正しく利用すれば役に立つからきちんとした知識を持つ。
- 放射線を防ぐ物は身近にあるということが分かった。
- ガードできることをしった。びっくりした。
- なくてはならないものだけど危険なもの。
- きけんな物だけどふせげる。
- 使い方によっては便利だけどやっぱり少しこわい。
- いっぱいあびたらキケン。でも，ちゃんと助かる方法ってあるんだー
- とても身近でちょっと危険。でも簡単な方法で防げる。
- 放射線に関する仕事をするときは気を付けようと思った。
- たくさんあびるとこわいけれど，私たちの生活に役立つものだからいいものだと思う。
- 危なくない印象。ちゃんと使えば安全だからそう思った。

- 人間にふりそそぐときけんだとしってこわいイメージがわきました。
- 放射線は使い方によって便利な物になったり，こわい物になったりする事が分かりました。
- 大きい量あびるのはこわいからあんま関わりたくない存在になりました。
- いろいろなものを突き抜けていくんあだなぁと思った。もしものときに必要な知識だなぁと思った。
- 放射線から逃げなくてはいけなくなることがないと良いけど，もしあったら知識をしっかり生かしたい。
- 危ない。でも遠くへいけばいいと分かったからよかった。
- 前は危険としか思っていなかったけれど，安全に使えば大丈夫なことや防護の方法などを学び，少し安心しました。

5 成果と課題

授業実践の成果

①授業の目標は3時間とも，概ね達成できた。

１時限目「放射線の性質と利用」では，スライドと説明によって，目標「放射線がその性質から様々な分野で利用されていることを知る」を概ね達成できた。

２時限目「自然放射線」では，「はかるくん」を用いた生徒実験によって，目標「自然界に放射線が存在していることを確認する」を概ね達成できた。

３時限目「放射線の防護」では，「はかるくん」を用いた生徒実験によって，目標「放射線を防護できることを確かめる」を概ね達成できた。

②すべての中学校でだれにでもできる授業を実践できた。

今回の実践では，多額の費用，特別な設備・道具は一切使用していない。「はかるくん」は日本科学技術振興財団の学校教育支援事業によって，無料で貸し出してもらったものである。

今後の課題

①授業実践の時期の検討と，授業時数の確保が必要である。

今回授業を実践したのは２月前～中旬で，私立・公立高校入試の出願・試験・発表が重なる３年生にとって最も慌ただしい時期だった。そのため，授業がつぶれたり，授業開始時に不在の生徒が多かったりと，３時間という授業時数の確保や一斉指導が困難だった。今後はどの時期に授業を何時間実施するか，入念に計画する必要がある。

３時間の授業時数の確保が困難な場合，更に学習内容を精選しなければならなくなる。１時間で放射線に関する最低限の知識が得られるような授業計画も必要である。

逆に，授業時数にゆとりがある場合は，今回断念した霧箱やＧＭ管の実験を取り入れて生徒の興味・関心を高め，発展的な内容を追加することも可能である。

②授業実践前の予備調査と，予備調査をいかす工夫が必要である。

今回１学級で予備調査をしただけで，授業実践にうつってしまった。生徒の実態に応じた授業を展開するためにも，全員に予備調査をしておくべきだった。また，予備調査によって，授業実践前と後で，指導者が生徒の変化を比較できるようにしておき，生徒自身も振り返って自己評価できるような工夫をすべきであった。

③授業実践後，中学校卒業後の放射線教育について案内する必要がある。

授業実践後，さらなる興味関心を持った生徒や，恐怖感を持った生徒もいる。そのような生徒に配慮し，各種団体や専門家，ウェブサイト，本など，気軽に質問できるところや，自ら学べるところを紹介できればよかった。

④エネルギー資源としての放射線をどのように教えるか，検討する必要がある。

本報告は「放射線の性質と利用」に絞った授業計画であり，科学技術教育的な扱いで授業を展開してある。新学習指導要領の趣旨に沿うためには，「エネルギー資源」全体の流れの中で，放射線をエネルギー資源としてどのように位置付けて扱い，教えるべきか，検討する必要がある。

⑤低線量放射線の健康への影響について

本報告では（3）放射線の防護のところで「多量の放射線は危険」という取り扱いをしたが、社会一般の関心は医療に使われている放射線が健康に影響を与えているのではないかという心配である。治療に使われる放射線の量は、ガンなどの進行状況によっては死を選ぶか生存の希望を選ぶかという難しい問題を含むので学校での授業に不用意に取り入れることは困難である。一方診断に使われている低線量の放射線（レントゲン診断　CT 診断　PET 診断など）は量が少ないので健康に悪影響を与えることはないが、それでも学校の健康診断にレントゲン検査を強制することは廃止されたということもあり、今回は導入で身近に使われている放射線の例としてレントゲン検査に触れる程度に留め、放射線医療全体についてまとめた扱いはしなかった。しかし、このテーマは重要であり今後の課題である。

おわりに

冒頭でも述べたように，新学習指導要領において「放射線の性質と利用にも触れること」となったことから，内容を「放射線の性質と利用」に絞った３時間の授業計画を立て，授業を実践した。

授業実践の成果としては，３時間の各授業目標「放射線がその性質から様々な分野で利用されていることを知る」，「自然界に放射線が存在していることを確認する」，「放射線を防護できることを確かめる」を概ね達成できたことと，すべての中学校でできる授業を実践できたことが挙げられる。

しかし，成果以上に課題が山積していた。今後の課題は，授業実践の時期の検討と，授業時数の確保，授業実践前の予備調査と予備調査をいかす工夫，中学校卒業後の放射線教育，エネルギー資源としての放射線をどのように教えるか，などである。

本稿の実践報告にある失敗談，成功談，成果や課題が，中学校現場で活躍する先生方のお役に立てれば幸いである。

この原稿を書くにあたり，貴重な助力をいただいた。参考資料のワークシートの分析結果は，日本原燃株式会社安全技術室放射線管理部の宮川俊晴氏，藤野優子氏らによるものである。心よりの謝意を表したい。

ワークシート

①放射線の性質と利用	＿＿年＿＿組＿＿＿番　氏名＿＿＿＿＿＿＿＿

質問「はかるくん」を使ったことがありますか？　〔　はい　いいえ　〕

放射線・放射能にはどのような印象を持っていますか？

放射線	放射能

レントゲン撮影をするとき、どんなことを注意されましたか？

X線写真は、なぜ骨が透けて見えるのでしょうか？

学習課題

1　放射線発見の歴史

西暦	放射線・放射能 ・放射性物質発見の歴史
1895年	物理学者ヴィルヘルム・コンラート・〔　　〕は真空放電の実験によってX線を発見した。
1896年	物理学者アンリ・ベクレルは〔　　〕化合物から放射線が出ることを発見した。
1898年	物理学者マリー・キュリー（キュリー夫人）とピエール・キュリーは放射性物質のポロニウムと〔　　〕を発見し、放射線を出す能力を〔　　〕と呼ぶことにした。

2　放射線の医療分野での利用

放射線は医療分野でどんなことに利用されていますか？

放射線にはどんな性質がありますか？

3　放射線の工業分野での利用

放射線は工業分野でどんなことに利用されていますか？

4　放射線は農業分野での利用

放射線は農業分野でどんなことに利用されていますか？

まとめ

放射線は人為的に発生させることができますか？　〔　できる　できない　〕

なぜ放射線は医療や工業、農業などの分野で広く利用されているのでしょうか？

授業を終えて放射線・放射能にはどのような印象を持ちましたか？

放射線	放射能

感想・質問等あったら自由に書いてください。

②自然放射線

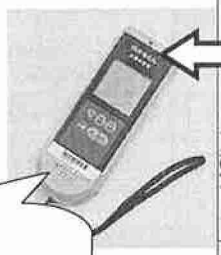
＿＿年＿＿組＿＿＿番
氏名＿＿＿＿＿＿＿＿

質問　簡易放射線測定器「はかるくん」を使ったことがありますか？
〔　はい　　いいえ　〕

放射線はどこにあると思いますか？　どんなものから出ていると思いますか？

学習課題

簡易放射線測定器「はかるくん」を使って、どんなところに放射線があるのか調べてみましょう。
「はかるくん」は大切に扱いましょう。



1台〔　　〕円！
※注意※　落とさない　濡らさない
高温にさらさない
電化製品のそばでは測らない
分解しない

1分後表示された数字が、その場所（もの）の放射線の量です。

重要
「はかるくん」で表示される測定値の単位

意味：その場所に1時間いた場合に受ける放射線の量

接頭語（単位につけて何倍かを表す）

ナノ	マイクロ	ミリ	センチ	デシ	デカ
N	μ	M	c	D	Da
$1/10^9$	$1/10^6$	$1/10^3$	$1/10^2$	1/10	10

「はかるくん」はわずかな放射線の量でもはかることができる測定器です。

測定結果
校舎の外での測定は全員一斉に行います。空欄は好きな場所（もの）を測りましょう。

測定場所	理科室の机の上	グラウンドの土の上	舗装された道の上
1回目測定値〔μSv/h〕			
2回目測定値〔μSv/h〕			
3回目測定値〔μSv/h〕			
合　計〔μSv/h〕			
平　均〔μSv/h〕			

測定場所	池の水の上	西門の花コウ岩	
1回目測定値〔μSv/h〕			
2回目測定値〔μSv/h〕			
3回目測定値〔μSv/h〕			
合計〔μSv/h〕			
平均〔μSv/h〕			

測定場所			
1回目測定値〔μSv/h〕			
2回目測定値〔μSv/h〕			
3回目測定値〔μSv/h〕			
合計〔μSv/h〕			
平均〔μSv/h〕			

考察　　放射線はどんなところにありましたか？

まとめ

感想・質問等あったら自由に書いてください。

③放射線の防護	＿＿年＿＿組＿＿＿番　氏名＿

学習課題

予想　どうすれば放射線を防ぐことができると思いますか？

実験の手順

1. 線源（船底塗料）を遮蔽（しゃへい）実験用ブロックの中に入れ、台紙を４枚並べる。
2. 台紙の上５ｃｍのところに４台「はかるくん」を置き、ステンレス、アクリル、アルミニウム、鉛板の面に向けた「はかるくん」でそれぞれ放射線の量を３回測定する。
3. 台紙の上１０ｃｍ、１５ｃｍ、２０ｃｍでも同様に３回測定する。

実験の結果

５ｃｍ

遮蔽板の面	ステンレス	アクリル	アルミニウム	鉛
1回目測定値〔μSv/h〕				
2回目測定値〔μSv/h〕				
3回目測定値〔μSv/h〕				
合　計〔μSv/h〕				
平　均〔μSv/h〕				

１０ｃｍ

遮蔽板の面	ステンレス	アクリル	アルミニウム	鉛
1回目測定値〔μSv/h〕				
2回目測定値〔μSv/h〕				
3回目測定値〔μSv/h〕				
合　計〔μSv/h〕				
平　均〔μSv/h〕				

１５ｃｍ

遮蔽板の面	ステンレス	アクリル	アルミニウム	鉛
1回目測定値〔μSv/h〕				
2回目測定値〔μSv/h〕				
3回目測定値〔μSv/h〕				
合　計〔μSv/h〕				
平　均〔μSv/h〕				

実験の結果

２０ｃｍ

遮蔽板の面	ステンレス	アクリル	アルミニウム	鉛
1回目測定値〔μSv/h〕				
2回目測定値〔μSv/h〕				
3回目測定値〔μSv/h〕				
合　計〔μSv/h〕				
平　均〔μSv/h〕				

実験の考察

どんなものが放射線を防いだと思いますか？

線源（船底塗料）からの距離と放射線の量の関係は？

考察　どうすれば放射線を防ぐことができると思いますか？

まとめ　放射線防護の３原則

授業を終えて放射線にはどのような印象を持ちましたか？

感想・質問等あったら自由に書いてください。

参考資料　ワークシートの分析結果

日本原燃株式会社安全技術室放射線管理部の宮川俊晴氏，藤野優子氏らによる

授業を実践する前，時間的に余裕のあった１学級（担任をしていた学級）のみに予備調査を実施した。３時間の授業では，毎時ワークシートを使用した。ワークシートには，授業を終えて感想等を自由に記述できる欄を設けてある。

１　予備調査(B 組のみ)の分析

予備調査では，「放射線」・「放射能」・「原子力」について，認知状況やイメージを調査し，「放射線・放射能」という用語に対し，総数 29 名中，アンケートに記入していた 26 名中，18 名（69%）が「危険・危ない―原爆」などネガティブな回答を示した。また，「知らない・なし・無回答」など知識を示さなかった生徒が 3 名おり，合わせて 80%を超える生徒に，不安感を持つが正しい知識が習得されていない状況が見られた。

２「放射線の性質と利用」(1時限目)の分析

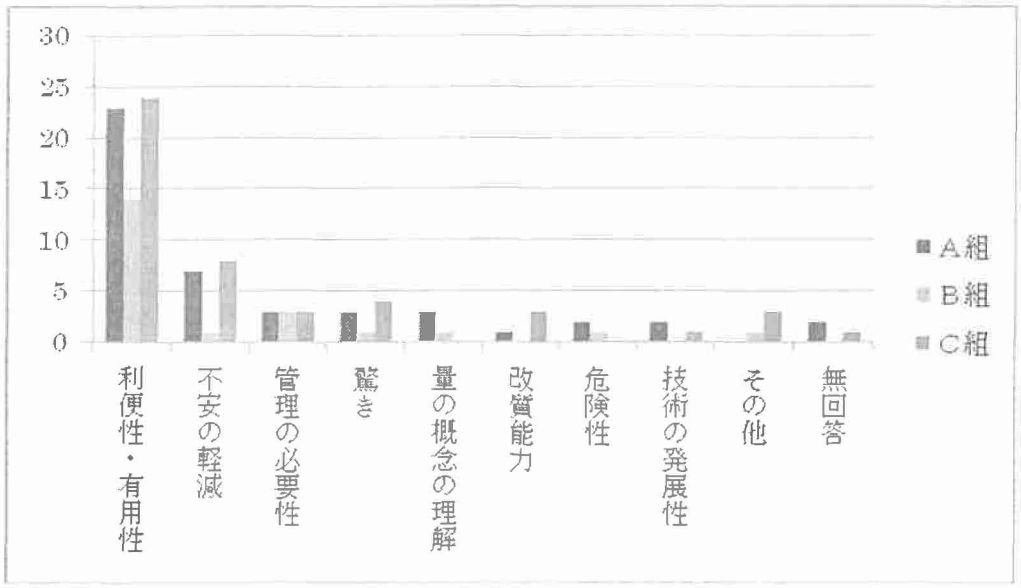
「放射線の性質と利用」の授業により，放射線の有用性について学んだことが印象・感想で記述され，多くの利用例に意外な印象を持ったようであった。具体的な事例を紹介することで，放射線の有益性の理解が深まると考えられる。ただし，1 名の生徒に「怖い」とのネガティブな回答があった。

なお，生徒たちの「放射線・放射能」への感想としては，放射線の性質・利用の学習の総合として，利便性・有用性を強く理解しているとともに，学習したことへの感謝や知識習得の必要性が記述されている。

これは，これまでのネガティブな印象に対する反省ともみられ，正確な知識を有することの重要性を認識した結果と評価できる。他に疑問を提起し，技術の発展性・将来への関与など興味が膨らんだ回答があり，本授業の教育効果が認められる。

「放射線の性質と利用」 授業後の放射線に対する印象（重複回答）

（単位：名）

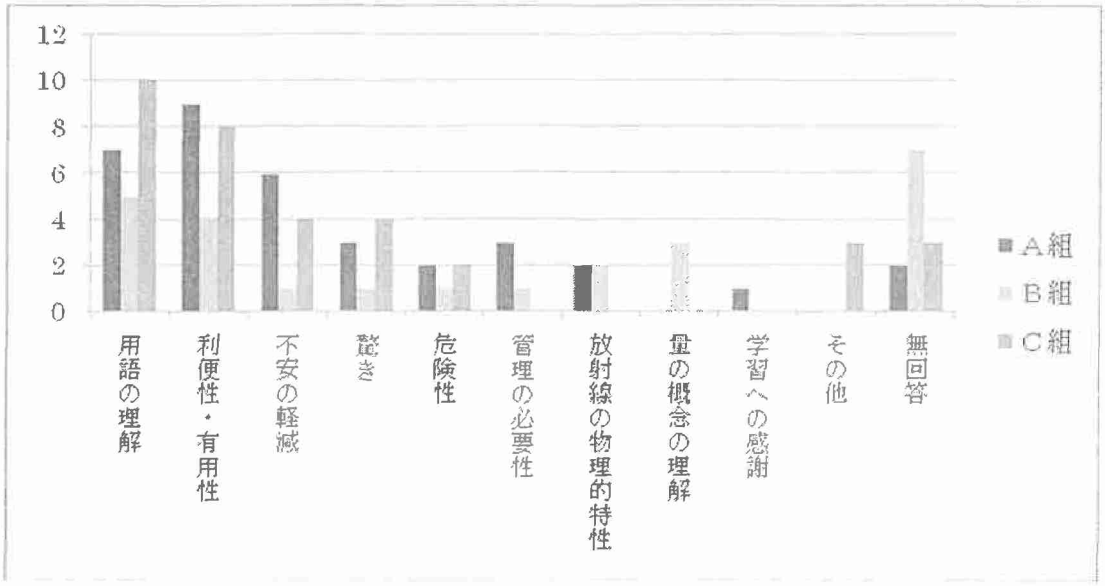


3 「自然放射線」(2時限目)の分析

「自然放射線」の測定の授業により，放射線が自分の身の回りにあることの理解が驚きと共に深まり，わずかな量の放射線に対する安心感が持てたようであった。ただし，1 名の生徒に「大量に浴びると危険だからこわい」とのネガティブな回答があった。

「自然放射線」 授業後の放射線に対する印象(重複回答)

(単位:名)

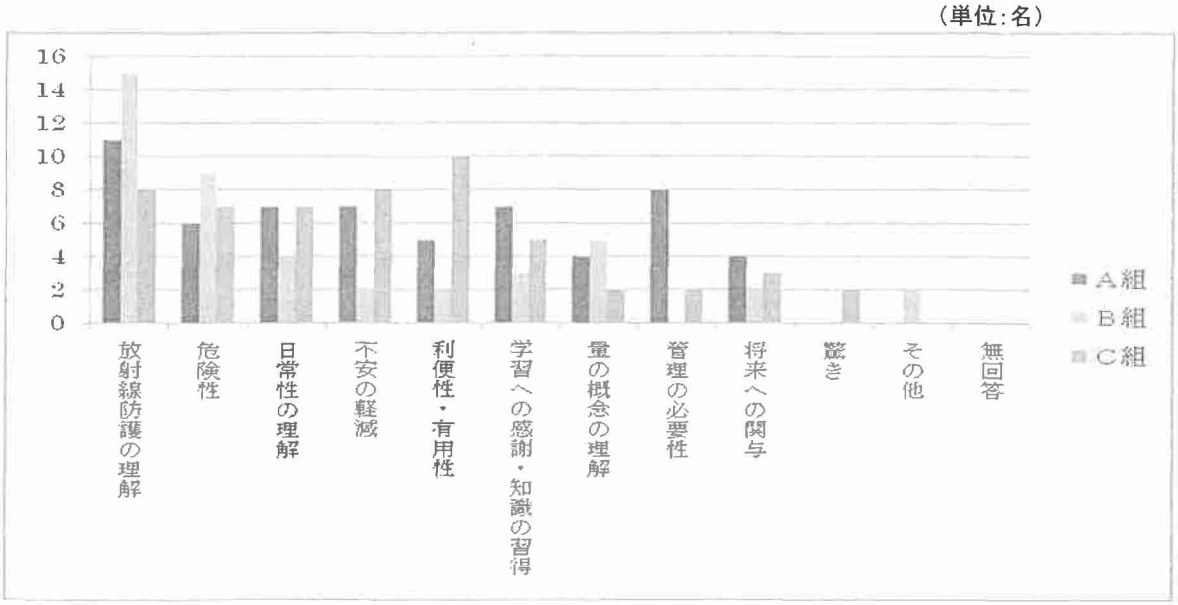


4 「放射線の防護」(3時限目)の分析

「放射線の防護」の授業により，実験で学んだ防護の方法の知識を習得した記述が見えるが，「怖い・危ない・危険」との記述もあった。これは2時限目の「自然放射線」の測定値より少し大きな測定値を扱って遮蔽実験を行ったことが原因と推定され，量の多い放射線への警戒心が喚起されたものと推定される。今後の生徒への働きかけ方への課題と考えられる。

「放射線の防護」 授業後の放射線に対する印象(重複回答)

(単位:名)



ワークシートから総合的に評価をする

今回の放射線授業の効果は大きいと考えられる。総論として,「放射線は身近にあるものであること」,「少量ならば問題ないが,大量に受けると危険であること」の理解が深まり,「距離・遮蔽・時間」の防護の三原則の知識を習得できたものと判断する。

授業前に予備知識として調査した時点では,「放射線・放射能・原子力」に関して,知識が少なく,危険なものとの印象が多かったが,放射線授業により以下の効果が得られた。

① 「放射線の性質と利用」の勉強により,有益なものであるとの認識を持つようになった。

② 「はかるくん」で自然界の放射線を測定したことにより,自分の身近にあるものとの理解が驚きと共に深まった。

③ 遮蔽や距離の変化の実験を通じて,放射線の防護に対する基礎的な知識の習得が図れた。

さらに,将来放射線に関する仕事をする時には気をつけようと思った,と記述した生徒もいた。しかし,3時間の授業を終了しても,86名中13名(15%)の生徒は,放射線に対し,「危険」・「危ない」との印象を持っている。この15%は決して小さな数字ではないと考える。

船底塗料を線源として実験をした3時目の実験は,高くても毎時 0.7μシーベルトであり,自然界の10～20倍程度の値である。決して線量的に多いものではないが,放射線の量が多いと不安と感じることは放射線防護の観点からは健全な姿勢と言える。

今後は線量限度などの導入を図り,量的に危険か安全かのイメージが持てる領域に踏み込んだ教育に取り組む必要性を感じる。

今後の課題として

① 測定結果を表としてまとめているが,グラフ表示をすることにより,比例関係かそうでないか理解でき,定量的な関係に対して更なる疑問の喚起が図れる。

② 生徒に「更に知りたいこと」を求めるアンケートがあるとよかった。

③ どの程度の線量に対して人体影響,生物学的影響があるのか,そこから線量限度がどう導かれてきているかに関して取り組む必要がある。

＜回収したワークシートの数＞ (単位:名)

授業 / クラス	事前調査	①放射線の性質と利用	②自然放射線	③放射線の防護	クラス全体
A組		27	26	26	29
B組	26	23	24	23	27
C組		28	22	28	29
計	26	78	72	77	85

実践報告内容と講師についての受講者の評価

	A. 妥　当	B. どちらともいえない	C. 改善が必要	無回答	合計
内　容	34　(85.0)	6　(15.0)	0　(0.0)	0　(0.0)	40 (100.0)
講　師	31　(77.5)	8　(20.0)	0　(0.0)	1　(2.5)	40 (100.0)

数値は人数（　）内は%

実践報告の内容について

A. ◆　的を絞った授業内容が大変参考になりました。
- ◆　実践内容がよくわかり、困難点などや活用もわかりやすく生徒も問題意識をもって学習できたことでしょう。
- ◆　かなり計画的に授業を行っていたことがわかった。
- ◆　大変具体的にPP資料をつくられ提示して頂けて参考になりました。
- ◆　詳しい資料を出していただき参考になります。
- ◆　生徒の発想や興味の流れに合う展開をされており、小学校での理科教育の延長上にあるものと考えられるので好感がもてました（小学校管理職教員）。
- ◆　大変詳しく具体的かつ実践による発表だったのでよかった。
- ◆　子どもにとっても分かりやすい授業の組み立てをなさっていてとても参考になりました。
- ◆　活動がよくわかった。
- ◆　参考にして今すぐにでも実施できそうでよい。

Cに○を付けた者はいなかった。以下は希望程度
- ◆　できれば霧箱も入れてほしかった。
- ◆　エネルギーとの関連がほしかった。実践できそう。

講師について

A. ◆　授業で工夫された点、苦労した点等、実践上で役立つ内容を具体的に説明された。
- ◆　よく準備をされました。
- ◆　エピソードもふまえて分かりやすく説明していただき自分の授業のイメージにつながりました。
- ◆　発表準備大変だったと思います。とても今後の授業に役立ちそうだと感じられました。おつかれ様でした。
- ◆　昨年に引き続きの実践報告で2回目というのもすばらしかった。
- ◆　3時間の枠の中で数多くの内容を盛り込めることがわかった。
- ◆　実践の内容がよく理解できた。
- ◆　熱心さが伝わってきます。

Cに○を付けた者はいなかった。以下は感想程度
- ◆　内容が多く時間の制約があったかもしれないが、もう少し間をとって話された方が聞きやすいと思います。
- ◆　早口で忙しいイメージだった。
- ◆　少し説明が早い気がします。もっとゆっくりの方が良いでしょう。

（以上の感想は報告の分量が多すぎたためであろう）

自由記述は書かれてあったものすべてを原文のまま記載した。

（受講者の評価集計責任:黒杭　清治）

第４章　勉強会・セミナー
その他の資料

この章では、学校での放射線教育指導のための資料を第1部から第3部に分けて、及び放射線影響の理解に役立つと思われるセミナーそなどの会合での配布資料から数点を選んで収録した。

放射線学習指導資料

中学校・高等学校における放射線に関する学習指導の手引き

(改訂版)

2010年3月

NPO法人放射線教育フォーラム

放射線学習指導資料

—中学校・高等学校における放射線に関する学習指導の手引き(改訂版)—

目　次

（第一部）放射線・放射能の基礎

はじめに——本資料作成の趣旨など…… 1

1．放射線・放射能発見以来の歴史……2

2．放射線・放射能の基礎……4

2−1　大きい世界、小さい世界を眺めて見よう……4

（指導のねらい）量的観念の重要性について……5

2−2　原子と分子、原子核と軌道電子……6

2−3　原子核の構造と安定性……7

2−4　放射性同位体と半減期……8

2−5　核分裂……9

2−6　原子炉と原子力発電……10

2−7　核燃料と核燃料サイクル……11

2−8　放射性廃棄物処理……13

（トピックス 1）プルトニウムについて……14

（トピックス 2）放射性元素はどのようにして生まれたか……16

（トピックス 3）臨界と天然原子炉……18

（トピックス 4）核融合……19

3．日常生活と放射線……21

4．放射線の性質……24

5．放射線の利用……25

5−1　医学的利用……25

5−2　産業への利用……27

6．放射線の人体への影響……30

6−1　放射線が安全か安全でないかは量で決まる……30

6−2　高線量放射線の影響……31

6−3　低線量・低線量率放射線の影響……32

6−4　身体と放射線……33

7．放射線の防護——放射線はどのように防ぐか……34

(Q&A)「少量の放射線被ばく(約 100 ミリシーベルト以下)は心配する必要がない理由」……36

8．おわりに——エネルギー問題・原子力・放射線に関する教育について……37

9．参考文献リスト……38

第二部　「放射線実習の手引書」……39

第三部　「放射線の性質と利用」学習指導事例案……51

-はじめに――本資料作成の趣旨など

学習指導要領が改訂され（平成２３年度から全面実施）、中学校で約 30 年ぶりに理科（第一分野）で「科学技術と人間」のところで、エネルギー資源に関連して、「放射線の性質と利用にも触れること」という、やや消極的な表現ながら放射線のことが取り扱われることになった。これに関して学習指導要領解説では、人間が水力、火力、エネルギー資源などを利用していることを教える際に、「原子力発電ではウランなどの核燃料からエネルギーを取り出していること、核燃料は放射線をだしていることや放射線は自然界にも存在すること、放射線は透過性などをもち、医療や製造業などで利用していることなどにも触れる」というように教えるべき内容の説明がされている。

NPO 法人放射線教育フォーラムは、社会及び学校における放射線やエネルギー問題に関する正しい知識の普及を目指して活動しているボランタリー組織であるが、すべての中学校においてこの改訂に沿って放射線に関する教育指導が行われるよう、心から願っており、この目的のために組織を挙げて協力をしようとしている。この教師用指導資料の作成はその努力の一つである。

資料作成の参考にするために、最近全国の中学校の理科の教員にアンケート調査（5,000 校に発送、23%回収）を行ったが、その集計結果によれば、中学校での放射線教育に関する 30 年の空白の影響は大きく、中学校の理科の教員でこれまで放射線に関して断片的にでも授業で取り上げた経験のあるのは 50%以下で、また教員自身も学校で放射線を習ったことがない割合が 30%もあった。(アンケートの集計結果については、放射線教育フォーラムのホームページで公開している。)

本資料の作成に当たっては、編集者の判断で放射線に関連して重要と考える諸項目について、上記の学習指導要領解説で述べられた項目に限定せず、教員の方々が基本的知識として学んでいただけるよう、多数の文献を参考にしてできるだけ簡潔に記述した。教員の方々におかれては、各項目についてのご自身の興味と重要度に関する価値判断に応じて、また実際に利用可能な年間の授業時間に応じて、自由に取り扱っていただくことを期待する。

ただし、放射線に関する教育では、何等かの放射線測定器を使用して、生徒１人１人ずつは無理でもデモンストレーションでよいので、この環境に自然放射線があることを実感させることが、教育上極めて有効であるので、このことは義務教育の段階でぜひとも行っていただきたいことである。本資料でも放射線実習について、特別に解説を加えた。

本資料は、あとの「奥書」にあるように、文部科学省の公募プロジェクトのテーマ「原子力に対する信頼醸成のための社会学的アプローチ」の研究課題「学校教育現場との対話に基づく原子力・放射線学習プログラム開発」(研究代表者：北海道大学大学院杉山憲一郎教授)からの委託事業として実施されたものである。2008 年度は中学校の教員を対象として、比較的基本的な問題を取り上げて「試作版」としたが、今年度は、高等学校での教育のために少し高度の内容を含んだものを加えて、中学校・高校共通のものとした。次年度の計画では、教員の方々のご要望に沿って、授業で直ぐに利用できるような資料とその解説を作成することを計画している。

本資料の読者におかれては、この資料を利用して実際に教室で実践を行っていただき、その結果を今後の標準的資料の作成に役立てたいので、その方式でのご協力を心から希望する。また、放射線は基礎的にも応用的にも多岐にわたる専門的分野に関連しているので、現在の資料による記述だけでは理解しにくい箇所が少なくないであろうと考えられる。その場合は私どもに質問の形式でご連絡いただければ、出来る限りご要望にお答えしたいと考えている。

2010 年 3 月　　放射線に関する教育資料作成委員会委員長
（NPO 法人放射線教育フォーラム事務局長）　松浦辰男

１．　放射線・放射能発見以来の歴史

レントゲンのＸ線の発見、キュリー夫妻の放射能発見から 100 年以上の歳月が過ぎました。これまでの研究によって、私たちが住む地球や無限のかなたに広がる宇宙の事柄がわかり、物質や生物の身体やをつくっている限りなく小さな電子やクォークなどの基本粒子の世界が見えてきました。放射線、同位体、原子核、素粒子関連のノーベル賞の授与数は６０件を超えています。

レントゲンによるＸ線の発見は、ベクレルによるウランからの放射線の発見、キュリー夫妻のラジウムの発見やラザフォードの放射性元素の壊変説につながりました。当時、ベルリンに留学していた長岡半太郎からＸ線の発見が伝えられ、Ｘ線の発見の翌年、日本でもＸ線写真の撮影に成功しました。

レントゲンは真空管の中で放電させて飛び出す陰極線がガラスにぶつかり、強い蛍光を出す実験をしている時、ガラスから輻射線（Ｘ線）が出ていることを発見しました。フランスの数学者ポアンカレーは太陽の紫外線により蛍光を発するウラン化合物などの結晶からも蛍光線とともに輻射線が出ているかも知れないとベクレルに伝え、蛍光現象を研究していたベクレルは紫外線がなくても輻射線（ベクレル線、放射線）が出ていること、さらに蛍光性のない金属ウランからも「放射線」が出ていることを発見しました。マリー・キュリーは放射線の発生現象の研究に取り組み、夫のピエールが発明したピエゾ電位計を用いて多数の化合物について放射線の強度を明らかにし、さらに、ウラン化合物からウランよりももっと多量の放射線を出す性質をもつ放射性元素、ポロニウムとラジウムの取り出しに成功し、「放射能」（放射線を放出する能力）という用語を始めて使用しました。ついでラザフォードは、トリウムから出るラドン（約１分間の半減期を持つ）を使用して実験し、元素の不変説を見直して、放射性元素の壊変説と崩壊理論を発表しました。このようにしてＸ線、放射線、放射能の研究の夜明けとなりました。

それから英国ケンブリッジ大学のキャベンディシュ研究所では素粒子の研究が始まり、トムソン、ラザフォード、ウィルソンやアストンを輩出しました。この頃、アインシュタインは特殊相対性理論を発表し、質量とエネルギーの等価式を導き、200 年も続いたニュートン力学に代わる新しい物理学の考え方を示しました。日本では長岡半太郎、飯盛里安らの科学者が活躍しました。さらに素粒子と原子核研究の中でラザフォード、ジョリオ・キュリー夫妻、チャドウィック、フェルミらの活躍があり、核分裂の発見がありましたが、これが直ぐに第二次大戦で原子爆弾の投下という目的に使われたのは不幸なことでした。戦後、原子力の平和利用が唱えられ、放射線・放射能利用が進み、現在は原子力発電の利用や素粒子研究の進展へと続いています。

放射線・放射能関連年表（太字はノーベル章受賞者）

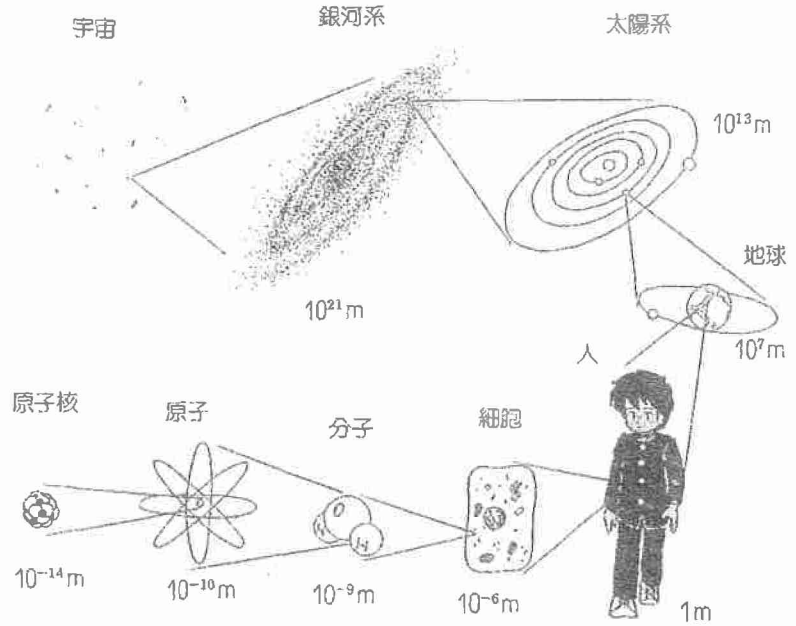
１８９５年	**レントゲン**（独）　Ｘ線の発見
１８９６年	**ベクレル**（仏）　ウラン鉱からの放射線の放出を発見
	山川健次郎（東京帝国大学）、村岡範為馳（第三高等学校）と島津源蔵（京都島津製作所）によるＸ線写真撮影の成功
１８９７年	**トムソン**（英）　電子の存在を確認
１８９８年	**マリーとピエール・キュリー夫妻**（仏）　放射性元素のポロニウムとラジウムを発見
１８９９年	**ラザフォード**(英)　アルファ線、ベータ線の性質の解明
１９０３年	**ラザフォードとソディー**(英)　放射性元素の壊変説を発表
	長岡半太郎（日）　土星型原子模型を発表
１９０５年	**アインシュタイン**（独）　特殊相対性理論を発表
１９１０年	ヘス（オーストリア）　宇宙線を発見

１９１１年　ウイルソン（英）　霧箱を発明
１９１３年　ボーア（デンマーク）　原子模型を発表
モーズリー(英)　元素と固有Ｘ線との関係を発見
１９１９年　ラザフォード(英)　アルファ粒子による原子核の人工変換の成功と陽子の発見
１９２７年　マラー(米)　キイロショウジョウバエを用いＸ線による突然変異の発見
１９２８年　ガイガーとミュラー（英）　GM管を発明
１９３２年　チャドウィック(英)　中性子を発見
１９３４年　フレデリック・ジョリオとイレーヌ・ジョリオ・キューリー夫妻（仏）
人工放射性同位元素を発見
フェルミ(伊)ら　中性子による原子核の人工変換に成功
１９３５年　湯川秀樹（日）　中間子の存在を予測
１９３９年　ハーンとシュトラスマン(独)　ウランの原子核分裂を発見
１９４３年　オッペンハイマー（米）ロス・アラモ研究所所長に就任、原爆製造に取り組む
１９４５年　原子爆弾投下（広島：ウラン型15kt、長崎：プロトニウム型22kt）
１９５０年　国際放射線防護委員会（ICRP）発足
１９５２年　ハーシー（米）　P-32トレーサー実験でDNAは遺伝子であると発表
１９５４年　カルビン（米)ら　C-14を用い、植物の光合成反応を解明
ビキニ環礁で水爆実験、第五福龍丸乗務員が被災
１９５５年　第１回国連原子力平和利用国際会議（ジュネーブ）
日本で原子力基本法成立（平和利用三原則、民主的、自主的、公開）
１９５６年　国際原子力機関（IAEA）設立、日本参加10月26日
黒田和夫（米）地球上に天然の原子炉が約20億年前に存在したことを予言
１９５９年　バーソン、ヤロー（米）ラジオイムノアッセイ法を開発
１９６３年　10月26日　日本原子力発電所で原子力発電試験に成功、2400ｋW
後にこの日を「原子力の日」と定められた
１９６４年　ゲルマン(米)とツワイク(米)　クォーク理論を提唱
１９７２年　フランス原子力庁、アフリカで17億年前の天然原子炉を発見
ホンズフィルド(英)　Ｘ線コンピュータ断層撮影法（CT）を開発
日本で放射線照射じゃがいもを食品として認可
１９７５年　フェルプス（米）ポジトロン断層撮影法（PET）の実用化
１９８０年　ラッケイ（米）放射線ホルミシス効果を提唱
１９８６年　チェルノブイリ原子力発電所事故
１９９４年　米フェルミ国立加速器研究所で最後の基本粒子、トップクォークを確認
１９９９年　東海村JCO施設での臨界事故
２００２年　小柴昌俊（日）宇宙からのニュートリノ観測でノーベル物理学賞を受賞
２００４年　理化学研究所　日本初の１１３番新元素を発見
２００５年　国際熱核融合実験炉の建設地がフランス（欧州連合、EU）に決定
２００８年　南部洋一郎（米）、小林　誠（日）、益川敏英（日）　素粒子物理学の理論づくりに貢献したことでノーベル物理学賞を受賞
２００９年　原子力発電プラントの現状（日本の発電施設　５３基　４８百万kW、
世界の発電施設　４３２基　３９０百万kW）

２．放射線・放射能の基礎

２－１　大きい世界、小さい世界を眺めてみよう

宇宙の一角に銀河系があり、その中に太陽系があります。太陽のまわりに水星、金星、地球、火星、木星、土星などの惑星がまわっています。地球はわれわれ人類が住む美しい天体です。人の体はたくさんの細胞からできていますが、その小さい細胞も、無数の原子からできています。



（図２－１、ものの大きさ、日本アイソトープ協会「放射線のＡＢＣ」より）

これから勉強するアルファ線、ベータ線、ガンマ線などの放射線は、実は原子よりもさらに小さいところ、すなわちあとで説明しますが原子核のなかで誕生するのです。

この図で示したように、大きな数量・小さな数量の表し方については、10 の何乗、10 のマイナス何乗という表し方がゼロをたくさんならべるよりも能率的な方法です。また、その代わりに、キロ（k、10^3）とかセンチ（c、10^{-2}）、ミリ（m、10^{-3}）などの補助的な記号を主な単位の記号につけて表す方法があることを知る必要があります

（表２－１、補助的な記号とその読み）

倍数	記号	読み	倍数	記号	読み	倍数	記号	読み	倍数	記号	読み
10^{18}	E	ｴｸｻ	10^{6}	M	ﾒｶﾞ	10^{-1}	d	ﾃﾞｼ	10^{-9}	n	ﾅﾉ
10^{15}	P	ﾍﾟﾀ	10^{3}	k	ｷﾛ	10^{-2}	c	ｾﾝﾁ	10^{-12}	p	ﾋﾟｺ
10^{12}	T	ﾃﾗ	10^{2}	h	ﾍｸﾄ	10^{-3}	m	ﾐﾘ	10^{-15}	f	ﾌｪﾑﾄ
10^{9}	G	ｷﾞｶﾞ	10^{1}	da	ﾃﾞｶ	10^{-6}	μ	ﾏｲｸﾛ	10^{-18}	a	ｱﾄ

（指導のねらい）－　定量的理解を心がけることの重要性について

われわれの身の回りに存在する全てのものにはある大きさと形（またある重さ）をもっている物体もしくは物質、（それらの大部分は人間の目に見えるが小さくて目に見えないものもある）と、現象としては存在するが物質としてではなく（熱や光のような）「エネルギー」というある作用をする能力だけをもっているものに分類できます。

すべての物質やエネルギーの性質を理解し、人間の役に立つように利用するには、そのものがもっている性質をできるだけ定量的に理解するとともに、その性質が種々の条件でどのように変わりうるか、またある価値判断に応じて取捨選択する努力が必要です。

この章では物質の大きさを数量的に考えて見ました。図 2－1 はあらゆる物質の大きさをメートルの単位を用いてあらわしたものです。このとき、極端に大きかったり小さかったりしたときは通常の数値によらず「対数」「指数」を用いることが合理的であり、また（キロとかミリとかいった）補助単位を用いれば便利であることがわかります。

物質の性質には、大きさとか重さなどのように、直観的に容易に理解できるもののほかに、密度（単位体積あたりの重量）とか速度（単位時間あたりに動いた距離）のように、2 種類以上の単位が組み合わさったものがあります。それらの実例を表 2－2 に示します。

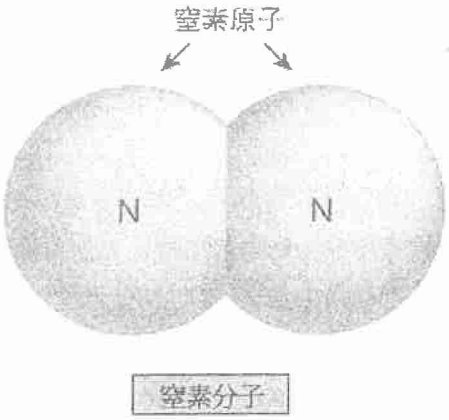
（表 2－2）「基本的単位と組み合わされた単位」

名称	物理的意味	単位名　　記号
大きさ	空間的広がりの大きさ(1 次元)	メートル　　m
質量	物質の基本的な量	キログラム　　kg
時間		秒　　s
大きさ	(2 次元的－面積)	平方メートル　m^2
大きさ	(3 次元的－体積)	立方メートル　m^3
密度	単位体積当たりの質量	g/cm^3 、kg/m^3 など
速度	単位時間当たりの距離	m/s、 km/ h　など
加速度	単位時間当たりの速度増加率	m/s^2
運動量	質量×速度	kg・m/s
力	質量×加速度	ニュートン　N(＝kg・m/s^2)
圧力	単位面積当たりの力	パスカル　　Pa(＝N/m^2)
仕事、エネルギー	(力×距離、1 N の力で 1m を動かすときの仕事)	ジュール　J
位置のエネルギー	(Ep)＝　質量×重力加速度×高さ	
運動のエネルギー	(Ek)＝　1/2　×質量×（速度）^{2}	
熱量	熱のｴﾈﾙｷﾞｰ	カロリー　cal(＝4.184 J)
	(小さいエネルギー単位)	ｴﾚｸﾄﾛﾝﾎﾞﾙﾄ eV (= 1.602×10^{-19}J)
仕事率	単位時間あたりの仕事	ワット　　W(＝J /s)
放射線量	単位質量当たりの吸収ｴﾈﾙｷﾞｰ	グレイ(Gy) , シーベルト（Sv）
放射線量率	単位時間当たりの放射線量	Gy/s, Sv/hr, mSv/year など
放射性物質の量	単位時間当たりの放射性原子の壊変数	ベクレル（Bq）

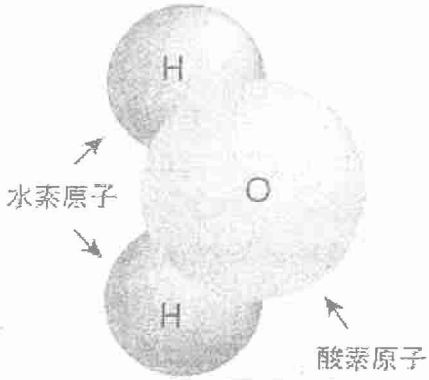
2 - 2　原子と分子、原子核と軌道電子

高性能の電子顕微鏡などを使うと分子や原子をひとつひとつ“見る”ことができます。これらの測定器で観察すると、物質はすべて分子や原子が無数に集合したものだということがわかります。

普段なにげなく呼吸している空気も酸素分子と窒素分子の集まりです。空気中に最も多く存在する窒素分子は左下の絵のように2個の同じ種類の粒子がつながった構造をしています。それぞれの粒子を窒素原子といいます。酸素分子も2個の酸素原子からできています。水分子はどうでしょう。こちらは右下の図のように2個の水素原子で1個の酸素原子をはさんだ形をしています。



窒素分子



水分子

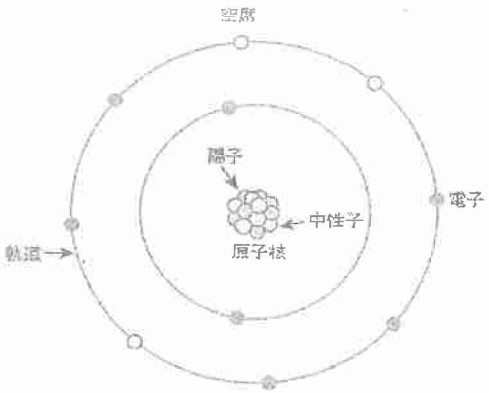
このように、分子はいろいろな原子の組み合わせで成り立っています。ただ1個の原子のみで構成される分子もあれば、遺伝をつかさどる分子として知られるDNA（デオキシリボ核酸）のように数十万個以上の原子が鎖のようにつながったものもあります。

今度は原子の構造を見てみましょう。右の図は窒素原子の構造をわかりやすく表したものです。

中心の粒子は原子核と呼ばれ、その周囲を電子が運動しています。原子核はプラスの電気を、電子はマイナスの電気を持ち、お互いに電気的な力で引き合っています。

この電気的な引力のために、電子は勢いよく運動しているにもかかわらず。勝手にどこかに行ってしまうことはありません。ちょうど、地球や火星などの惑星が太陽の周りを重力で引っ張られて軌道を描いて回転しているのに似ています。このように、原子核のまわりに束縛されている電子を軌道電子といいます。

軌道電子の一部が何かの原因で失われているときは、原子全体は電気的に中性でなくなり、プラスの電気を持ちます。このような状態になることを電離といい、これをイオン（陽イオン）といいます。場合によっては、原子のまわりに電子が中性より多い状態になることがあります。この状態を陰イオンといいます。



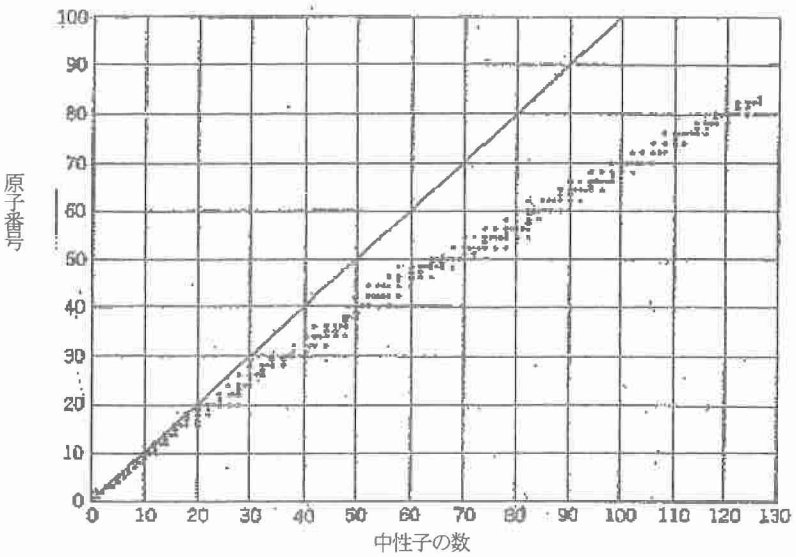
窒素原子の模式図

原子核の大きさは10^{-15}メートル程度です。それはプラスの電荷をもっている陽子と、陽子とほぼ同じ大きさで電荷をもたない中性子からできています。

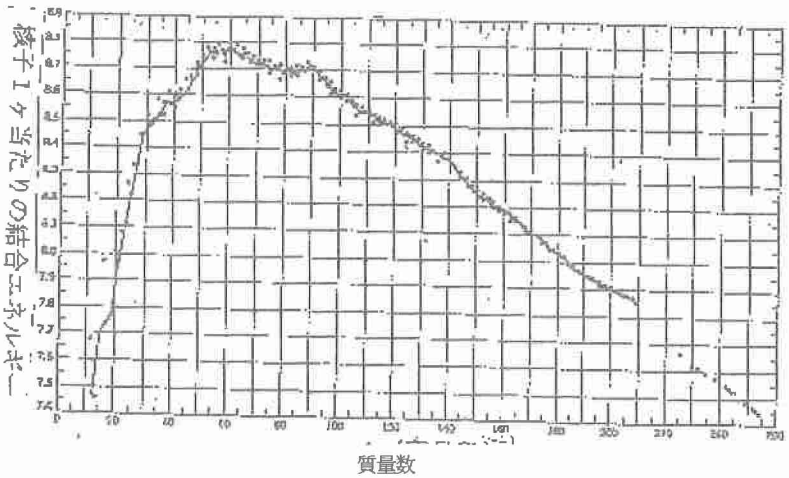
2 - 3　原子核の構造と安定性

陽子と中性子、質量数と同位体　原子核は陽子と中性子からなっていて、陽子の数は原子番号（Z）に等しく、原子核のまわりにまわっている電子の数に等しいので、陽子の数が原子の化学的性質をきめます。陽子の数と中性子の数の和を質量数といいます。陽子の数が同じで中性子の数（すなわち質量数）が違う原子を同位体といいます。（このような原子核の種類を表すのに、例えば^{1}H、^{2}H、^{3}H、^{12}C、^{14}C、^{235}U、^{238}Uというように元素記号の左上に質量数を小さい数字で付けて表します。このとき元素記号の左下に原子番号を小さく付けることもあります。^{238}UをU-238と表すこともあります。）

原子核の安定性と放射性同位体　一般に原子核の中に複数の陽子があると、陽子のプラス電荷同士が反発して不安定になるので、原子核内に存在する中性子が核力という強い引力を働かせてつなぎとめる役割を果たしています。安定に存在している同位体について陽子に対する中性子の割合を調べると、原子核が比較的小さいときはその比はほぼ１：１ですが、原子核がおおきくなるに従って陽子に対する中性子の数の割合がだんだんと大きくなり、ウランでは1：1.5 以上になります。その様子を下に示します。



その原子番号を少しずつ大きくしたときの原子核の安定性を調べてみると、原子番号があまり小さくても、またあまり大きすぎても安定度は低くなり、原子番号が50 程度（すなわち元素でいうと鉄とかニッケルあたりに相当する）くらいが最も安定であることがわかります。



指導のポイント）「元素」というのは、酸素とか、水素とか、化学的性質に着目したときの原子の種類の表し方で、「核種」は原子核の種類に着目したものです。
（^{1}H、^{12}C、^{235}Uなど）

２－４　放射性同位体と半減期

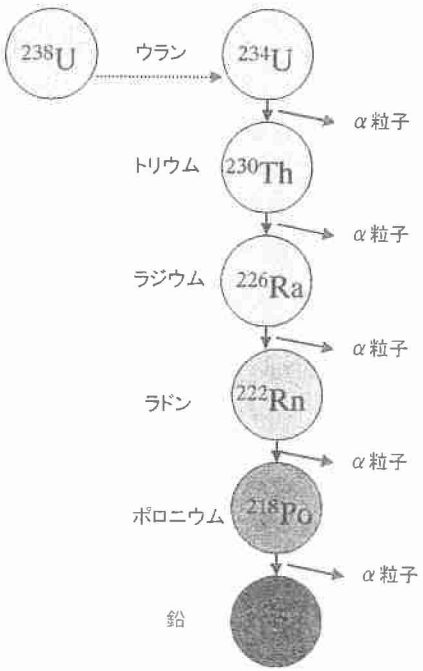
不安定な原子核は、少しでも安定になろうとして持っている余計なエネルギーをα線、β線、あるいはγ線などの放射線の形で放出して別の種類の核種に変わってゆきます。これを（放射性）壊変（又は崩壊）といいます。

α壊変　原子核の中の陽子数があまり大きくなると、中性子を増やしても原子核はもはや安定に存在できなくなります。そのときどうなるかというと、原子核から一塊りの粒子を放出して原子核の大きさを少しでも小さくします。この場合普通２個の陽子と２個の中性子が一緒になったヘリウムの原子核の形で放出します。この現象がα壊変で、放出される放射線がα線、すなわちヘリウム原子核の流れです。（その結果、元の原子核の質量数は４だけ減少し、原子番号が２だけ減少した別の元素になります。）

β壊変　原子核の中の陽子と中性子の数のバランスの悪いときも核が不安定なので、そのバランスを良くしようとします。そのときは、原子核の中で中性子が陽子に変わると同時に、電子を放出します。これがβ壊変で、そのとき放出される放射線がβ線という電子の流れです。（β線放出の結果、質量数は変わらないが原子番号が一つ上の元素になります。例えばC-14はβ崩壊をしてN-14になります。）

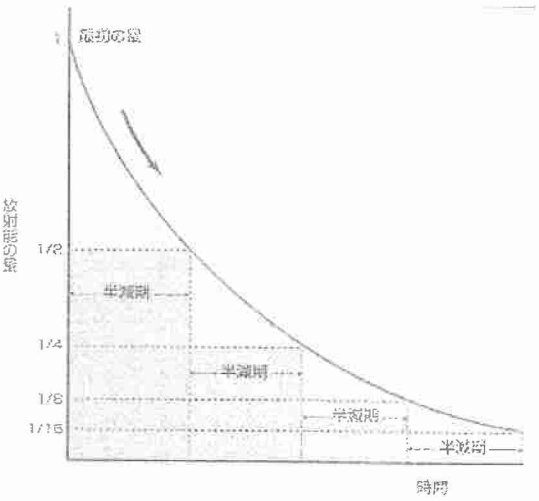
γ壊変　α線やβ線の放出直後の原子核はまだ高いエネルギーを持っていることが多く、そのときはγ線を放出して核は安定化します。γ線はX線と同様の電磁波の１種で、それが放出されても原子核の質量や原子番号は影響がなく、元の原子核のエネルギー状態は低くなっているだけです。

(壊変系列)　放射性壊変が一度だけで完全に核を安定化することはまれで、重い原子核は何度もα壊変（及びβ壊変）を繰り返して最終的に安定になります。これを壊変系列といい、ウラン系列を右上の図に示します。このウラン系列のほかにアクチニウム系列、トリウム系列、ネプツニウム系列があります。



核種	半減期
ヨウ素 131	8.0 日
コバルト 60	5.3 年
セシウム 137	30 年
ラジウム 226	1600 年
プルトニウム 239	2.4 万年
ウラン 238	45 億年

半減期　放射性である原子は、放射線を出して前より安定な別の原子に変化します。このように、放射性同位体は放射線を出しながら原子数を減らしていきます。この減り方の割合は放射能の強さ（放射性核種の原子数）が元の半分になるまでの時間（半減期）で表します。右下の図参照

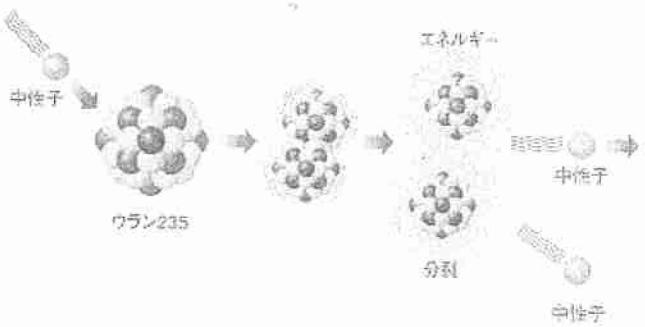


放射能の減り方

2 - 5　核分裂

天然のウランは、^{238}U が 99.3%、^{235}U が 0.7%の 2 種（正確には ^{234}U が少量ある）の同位体からできています。^{235}U の原子核は中性子を吸収して核分裂をおこしやすい性質があります。（ウランの核分裂によるエネルギーを効率的に取り出すためには、天然のウラン中の ^{235}U の割合を「濃縮」して同位体の比を高めておく必要があります。）

一方、^{238}U は、中性子を吸収すると、まず生成する ^{239}U が 2 回 β 壊変を行って ^{239}Pu になります。この ^{239}Pu は、^{235}U と同様、中性子を吸収して核分裂を起こします。



ウラン 235 の核分裂と中性子放出

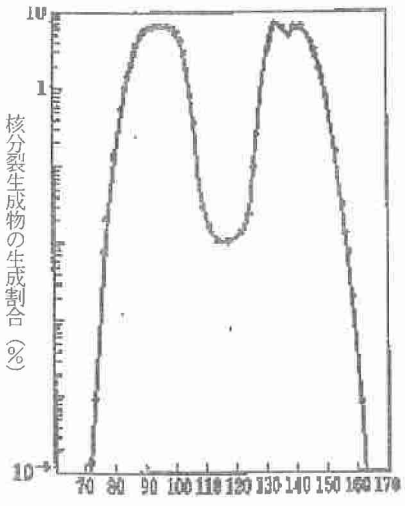
高校生のための原子カブック（茨城県）

核分裂の結果生まれたばかりの中性子は、エネルギーの高い状態の「速い中性子」であり、これがまわりの物質と何度も衝突を繰り返すと、その速度が遅くなって、「熱中性子」（まわりの原子や分子の熱運動と同じ程度の運動エネルギーをもつ中性子）になります。この熱中性子のほうがウランの核分裂を起こしやすいのです。*（そのために平和利用のための「原子炉」では、燃料のほかに中性子を減速するための「減速材」を燃料体のそばに置いてあります。）（また、核分裂で二つの原子核に分かれる仕方をよく調べてみると、大きさがちょうど半分に割れるのではなくて、図に示すように、質量数がかなり違う割合で生まれて来ることがわかっています。）*

核分裂でできた直後の「核分裂生成物」のそれぞれの原子核の中では、陽子と中性子の割合がもとのまま、すなわちその割合は中性子が過剰になっているために原子核が不安定です。そこでその原子核の中で中性子が陽子に転換し、電子を放出するという β 壊変をします。またその不安定さは 1 度の壊変では安定にならなくて、何度も β 壊変を繰り返します。この様子を図に示します。

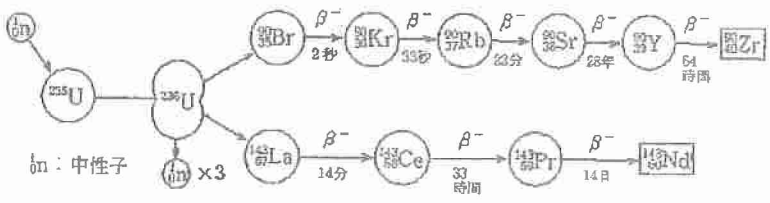
核分裂の際に大きなエネルギーが発生します。これはすぐ熱エネルギーに変わります。原子力発電ではこの熱を利用して水蒸気を作り電気を作ります。

核分裂のさいにできた中性子は燃料体のほかのウラン原子に衝突してここで核分裂を起こします。1 個の ^{235}U の核分裂の際に 2～3 個の中性子がでますから、これがすべて次の核分裂に利用されると連鎖反応は急激に進みます。原子炉では、一定の速度でこの連鎖が起こるように反応を制御して、核分裂反応のエネルギーを安全に取り出します。



遅い中性子によるウラン 235 の分裂
生成物の質量数と生成割合との関係

ウラン 235 がちょうど半分になるのではなく、質量数がかなり違う 2 つの核分裂生成物ができる。



核分裂による壊変系列の一例

放射性元素物語（松浦辰男著）

2 - 6　原子炉と原子力発電

① **原子炉**　核分裂の連鎖反応を一定のコントロールのもとに持続的に行わせる装置が原子炉です。原子炉は、濃縮ウランからなる核燃料を通常、棒状にした燃料棒、減速材（中性子の速度を遅くして核分裂しやすいようにする材料）、冷却材（核分裂の熱を炉心から取り出す媒体）、制御棒（通常は中性子を吸収しやすいカドミウムなどの材料を含んだ制御棒）、それに炉心の放射線を防ぐための遮蔽材や構造体からできています。

原子炉の運転は、制御棒を炉心に出し入れすることによって操作します。スタートするときは、制御棒を引き抜いて炉心の中性子の吸収を減らします。すると、炉は臨界を越えた状態となり、中性子の発生が吸収よりも多くなり、そして中性子の数がどんどん増え、核分裂が盛んになります。こうした予定した出力に近づくと、制御棒を入れて炉心での中性子の吸収を多くしバランスの取れた臨界の状態にします。

炉を止めたいときはこの状態から制御棒を更に入れます。そうすると未臨界の状態になり、核分裂の回数が減少し、出力はゼロに向かいます。

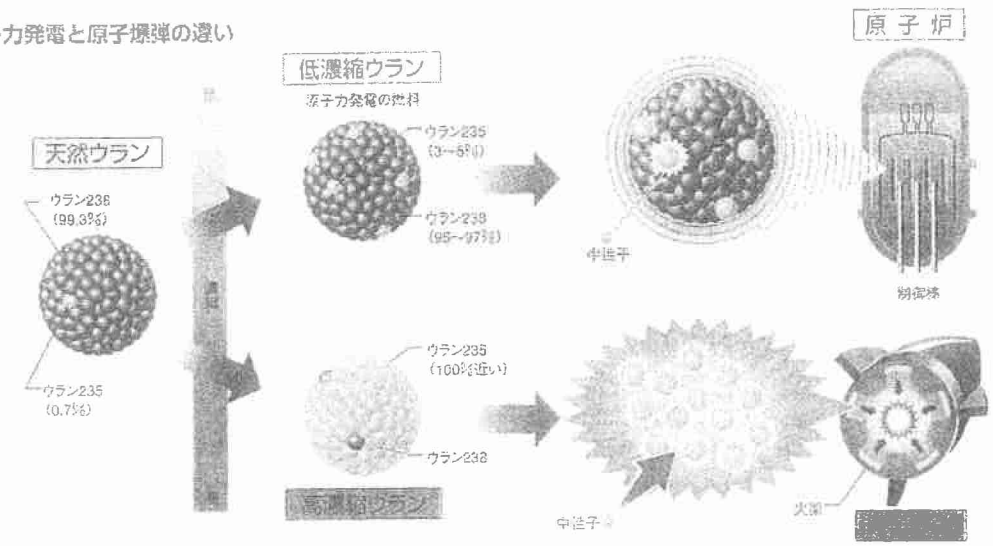
② **原子力発電の仕組み**　原子力発電の仕組みは、基本的には火力発電と変わりません。火力発電では、ボイラーで石油や石炭などを燃やし、その熱で蒸気をつくりタービンを回して発電します。原子力発電の場合は、ボイラーの代わりに原子炉を置き、この中でウランを核分裂させ、そのときに発生する熱エネルギーで蒸気をつくり、タービンを回して発電します。

③ **原子炉の種類**　原子炉にはいろいろな種類があります。大きく分けて研究用の原子炉と発電用があります。発電用の原子炉としてわが国で使われているのは、「軽水炉」です。世界でも 90％は軽水炉で、「加圧水型炉」（PWR）、「沸騰水型炉」（BWR）の 2 種類です。

④ **燃料**　原子力発電に使う燃料は、核燃料または原子燃料といいます。この燃料は天然ウランを濃縮し、成型加工し、燃料集合体に仕上げ、原子炉に装荷して利用します。

天然ウランは、核分裂しやすいウラン 235 と、核分裂しにくいウラン 238 からできています。天然ウランに含まれるウラン 235 の割合は 0.7％に過ぎないため、核分裂しやすくするため濃縮処理します。このように濃縮されたウランのことを濃縮ウランといいます。原子力発電の場合は 2～4％の「低濃縮ウラン」を使いますが、原爆のように瞬間的に核分裂を行わせるためには 90％以上の濃縮ウランが必要となります。

図1-8 原子力発電と原子爆弾の違い

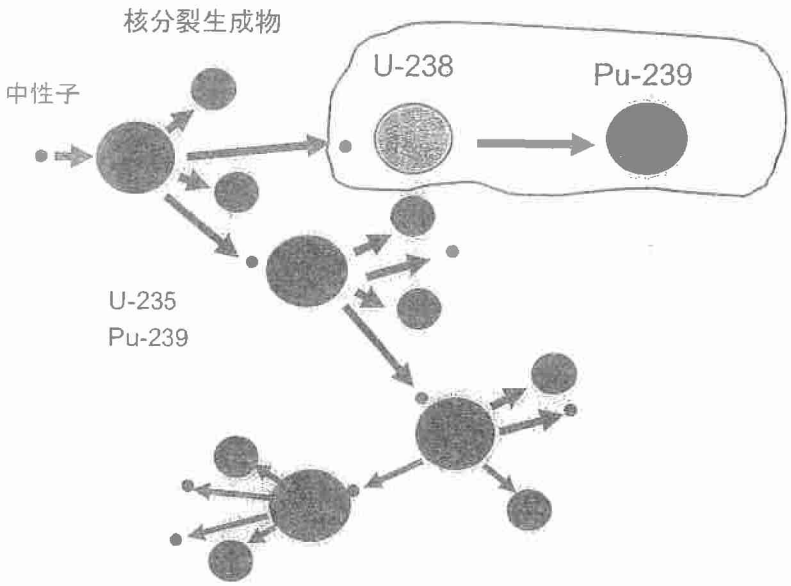


高校生のための原子力ブック（茨城県）

2－7　核燃料と核燃料サイクル

核燃料とは、ウラン（U）、プルトニウム（Pu）とトリウム（Th）の金属か化合物で原子炉の燃料として使用できる物質をいう。天然のウランは、0.7%のU-235 と 99.3%のU-238 が存在する。U-235 は原子炉内で中性子により核分裂（燃焼）するが、U-238 は核分裂しがたいが、その一部は中性子を吸収し核分裂（燃焼）可能なプルトニウム(Pu-239)に変換する。この原子炉内での核反応の模式図を下記に示す。

原子炉内でのウラン（U-235）の燃焼（核分裂）とプルトニウムの生成



この図から分かるように、U-235 が核分裂してその時に発生する中性子で次々とU-235 が連鎖的に核分裂することを原子炉が臨界になったという。このようにして核燃料を燃やした（核分裂させた）あとの使用済み燃料には、核分裂生成物とともにU-235 と Pu-239 の燃え残りが残存する。したがって、使用済み燃料を化学的に溶解し、Pu-239 を取り出し、U-238 と混ぜて再び原子炉で燃焼させることを核燃料サイクルという。この模式図を次ページに示す。

この図の各プロセスを説明すると次のようになる。

1．ウランの採鉱、精錬

ウラン鉱山で採取したウラン鉱石を溶解し、精錬し、純粋なウラン酸化物（UO2 イエローケーキ）粉末にする。

2．転換

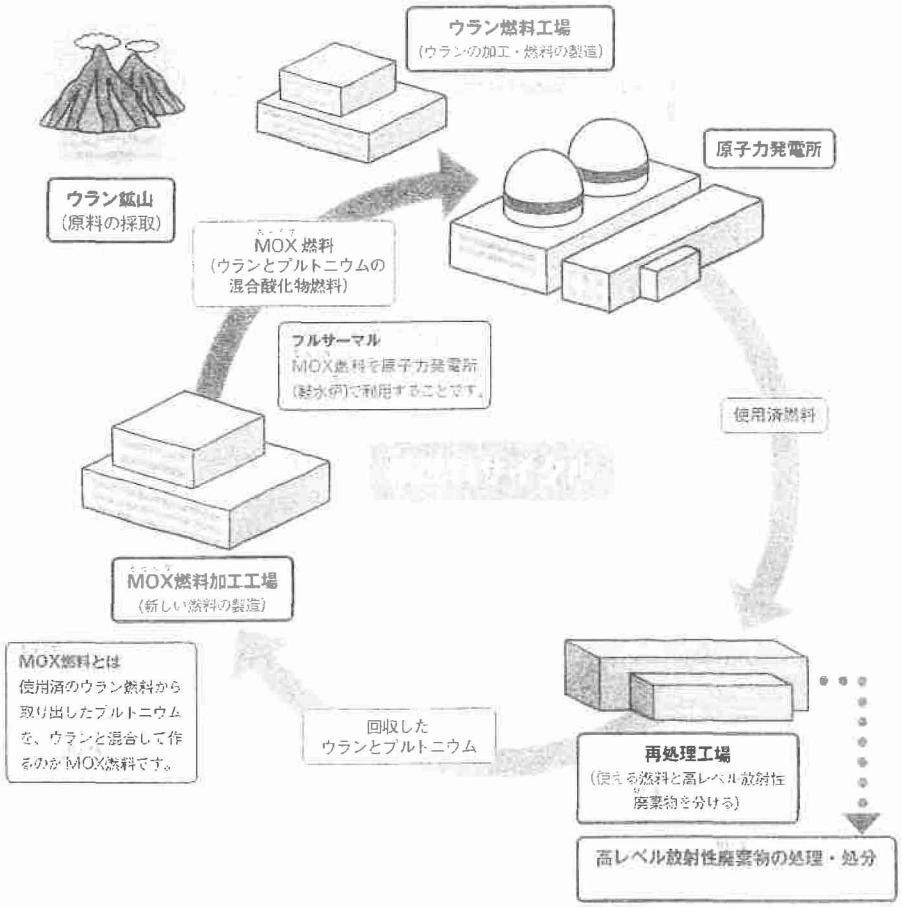
天然ウラン中の燃えるU-235 の存在率が小さいため、天然ウランをそのまま燃料とすると効率が悪く、大きな原子炉を必要とするので、U-235 濃度を高めるために固体の UO_2 から気体のフッ化ウラン（UF_6）に転換する。

3．濃縮

フッ化ウランを高速で回転する遠心分離式ウラン濃縮機により、U-235 の濃度 0.7%から 3～5%まで高める。

4．再転換

気体のウラン（UF_6）を再び、固体のウラン（UO_2）に戻す。



5．燃料成型加工工場

二酸化ウラン（UO_2）粉末を、約 1cm 径×1cm 高　の形状に加熱して焼き固めたあと、長さ約 4cm のジルコニウム製合金の被覆管に入れ、溶接封入する。さらに、この燃料棒を 9×9 または 19×19 列に束ねた燃料集合体を製造する。

6．原子力発電

この集合体を水を張った原子炉内に入れ、中性子の強さを制御しながら原子力発電を行う。

7．再処理

原子炉で使用した燃料は使用済み燃料と呼び、再処理工場に運び、濃硝酸に溶解したあと、有機溶媒を利用して、ウラン、プルトニウムと燃えかす（核分裂生成物）を分離し、さらにウランとプルトニウムを分離する。使用済み燃料の一部は中間貯蔵に保管する。

8．ＭＯＸ燃料製造工場

再処理工場で取り出したプルトニウム酸化物（PuO2）はウラン濃縮工場から出る絞りかすの劣化酸化ウラン（UO_2）と混ぜたあと、ウラン燃料工場と同じように燃料集合体を製造する。ここで、MOX 燃料とはウラン酸化物―プルトニウム酸化物混合酸化物燃料（Mixed Oxide）のことを言う。

9．廃棄物処理施設

原子炉等から発生する廃棄物は低レベル放射性廃棄物施設、再処理工場から発生する廃棄物は高レベル放射性廃棄物施設で処理後、処分場で地層処分する。

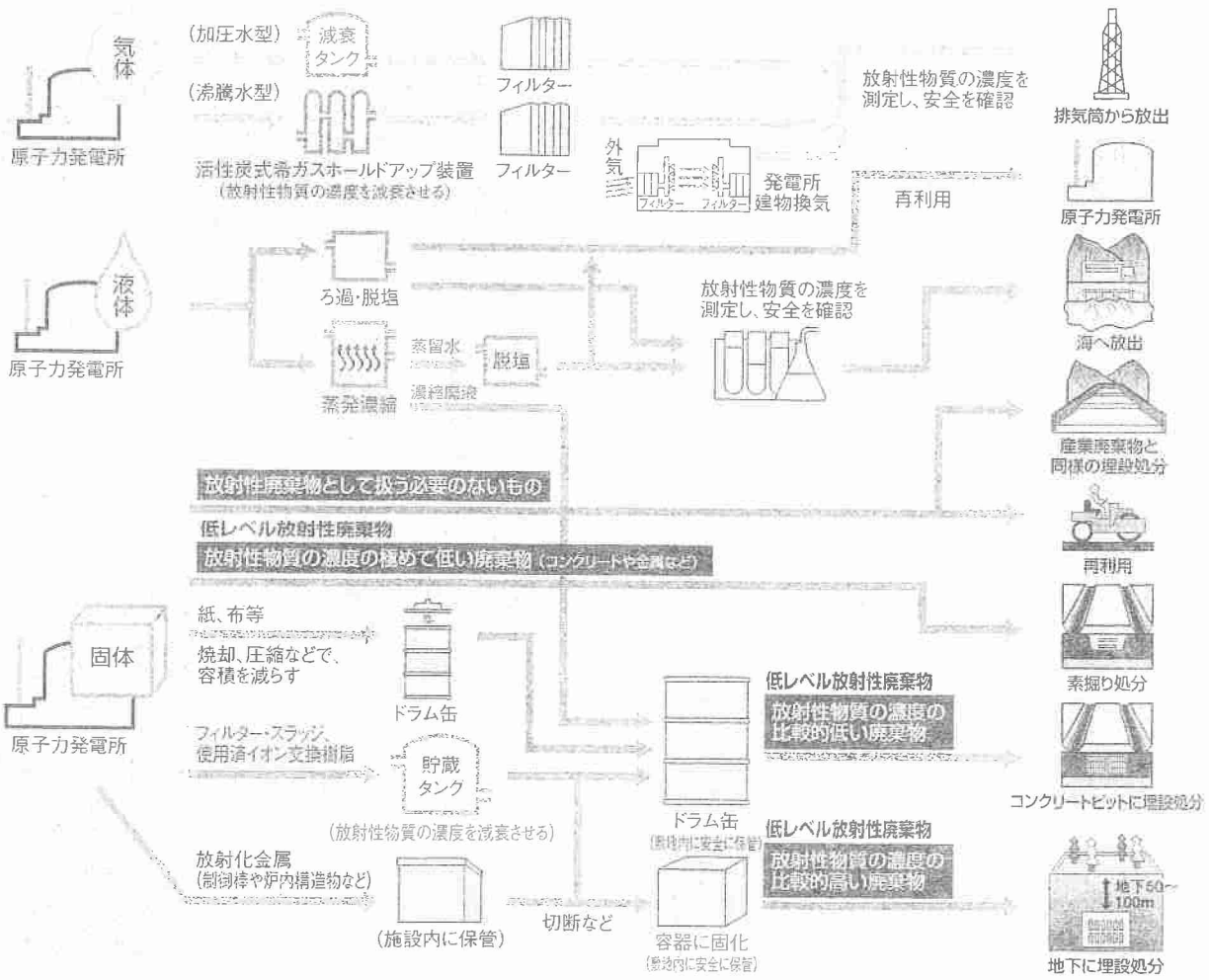
2－8　放射性廃棄物処理

原子炉の運転や放射性利用に伴ない、放射性核種が廃棄物として生じる。廃棄物の形態には気体・液体・固体の各状態があり、また放射能の強さによって便宜的に高レベル・中レベル・低レベルに分類される。

放射性廃棄物の処理（treatment, 物理的・化学的操作を加えて「処分」し易いようにすること）・処分（disposal, 再び取り出す意図なしに永久的に処分すること）の方法の原則は、廃棄物を普通の産業廃棄物よりももっと厳しく発生の段階で適切に管理して、その容積を少なくして閉じ込め、人間の環境や生物圏から隔離することである。原子力発電所で行なわれている放射性廃棄物の処理・管理の方法を図に示す。

核燃料再処理施設からは前の節で示したように、高レベルの廃棄物が生じる。これは減容、濃縮して固体状とし、セメントやアスファルト、あるいはガラス中に閉じ込め、丈夫なステンレス容器に収納して、数 100～1,000 メートルの深さで容器内部からの放射能に起因する発熱も考慮しながら「地層処分」するのが最も良いとされている。

■原子力発電所の運転に伴って発生する廃棄物の処分の概要



（トピックス１）プルトニウムについて

１．プルトニウムの発見の歴史

プルトニウムは原子番号 94 の天然には存在しない元素です。元素記号は Pu。密度 19.9 $g\,cm^{-3}$。（密度というと、ウランの密度は 18.7、金が 19.3、鉛が 11.34、銀は 10.50、銅は 8.93、鉄は 7.86、アルミニウムは 2.69。）

プルトニウムは同位体が 15 種類あります（質量数 232～246 まで）。すべて放射性で、最も重要なのは核分裂する性質のある ^{239}Pu と ^{241}Pu です。

プルトニウム（^{238}Pu、半減期 87.7 年）は 1940 年にアメリカのシーボルグらによって始めて作られました。それは、カリフォルニア大学のサイクロトロンで加速した重陽子（ｄ）をウラン（U）に照射し、次の核反応でできました。（式１）。

$$^{238}U\ (d、2n)\ ^{238}Np \rightarrow ^{238}Pu \qquad (1)$$

（プルトニウム（原子番号 94）という元素名は、天体の冥王星（Pluto）の名称からきています。ウラン（原子番号 92）から二つ目の元素（94 番）であることからプルトニウムと命名されました。ウランの名称は天王星（Uranus）から、その次は海王星（Neptuniun）、その次が冥王星です。）

^{238}Pu よりも長半減期（$2{,}411\times10^{4}$ 年）の ^{239}Pu は、1941 年にカリフォルニア大学の同じ研究グループによって生成されました。その反応は（式２）のとおりです。

$$^{238}U\ (n、\gamma)\ ^{239}U \rightarrow ^{239}Np \rightarrow ^{239}Pu \qquad (2)$$

^{239}Pu は、原子力発電所のウラン燃料(通常は 3～5%に濃縮されている)中の ^{238}U が中性子を吸収し生産されます。一方、軍事目的に使うプルトニウムは、90%以上の高純度のものでプルトニウム専用炉によってつくられます。

２．原爆とプルトニウム、「高速炉」とプルトニウム

長崎に投下された原爆は、プルトニウム（^{239}Pu）が約 13Kg の入っていたといわれています。一方、広島に投下されたのは、同位体濃度 100%に近いウラン－235 でした。

高速増殖炉の高速とは、核分裂をおこす中性子の速度の平均エネルギーが、およそ 200 keV（キロエレクトロンボルト）と高速なことに由来します。軽水炉のように熱中性子（1 eV 以下のエネルギーの中性子）を用いないので、減速材は必要としせず、核燃料としてウランやプルトニウムを燃料として用います。我が国の高速実験炉「常陽」は、ウランのほかにプルトニウムを用いますが、これより実用段階により近い高速原型炉「もんじゅ」はプルトニウム燃料を使います。

３．プルサーマル

プルサーマルとは、プルトニウム（Pu）の「プル」と熱中性子（サーマル）炉を組み合わせた和製英語です。我が国のおもな原子炉（軽水炉）は、核分裂性のウラン-235 と軽水

による減速によって発生する熱中性子とを反応させ発生するエネルギーを利用しています。

プルサーマルでは、燃料としてウランにプルトニウムを混合したＭＯＸ（混合酸化物）燃料を用いています。プルサーマルは、実証試験が各国ではじまっています。わが国でも、幾つかの原子炉でその試用が開始されています。

４．プルトニウム２３９の毒性

金属プルトニウムは、銀白色で反応性が高く、空気中では酸化され発火します。プルトニウムは、核燃料として利用されますが、高純度の^{239}Pu で５kg を超えると核爆発を起こします。

プルトニウム 238（半減期 88 年）は原子力電池として人工衛星の電源や心臓ペースメーカの電源として使われています。プルトニウムは放射性物質としてだけではなく、化学的にも毒性が強いので、その取扱いに当たっては吸入摂取、経皮摂取、経口摂取などから体内に取り入れないように注意しなければなりません。

プルトニウムが体内に入った場合の毒性については、「耳掻き１杯で 100 万人を殺す」といったような、極端に危険性が高いということが書いてある本があります(1)（坂本龍一、ロッカショ、講談社、2007 年）。しかしこれは間違いです。プルトニウムの化学的毒性は、重金属の 1 種として水銀やカドミウム、あるいはウランと同じようなもので、体内に入ると腎臓障害を与えるとのことです。しかし、それよりも体内に入ったときの放射線障害がはるかに大きいといわれています。

プルトニウムからの放射線は主にアルファ線で、その透過力は非常に弱く、空気で吸収されてしまいます。またプルトニウムが皮膚に触れても、アルファ線は皮膚の中には入って来ません。プルトニウムが口から食べ物と一緒に入っても、消化管からの吸収率は 0.1%以下で、体内にはほとんど吸収されません。空気と一緒に肺に吸収されたときは問題です。犬を用いた実験では、一定量以上のプルトニウムを口から吸入させると、肺がんなどの障害を作ったという報告があるとのことです。

もし万一、何かの原因で大量のプルトニウムが体内に吸収されたときの対策はあるかといえば、その時は、キレート剤という、金属元素と結びつきやすい薬を注射して、プルトニウムを体内から尿中に排泄させれば良いとのことです。

（トピックス２）放射性元素はどのようにして生まれたか

読者は、コンクリートの壁に「はかるくん」を近づけてみたり、霧箱キットの工作をして掃除機の紙フィルターに付着したゴミの中からでるアルファ線の飛跡を眺めたりして、自然界に存在するという放射性元素を確認しようとした経験をお持ちのことと思います。じつは世界中のどこででもこの実験を繰り返すとほぼ同じような結果が得られる、つまり普遍性があることに驚かされます。世界中のコンクリートが同じような時期に同じような材料から作られたのでしょうか。それは地球上にあるすべての元素、いや月、火星、金星、太陽、木星、土星など太陽系のすべてのものが同じ材料から同時に作られたことを意味します。また放射性元素の数量はどうやって調べることができるでしょうか。

【超新星爆発】事の起こりは超新星爆発です。宇宙には１千億個という銀河があり、その中の一つ私たちの「天の川」銀河の中でもまた１千億個という星があるといわれ、そして星の中心部は重力で高温になり原子核どうしの融合反応がすすんでいます。大きい星ほど反応が速くすすみ、寿命が尽きると爆発を起こして星間空間にそれまでに作ってきた原子を撒き散らします。これをはるか遠くから観ると急に明るい星が出現したようなので超新星爆発とよばれますが、これによって最初は水素（原子核は陽子）だけの宇宙空間に超新星爆発が起こる度に新しく重い原子核が加わって豊かな自然へと進化してきたのです。原子核は陽子と中性子の集合体ですが、その組み合わせで不安定なものは時間をかけて安定なものへと変化します。さらに宇宙空間に散らばった原子は化学的な性質によって結合して分子を形成したり、そして何万年何千万年と宇宙に漂っているうちにそのつぎに起こる超新星爆発によって高速で通過していく陽子（これがまさに宇宙線の正体です）によって原子の周りの電子がはじき飛ばされてイオンが出来るため化学結合が起こりやすいのです。こうして水素、酸素、炭素、窒素原子の漂う星間空間のなかでは水、メタン、アンモニアなどの分子をはじめつぎつぎに複雑な分子が多数合成されてきます。あたかも星の中が原子核合成工場なら、星間空間はまるで化学合成工場といってもいいほどです。

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

こうしてみると太陽系は、もちろん太陽を主として、その周りに岩石を主とする惑星、そして小惑星帯、木星のようにガスを主とする大型の惑星、そのまわりを彗星のふるさとと呼ばれるカイパーベルト（多数の氷の塊）から構成されています。それらがすべて同じガスと塵から同時期（今から 46 億年前）に誕生したこと、さらに惑星の運行を解析することから太陽系の全質量の 99.8%が中心の太陽にあることも分かります。そこで太陽系の元素分析は太陽一つを分析して代表させてもいいということにも納得できるでしょう。

【太陽の元素分析】太陽からの光は6千度Cの高温物体から放出される波長が広い範囲で連続的に分布するスペクトルをもちますが、そこには多数の暗線（光が吸収されたところ）がみられます。この暗線の波長を詳しく調べると地球上でみられる元素が示すものと同じ吸収線が確認できます。こうして太陽光線のスペクトルを調べることから太陽（太陽系の99.8%を占める）に存在する原子の種類（元素）を分析することができます。またときどき地球上に落下してくる隕石、月から持ち帰った石などを丁寧に化学分析して求められた太陽系の元素組成の表を以下に示します。ここではケイ素（Si）を 10^6 としたときの他の元素の存在割合を示しています。左側の欄には水素を気体元素を示し、右側には鉄（Fe）やマグネシウム（Mg）など、さらにウラン（U）やトリウム（Th）などの金属を示しています。ただし左欄の酸素の一部（3.8×10^6）は最初から右側の金属と結合していたと考えられます。

太陽系元素存在度(10^6 Si 規格値)

(Anders and Crevesse, 1989)

揮発性（木星型）元素と不揮発性（地球型）元素

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

【地球における元素分布】太陽系の惑星の元素組成も上の表で表されるものですが、ただ太陽に近い地球のような岩石型の惑星では上の表の右側の欄に示す不揮発性元素からなる組成（最初から金属と結合した酸素も含む）を主としており、太陽系の外側を回る惑星では左側の揮発性元素からなる組成を主として取るとされます。そして地球誕生のさいにはつぎつぎと小さい微惑星が降りそそいで地球は岩石をも溶かすほどの高温になったので重い金属の鉄・ニッケルは地球の中心部（コア）に、つぎに比重の大きい岩石がマントル部分を、一番上に比重の軽い岩石が地殻を形成します。そして岩石の隙間に浸み込んでいた水、メタン、アンモニアなどが高温状態で岩石と反応して海水、窒素や二酸化炭素などの大気となって地球の層構造が出来上がったと考えられています。わずかに含まれていたトリウム（Th）やウラン（U）は酸素と結合して比重が比較的に小さく、地球上では地殻に存在します。そして地殻のなかでも軽い花崗岩といっしょに存在することが知られています。岩石が風化を受けて砂になり、土になってもウランも行動をともにし、雨が降って溶け出したウランは海水に流れます。地球上のどこでもほぼ同じ程度のウランが含まれていることになります。もちろん元素の分布が完全に均一ということはなく、地球は絶えず激しい活動を続けてきているのでウランの濃度の高いところ（ウラン鉱山とよばれる）もできています。

（トピックス　3）　臨界と天然原子炉

1. 臨界

原子炉またはウランなどの核分裂物質を含む系で、単位時間に核分裂で発生する中性子の数と、原子核への吸収や系外への放出によって消失する中性子の数が等しい状態を臨界といいます。臨界状態では定常的な中性子密度が保持され、また単位時間あたりの核分裂が起こる回数が一定となっています。

臨界になるために必要な核燃料の量（臨界質量）は、核燃料の種類や濃縮度、形状、水のような減速材や中性子反射体の有無などの条件によって変わります。

1999 年には東海村で「臨界事故」がありましたが、これは濃縮ウランを扱っていたウラン加工工場で、ウランの製品を扱うときに、臨界状態にならないように規則を守って厳重に注意をすべきであったのを怠っていたために起こった事故で、臨界状態はその工場で約数時間継続したといわれています。

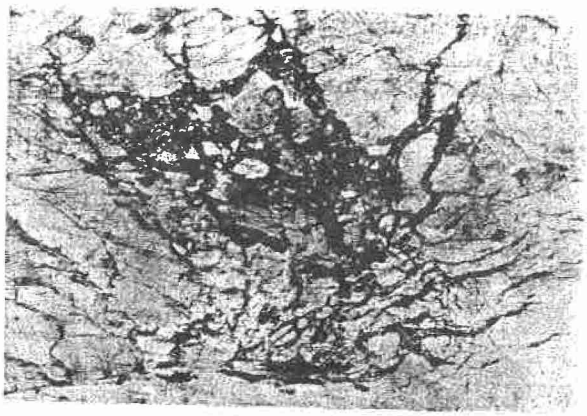
2．天然原子炉

核燃料のウランは天然に産出された状態では ^{238}U が 99.3%,^{235}U が 0.7%の割合で産出しますが、これらはそれぞれ半減期が 45 億年、7 億年と異なりますので、大昔には ^{235}U の割合が今よりもっと多い、濃縮された状態だったのです。

ウランの化学的性質に精通していた無機・放射化学の黒田和夫博士は、1950 年代からアメリカのアーカンソー大学で教鞭をとっていましたが、約 20 億年にウラン鉱山がひとりでに臨界状態になりうるのではないかということを、予言しました。　このことが 1972 年になって、アフリカのガボン共和国でのオクロ鉱山で発見されました。

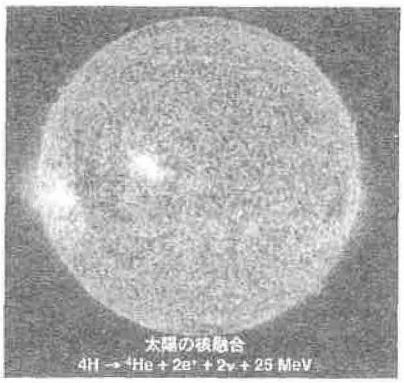
核分裂反応が連鎖的に起きるためには、燃料である ^{235}U が高い密度で集まっていること、もう一つは、その場所に水が存在することです。水があることによって、水と衝突してエネルギーの小さくなった中性子が核分裂を起こしやすくするからです。

重い元素であるウランは、地球上では花崗岩（御影石）の中に多く含まれています。花崗岩が雨風にさらされ、長い年月を経て侵食され、ウランが溶け出し、溶け出たウランは少しずつ川の中に沈殿して、ウラン濃度の高い地層ができます。これがウラン鉱床になります。約 20 年億年前では、天然ウラン中の ^{235}U の濃度は約 4%になります。この濃度は、現在、原子力発電に利用されている軽水炉の燃料の濃度と同じです。このようにして今から約 20 億年前、ウラン鉱床で連鎖核分裂反応を起こす条件が満たされて、天然原子炉ができました。



図：砂岩上に刻まれた天然原子炉の跡(1984.4.藤井勲氏撮影)

（トピックス４）核融合



核融合 (反応) とは，複数の原子核が融合し，反応前に比べて質量の大きい原子核を生成する反応の総称であり，一般的には鉄より軽い原子核同士が融合して重い原子核をつくる反応のことをいう。陽電荷をもつ原子核同士が融合するためには，そのクーロン斥力を乗り越え，核力によって引きつけられる範囲 ($\sim 2\times10^{-15}$ m) にまで原子核同士が接近する必要がある。この条件はいくつかの状況によって達成されるが，その一つに高温・高密度状態がある。そこで起こる反応は熱核融合反応 (thermonuclear fusion reaction) と呼ばれ，太陽をはじめとする恒星のエネルギー源になっている。巨大な重力場をもつ太陽 (中心温度約1700万度) では，途中に重水素 (^{2}H≡D) とヘリウム-3 (^{3}He) を生成する経路をたどるが，一言でいうと４個の水素が融合して１個のヘリウム-4 (^{4}He) をつくる陽子-陽子反応

$$4H \rightarrow {}^4He + 2e^+ + 2\nu + 24.7\,MeV \qquad (1)$$

(e^+は陽電子，νはニュートリノ) が起き，莫大なエネルギーを放出している。

このエネルギー源を地球上に実現をしようとするのが核融合炉である。重力の小さい地球上では原子核を超高温 (数億度) に加熱しなければならないため，利用可能な反応はDとトリチウム (^{3}H≡T) が融合してヘリウム-4 (^{4}He) をつくる D-T 反応

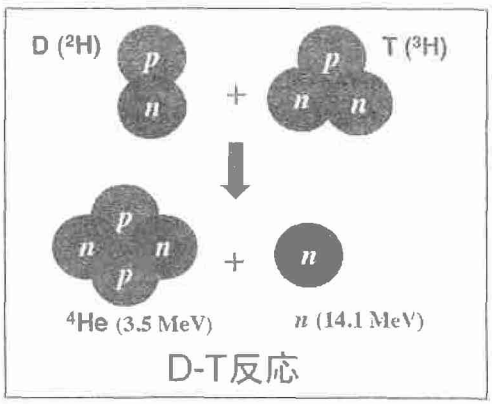
$$D + T \rightarrow {}^4He + n + 17.6\,MeV \qquad (2)$$

や重水素同士が融合して^{3}He あるいはTになるD-D反応

$$D + D \rightarrow {}^3He + n + 3.3\,MeV \qquad (3)$$

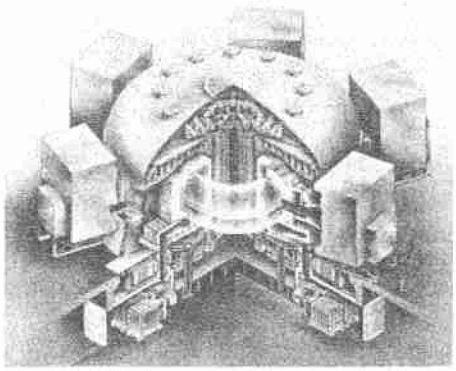
$$D + D \rightarrow T + p + 4.0\,MeV \qquad (4)$$

[(3)と(4)の反応確率はほぼ等しい] などに限られる。その中で，D-T反応は“比較的低い温度 (それでも１億度以上)”で進行するので，この反応を利用する制御核融合炉 (CTR: Controlled Thermonuclear Reactor) の実現の可能性が最も高いといわれている。この反応では，重水素とトリチウムの混合燃料１グラムから石油約８トン分のエネルギーが得られる勘定になる。重水素の天然存在比は0.0153%と小さいものの，地球の全海水に含まれる重水素の量は莫大であり資源の問題はなく，究極のエネルギー源と期待されている。一方，トリチウムは天然にほとんど存在しないため，核融合炉に最初に注入する燃料トリチウムは人工的につくらなければならないが，運転開始後は炉内でトリチウムを自ら増殖し，消費分を補充するように工夫して問題を解決する。



核融合炉の実現をめざす研究が本格化したのは1960年代後半である。超高温の水素同位体プラズマを閉じ込め核融合反応を起こさせる方法として，強力な磁場を使う磁気閉じ込めと，高強度レーザーなどを用いる慣性閉じ込めがあり，両方式での研究が進められた。1980年代後半には

磁場閉じ込め方式の大型プラズマ実験装置が日本 (JT-60), 米国 (TFTR) および EU (JET) で相次いで建設され，プラズマ制御技術は格段に進歩した。現在では，プラズマの最高到達温度は約 5.2 億度に，最長閉じ込め時間は約 30 秒に達している。


核融合炉(CTR)の想像図

1985 年の米ソ首脳会談を契機に，国際共同研究が米国，ソ連，EU および日本の 4 極が参加して進められることになった。イーター (ITER: International Termonuclear Experimental Reactor) と呼ばれる国際熱核融合実験炉の概念設計である。研究成果を受けて，2001 年には実機の建設をめざす政府間協議が開始された。その後中国，韓国およびインドがこのプロジェクトに加わり，現在では 7 極が共同で ITER の建設に取り組んでいる。EU と日本の間に激しい誘致合戦があったが，2005 年に ITER 本体はフランスのカダラッシュに建設することが決まり，日本 (六ヶ所村) にも関連施設が建設されることになった。2007 年に本体の建設を開始し，2016 年にはプラズマ実験を開始する予定であったが，建設費の膨張もあり，着工は 2010 年以降になる見込みである。長期計画では，最初の商用核融合炉の運転開始を 2050 年としているが，計画の具体化はなお時間がかかりそうである。

（核融合に関連したトピックス）
―核融合の軍事的利用（水素爆弾）― ビキニ事件

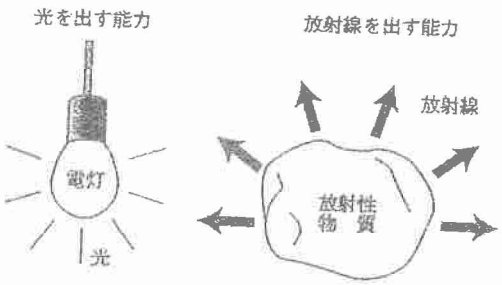
アメリカは 1954 年（昭和 29 年）3 月 1 日、太平洋のマーシャル諸島（現在はマーシャル諸島共和国）史上最大の水爆実験を行った。この爆弾は、当時は秘密にされていたが、原爆を起爆剤とし核融合反応を利用した水素爆弾で、広島に投下された原子爆弾の約 1000 倍の強力な破壊力をもつものであった。その結果、公海上にいた第五福龍丸やマーシャル諸島の住民たち、アメリカの観測兵らが被曝した。国はこの年の年末までに放射能に汚染された魚を廃棄し、日本漁船の被災船数は８５６隻と発表した。この事件で、大量の放射能によって太平洋の広い海域が汚染され、日本や太平洋諸国の漁業は大きな打撃を受け大きな損害を被った。

第五福龍丸の乗組員２３名全員は、被爆して急性放射能症にかかったが、２週間後の３月 14 日に母港焼津に帰港した。乗組員が持ち帰った爆発の灰（「死の灰」と呼ばれた）を科学者が分析した結果、新型の水爆とわかり、アメリカの秘密兵器と核兵器開発の構造を明らかにする結果となった。乗組員全員は東京で入院して治療に当たったが、9 月 23 日に最年長だった無線長の久保山愛吉さんが死去して国中に衝撃を与えた。その後、2004 年の現在までに乗組員 12 名が死亡している。

3．日常生活と放射線

3－1　放射線・放射能の単位と自然放射線・天然に存在する放射性物質

3－1－1　放射線と放射能（放射性物質）の用語について　放射線は光のようなもので、それは放射能すなわち放射性をもった物質から放出されているものです。放射能というのは、本来は放射線を出す能力のことですが、今では放射線を出す性質をもつ物質すなわち放射性物質のことを俗に言っています。よくマスコミで「放射線漏れ」とか「放射能漏れ」という言葉を使い、これがしばしば混同されていますが、前者は光が漏れたようなものですが、後者は物質が移動しているのです。



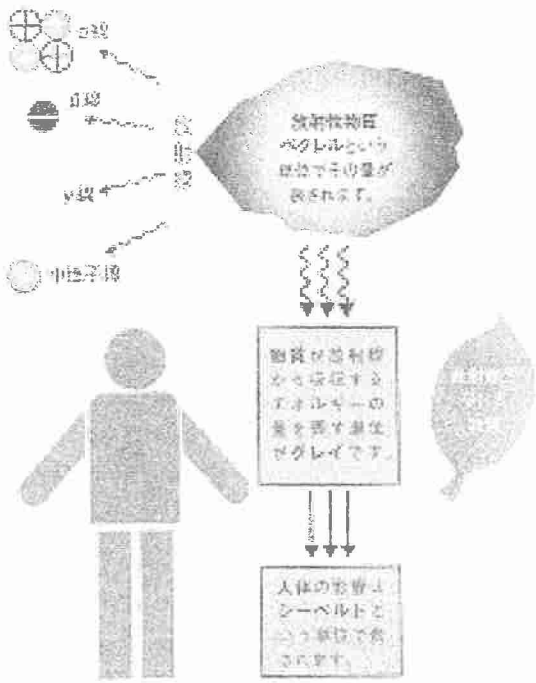
放射線と放射能の関係

3－1－2　放射線と放射性物質の単位について　はじめに放射性物質の強さの単位、ベクレル（Bq）について述べます。1ベクレルは、毎秒に1個、放射線の粒子を放出する能力を言います。以前はキュリー（Ci）という単位が使われていました。（今も時々使われています。）これは1グラムのラジウムが毎秒に放出する放射線の数です。ベクレルとキュリーとの関係は、1キュリー＝3.7×10^{10}ベクレルです。

一方、放射線の作用を表すには、物質の単位重さ当たり吸収された放射線エネルギーを表すために**グレイ（Gy）**があります。これは物理学でエネルギーを表す単位であるジュール（J）とは1Gy＝1J/kgの関係があり、物質1キログラム当たり何ジュール吸収されたかというエネルギーの量を表します。

同じく吸収された放射線エネルギー（これを吸収線量といいます）ですが、人体への影響が加味された単位としてシーベルト（Sv）があります。これもグレーと同じく吸収体の単位質量当たりの放射線エネルギーに比例する単位です。これらの単位には、実用的にはミリグレイ、マイクロシーベルト、といったように、種々の補助単位が使われます。

放射線の単位は、放射線の影響を定量的に理解するために重要なものですが、ここで早めに知って頂きたいことは、放射線による吸収線量が、ある時間を掛けて測定された「総線量」か、単位時間当たりの「線量率」かということです。

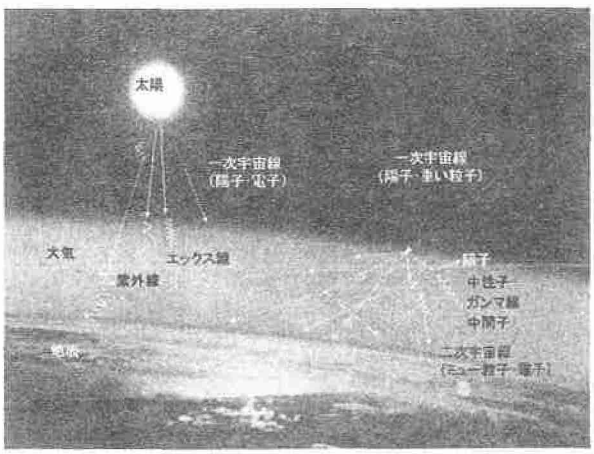

放射線の世界 2008（原文振）

3 - 2　自然放射線

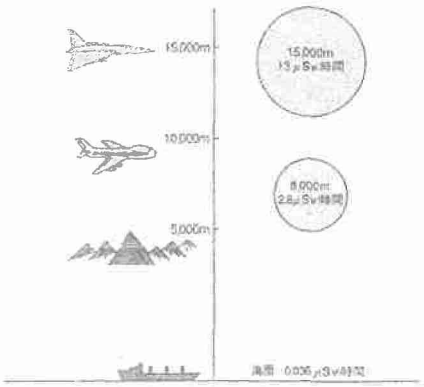
放射性物質は、われわれ人類誕生の時にはすでに地球上に存在しており、われわれ人類は放射線を全身に受け続けてきました。自然界に存在する放射線を自然放射線といいます。それにはいろいろな発生源があり、空から降り注ぐ宇宙線をはじめ、大地からでる放射線、食物の中に含まれる放射性物質からの放射線があり、されには空気中にもラドンなどに起因する放射性物質があり、私たちがこうして自然界から年間 2.4 シーベルトの放射線を受けています。

（資源エネルギー庁）

● 大気圏外からやってくる放射線「宇宙線」　宇宙線の強度は、高さと緯度によって異なります。その様子は、海面では 1 時間あたり 0.03 マイクロシーベルト（μＳｖ／時間）のものが、高度 4,000 メートルではその約 7 倍の 0.2μＳｖ／時間となり、高度 12,000 メートルでは更にその 25 倍の 5 μＳｖ／時間となるので、1 回東京ーニューヨーク間を往復すると 0.2 ミリシーベルト浴びることになります。また宇宙旅行では 1 日に 1 ～3 ミリシーベルト、というように、地上で 1 年間に受ける線量を 1 日で受けることになります。これまでの宇宙探査で 6 ヶ月宇宙に滞在した宇宙飛行士の線量は 400 ミリシーベルトであったとのことです。



（環境科学技術研究所）



（1993 年国連放射線影響科学委員会報告）

● **大地からの放射線**　大地からの放射線の強度は、日本各地で地域によって異なります。これは土や岩石に含まれている放射性物質の量が地域によって異なっているためです。中部地方以西では花崗岩地帯が多いので、土壌中にウランなどの放射性物質が多く含まれており、そのために関東以北に比べて放射線の強度が高くなっています。

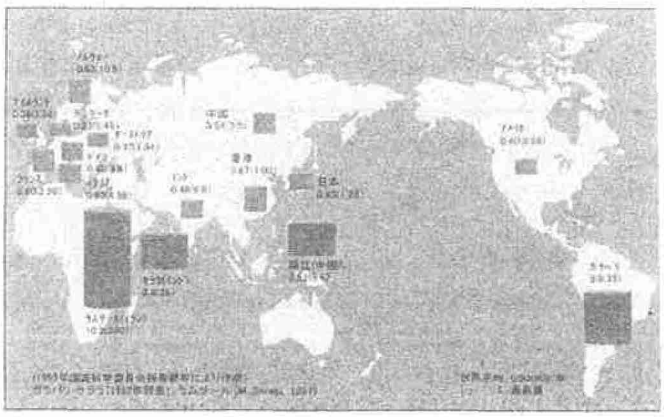
世界的には、大地だけからの線量は平均値で0.50mGy／年、日本の平均値は0.43mGy／年（最高値 1.20mGy／年）ですが、ブラジルのガラパリでは平均値 5.5mGy／年、インドのケララでは平均値 3.8mGy／年、というふうに、日本の数倍から数十倍も高いところがあります。線量の高いはじめの3箇所はトリウムという放射性元素を含む砂が多く、イランのラムサールでは温泉の噴出でたまったラジウムが原因であることがわかっています。

● **大気中の放射性物質からの放射線**

空遠くからの宇宙線のほかに、私達の環境に関連する放射線として、空気中に含まれるラドンとその壊変生成物（ポロニウムや鉛など）による体外からの被ばくがあります。これらの放射性物質は空気中のちりに吸着して漂っており、人間は呼吸によりこれを取り込み、その被ばく量は年間1.3ミリシーベルトです。

● **体内の放射性物質からの放射線**

大地に含まれている成分の一部は地下水に移行して含まれています。また私達が食用にしている野菜や肉、海産物などはすべて大地（あるいは海）の産物です。これらを食品として摂取したとき、肥料や飼料、海水中に含まれていたウランやカリウム40などの天然の放射性物質が間接的に常時、人体内に入ってきています。食品中のカリウム40はどのくらいかというと図に示すとおりです。またこの結果、体重60キログラムの人の体内にはカリウム40が約4,000ベクレル含まれています。そしてその外の核種によるものを含め、被ばく線量に換算すると年間0.3ミリシーベルトとなります。



食物中のカリウム40の放射能量（ベクレル／kg）

（科学技術庁）

3－3　人工放射線

人工的に発生させる放射線で、医療、工業、農業等に利用します。

● **放射性物質からの放射線**

人工的に作られた放射性同位体（放射性核種）から発生する放射線で、代表的な放射性物質としては、コバルト60があります。

● **放射線発生装置からの放射線**

放射線発生装置から出る放射線で、代表的な発生装置としては、エックス線発生装置があります。日本では自然放射線のほかに放射線を利用した医療診断により、国民 1 人当たり平均で年間 2.25 ミリシーベルトの線量を受けています。

３－４　自然および人工放射線から受ける線量

日本では、自然放射線と人工放射線による医療診断を合わせ平均して４ミリシーベルト近くの線量を受けています。

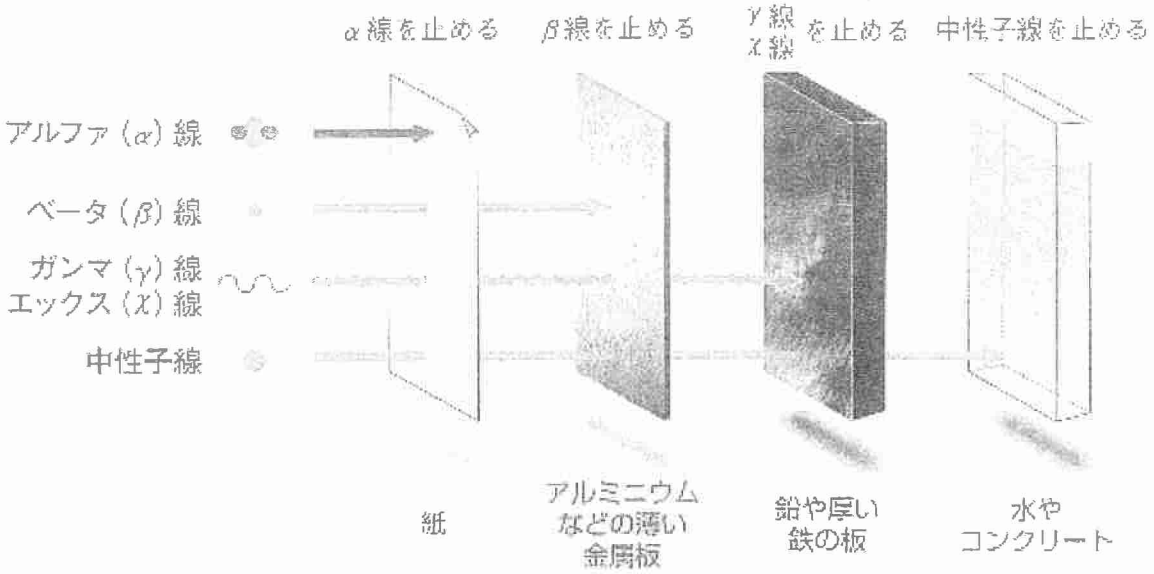
４．放射線の性質

放射線の性質は透過と作用（物質への「はたらき」）に分けられます。α線やβ線の場合、透過は慣性運動であり、外部の電磁場が存在しない真空中では等速直線運動を続けます。物質中では放射線は透過しながら繰り返し作用して物質にエネルギーを分け与え、最終的にエネルギーを失って放射線ではなくなり、物質の一部となります。

作用には電離、励起、弾性散乱、原子核反応など様々な種類がありますが、その種類や大きさは物質の種類や放射線のエネルギーに依存します。放射線の利用や人体への影響に着目する場合は、α線やβ線のような電荷をもつ放射線が起こす電離がすべての作用のうちで最も重要です。電離作用は物質を構成する原子内の電子を弾き飛ばすことによって、その原子を活性なイオンにすることです。X線、γ線、中性子線のように電荷をもたない放射線は、それらが起こす独自の作用として電荷をもつ放射線を副次的に発生するので、間接的には電離作用を起こす能力をもっています。

電離作用をもとに引き起こされる化学反応や生物反応が医療や製造業に広く利用されています。中性子線の場合の特徴的な作用は核分裂反応に代表される原子核反応で、その作用は原子力発電所でのエネルギー利用などに役立てられます。

放射線の透過力は放射線の種類や放射線のエネルギーに依存しますが、透過力は放射線が透過していく間に物質から受けた反作用の結果であり、作用によって放射線が失うエネルギーが大きいほど透過力は弱まります。α線は電離作用が大きいため透過力が小さく、紙１枚で止まります。β線は電離作用が相対的に小さいので、α線より透過力が高く、薄い金属板で止まります。γ線、X線、および中性子線は直接的な作用を物質のなかで起こしにくいので透過力が大きいですが、鉄、鉛、コンクリート、水などで止まります。ただし、以上の比較はあくまで一般論です。放射線を止めることを遮蔽といいますが、放射線を遮蔽するのに必要な厚さは、放射線の種類、エネルギー、遮蔽する材料の密度によっても変わります。



放射線の種類と透過力

5．放射線の利用

放射線の利用は、産業・医療・学術分野の広い範囲にわたっています。以下、医療への利用と産業への利用に大別して述べます。

5－1　医療への利用

医療への利用には検査・診断と治療があります。診断ではレントゲン撮影、ＣＴ、ＰＥＴ診断などがあります。治療ではX線治療のほかに、最近は重粒子線によるがん治療が注目されています。

● **検査・診断への利用**

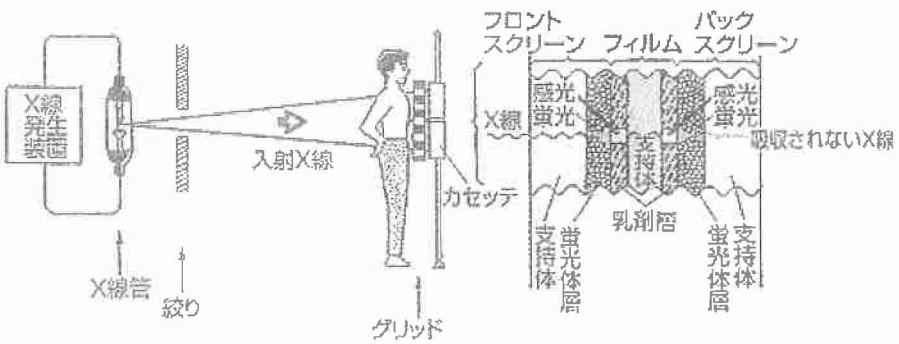
放射線発生装置を用いた診断

エックス線発生装置により単純撮影や造影剤を利用した撮影をし、患部を見つけて診断したり、コンピューター断層診断装置を用いて体の各部断面の像を作り出して診断することができます。

放射性同位体を用いた診断

がんの診断等では、がん組織に集まりやすい放射性物質を注射し、組織からの放射線を体外から検出し、がんの広がりを知ることができます。

検査・診断	原理と特徴
エックス線	体外から放射線を透過させ、体内の様子を知る。
エックス線 CT	身体の周りを一周するようにエックス線を照射し、透過したエックス線量を計測し、コンピュータ処理することによって輪切り像（横断像）を作成する。組織の形態が観察できる。
ラジオアイソトープ（RI）	体内に RI を注入し、体外からその臓器分布を計測・画像化し、病変部の発見や診断を行う。
PET	トレーサーとして陽電子を放出する核種を標識した化合物を投与し、放出陽電子を体外で検出し体内分布を画像化し生体の機能が観察できる。
PET-CT	PET の「機能」画像とエックス線 CT の「形態」画像を連結したもの。放射性トレーサーを投与し、PET 画像とエックス線 CT 画像を撮影する。より高精度の検査・診断、特に早期発見・治療効果確認に有効である。
体外診断	血液中に存在する極微量の物質の濃度を測定するのに用いる。例えば、腫瘍マーカーによく結合する化合物にラジオアイソトープ（RI）を標識し、試験管内で反応させ結合した RI を測定し当該腫瘍マーカー濃度を測定する。



スクリーンとフィルムの感光の仕方の拡大図

● **放射線治療**

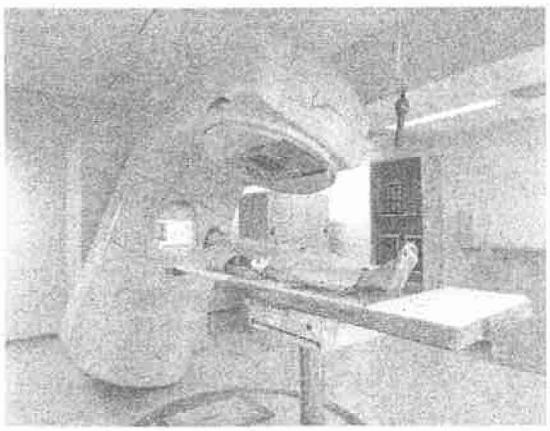
放射線発生装置を用いた治療

がん細胞に対して殺傷能力が高く、健康な細胞への影響が少ないエネルギーの高いエックス線を体外から照射してがん治療が行われています。最近では、重粒子を利用したがん治療も行われています。

放射性同位体を用いた治療

がん治療では、コバルト-60 等の放射性同位体から放出される放射線を体外から照射します。がんに集まりやすい放射性薬剤を体内に注入し、がん治療を行うこともあり、さらに半減期の短い放射性同位元素を微小カプセルに密閉して病巣に埋め込み、放射線照射して治療する方法が米国を中心として行われています。その例として前立腺がん治療などがあります。

照射方法	線源	適用
外部照射	エックス線・ガンマ線・粒子線・陽子線・重粒子線	○体外の照射装置から患部に集中照射：ほとんど全ての固形がん ○術中照射：切除不能の限局したがんはその部分を開いて照射する。隣接臓器で再発する危険性がある場合や、がん切除後に念のために行う。 ○予防的全脳照射：原発性のがんが高頻度で脳移転を起こす可能性がある場合、脳に対して行う。 ○ラジオサージャリー（定位放射線治療）：周辺の正常組織を傷つけないように、病変の形状に正確に一致させて放射線を集中照射する治療法。コバルト-60 を線源に用いたガンマナイフ、重粒子、高エネルギー装置（ライナック）、サイバーナイフなどを用いたラジオサージャリーがある。
内部照射（小線源照射）	ガンマ線（線源は：Co-60、Cs-137、Ir-192 等）	○組織内照射、腫瘍内（あるいは近傍）埋め込み：頭頸部、前立腺、卵巣、乳房、肛門周囲、骨盤領域などのがん ○腔内（管内）照射―アプリケータ挿入：子宮や舌などのがん
全身的放射線治療	I-131、Sr-89	○飲み薬や注射薬として投与：甲状腺がん、成人非ホジキンリンパ腫



治療における放射線の利用

5-2 産業への利用

(1) 工業分野への利用

工業分野において放射線は、暮らしのなかに深く浸透しているケイタイ・パソコン、クルマなど工業製品に広く利用されている。工業利用はわが国の放射線利用のなかで最も経済規模が大きいが、個々の部品はブラックボックス化しているので、部品の製造段階で放射線が利用されている実態は見えにくく、その認知度はあらゆる放射線利用になかで最も低い。

A．半導体製造

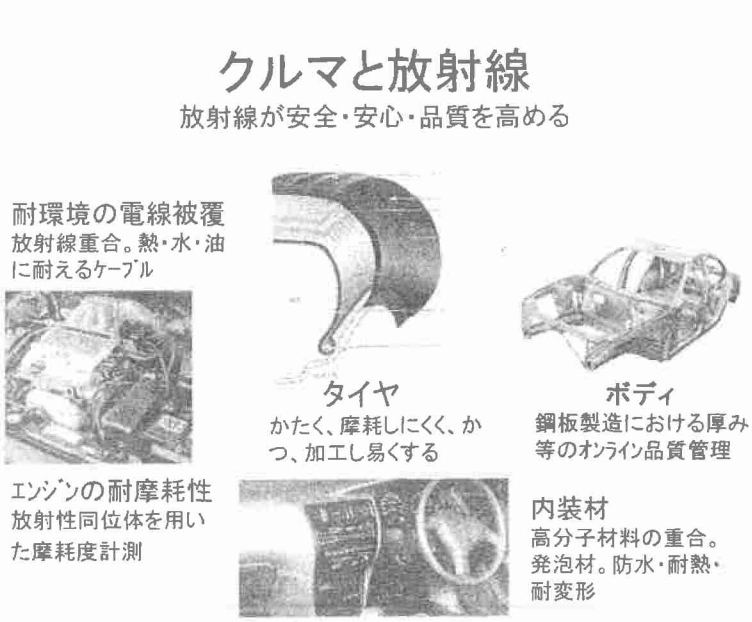
携帯電話やパソコンをはじめとする電気製品は半導体部品が重要な構成要素となっている。半導体部品は原材料であるシリコンなどを微細に加工することによって製造されているが、そのいくつかの製造工程において放射線が多様な目的で繰り返し使われている。それらのうち最も重要な放射線利用は、半導体集積回路(IC)の品質を決定づける回路原版(フォトマスク)の作成に電子線が使われていることである。

電子線の場合、電界で精密に操作することによって最小直径は10万分の1ミリメートル以下の極めて細いビームをつくることが可能であり、この電子線の透過力や作用力によって、携帯電話やパソコンに組み込まれるIC製造の鍵となる高解像度のフォトマスクが作られている。

現在期待されている集積度のさらに高いICの製造において、解像度の高い作用性を持つ放射線の利用はその有用性をますます高めており、将来のナノテクノロジーの発展を支える技術の基盤となっている。

B．自動車部品

今日の日常生活に欠かせないクルマを構成している数多くの部品の製造に放射線が利用されている。ラジアルタイヤ、電線・ケーブル、内装材などに放射線を照射した高性能の高分子材料が使われている。高分子に放射線を当てると、不安定で反応性の高い原子や分子であるラジカルが生じ、それを起点に糸状の長い分子の間で結合が起こって網目状となり、熱に強く固い高分子材料となり、クルマの厳しい要求性能に応えられる性能が得られる。放射線を使うことは、加熱を



必要としないため、素材の形や性質を変えることなく、熱に強く強靭な材料を作れる。また、化学物質を使わないので環境負荷を減らすことができるという利点もある。ラジアルタイヤの加工では、ゴム製の部材を組み合わせていく製造工程での電子線照射によって、タイヤ強化だけでなく接着性、軽量化、作業性の向上も実現されている。

C．非破壊試験など

放射線による身体の診断と同様に、透過性の高い放射線の特徴を活かすと、構造物を傷つけたり、ばらばらにしたりすることなく、その内部に隠れている欠陥や危険物を遠隔的に観察できる利点がある。大型の産業機器や公共インフラを支える大量輸送システムなどの複雑な構造物の品質管理や施工管理を主な目的とする非破壊検査とともに、危険物の持ち込みを調べる空港手荷物検査がその代表例である。最近ではテロを未然に防止するための検知法としても放射線は有力な手段となっている。

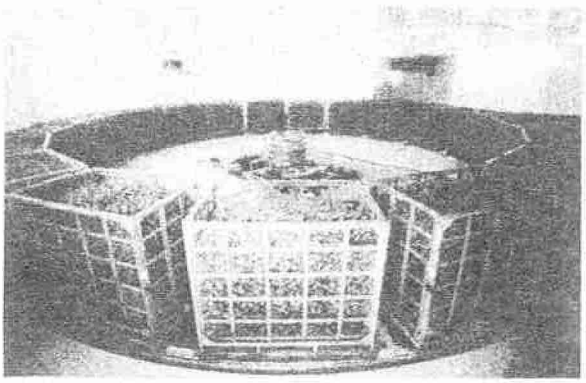
物体に接触することなく計量できるという特長を活かすと、板あるいは紙、フィルム状の製品の厚さを生産ライン上で自動的に制御できる利点がある。乗用車のボディ軽量化の主役となっている薄い鋼板の製造における品質管理では、非接触、連続的、かつ高温な状態で計測することが要求されるが、放射線以外に適当な手段がない。このように、産業・交通技術の公共的な安全や品質という生活基盤を支えるために、放射線が重要な役割を担っている。

(2) 農業分野への放射線利用

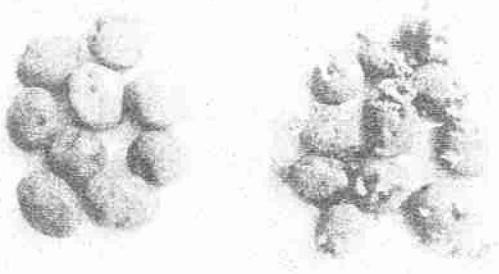
わが国の食糧自給率は主要先進国の中では最低の40%であり、安全保障の重要課題であり、食糧の安定供給のため、安全かつ多様な手段を確保する必要がある。農業分野への放射線利用は工業や医療の分野に比べて規模は大きくないが、食という生活に密着した分野であるため国民の関心度が高い。

A．食品照射

食品の放射線照射は、食中毒菌の殺滅、微生物汚染低減、穀物害虫の被害軽減、植物防疫、発芽防止などを目的として実施されている。包装したまま連続処理できるので、衛生的で簡便である、温度上昇がわずかであるため香りや新鮮さが保てる、化学薬品のような残留毒性や環境負荷



じゃがいもの照射設備



照射したじゃがいも(左)と照射していないじゃがいも(右)

の問題がない、などのメリットがある反面、消費者の拒否反応がある、食品によっては向き不向きがある、コストが高い、などのデメリットがある。

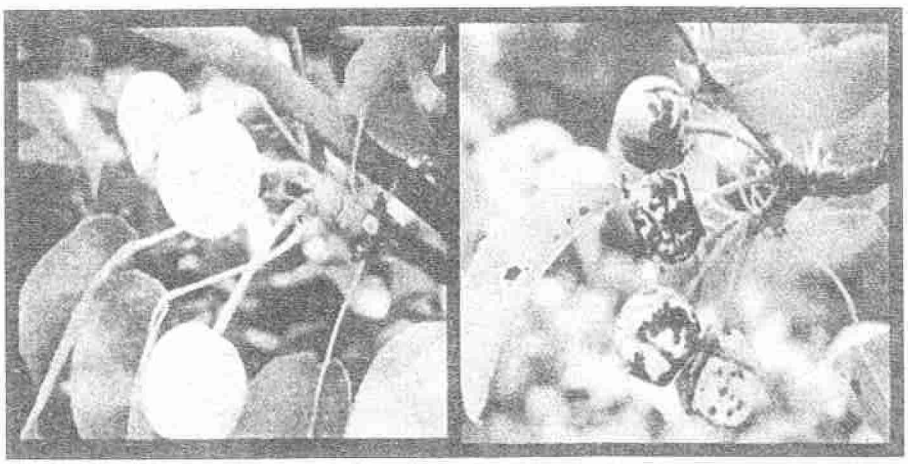
わが国は食品照射を原則として禁止しているが、ジャガイモの発芽防止を例外として1972年に照射を許可した。世界では、５７カ国で２３０品目が認可されており、３２カ国で４０品目実用化されている。ＦＡＯ、ＷＨＯ、ＩＡＥＡは合同で食品照射の安全性を繰り返し解析（研究報告数１２００）してきたが、９７年に「適正な線量を照射した食品は、適正な栄養を有し安全に摂取できる」と結論した。しかし、その安全性に疑問をもつ市民グループが存在する。

香辛料については、現在実施中の高圧蒸気殺菌では香味が失われるので、業界から放射線照射許可の要望書を出したが、一部の消費者の強い反対があるという事情あり、厚生労働省では検討を継続中である。消費者の自由な選択を尊重するため、流通において照射ジャガイモの表示を義務付けた。わが国では違法な照射製品の輸入を抑止するため、照射を検知する公定技術の確立が間近である。米国、カナダ等では、照射食品は安全であるとの考えから、検知は行っていない。

Ｂ．放射線育種

植物育種の方法には交配と遺伝的変異があるが、交配は親品種の形質に制約されるため、新品種を生み出すには遺伝的変異を必要としている。放射線育種は作物に放射線を照射し、突然変異を誘発させて品種を改良する方法であるが、放射線の生物的な作用として生じるDNA分子の切断等を利用する方法である。DNAの切断が一時的に起きても、大部分は修復機能が働いて元通りになるが、一部にDNA配列が変化した安定な変異体が生成する。このなかから農産物として有用なものを選別している。DNAとしての化学的性質には変わりないので、食物としての安全性が損なわれるわけではない。

世界中で2000近くの品種が育成されており、国内の成功例は100以上ある。主な成功例としては、茎が短く風に強く倒れにくいイネの突然変異種「レイメイ」、黒斑病に弱い「二十世紀」ナシを改良した耐病性品種「ゴールド二十世紀」などが知られている。放射線育種には従来ガンマ線やＸ線が利用されてきたが、近年、加速器からのイオンビーム（重粒子線）照射によって従来のガンマ線などでは得難い有用な突然変異が誘発されることがわが国で見出され、実用化も進んでいる。



黒斑病（右図）と耐性のゴールド20世紀梨（左図）

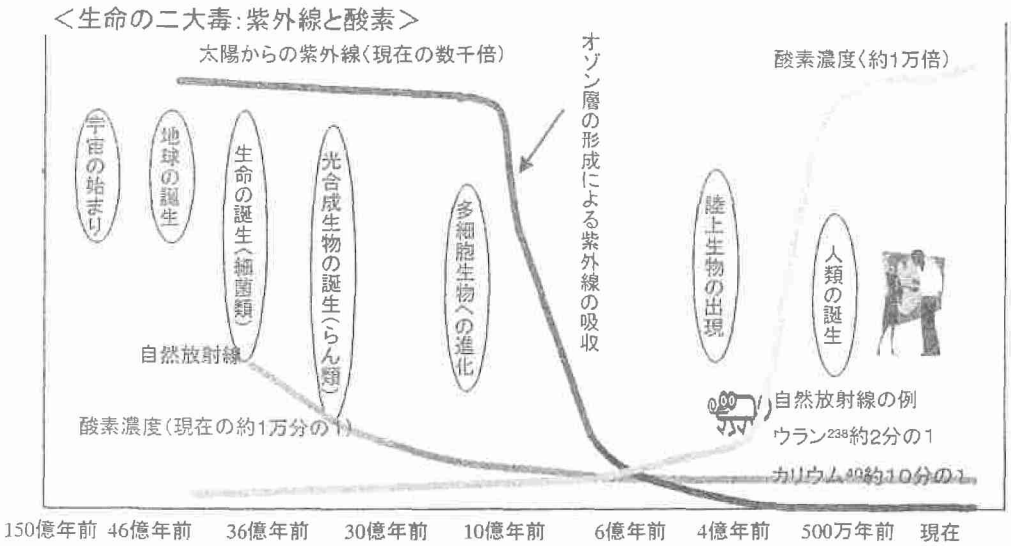
6．放射線の人体への影響

6－1　放射線が安全か安全でないかは量できまる

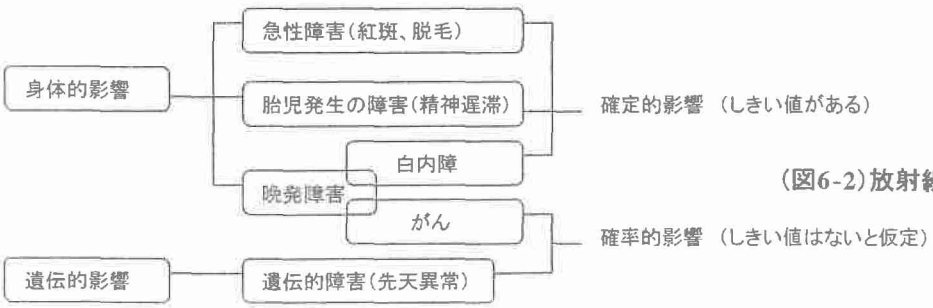
1999年9月に東海村のJCOのウラン加工工場で発生した臨界事故で2人の方が亡くなりました。この人たちは、私たちが日常1年間に受けている自然放射線量の約5千倍にあたる 10,000 ミリシーベルトもの量を一瞬の間に受けたのです。これは原爆のときに爆心地におられた被災者と同じ状況でした。1年間に受ける自然放射線量の5千倍以上の量は致死量ですが、1千倍程度までは死亡する危険はなく、JCO 事故で亡くなった人から少し離れていて助かった方の被ばく量は、この程度であったといわれています。放射線が安全か安全でないかは、量で決まるのです。

放射線の人体に対する影響については、その危険性に無知であった時代の取扱いによる放射線障害や、原爆被災者や職業的に放射線を被ばくしている種々のグループの疫学的調査、膨大な動物実験などにより非常によくわかってきています。大量の放射線を一度に受けたときは臓器や組織に生じた傷は回復できず、障害があらわれます。放射線の量が少ないときは、人間の体に備わった修復能力により、受けた傷はほぼ100%元通りに回復します。体の細胞は、毎日どんどん新しく生まれ変わっていますから、少しぐらいの放射線は、そのほかの毒物に対してと同様に、身体への刺激として受け止めて、十分に生命を維持できるのです。

生命が地球上に誕生したのは約 30 億年前ですが、そのときは放射線は今よりも多量存在していました。生命は放射線に対しては十分の防禦機構ができていると考えられています(図6-1)。
その生命の進化の結果、人類が誕生しました。



(図6-1)放射線とのお付き合いは大昔から

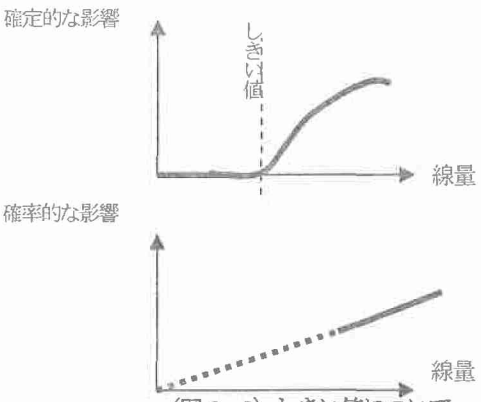


(図6-2)放射線の人体への影響の分類

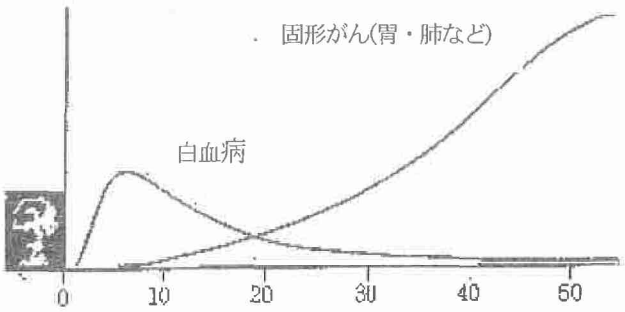
6－2　高線量放射線の影響

高線量の放射線を受けた場合の人体への影響は、大きく二つに分けられます。一つは放射線を受けた身体に出る「身体的影響」であり、もう一つはその人の子孫に現れるかもしれない「遺伝的影響」です(図6-2)。身体的影響はさらに二つに分けられます。放射線を受けて数週間以内に症状が出る「急性障害」と、数ヶ月から数年～数十年後になって症状が出てくる「晩発障害」です。なお、人が生まれる前の、つまり母親の胎内での被ばくによる影響も身体的影響の一つであり、胎児の場合にも「急性障害」と「晩発障害」があります。こうした影響は、受けた放射線の種類や量はもちろんですが、全身に受けたのか体の一部に受けたのかによって異なります。

しきい値



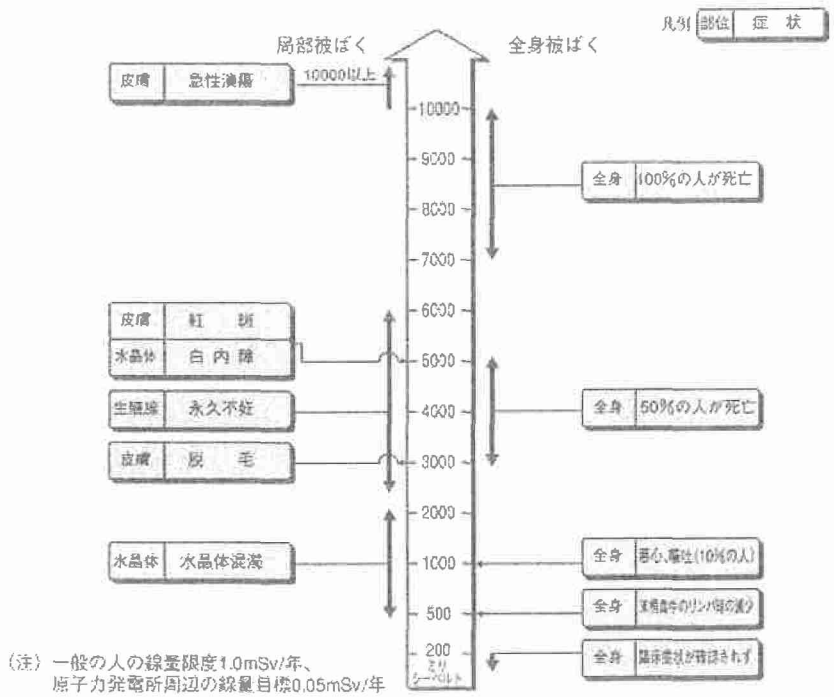
(図6-3) しきい値について



(図6-5) 被ばく後のがん発生の傾向

急性障害の例では、全身に約500ミリシーベルト以上を受けると、白血球の減少が起こります。約1000ミリシーベルト以上の放射線を受けると、吐き気がしたり脱毛が始まります。また、全身がだるい感じがします。一度に4000ミリシーベルト程度を全身に受けると、被ばくした人の半数が死亡します(図6-3)。

晩発障害は、放射線を受けてからある程度時間が経ってから後に症状が出るものですが、この症状が出るまでの時間を潜伏期といいます(図6-4)。次に遺伝的影響ですが、精子や卵子の遺伝子が放射線によって変化して、それが子や孫に伝えられると、障害をもつ可能性があります。そのようなことが起きるのは動物実験では確かめられていますが、人間の場合、広島・長崎の被ばく者の調査をはじめ、そのほかの調査でも遺伝への影響は認められていません。



(図6-4) 短時間に多量の放射線を受けた場合の障害

6－3　低線量・低線量率放射線の影響

低線量とは、人体が受ける放射線の総量が約200ミリシーベルト以下とされています。

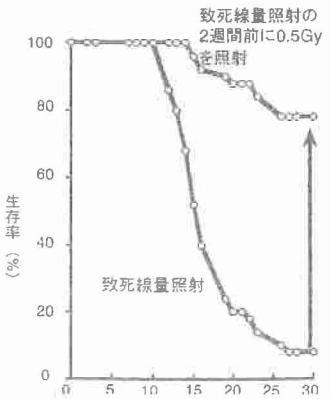
原爆被災者にはこの程度の放射線被ばくを受けた方々がいますが、この方々の調査ではがんの増加を示す明確なデータは得られておりません。また、自然放射線の量が世界平均より多い地域の住民の調査では、がんの増加は認められておりません。

低線量放射線のがんへの影響について、しきい値がないという見解と、しきい値があるという見解があります。これまでは、被ばく後かなり時間がたってから発症するがんについても、放射線はいかに微量でも有害であるとする「直線しきい値なしモデル」（LNTモデル）に従って起こると放射線防護の立場から考えられてきました。この考え方は放射線作業者および一般公衆の被ばく低減に貢献してきましたが、放射線恐怖症を助長し、必要以上の規制により社会的・経済的負担が大きくなっています。

最近分かってきたことは、放射線の人体影響は放射線量が大量のときと少量のときとでは、後者の方が人間の体の中の防御機構が有効にはたらいて、明らかに悪影響が少なく、かえって少量の放射線照射により健康に有益な効果が生じている場合も見られることです。これを放射線ホルミシスあるいは適応応答といいます。

放射線ホルミシスの考え方は、「少量の放射線は、無害であるばかりでなく、有益な刺激効果として作用し、人間の健康に良い。」とするもので、その効果は、①動物や植物の成長を促進する、②がんの発生や転移を抑制する、③炎症を軽減する、④放射線障害への抵抗性を増す、⑤鎮痛・沈静作用（ラドン温泉の効用とされています）などです。同様の例に太陽紫外線があります。大量の紫外線は有害ですが、浴びた紫外線によって体内にビタミンDの生成が促進されることが分かっています。

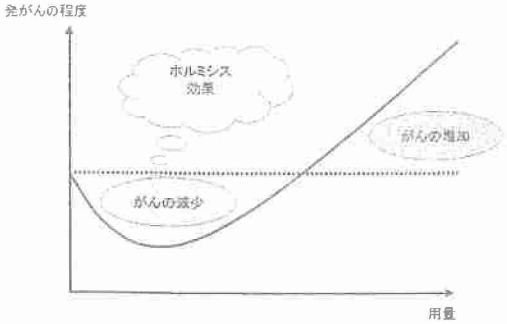
したがってLNTモデルは、現在は放射線防護上やむをえないとしても、科学的に裏づけされていないと考える研究者が多くなっています。具体的には、がんの発症においても約200ミリシーベルトくらいまでは心配ないと考えてもよいようです。



（図6-6）マウス個体における放射線適応応答

詳しくはお話ししませんが、現在では、放射線やその他の原因で、身体の細胞の中のもっとも大切な部分であるDNA分子に損傷を受けても、それを修復したり、修復に失敗して大きな損傷が残って細胞全体の生存に支障を来たす場合は、アポトーシスといって細胞自身が死んで組織から排除されて生命全体の健全性を保つ機能があることが分かっています。それでも一部の異常な細胞が残留して増殖したものががん細胞であると考えられています。DNA分子の傷は、放射線を受けなくても細胞1個当たり毎日数万個起こり、同時に修復されているのだそうです。（図6-5）

放射線の人体に対する影響は、同じ量の放射線でも、放射線の種類によっても異なります。それを線質効果といいますが、それを加味した単位がシーベルトです。α線はβ線やγ線よりも同じ量の放射線エネルギーでも人体に対する影響は20倍であるとされています。シーベルトで表した線量が同じならば、自然放射線でも人工放射線でも人への影響は同じです。ただし、数値は同じでも、放射線を全身に受けたときのほうが、体の一部に受けたときよりも影響は大きいのです。

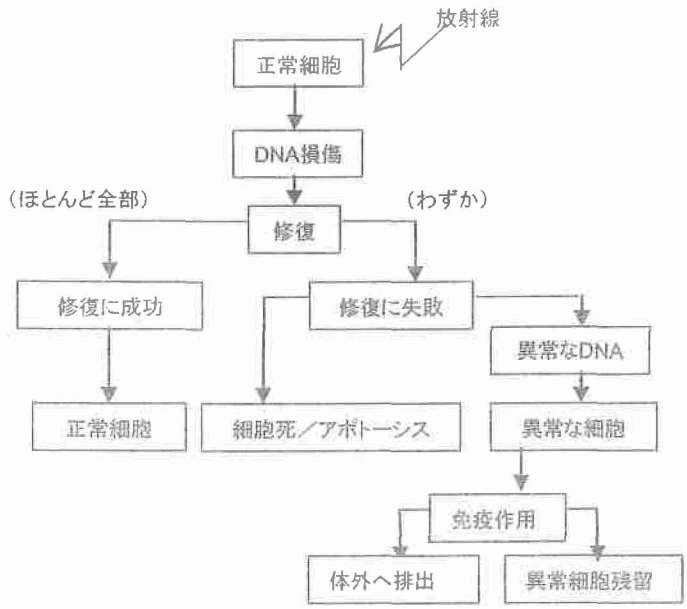


（図6-7）発がんにおけるホルミシス効果

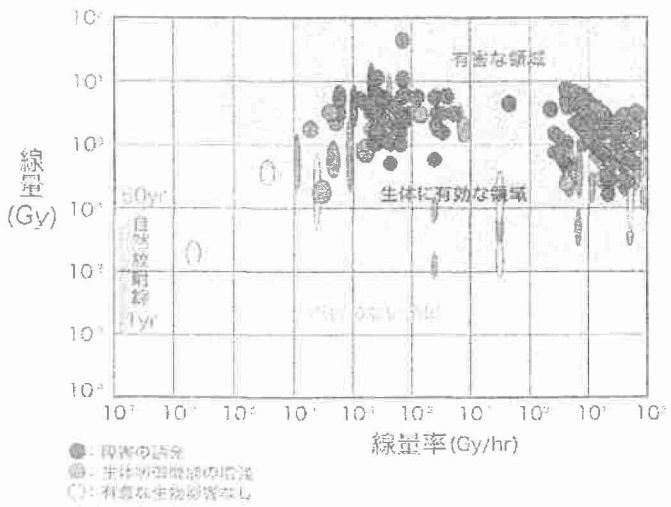
6－4　身体と放射線

人間の身体は、細胞、組織、臓器から作られています。細胞は、身体を構成する基本単位で、身体の中には何十兆ものいろいろな種類の細胞があります。たとえば、神経細胞、筋肉細胞、脂肪細胞、脳細胞などです。赤血球、白血球、精子、卵子などもそれぞれ細胞の一つです。いくつかの種類の細胞が多数集まって、組織や臓器が構成されています。

組織や臓器には、放射線の影響を受けやすいものと、受けにくいものとがあります。これを放射線感受性といいます。一般には、細胞分裂をして次々と新しい細胞ができる臓器、例えば血液をつくる造血臓器、精子や卵子ができる生殖腺（精巣や卵巣）や小腸（消化管粘膜）は放射線感受性が高いといわれています。一方、肝臓、筋肉、脳などのように、細胞分裂をほとんど行わない組織・臓器は放射線の影響を受けにくいのです。



(図 6-8)放射線による細胞への影響と防御



(図 6-9) 線量・線量率効果

放射線は人体を通り抜ける間に、組織を構成する細胞の主要部分（ＤＮＡなど）に放射線のエネルギーの一部を直接に与えたり、あるいは細胞内に多量に存在する水分子にまずエネルギーを与えてラジカルのような反応性の大きい物質をつくってこれが作用して（これを間接作用といいます）、細胞を傷つけたり、細胞が正しく働くための種々の構造に傷をつけたりします。その結果、身体に備わっている修復能力でその傷を治しきれないとき、放射線障害は発生します。しかし、放射線量が比較的少量で生じた傷が少ないときは、組織や臓器の機能は回復し、特に症状はあらわれません。

造血臓器、消化管粘膜、皮膚の表皮は放射線障害を受けやすい臓器や組織ですが、それは細胞分裂を繰り返している細胞が多く、放射線の影響を受けやすいからです。そういうわけで、同じ量の放射線を受けても、それを短時間に受けたときよりも、長い時間にわたって受けたときのほうが回復が十分におこなわれるので影響が少なくなります。これを線量率効果といいます（図６－７）。

7．　放射線防護――放射線はどのように防ぐか

7－1　放射線障害の経験

1895年のX線の発見、1898年のラジウムの発見以来、放射線、放射性物質および原子力の利用による恩恵を受けると同時に、人類は放射線障害の貴重な経験をしました。それらの人々は、1）職業上放射線を受けた人々、2）放射線や放射性物質を用いて診断、治療を受けた患者、3）核爆発による被ばく者でした。

7－2　国際放射線防護委員会（ICRP）の設置

放射線の利用と放射線による障害の経験から、1928年に国際放射線防護委員会（International Commission on Radiological Protection, ICRP）という非政府専門組織が作られ、放射線防護についての勧告がなされるようになりました。日本をはじめ各国の放射線に関する法律や行政は、基本的にICRPの勧告を遵守する姿勢です。

7－3　ICRPの放射線防護の基本原則

国際放射線防護委員会（ICRP）は、放射線防護の観点から、放射線の人体への影響をしきい値があることがわかっている**確定的影響**と、しきい値がない可能性が大きいと思える**確率的影響**に大別し、放射線防護の目的を　①確定的な影響を防止し、②確率的影響を容認できるレベル以下に制限することとしています。

また、この目標を達成させるため、次に3つからなる放射線防護体系を勧告しています。

1）放射線は、ある仕事をする時に、明らかに便益が放射線障害のリスクより大きいとわかっているときだけする。
2）すべての放射線被ばくを、合理的に達成できる限り低く保つ。
3）個人の被ばく線量は線量限度に従う。

放射線被ばくについては、次の3種類に分類します。

1）職業被ばく：放射線の使用を職業としている人（放射線業務従事者）が作業者として受ける被ばく
2）公衆被ばく：一般公衆の被ばく
3）医療被ばく：医療分野の診断・治療で、患者や検査をされる人が受ける被ばく

7－4　線量限度（わが国の法令＊）

1）職業被ばくに対する線量限度：5年間に100mSv、ただし1年間50mSv以下
2）公衆被ばく：1年間に1mSv
3）医療被ばくについては、医師が放射線の使用を判断し（そして患者側が受け入れたときは）、明らかにこれによりメリットがある場合なので、被ばく線量の限度はありません。

＊実効線量（体の全身に対する被ばく線量）の限度ですが、体の一部分だけに対しての被ばくの場合は、法令では眼の水晶体、皮膚について作業者、一般公衆それぞれについて線量限度が決められています。

7−5　放射線被ばく低減のための基本

１．外部被ばく低減のための３原則とは

放射線が明らかに自然放射線よりも高いレベルで存在している場所での作業において、作業者の放射線被ばく量を少しでも少なくするために心得ていなければならない基本的事項をいいます。

１）線源から距離を取る

放射線の強さは線源からの距離の二乗に反比例するので、距離を置いて作業します。線源を動かす必要があるときは、物を挟む道具（ピンセットやトングスなど）を用いて線源との距離をとり、被ばくを減らします。

２）作業時間を短くする

作業手順を確認し、迅速に作業を行うように務めます。必要な場合は、模擬的にリハーサルを行った後作業します。

３）線源からの放射線を遮へいする

遮へいの方法は放射線の種類に依存します。α線は紙で、β線はアルミニウムなどの薄い金属板で、γ線やＸ線は鉛や鉄の板、コンクリートブロックなどで、中性子線は水やコンクリートで遮へいできます。

２．内部被ばくを防ぐには

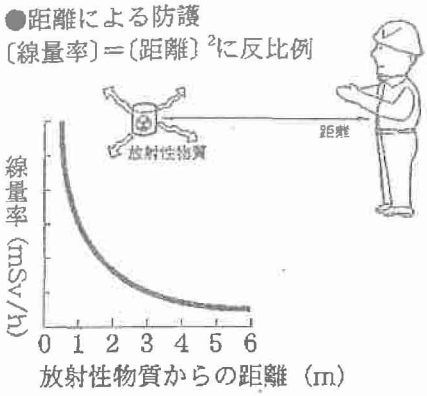
放射性物質が食物や呼吸する気体として体内に入ると、消化器官から吸収されて血液中に含まれて内臓や骨に濃縮されたり、呼吸気管や肺に沈着して局部的な被ばくが起こり、体内の組織が放射線被ばくをします。

内部被ばくを防ぐには、放射性物質が含まれた食物をできるだけ食べない、また放射性物質で汚染された空気を（マスクを使用するなどして）吸いこまない、などの注意が必要です。また放射性物質で汚染された物品があるときは、それに触れることをできるだけ避けて、皮膚や傷口からの侵入を防ぐという注意が必要です。

放射線防護の基本

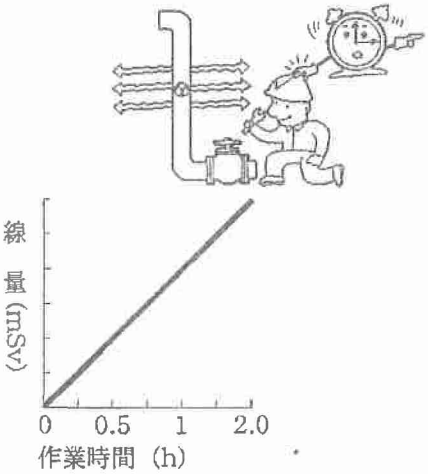
●距離による防護

〔線量率〕＝〔距離〕^{2}に反比例

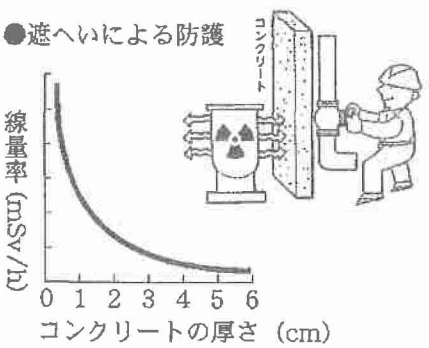


●時間による防護

〔線量〕＝〔作業場所の線量率〕×〔作業時間〕



●遮へいによる防護



（Q＆A）少量の放射線（約 100 ミリシーベルト以内）であれば、全く心配することはない。この理由をなぜですか。

二つの理由があります。(1)ひとつは放射線に対して、人体には防御機構がそなわっているという身体のメカニズムであり、(2)もう一つは放射線を受けた人の疫学的データです。

(1)生命が誕生した３０億年前から、人類も誕生した 500 万年前から自然放射線を受け続けてきた結果、生命体はこのような刺激に耐える機能を身につけるようになっています。

体内では、新陳代謝の過程や放射線などによって、活性酸素などのフリーラジカルが作られ、これらによって、細胞や細胞内で一番重要な染色体内の DNA 分子が損傷を受けます。しかし生体は、この損傷を修復する機能が備わっています。一度に大量の放射線を受けると、この修復力を超えるために骨髄や内蔵などの機能が低下し、最悪の場合、死にいたることがありますが、放射線の量が少ないときは、DNA にできた傷はほとんど**修復**されます。

まれに修復に失敗して傷が残った不良の細胞ができると、このものの存在は生命体全体に悪い影響があるので、不良細胞がひとりでに自爆して組織から排除されます。これを**アポトーシス**といいます。さらに、極めてまれに異常な DNA が残ってそのような細胞ががん細胞として増えそうな場合には、身体全体の「**免疫作用**」が働いて増殖が抑えられます。

これらは動物実験などによって確認されています。

(2)発がんに関する疫学的データから少なくとも 100 ミリシーベルト以内は安全と考えられる理由。

放射線による障害は、同じ線量でも短時間に受けるほど影響が大きいことがわかっていますが、①非常に短い時間で被ばくした**原爆被爆者**の場合でも、発ガンなどの発生に統計的に有意な影響が見られるのは 100 ミリシーベルト程度以上です。この値(しきい値)についてはより客観的に正しいと考える解析では約 370 ミリシーベルトと見積もられています。

②地球上には、**自然放射線レベルの高い地域**として、インド〔ケララ、土地からだけの平均値 3.8 ミリグレイ/年〕やブラジル〔ガラパリ、平均値 5.5 ミリグレイ/年〕、イラン（ラムサール、10.5 ミリグレイ/年）などの地域があります。通常の（土地からだけの平均値は 0.5 ミリグレイ／年）ですが、これらの地域の住民の健康に悪い影響は顕れていません。中国広東省陽江県には、自然放射線量が通常の 3 倍の地域があり、ここでは合計約 11 万人に対する健康調査が 10 数年にわたっておこなわれていて、現在のところがん死亡率は、放射線の高い地域の方が低いという結果になっている。

③長期間にわたり、低線量の放射線を浴びていた種々のグループがある。この中の英国**の放射線科医師**によるＸ線の生涯被曝量とがん死亡率との関係は、初期の頃（1897－1920）は、年間の被爆量が約 1 グレイ、生涯被ばくが 20 グレイもあったので、一般臨床医と比較すると、放射線医師のがん死亡率は 1.75 倍であったが、最近（1955－1979）では年間被爆量が約 5 グレイ、生涯被爆量が約 100 ミリグレイと少なくなると、がん死亡率は、一般の臨床医師より約 30％も低いという結果になっています。

そのほか、日本の原子力発電施設等の放射線業務従事者や米国原子力船修理作業者のデータ、米国・英国・カナダの原子力従事者のデータ、欧州の定期航空便のパイロットのがん死亡率の調査など、低線量の被爆がほとんど影響がないか、むしろ健康に有益と考えられる事実がいくつかあります。

（100 ミリシーベルトは急照射のしきい値で、低線量率、分割照射、あるいはからだの部分だけの照射ではしきい値これよりはるかに高い線量です。）

8　終わりに――エネルギー問題・原子力・放射線に関する教育について

1．地球上のエネルギー資源、とくに石油、石炭、天然ガスなどの化石資源は有限であり、しかも現在のこれらの資源の消費量は発見量を大きく上回っているので、このままで行けば遠くない将来に化石資源の枯渇が現実となる可能性が見えてきています。

2．したがって、基本的に、地球上のあらゆる国の人々はこれらの資源を無駄に消費することをやめなければなりません。これまでのように、国家としては自由に資源を消費して経済的生産高（GDP）を増加させる、という政策を改めるとともに、個人としては「つつましい」生活をして資源の浪費を減らす、というライフスタイルに変更せねばなりません。――このことを、世界的に著名なノーベル賞受賞科学者である台湾の李遠哲博士の最近、講演会でお聞きしました。

3．太陽光、風力等の自然エネルギーの利用を進めなければならないのは当然ですが、技術的また能力的に大きな制約があり、すべての電力を自然エネルギーだけでまかなうのは無理です。新エネルギーのうちでも原子力は、特にわが国では、エネルギー源を支える有力な担い手となっています。

4．原子力発電について一般社会人は不安を持っているようですが、その原因は何でしょうか。この資料で説明している放射線の人体影響についての正しい知識が行き渡っていないことも原因の一つと思われます。

もし大地震で原子炉施設が損壊を受けた場合でも、施設の主要部分は堅固な岩盤上に建設されているなど耐震性には十分に配慮された設計になっているうえに、原子炉の燃料体の構成は、燃料がせいぜい3～5%の低濃縮ウランであるので、原子爆弾のような爆発は起こりようがありません。運転中の原子炉に航空機が衝突したと仮定した場合も同様です。

5．放射性廃棄物の処理・処分についても、「技術はまだ確立されていない」と簡単に書かれているような教科書もありますが、この問題は技術的な問題というよりも、この資料で取り上げた低レベルの放射線のリスク及び原子力技術に関する社会での受け入れの問題になっているというべきかと思います。

6．最近ある学校教員の方の「化学と教育」誌で「放射性同位体の半減期には非常に長いものがあるので、原爆被災地である広島や長崎では、他の地域よりも環境放射線のレベルが高いのではないか」、と疑問をもった生徒さんとともに広島へ放射線の測定に行かれて、そのような事実は見つからなかったということ報告しておられます。このような疑問を持って原爆の被災地を訪ずれて種々の勉強をして頂くことを奨励したいところですが、先生方におかれては、原子力や放射線についても、できるだけ正しい知識を普段から持っていただき、生徒さんからの質問に的確にお答え頂きたいと希望します。

（文責：　松浦辰男）

（この資料を読まれた学校の先生方からのご意見をとりいれてさらに改訂したいと考えております。ご質問などを歓迎いたします。）　ＮＰＯ法人放射線教育フォーラムの連絡先：
〒105-0003　東京都港区西新橋3-23-6　第一白川ビル5階
電話：03-3433-0308　ファックス：03-3433-4308　E-mail：mt01-ref@kt.rim.or.jp
URL：http://www.ref.or.jp

９．参考文献

１．飯田博美・安斎育郎「放射線のやさしい知識」、オーム社、1984 年 5 月、175pp
２．森永晴彦「放射能を考える－危険とその克服」、講談社ブルーバックス、1984 年 5 月、244pp
３．日本保健物理学会「放射線の人体への影響」、1984 年 12 月、76pp
４．日本アイソトープ協会「放射線の ABC」、丸善、1990 年 3 月、82pp
５．草間朋子「放射能　見えない危険」、読売新聞社、1990 年 4 月、227pp
６．九州環境管理協会「LET'S THINK いっしょに考えよう、放射能」1990 年 10 月、37pp
７．近藤宗平「人は放射線になぜ弱いか」、講談社ブルーバックス、1991 年 3 月、241pp
８．文部省「環境教育指導資料（中学校・高等学校編）」、MESSCI-9102、1991 年 6 月、121pp
９．青森県「放射線の扉を開いてみませんか」、1991 年 10 月、35pp
10．松浦辰男「放射性元素物語」、研成社、1992 年 3 月、154pp
11．日本保健物理学会ほか「新・放射線の人体への影響」、丸善、1993 年、81pp
12．エネルギー環境教育情報センター「エネルギーKin Kon Kan」、1995 年 6 月、76pp
13．文部省「環境教育指導資料（事例編）」、MESSCI-9521、1995 年 9 月、146pp
14．長崎市「ながさき原爆の記録」、1996 年 3 月、48pp
15．エネルギー環境教育情報センター「エネルギー・環境教育教師用ガイドブック」（高等学校用）、平成 10 年 3 月、90pp
16．広島平和記念資料館「ヒロシマを世界に」、1999 年 3 月、127pp
17．有馬朗人・岸川俊明「21 世紀のパワー」、現代工学社、1999 年 7 月、357pp
18．（財）放射線影響協会「放射線の影響がわかる本」（増補改訂版）、2000 年、190pp
19．長崎・ヒバクシャ医療国際協力会「放射能 Q&A」、2000 年 6 月、43pp
20．（財）日本原子力文化振興財団「「原子力」図面集 2002－2003」、2002 年 12 月、280pp
21．生活情報シリーズ⑫、「環境とエネルギー」、電気事業連合会、2002 年 3 月、72pp
22．岩崎民子、「知っていますか？放射線の利用」、丸善、2003 年 7 月、220pp
23．(財)環境科学技術研究所「環境研ミニ百科集」、2004 年 10 月、235pp
24．武田篤彦ほか「世界の大地放射線」、放射線照射利用促進協議会、2005 年 5 月、29pp
25．資源エネルギー庁「原子力 2005」、（財）日本原子力文化振興財団、2005 年 10 月、136pp
26．茨城県「高校生のための原子力ブック」（2006 年度版）平成 18 年 3 月、60pp.
27．茨城県「小学生のための原子力ブック」（2006 年度版）平成 18 年 3 月、44pp.
28．佐々木康人「身近な放射線の智識」、丸善、2006 年 3 月、157pp
29．資源エネルギー庁「放射線とくらし」、2007 年 11 月、パンフレット、6pp
30．資源エネルギー庁「わたしたちの暮らしとエネルギー」、2007 年 7 月、22pp
31．(財)環境科学技術研究所「原子力と環境のかかわり」、平成 19 年 1 月、10pp
32．茨城県「中学生のための原子力ブック」（2008 年度版）平成 20 年 3 月、48pp.
33．日本原子力文化振興財団「放射線の世界 2008」、平成 20 年 4 月、148pp
34．電気事業連合会「図表で語るエネルギーの基礎」、2008 年 1 月、61pp
35．大阪公立大学共同出版会「みんなのくらしと放射線」、2008 年 8 月、196pp
36．輪島隆博「教科書に載っていない放射線のはなし」、北海道ｴﾈﾙｷﾞｰﾄｰｸ 21、2008 年、49pp

（その他、発行年月不明のもの）

37．（財）放射線影響協会、「放射線」、14pp
38．(財)原子力安全技術センター、「放射線利用 A to Z くらしとアイソトープ」、31pp
39．文部科学省（(財）日本科学技術振興財団）「「はかるくん」の使い方」、42pp

第二部　放射線実験の手引書

―放射線に関して未経験の先生にも容易にできる実験、新しい世界へ生徒を導く実験―

１．はじめに

「放射線」と言う言葉を聞くと、びっくりなさる先生方が多いかもしれません。まして、その「放射線」を対象とした実験の指導を自分がする、となりますと少し気が重いかもしれません。しかし、次のような簡単な実験によって、生徒達の自然に対する理解を深めることの手助けができる、となると取り組んで頂けると思います。この手引書では、やや専門的な用語の解説はあとの章で行い、先ず全体像を理解して頂くことを優先しています。

図１　放射線が飛ぶのを眼で見る実験

実験１：放射線が飛ぶのを目で見る実験。

図１に漫画で示すように、放射線が空気中を飛んだときの飛跡を、霧箱を使って見る実験をします。霧箱は生徒一人一人が自分で作ることができます。

実験２：自然放射線を測定する実験。

図２は、携帯電話程度の大きさの放射線測定器を使って、どこに行っても自然の放射線があること、自然の放射線は場所によってことなることなどを確認します。この測定器は生徒に一人一台借りることができます。

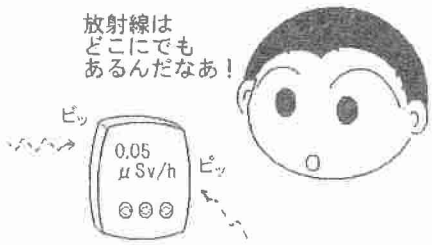


図２　自然の放射線を測定する実験

生物は太古から自然の放射線の恩恵を受けて、自然の環境の変化に適応して生きることができるように進化してきたと言われています。今もその進化は続いています。しかし、人類が放射線の存在を知ったのは、わずか 120 年余り前のことです。それ以来、自然の放射線のみならず、人工の放射線の発生とそれらの利用に関する目覚しい発展があり、医療、工業、農業、等への極めて重要な利用がなされています。

このような状況のもとで、中学理科の指導要領が改訂され、理科の中で放射線を取り扱うことが記載されました。

このテキストは、先生方に、放射線に関する簡単ないくつかの実験をご紹介することによって、これはなかなか面白い、とお感じになって頂き、実際に先生方ご自身で取り組んで頂くこと、そして、授業に取り上げて頂くことを目的にしており、それが可能な実験のみを記述しています。

以下に、放射線実験は始めてという先生方を対象に、比較的簡単にできる放射線実験のいくつかをご紹介します。これらは、先生方が生徒の前でデモンストレーション実験として行なってもよく、また、生徒一人一人が実験を行なうことも可能です。

２．霧箱を用いた放射線の飛跡の観察

この実験は、放射線が飛んだところにできる霧の線を目で見るという実験です。この装置を霧箱と言います。

最初に簡単に霧箱の原理を説明します。（原理の詳細は６．章で説明）

図３に示すように、霧箱の中を放射線（ここでは荷電粒子であるアルファ線）が通過すると、空気の分子（N_2、O_2）をイオン化（電離）して、正の電荷を持つイオンと負の電荷を持つ電子ができる。負の電子のほとんどは酸素分子と結合して負のイオンになる。過飽和状態（詳細は６．章で説明）にあるアルコール分子はこれらのイオンに付着して、アルコールの霧滴（液滴）ができる。これらに光をあてると光が反射して飛行機雲のようにアルファ線が通った跡が白い線として見える。

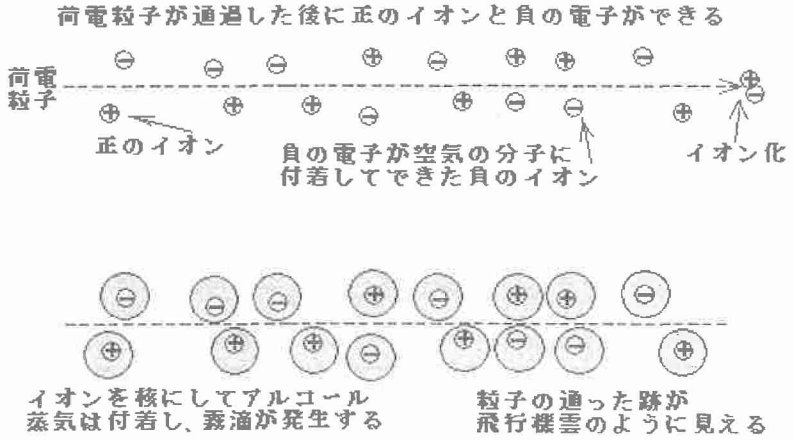


図３　霧箱の中を荷電粒子（アルファ線）が通過した跡が見えることの説明図

２．１　自作霧箱を用いた実験（この実験は生徒一人または二、三人に一個程度の実験で、

最も簡単かつ安価な方法で、初めての先生方にも容易に作れ、必ず成功します。この方法は、放射線計測協会、日本科学技術振興財団 などで工夫された方法に中部原子力懇談会が改良を加えたものです。）

図４の部品図を御覧下さい。こんな簡単な実験装置で、放射線が見えるのです。

必要な材料・道具を列記します。

① 透明なシャーレ（プラスチック製でもガラス製でもよい）、または百円均一のプラスチック容器（円形でも四角形でもよい）。プラスチックシャーレはまとめて購入すれば１個 10 円以下になる。

② シャーレのふた

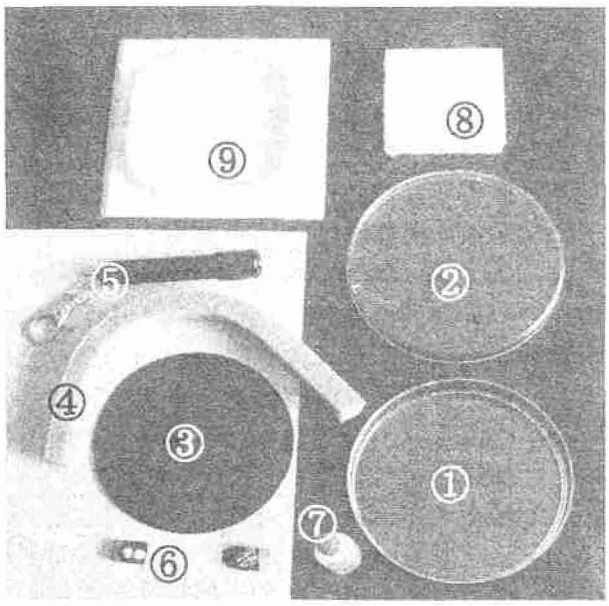


図４　シャーレを用いた最も簡単な霧箱の部品

③　黒い紙（折り紙などを①に入るように切る）
④　すきま用スポンジ
⑤　懐中電灯
⑥　放射線源（放射線源については５．章で説明しています）
⑦　エチルアルコールを入れた容器（お寿司のしょうゆ用の容器を使っています）
⑧　ドライアイス、⑨の中に入れる（軍手をはめて扱って下さい）
⑨　板状のスチロールフォーム（ここでは納豆を入れる容器のふたを使っています）または雑巾など、断熱性のあるものならば何でもよい。

作り方

手順を以下に示す。霧箱がシャーレではなく、四角のプラスチック容器などの場合にもほとんど同じ手順である。

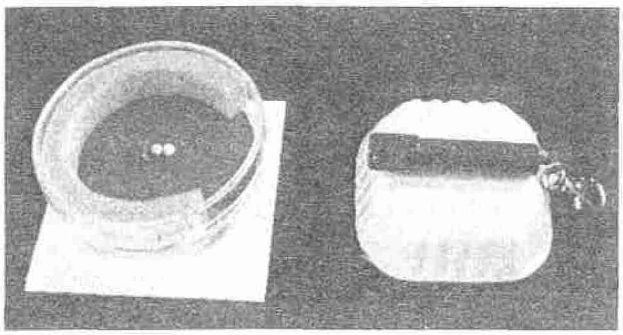


図５　シャーレ型霧箱の完成図
懐中電灯は図では写真のために台に置いているが通常は手に持ってシャーレの横から中を照らす

１）図４の③のように黒い紙を容器の底に収まるようにハサミで切りシャーレの底に敷く。（雑な切り方で良い）

２）すきま用スポンジを切り、図５のようにシャーレの中に入れる。この場合に一周にしないで、懐中電灯の光を入れる場所を空ける（馬蹄形になる）。

シャーレよりも深い容器の場合には、容器の上部の内側に一周して貼り付ける（図６参照）。シャーレの場合には、浅いのでそのままに入れるが、うまく円形にならない場合には貼り付けてもよい。

３）図４の⑦に示すエチルアルコール（薬用アルコールではなく、無水アルコールで、薬局で購入できる）を１～２cc スポンジにほぼ一様に垂らす。スポイトを使うのもよい。黒い紙の上にも 1～2 滴垂らすとよい。

４）図５のように、放射線源（５．章でやや詳しく説明しています）を中央に置き、シャーレのふたをする。

容器のふたが不透明な場合には、図６のように、食品用のラップフィルムで上部を覆い、輪ゴムで周辺を止める。ラップフィルムを引っ張ってフィルムのしわを伸ばす。容器の上部から放射線の飛跡に沿ってできる霧のスジ（線）を見るので、容器の蓋が透明であれば蓋をしめればよいが、そうでない場合には、このラップフィルム法が簡単であ

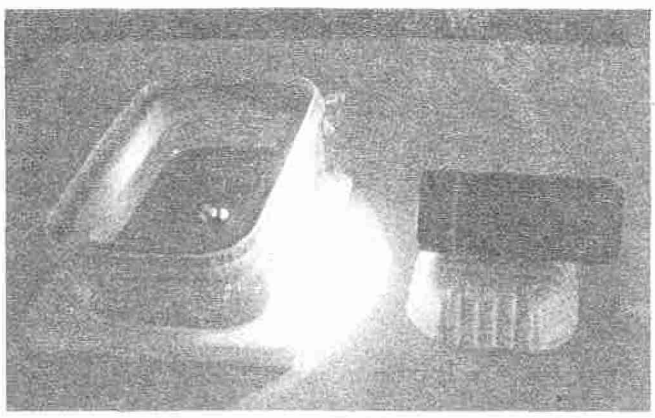


図６　市販のプラスチック容器を使った霧箱
上面は食品用ラップフィルムを輪ゴムで止めている。

り効果的である。図６には、弁当箱型の少し深めの、矩形のプラスチック容器の場合を示す。ふたが不透明だったので、ラップフィルムを上部に被せている。

５）板状のスチロールフォームの上に板状のドライアイス（粉状のドライアイスでも良い）を置き、その上に図５、あるいは、図６、ないし、図７の霧箱を乗せる。容器をほぼ水平に置く（スチロールフォームの場合には、その下に紙を折って調整すると良い）。ドライアイスの取扱は軍手などの手袋をして扱うこと。

シャーレの底やプラスチック容器の底には小さな出っ張りがあるのが普通である。この場合にドライアイスを小さくして、ドライアイスが容器の底の出っ張りに当らないようにし、容器の底面に直接接触するようにする。このことは極めて重要で、容器の底の温度をより下げるのに有効であり、これが大きなポイントである。容器の底とドライアイスの間に隙間があれば温度が下がらず、霧ができにくい。

６）暗幕等を利用して部屋を若干暗くし（暗幕が無ければ、みかん箱などを利用して暗い場所を作るとよい）、シャーレあるいは容器の横から中を照らす。図５、図６、および図７では、懐中電灯を台の上に置いているが、手に持って、底と底から３ｃｍの空間を照らす。数分のうちにアルファ線の飛跡（霧状）が見える。底が薄いシャーレの場合には10～20秒で見える。生徒にゆっくりと鑑賞する時間を与える。

７）実験の終了に際しては、ガーゼなどを用意しておき、生徒に容器をきれいにさせて、後始末をさせ、回収すると、次の実験に容易に再利用できる。

８）飛跡が見えない場合に対するアドバイス

① アルコールが少なすぎると過飽和状態になり難いので、また過飽和度が十分でないので、蓋を外してアルコールを追加し蓋を閉めて再び観察する。

② 容器の中に雑イオンやゴミなどがあると、飛跡を観察しにくい。定規や塩ビのパイプなどをティッシュペーパーなどでこすって、静電気を起こし、容器の上で動かすと、雑イオンやゴミなどが取り除かれ、飛跡が明瞭に見える。

③ 容器をあまり長い時間（容器にもよるが、ほぼ10分以上）ドライアイスの上に置くと、容器全体が冷えて、アルコールが蒸発しなくなる場合がある。その場合には、一旦ドライアイスから容器を外し、温かくなってから、アルコールを補給し、再びドライアイスの上に置いて観察する。

④ 飛跡が観察できる領域は、容器にもよるが容器の底からほぼ２センチメートル以内であるから、線源の位置が高すぎる場合には、線源をこの領域に移す。懐中電灯の光を照らす位置もこの領域である。

⑤ ドライアイスが容器の底に密着しているかどうかを確認する。前述したように、これは極めて重要なことで、容器の底に突起物などがあるとよくない。ドライアイスを小さくするなどして、密着させる。プラスチック容器の底があまり厚いと、霧箱の内部が冷えないのでよくない。

これまで述べてきた方法は、理科教室にあるシャーレや百円均一などで購入できるプラスチック容器あるいは家庭にある小さな食品用の透明なプラスチック容器（ガラスでもよい）を利用した自作の霧箱であり、極めて安価である。しかし、以下に述べるような霧箱キットが市販されている。

２．２　市販の簡易霧箱キットを用いた実験

（問い合わせ先：(財)放射線利用振興協会）

キットの購入価格（2000 円～3000 円）の点で、１～２個を購入して、先生がデモンストレーションとして行う実験、または数名のグループで行なう実験に適している。もしもキットの使用後に、先生が若干のメインテナンスをして、キットを繰り返し使用する場合には、購入価格はあまり問題にはならず、１個で２～３名が実験し、かつ毎年使うことが

できると思われる。この霧箱は底が平らなアルミニウム板で、ドライアイスと密着し、かつアルミニウムの熱伝導性が良いので、霧箱の内部がよく冷えて、きれいな霧が比較的できやすい。組立てに少し時間がかかる。

容器の底がアルミニウム板で突起物が無いので、容器よりも大きなドライアイスを用いることができるが、２．１の５）で述べたように、突起物があれば、大きなドライアイスは却ってよくない。

実験の手順はキットに付属した説明書に従えば比較的容易に組立てることができる。

組立てたあと、次のような手順で実験を進める。

a. スポンジのある側を下にし、容器の側面の穴から、付属のアルコール入りのスポイトを使って、アルコールをスポンジに滲み込ませる。

b. 次に、容器のアルミニウム円板側を下にしてドラアイスの上に乗せる。この時容器が水平になるように若干調整する（水平でないと飛跡が斜めに流れる）。（スチロールフォームの場合には、紙を折ってその下に入れて調整するとよい。）

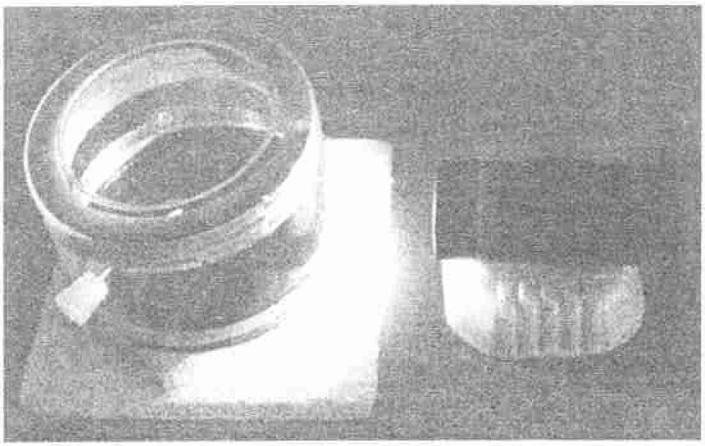


図７　市販の霧箱セットを使用して作った霧箱

c. 容器の側面にある栓をとり、放射線源がついた栓に交換する。先端の小片（線源）の位置は容器の底から約２cm以下になるように、しっかりはめ込む。

d. 図７に示すように、室内を暗くし、懐中電灯の光を横から当てると、アルファ線の飛跡に沿って生じる霧の線が観察できる。時間が経過すると線源の表面がアルコールで濡れて、アルファ線が出難くなるので、観察は手際よく行う。

２．３　ガラス容器を用いた霧箱実験セット

（問合せ先：（有）ラド http://www.kiribako-rado.co.jp）

セットの価格（３万円）はやや高価であるが、この霧箱は放射線源を使わずに、自然の放射線（空気中のラドンからのアルファ線、およびベータ線、ガンマ線）を観測することができ、上述してきた霧箱よりも、より鮮明に飛跡を観察できる。

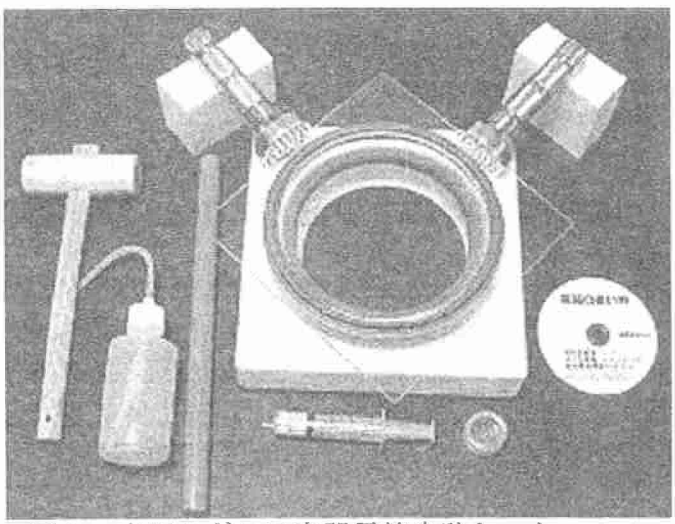


図８　市販のガラス容器霧箱実験セット

図８に示すように、内径180 mm、深さ60 mm程度のパイレックスガラス容器と、52

灯 LED ライト２個を使っている。やや大型の懐中電灯でもよい。ドライアイスを細かく砕き、すぐにその上に容器を強く押し付け、ドライアイスとガラス容器との密着性をよくする。ドライアイスを砕いてから容器を押し付けるまでの時間が長いと、砕いたドライアイスの表面に、氷が付着し、ドライアイスが昇華しなくなり、温度が下がらない。セットおよび使用法の詳細はセット付属の資料を参照されたい。

手元に適当なガラス容器（パイレックスガラス製が望ましい。電子レンジ用のガラス容器はほとんどパイレックスガラスである）があれば、自作で同等の実験は可能である。

上記の（有）ラド　では、このセットよりも高級な霧箱も販売している。

２．４　液体窒素を使った霧箱

これまで述べてきた方法は、いずれもアルコールの過飽和蒸気を得るための冷却剤として、ドライアイス（昇華温度　-78.5℃）を使用する方法である。しかし、場合によってはドライアイスよりも、液体窒素のほうが入手しやすい場合があるかもしれない。そのような場合には、液体窒素を使う方法が有効である。しかし、液体窒素は温度が -195.8℃で極めて低いため、霧箱を直接冷却すれば動作しない。そのため、霧箱を間接的に冷却する。ドライアイスよりもより低い温度に冷却するので、過飽和度が大きく、ベータ線が見えるなど感度が高い。(以下、インターネット：東京都立西高等学校　森 雄児 氏　の記述による)

準備するもの：

1)液体窒素、保存容器、2)霧箱（電子レンジ用パイレックスガラス）、3)トランジスター冷却用フィン、4)黒っぽい布、5)サランラップ、6)エチルアルコール、7)放射線源（ユークセン石）、9)塩ビ棒

α 線を観測する場合の手順：

1)黒い布を丸く切ってガラス容器の底に敷く。布に軽くアルコールをかける。

2)ティッシュペーパーを容器の内面の回りに敷き、アルコールをかける。

3)放射線源をいれ、サランラップでふたをする。

4)発泡スチルールの容器の中に冷却用フィンを置き、液体窒素を入れる。

5)冷却用フィンの上にガラス容器を置く。

6)雑イオンを取り除くために、塩ビ棒をティッシュペーパーでこすり、塩ビ棒を近づける。これは静電気による電界をかけるためである。

これで２、３分すると放射線の軌跡が見える。横からスライドプロジェクターで光を当てると飛跡がさらによく見える。冷えすぎると、霧箱の底に白い霧が立ちこめる。この時はフィンを逆に置く。

３．簡易放射線測定器（「はかるくん」）を用いた自然放射線の測定

図９に示すような携帯型簡易放射線測定器が、文部科学省の委託事業として、日本科学技術振興財団（東京）から無料で貸し出されている（ホームページ参照）。図９に示す「DX-200」、「DX-300」、「はかるくんメモリー」は、いずれもガンマ線を測定するが、充電式、電池式、持続時間、などにおいて異なる。「はかるくんⅡ」はベータ線の測定が可能である。使い方の概略は次の通りである。

①電源スイッチを押す。

電源が入って、表示部に待ち時間の表示が点灯し、約 35 秒で消え、動作状態に入る。

②数字は10秒毎※に表示され、その場所の放射線の強さを表す。「1時間当り何マイクロシーベルト、μSv/h」という単位（この単位については、9．章で説明している）で表示される。

※　表示は、過去60秒間の測定値を平均し、10秒毎に更新される。従って、測定場所において、約1分待ってから、表示を読み取り、そのまま30秒以上経過してから、再び読み取る。同様に3回目を読み取り、合計3回の値の平均値を求めるのがよい。

図9　簡易放射線測定器「はかるくん」　左から、DX-200、DX-300、 はかるくんメモリー、はかるくんⅡ

③放射線の入射を知らせる音を聞きたいときには、ブザースイッチを押す。表示部にブザー表示が出て、ピッ、ピッという音が聞こえる。

④電源を消したいときは、電源スイッチをもう一度押すと表示が消える。

生徒一人一人にこのような測定器を持たせて、自然環境の放射線の強さを測ることができる。

屋内では、木造やコンクリートの建屋、測定階（地上何階、地下何階）、教室内の場所（中央、窓際、壁際）などを測り、屋外では、校庭、特徴のある地面、水の上、銅像の台座などの御影石の上、などを測り、下表のような適当な測定表をあらかじめ作って、それに記入する。

カリ肥料、湯の花、カリウム化合物試料などからは放射線が比較的多く放出されているのでこれらの試料を用意しておくのもよい。

測定表

測定場所 （測定条件を書く） （例）	1回目の測定 （μSv/h）	2回目の測定 （μSv/h）	3回目の測定 （μSv/h）	合計 （μSv/h）	平均値 （μSv/h）
教室の中央					
教室の窓際					
教室の壁際					
校庭の土の上					
校庭の林の中					
御影石の上					
プールの水の上					
感想・考察点					

私達の身の回りのどこにでも自然の放射線があること、場所によって異なること、などが実験を通じて実感できる。また、図12で述べるカンテラの芯（マントル）の線源など、適当な放射線源を使えば、図11のような放射線の吸収・遮蔽の実験なども可能である。

4．　可搬型放射線測定器（サーベイメータ）による放射線の測定

放射線の性質や放射線の利用などを教えるに際しては、霧箱や「はかるくん」の活用とともに、できれば次に述べる可搬型の放射線測定器（放射線サーベイメータと呼ばれ、市販されている）を、一校に一台備えられることをお勧めします。しかし、比較的高価なので、せいぜい一台程度しか備えることが出来ないと思われるので、それを使って先生が生徒の前でデモンストレーション的に行なう実験、あるいは興味を持った生徒が少人数で行なう実験に限られる。多人数の生徒に対しては、放射線計数の音で放射線の強弱を知ってもらうことになる。このような放射線測定器は各社から販売されているが、「放射線測定器、サーベイメータ」などの用語で、インターネットから情報を得ることができる。

場合によっては、大学や研究所あるいは会社などから測定器を借用することも可能である。

4．1　GMサーベイメータ

（GM計数管を検出器とした測定器、主としてガンマ線用であるが､キャップを外せば､ベータ線も検出できる）

図10に、一例としてアロカ（株）の製品を示す。価格はタイプやメーカーにもよるが、約25万円（これは市販価格で教育用はより安価）である。測定目盛として、計数率CPS（1秒間の計数）またはCPM（1分間の計数）の目盛と、線量率μSv/h（マイクロシーベルト・パー・アワーと読むが 1 時間あたりの放射線量のことである）の目盛の両方があるのが望ましい。

図10　ガイガー・ミュラー計数管（GM計数管）式の可搬形放射線測定器

ガンマ線に対する検出効率（検出器に入射した放射線のうち､実際に検出される割合)は１％程度、ベータ線に対してはＧＭ管のキャップを外した状態でほぼ 100％、アルファ線は、キャップを外したＧＭ計数管の先端を線源によほど近づけなければ検出できない。

自然放射線計数率は約20～30 CPMであるが、場所によって放射線の強さが異なるので、校庭の御影石の上（やや多い）やプールの水の上（やや少ない）などの環境放射線を測定することができる。塩化カリウムの 500ｇ試薬瓶を近づけると50～100 CPM（K-40からのガンマ線を計数している）、キャップを取った状態で後述のカンテラのマントル線源（図 13 の左側の円形の線源)を近づけると線源にもよるが約1500 CPM（主としてベータ線を計数している）である。

図 11　マントル線源とＧＭサーベイメータを使ったベータ線の吸収実験

図11に示すように､マントル線源などを使い､線源と計数管の間に、紙、プラスチック、アルミニウム、銅、錫、鉛などの薄い板を置くことによって、放射線の吸収の実験ができ

る。これは、紙産業や、鉄鋼産業において使用されている放射線の厚さ計の原理を教えることにもなる。

４．２　シンチレーションサーベイメータ

（主としてガンマ線用であるが、ややエネルギーの高いＸ線も測定できる）

図10のＧＭ計数管の部分を、NaI(Tl)などのシンチレーション検出器で置き換えたものといってもよい。目盛は、計数率表示と線量率表示の両方あるのが望ましい。価格は 50 万円程度である。ガンマ線に対する検出効率は数 10％で、自然放射線計数率はタイプにもよるが、約 100CPM である。ベータ線、アルファ線は検出しない。前述のマントル線源を近づけると計数率は 1000CPM 程度になるので、ガンマ線に対する放射線吸収実験ができる。

４．３　電離箱サーベイメータ

（Ｘ線、ガンマ線用であるが、電離箱のキャップを外せばベータ線も測定できる）

電離箱式のサーベイメータには、目盛に線量率μSv/h の表示と積分型の線量μSv（または mSv）の表示の両方があり、必要に応じて切替えて使うタイプがあるが、このタイプを選ぶのがよいと思われる。価格は約 35 万円である。放射線に対する感度は低く、自然放射線強度は線量率表示ではほとんど指示しない。しかしこのような場合においても、線量率表示から線量表示に切替えて積分型にし、時間をかけて測定すれば可能である。電離箱式は放射線を一個一個数えるのではなく、微小な電流を測定しているので、実験内容は限られる。先端のキャップを外して前述のマントル線源を近づければ、ベータ線が検出され 5 μSv/h 程度を示す。

その他、いろんなタイプの測定器があるが、いずれにしても比較的高価なので、購入に際しては経験者の助言を得るのが望ましい。

また、いずれも電池で動作するので、学校で一年に一回程度使用した後、長期にわたって使用しない場合には、電池を外しておくのがよい。

５．　放射線源（単に線源と呼ばれることが多い）

（参考：（財）放射線利用振興協会：原子力体験セミナー「霧箱による放射線飛跡の観察」
（有）ラド http://www.kiribako-rado.co.jp/play/play1.html ）

放射線を扱う実験において、先生方が気にされるのは放射線源の入手や取扱ではないかと思われる。実験で用いる放射線源は、ほとんどすべて自然界に存在するものや、一般に市販が認められている製品です。

(a)　モナザイト

希土類元素を主成分とし、酸化トリウムを４～１０％程度含むリン酸塩鉱物（Ce,La,Nd）$PO_4(ThO_2)$で、風呂に入れてラドン温泉的に使用されたり、健康グッズに使用されたりしている。直径 2 mm程度に焼成されたものが、少量は市販されている。図 12 は、直径 1～3 mmに焼成されたモナザイトの顆粒とそのうちの直径 2 mm程度の顆粒 2 個をプラスチックの台に接着した線源を示す。この線源で、α線の飛跡が 1 秒間に約 2 個観測できる。この線源はモナ

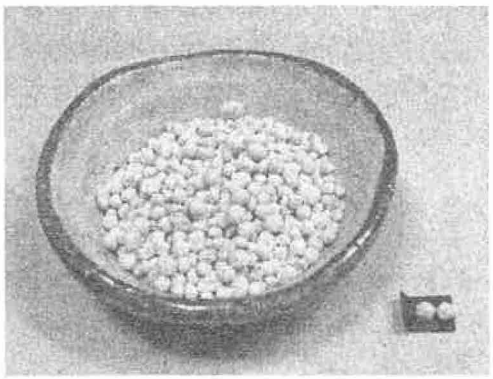


図 12　　モナザイトの顆粒とそれを用いて作製した小線源

ザイトを購入して自作できるが、ご要望に応じて線源の形でご協力することを考えている。なお、この線源は中部原子力懇談会の考案による。

(b) アウトドア用ランタンのマントル（芯）

キャンプなどで用いる照明器具のランタンの芯に相当するマントルには、一部の製品に輝度を高めるために、ごく微量の酸化トリウムを含浸させているものがある、図13参照。これを小分けし、プラスチック片などに接着すれば線源として使用できる。ただし、この小分けの作業は、できれば私共の専門集団にご相談ください。

このマントルを中に入れた注射器のピストンを1～2 cm引き、中の空気を霧箱の中に入れると、ラドン（トロンとも呼ばれる、Rn-220）ガスからのアルファ線と、娘核種Po-216からほとんど同時に放出されるアルファ線を観測することができる。Rn-220の半減期は55.6秒なので、アルファ線の飛跡の数が急に少なくなって行くことも観測できる。

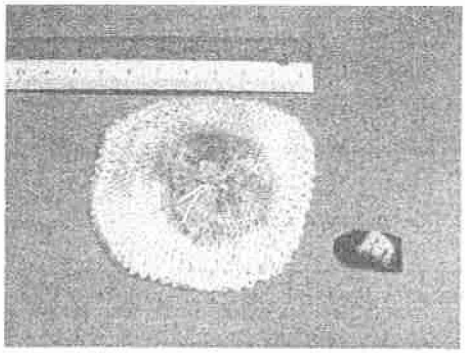


図13　ランタンのマントルと、それを小分けして作った小線源

(c)　鉱石

○　ユークセン石（ウラン238を7～8%、トリウム232を4～5%含む）

○　放射性鉱物標本：閃ウラン鉱、燐灰ウラン鉱、燐銅ウラン鉱

これらの鉱石を中心とした自然放射線源のセットが高価ではあるが市販されている。

(d)　化学実験用の試薬KClやKOHなどからは、あまり強くはないが、K-40からの放射線が出ている。

(e)　温泉の湯の花からも放射線が出ており、高価ではあるが入手できる。

(f)　空気中のゴミを集塵機あるいは掃除機でフィルタの上に集めた線源

コンクリートで囲まれた部屋の空気中には、ラドンガスがコンクリート壁から放出され、その娘核種がエアロゾールやゴミなどに付着して漂っている。これを、集塵機などでフィルタ上に2～3時間かけて集め、小さく切って、クリップなどに挟んで霧箱の中に入れるとアルファ線による飛跡が観測できる。ただし、家庭用の掃除機を使用する場合には、フィルタの負荷と長時間使用による掃除機の過熱に注意する必要がある。

(g)　岡山県の人形峠の土や過燐酸石灰を洗浄瓶に入れて密封しておき、中に溜まったラドンガスを活性炭に吹き付けて線源として用いる。或いは霧箱の中へ直接注入する。

注1）　鳥取大学工学部の中村麻利子教授の方法で、放射線教育フォーラムにおいてもこのような誰でも容易に行うことができる方法の提供について、より詳細に検討中である。

これらはいずれも法律による規制値以下の微量の放射能レベルなので、安心して使用できる。しかしながら、先生ご自身であっても、図12のモナザイトの顆粒や、図13のマントルそのものを扱う場合には専門家に相談の上、行なって下さい。小分けのために、ランタンマントルを切り刻んだり、鉱石を砕いたりすると微細片が飛散します。このような行為はできるだけ避けて下さい。

小分けした線源は、素手で扱ってもよいができればピンセットなどを使うのが良い。学校への持込に関しては、先生方は、小さな線源であっても個数を確認し、実験以外の時の保管に際しては、それが何であるかを明記したラベルを貼り、鍵のかかる棚などに、化学薬品と同等の管理をしていれば完全である。

不要になった場合には、各自治体で定めるゴミ収集の方法（可燃、不燃等）に従って、通常のゴミとして廃棄して問題ありません。図12、図13における小分けした線源は不燃物です。詳細は、放射線教育フォーラム、放射線利用振興協会など、専門機関にご相談下さい。

先生方への線源の配布については現在検討中です。

6．　霧箱における放射線の飛跡の形成原理の説明

２．１　の始めに述べたように、アルファ線やベータ線のように電荷を持った放射線が通ると、その通り道に沿って原子や分子を電離する。電離が起きると、原子や分子はイオンになる。今まで述べてきた霧箱の中はほとんどが窒素分子と酸素分子で、過飽和になっている少量のアルコール分子がある。この中をアルファ線が通ると、その道筋に沿って、主として窒素分子や酸素分子のイオンができる。このイオンが中心核になって過飽和のアルコール分子が集まり液滴ができる。そして、放射線が飛んだ跡（飛跡と言う）が白い線になって目に見える。これが霧箱です。

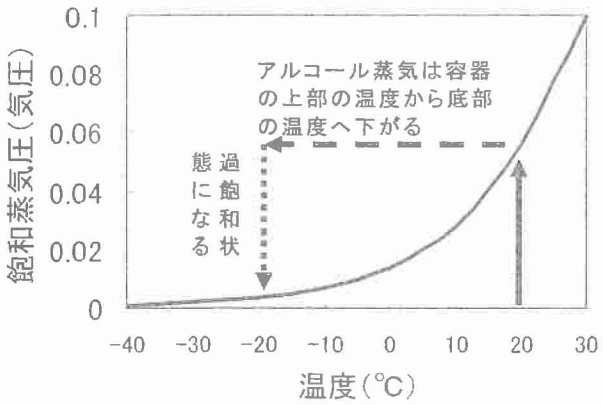


図14　エチルアルコールの温度と飽和蒸気圧の関係

ちなみに、霧箱は、ウイルソン（英）が発明し（膨張霧箱）、1927年にノーベル物理学賞を受賞している。霧箱には、大きく分けて膨張霧箱と拡散霧箱があるが、今まで述べてきた霧箱は拡散霧箱（以後、単に霧箱と呼ぶ）であり、以下でもこの霧箱について述べる。

過飽和の気体を作るには、空気の中に水蒸気を発生させる方法もあるが、エチルアルコール（消毒用のアルコールではなく、無水エタノール：試薬販売店や薬局で購入できる）は常温でも早く蒸発し、飽和蒸気圧が高いので好適である。したがって、空気の中にエチルアルコールを蒸発させる方法がよく用いられている。図14にエチルアルコールの温度と飽和蒸気圧の関係を実線で示す。

実線の下部では飽和蒸気圧以下なので、エチルアルコールは気体の状態です。実線の上部では飽和蒸気圧以上なので基本的には液体の状態です。

今、霧箱の上部のスポンジに沁みこませたエチルアルコールの温度が 20℃であるとし、盛んに蒸発して飽和蒸気圧（0.0580 気圧）近くになっているとする（実線の矢印）。容器の底部はドライアイスで冷却されているので、このエチルアルコール含む空気は下降し、たとえば－20℃のような低い温度になる（粗い点線の矢印）。この温度での飽和蒸気圧は 0.0036 気圧と非常に低いので、その差 0.0544 気圧（0.0580-0.0036）のアルコールの蒸気は余ることになり、いわゆる過飽和状態という不安定な状態になる。

この過飽和の不安定な気体の状態は本来ならば液体の状態なので、何かのきっかけがあれば気体は凝結して安定な液体になろうとする。そこへアルファ線などが走ると、その道筋に沿って窒素分子や酸素分子のイオンができ、そのイオンに、過飽和の余ったアルコー

ル分子が付着してアルコールの液滴ができ、光を反射して白い線として見える。しかし液滴になるには、飽和蒸気圧の数倍の過飽和蒸気圧が必要なので、このような領域は容器にもよるが、容器の底から２ｃｍ程度以下に限られる。凝結させるには、このような過飽和度の大きな領域を作ることがポイントである。空気中のイオンと同じようにチリなどもアルコール蒸気の凝結のきっかけになる。

寒い冬の朝に、外で息を吐くと白くなることは誰もが経験している。これは何故でしょうか？　この現象は霧箱の原理を理解して頂くのに好適な身近な現象です。

肺の中の空気には水蒸気が、ほとんど湿度 100 ％で含まれている。「ほとんど 100 ％で」という意味は、「ほとんど飽和水蒸気圧で」という意味です。肺の中の温度 35℃の飽和水蒸気圧は 0.056 気圧です。しかし、外気が低くて 5℃の場合には、そのときの飽和蒸気圧は 0.008 気圧です。

息を吐くと、肺の中の高い温度において飽和水蒸気圧になっている空気が、急に外気の低い温度（例えば５℃）にさらされる。すると、過飽和の状態になる。すなわち、0.058 気圧-0.008 気圧＝0.050 気圧の水蒸気は余ることになる。そのときに、もし外気の中に小さなほこりやイオンなどがあると、それを中心核としてその周りに、余っている水蒸気が集まり、多くの水滴ができることになる。これが白い息です。

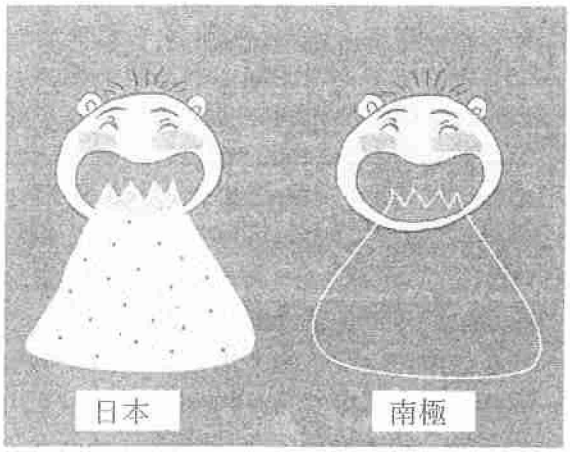


図 15　日本では冬の寒い日に、外で吐く息は白くなるが、南極では白くならない。大気中にホコリがないからである。

もし、小さなほこりなど（エアロゾルと呼ばれる）がなければ水滴はできない。空気中にはイオンもあるが、あまり多くはない。南極ではほこりが殆んどないので息は白くならないと言われています。

飛行機雲は、エンジンの排気の中の多量の水蒸気が急に冷やされ過飽和状態になり、排気の中の多量のイオンやほこりが核になって水滴ができ、線状の雲となったものです。寒い冬の朝、窓ガラスの内側に水滴ができるのも同じ現象です。

身近な現象を通じて、原理を理解することは生徒達にとってもとても重要であると考えます。

第三部「放射線の性質と利用」学習指導事例案

学習指導事例案についての解説

放射線の専門家が、その知識や経験をもとに、授業実践に役立つ学習指導資料としてどのようなものをつくるのが効果的なのか、専門家にとっては適切に判断するのが難しい。

専門家の視点を散りばめた一般解説は、確かにきめ細かい内容を過不足なく記述できるという長所があるが、生徒に教える立場の先生方にとって、こなれの悪い内容を通し読みしなくてはいけない負担があり、すばやく関心のポイントに達することができない。かといって、ワークシートのような教材を作成して授業展開へ踏み込めるような経験の蓄積が専門家にはない。一般解説調から授業展開に一歩でも近づけたいが、いずれにしてもわれわれにできるのは授業展開の手前の作業である。

以上の判断をもとに、今回の学習指導事例作成に当たって、放射線の性質と利用を、放射線の発生、種類、性質、放射線量、放射線利用（概論、製造業・学術、医療、農業に区分）[4]、放射線の影響と安全性[5]の小テーマに細分化し、窮屈かもしれないが、項目毎に１ページ分の共通のフォーマットを定めた。小テーマや箇条書きの細目のなかから、必要と考えるもの、興味あるもの、あるいは実践し易いものを選択し易いように配慮したためである。授業実践には難しい内容も含まれているかもしれないが、先生方には学習内容の背景を理解するうえでご参考にしていただければと考える。

学習レベルについては、大部分を「中学校・高校」としたが、中学校の指導内容を明らかに超えると考えられる小テーマについては、「主に高校」あるいは「高校」とした。フォーマットの形式は、「ねらい」、「概説」、「要点」、「留意点」、「発展学習」に区分し、「概説」以外は整理し易いように箇条書きとした。「概説」は必要最小限の基本内容のみとし、「要点」は学習すべき内容のポイントを記載した。

「発展学習」は特に科学技術と人間生活とのかかわりを重視した課題研究や探求学習である。中学校理科及び高校理科の基礎的科目では、このかかわりについての認識を深めることに大きな学習目標をおいているので、ここでは授業展開の多くの可能性のなかからいくつか例示したつもりである。「留意点」では、授業展開の視点からのものでなく、学習指導内容に絡んで念頭に入れておくべき認識を示した。

特別の小テーマとして、「放射線とエネルギー」及び「放射線と加速器」を追加した。前者は、放射線学習をエネルギー学習のなかの単なるエピソードに終わらせるのではなく、放射線の発生や作用をエネルギーの移り変わりの視点から理解させるための内容であり、それによって放射線についての理解をいっそう深められると考える。後者は、加速器が扱われないことで放射線利用の学習が偏るのを避けるためである。新学習指導要領を含めて、現状の中学校及び高校の学習指導では、人工放射線源としての加速器が取り上げられにくいという問題が依然として残ると考える。

一つの小テーマを１ページに収めるという制約を課したため、学習指導や授業展開を助ける図表の数が足りなかった。実際の講義のなかでその不足を補充につとめたいと考える。個別的な放射線の基礎知識については、インターネット、デジタル教材、参考書等で容易に入手可能であり、学習指導事例の作成に当たっては、どれにも共通して書かれているような知識との重複をある程度は避けたつもりである。

学習内容の課題としては、自然放射線、放射線の安全性、放射線に関わる歴史などの内容について、指導事例のなかに取り入れるように配慮したが、十分とは言えないので、指導事例の小テーマとして今後追加することを検討している。

参考文献

1) 田中隆一、「学習指導要領に基づいた放射線に対する取り扱いに関する考察」、エネルギー環境教育研究、Vol.3、No.2 (2009)

2) 飯利雄一、廣瀬正美、伊藤武、橋本健夫、「理科教育 理論と実践」、東京図書、36 (1991)

3) 田中隆一、「中学校・高等学校での放射線利用の教育を考える」、放射線と産業、No.123、40 (2009)

4) 田中隆一、「リスクの関する学校教育を考える」、広領域教育、 No.68、20 (2008)

学習指導事例１　放射線の発生と存在　（中学校、高校）

ねらい　自然放射線の存在を実験・観察を通して認識させる。人工放射線源として特に加速器（X線発生装置も含める）の重要性を認識させる。人工放射線源の登場が科学や技術を発展させ、人間の生活にも大きく関わるようになったことを放射線・放射能に関わる歴史を通して認識させる。

概説　放射線は、その発生源の違いによって、自然放射線と人工放射線に分けられる。前者は自然界に存在するものであり、その主な発生源は自然界にある放射能をもつ元素、つまり放射性同位体である。後者は原子炉や加速器などの放射線発生装置、あるいはそれらによってつくられた放射性同位体である。

要点

① われわれは身の回りの環境に存在する微量の自然放射線を常に受けているが、どのような環境や物質から受けているかを自然放射線の測定実験によって実感させる。人体や身近な自然物も放射線の発生源であることを知ることによって、自然環境の一部として放射線が存在することを認識させる。また、発生源としてどのような種類の放射性同位体があるかを学ばせる。

② 放射性同位体は身の回りだけでなく、原子力発電の核燃料にも含まれている。また、放射性同位体は原子炉や加速器を用いて人工的につくられる。放射性同位体にはどのような種類があるかを学ばせる。

③ 放射性同位体から放出される放射線の強さが時間とともに減っていく。その減り方をあらわす半減期は、放射性同位体の種類によって決まっているが、その種類が違うと半減期が異なることを認識させる。

④ 放射性同位体以外にも宇宙から様々な放射線が降り注いでいることを認識させる。

⑤ 様々な目的に利用している人工の放射線源が存在することを認識させる。

⑤ 放射線と放射能を混同ぜず、正しい区別ができるようにする。

「放射線の性質と利用」学習のキーワード

発展学習

① 自然放射線と人工放射線の特徴の共通性と違いを調べる。

② 人工放射線源としての加速器（X線発生装置も含める）における放射線発生の仕組みを調べる。

③ 放射性同位体及び加速器からの放射線発生についてエネルギーおよびその変換の視点から考察する（学習指導事例 追加１参照）。

留意点

① 人工放射線は自然放射線のように実体験を通して身近に認識する対象とはなりにくいが、医療や製造業への利用を通して現代の人間生活のなかに深く浸透していることに留意する（指導事例５参照）。

② 放射線による危険の可能性は基本的には放射線量（指導事例４参照）の大きさに依存し、自然か人工かという発生の違いには依存しない。

③ 放射性同位体の場合は放射線の発生を人為的に止めることはできないが、加速器（X線発生装置も含める）のような人工放射線源では、電源スイッチを切ることだけで放射線の発生を止めることができる。

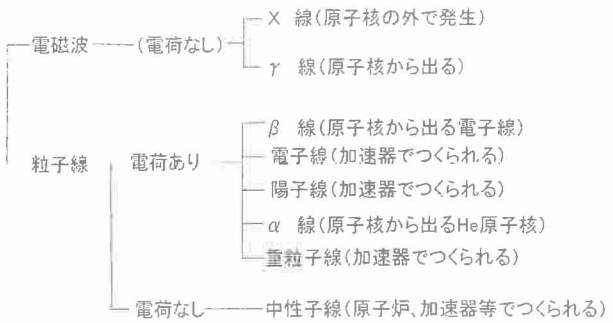
④ 放射線という言葉からは、四方八方へ放射するというイメージがある。放射性同位体からの放射線発生や低周波数の電磁波の発生についてはこのイメージが当てはまるが、加速器での放射線発生はX線発生の場合も含めて指向性が強い。放射という言葉の意味に囚われないほうがよい。

学習指導事例２　　放射線の種類と実体　　（主に高校）

ねらい　放射線には様々な種類があることを自然放射線等の測定・観察を通して理解するとともに、放射線とはどのようなものであるか、原子の構造（成り立ち）の理解をもとに認識させる。

概説　放射線は目には見えないが、ときには強いエネルギーの速い流れにもなる存在である。放射線の実体は電磁波と粒子線の２種類に大別される。粒子線の主なものは原子を構成する粒子（電子、イオン、中性子）が高い運動エネルギーをもつ状態である。電気的な特性については、放射線はα線、β線、電子線のように帯電した放射線（荷電粒子線）とγ線、X線のように帯電していない放射線に二分され、その違いが放射線の性質を左右する要因となっている。帯電していない放射線には、電磁波のほかに中性子線のような粒子線も含まれる。

主な放射線の種類と実体



要点

① 放射線測定器や霧箱を用いて自然放射線等の実験や観察を行うなかで、放射線のもつ透過性の違いによって、α、β、γ線などの異なる種類の放射線が存在することを理解させる。

② 紫外線、可視光線、赤外線、電波などのよく知られている電磁波からX線やγ線を区別する電磁波の性質はなにかを電磁波の性質をもとに認識させる。

③ 中性子の発生と性質について原子力発電におけるエネルギー生成の原理と結びつけて理解させる。

発展学習

① 人工放射線源の一例としてブラウン管テレビにおける放射線の種類と発生の方法を調べる。

② X線とγ線は実体が同じであるのに、なぜ区別されているかをそれらの発生に結びつけて学ぶ。このことはβ線と電子線についても同様な展開が可能である。

③ 同じ荷電粒子線でも、α線とβ線では透過能力がなぜ大きく異なるのかを調べる。

④ 宇宙から降り注ぐさまざまな種類の放射線の総称である宇宙線についてその実体や発生を調べる。

留意点

① 電磁波の概念が中学校の学習指導要領では扱われないので、標準的な学習では放射線の実体には触れないことなる。放射線の種類については、透過性の差異を通して、α、β、γ線等の名称のみを学ぶに止めるという学習が可能である。この意味で本指導事例は高校が主な対象となる。

② 電解質が水に溶けると陽イオンと陰イオンに電離することは中学校理科の別の単元で学習するが、放射線の単元で学ぶイオンと電離（学習指導事例３参照）は水溶液の現象に限定されない普遍的な概念であることを認識させる。

③ 陽子線と重粒子線（ヘリウムより重いイオン線の総称）はα線と同じイオン線であるが、加速器を用いた新しいがん治療に利用され始めたことで認知度が高まっている。

学習指導事例３　放射線の性質　（中学校、高校）

ねらい　さまざまな放射線に共通する基本性質が透過と作用）であることを正しく理解させることによって、放射線の利用、線量の単位、及び放射線の人体への影響についての理解に結び付ける。

概説　放射線の性質とは放射線が物質に当たるときに顕れる性質であり、透過と作用に二分される。透過は放射線の本質であり、粒子線では慣性の法則に従う運動である。作用とは物質へのはたらきであり、物質の性質を変化させることもある。放射線は物質中を透過しながら繰り返し物質に作用し、そのエネルギーを物質に与えることによって、自らのエネルギーを失っていく。主な作用には電離、散乱、原子核反応などがある。

要点

① 最も身近な放射線利用事例であるＸ線写真を教材として放射線の性質を経験的に学ぶ。たとえば、Ｘ線発見当時に撮られた手のＸ線透過像（指導事例４参照）では、Ｘ線が手のなかで作用した結果を示しており、画像の濃淡は手の形と厚さ及び内部構成物質の組成を反映したものであることを理解させる。（中学校）

② 霧箱実験におけるα線の飛跡の観察や物体を透過した放射線を測る実験を通して透過と作用という放射線の基本性質を学ばせる。霧箱中の飛跡はα線が空気を透過しながら作用を繰り返した結果であることを理解させる。物体を透過した放射線を測る実験からは、物体の厚さが増すとともに透過した放射線の検知数が減ることを観察することによって、物体中で放射線の作用が起きたことを間接的に理解できる。「はかるくん」は放射線の電離作用によって生成した電荷量を測ることで線量を読みとる手段であることも理解させる。（中学校）

③ 荷電粒子線の代表的な作用である電離を原子の構造（成り立ち）の理解をもとに系統的に学ばせる。電気的な引力と反発力を及ぼす作用によって、放射線が原子内の電子をはじき出すことを理解させる。（主に高校）

発展学習　① γ線やＸ線のような電荷をもたない電磁放射線はどのように物質と作用するかを調べる。
② 透過や作用という放射線の性質を光、電波、音波などの性質と比較してみる（特に電磁放射線）。

留意点

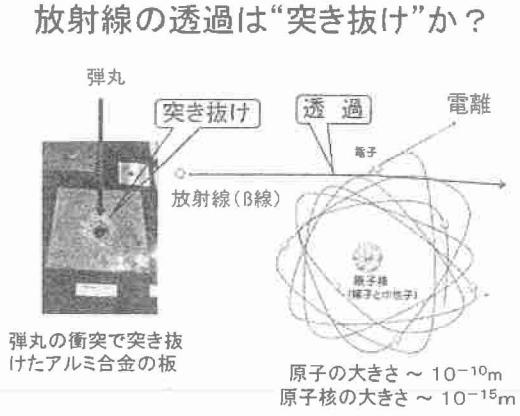
① 放射線は物体中を透過しながら作用を繰り返すが、透過そのものは作用とは独立した性質である。したがって、放射線の性質についての本質的な誤解を生む「透過作用」という用語は使用するべきではない。

② 原子、原子核などの大きさの違いを実感するために、われわれの生活圏にある具体的なものに置き換えてみよう。原子内の電子や原子核のすぐそばを放射線がたまたま通過するときにのみ作用が起きるので、放射線の側から見ると、原子の中はスカスカであり、放射線は弾丸のように物体を突き抜けるわけではないことがわかる（下図参照）。むしろ、放射線が原子の構成粒子の間を悠々と通り抜ける様子を思い浮かべるべきである。「透過力」という言い方も、あたかも力づくで通り抜けるという誤解を生みやすい。α線がβ線より透過度が著しく小さい主な理由は、α線粒子が大きいからではなく、その速度がβ線よりもずっと遅いからである。

③ 放射線の基本性質のうち、透過は経験的に理解できるが、作用は概念的に理解するしかない。正確に理解するには、放射線の種類の知識だけでなく放射線がいろいろなエネルギーの一つであることの認識が重要である。

④ 透過能力は放射線や物質の種類に依存するだけではなく、そのエネルギーにも依存することに留意する。

⑤ Ｘ線写真を撮る健康診断では、放射線による写真作用や蛍光作用が利用されていると言われるが、その源泉は放射線の電離作用である。写真作用や蛍光作用を電離作用と同列視することは誤解を生みやすい。



学習指導事例４　放射線量について　（主に高校）

ねらい　高校の基礎物理の新しい学習指導要領では「線量の単位にも触れること」とあるので、線量単位の基本である吸収線量について理解させる。中学校では線量単位の物理的な意味まで理解しなくとも、放射線が人体へ及ぼす影響を表している実効線量（シーベルト）を理解する程度でよい。

概説　放射線を適切に管理あるいは利用するためには、放射線による作用や影響の大きさを評価、比較、予測するための尺度が必要である。それが放射線量である。基本となる単位は吸収線量（グレイ（Gy））であり、放射線の作用によって物体中の着目要素に放射線が与えたエネルギー量（J（ジュール）/kg）として表わされる（着目要素の理解がポイント）。これから誘導される線量単位が、人が放射線を受けたときの身体的な影響の程度を表す実効線量（シーベルト（Sv））である。放射線の利用では多くの場合吸収線量が使用され、放射線の安全管理では実効線量が使用されている。

要点

① X線発見当時に発表されたフォン・ケリカー教授の手のX線写真（右図）において、画像の濃い部分である骨や指輪はX線の透過度が小さいため写真乾板が受ける吸収線量が低く、薄い部分に相当する人体組織では透過度が大きいために線量が高いからであることを理解させる。

② 物質に吸収された放射線エネルギーの大部分は熱エネルギーに移り変わるが、その一部は化学変化に費やされる。それによる生体への影響が大きいときは健康に影響を与える場合もあることを認識させる。このように、放射線の作用をエネルギー変換の視点から学習することも重要である（学習指導事例 追加１参照）。

③ 水の温度を１℃上昇させるのに何グレイの吸収線量が必要かを計算させる。ただし、熱の放散は無視できるとする。温度上昇の程度は非常に小さいことを確認できる。

フォン・ケリカー教授の手のX線写真

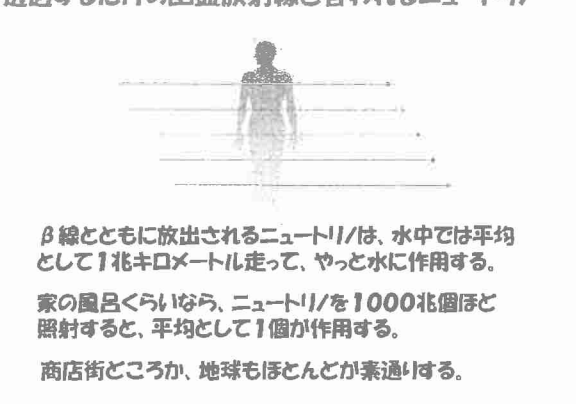
④ 人体組織が放射線を１グレイ受けた場合と同じ人体影響を与えるような線量単位がシーベルトで表わされる実効線量であることを理解させる。

⑤ 単位時間当たりの線量を表す線量率という単位についても認識させる。「はかるくん」の表示は１時間当たりに受けた実効線量（毎時何シーベルト）、すなわち線量率を表している。

発展学習

① 「はかるくん」、GM計数管などの放射線測定の原理がどのような放射線の作用に基づくかを調べる。

② 小柴昌俊氏のノーベル賞受賞で一躍知られるようになった変わり者の放射線であるニュートリノについて調べる。ニュートリノは物質にはほとんど作用しないので、ニュートリノという放射線が身体を通過する数量は膨大であるが、それによる線量は限りなくゼロに近い。ニュートリノの事例は極端な例であるが、線量概念についての正しい理解を促す（右図参照）。



留意点

① 吸収線量は物質の着目要素が放射線から吸収したエネルギー量であって、着目要素に当たる放射線それ自体の数量やエネルギー量ではない。吸収線量を単に線量と言う場合もあるが、線量は放射線の量ではなく、放射線の作用量であることに留意しておく（紛らわしい和訳名ではあるが、改めて名称を変えるのもたいへんである）。シーベルトで表わされる実効線量もこの考え方がベースにある。

学習指導事例５　放射線利用①　概論　（中学校、高校）

ねらい

① すでに学んだ放射線の性質が放射線の利用にどのように活かされているかを理解させる。
② さまざまな利用事例を知ることによって放射線にはデメリットだけでなくメリットがあることを認識させる。
③ 放射線の利用について科学的に理解することによって科学技術の発展と人間生活とのかかわりの認識を深める。

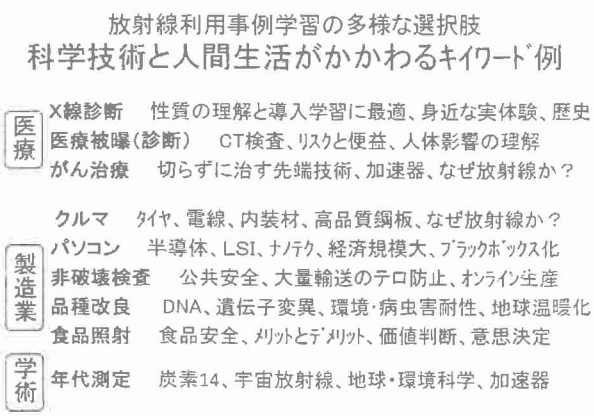
概説（学習の必要性）　原子力エネルギー利用において放射線はリスクとしてのみ認知されている。放射線リスクが被ばく線量とどのような関係にあり、どの線量レベルまでならば実質安全かを正しく認識することが、エネルギー学習のなかで放射線について学ぶ主要目的である。しかし、線量はどんなにわずかでも危険というリスク認知が国民のなかに広くあるので、放射線にはリスクだけでなく、様々な目的に利用されているという便益があることも認識させることで、エネルギー資源としての原子力に対するバランスのとれた判断力の育成を図ることが必要となる。

要点

① 透過と作用という放射線の両性質の利用における役割を知ることによって、放射線利用とは何かを適切に理解させる。X線検査は確かに透過性の利用に違いないが、その透過画像はX線の作用を利用している。一方、放射線治療は確かに放射線の作用を利用しているが、身体の内部までX線が透過するから内部の病変部を治せる。あらゆる放射線利用は片方の性質だけを活用しているのではなく、両方の性質を活用していることを認識させる。
② 放射線の基本性質から分かることは、放射線は空間を隔てた物体の深くまで瞬時に作用することである。これは力学的、電気的、化学的、光的な手段ではできない放射線の特質であることを認識させる。
③ 荷電粒子などの人工放射線の場合、電磁界を用いた加速や精密なビーム制御が可能である。このことが電子顕微鏡、半導体加工、加速器技術、材料分析に限らず、ナノテクノロジーの発展を可能にしていることを認識させる。
④ 放射線の作用量を精度よく測れるので、品質管理が容易であり、品質の保証も確かであることを認識させる。
⑤ 放射線の仲間である電波や光の利用と比較して、放射線利用のメリットとデメリットを理解させる。
⑥ 放射線利用の安全性を確保するため、放射線のリスクに対していかに厳しい安全管理がなされているかを理解させる。百聞は一見に如かずということもあるので、できれば放射線を扱っている施設を見学することを勧める。
⑦ 放射線は物質中でエネルギーを失ってその存在を瞬時に失うので、物質中に残存し続けることはない。ただし、放射線のエネルギーが非常に高い場合、その作用によって食品中の含有元素の一部を放射性同位体に変える反応が起きる可能性があるが、ガンマ線、X線、電子線のエネルギーあるいは加速電圧に関する使用規制によって、その危険性が排除されていることを認識させる。

発展学習

① 放射線利用の学習では、放射線実習と違って観察や実験を取り入れにくいが、豊富な利用事例から科学技術と人間生活がかかわる多くのキーワード（右図）が見出される。これらをもとに課題を設定し、インターネットやデジタル教材などを活用する探求的な学習が期待できる。
② 身の回りにどんな放射線利用製品があるか調べる。
③ 利用に供されている人工放射線源としてはどんなものがあるかを調べる。
④ 放射線利用に使用されているのはほとんど人工放射線であるが、自然放射線が活用されている実例を調べる。⇒ラジウム・ラドン温泉、考古学における年代測定など。
⑤ わが国における放射線利用の経済的な規模が現在どの程度であるかを調べる。
⑥ 原子力エネルギー利用よりも半世紀長い歴史がある放射線利用の歴史について調べる。
⑦ 放射線の利用は人間生活にどのように変えたかを調べる。



留意点

放射線の利用法には二つあることに留意する。その一つは観察、計測、診断など、ある対象物に関わる情報を放射線という手段を使って引き出すための「観る」利用法である。もう一つは、加工、治療など、放射線を対象物に当てて、その作用で物質の性質を変化させ、意図した効果を産む「つくる、あるいは、治す」利用法である。

学習指導事例６　　放射線利用②　医療分野　　（中学校、高校）

ねらい　医療分野における放射線の利用事例を学ばせるとともに、医療を受けることのメリットと医療のための放射線被ばくのデメリットを正しく認識し、適切な判断能力をもつための基礎知識を養う。

概説　最も身近な放射線利用は医療のための診断や治療である。病気を早く見つけ、早く治すのが放射線医療である。医療は個人的なメリットを生むことを目的としているが、放射線を人体に受けることはデメリットとして認知される。放射線医療が高度化した科学技術として普及が進んでいる現在、国民が放射線医療及び放射線の人体への影響についての正しい合理的な認識をもたなくてはならない。

要点

① 放射線をなぜ診断や治療に使うのか、放射線の基本性質と結びつけて放射線のメリットを認識させる

② Ｘ線発見以来の放射線医療の進歩が人間生活にどんな変化をもたらしたかを考えさせ、発表させる。

③ ＣＴ、核医学診断、ＩＶＲ(カテーテルなどを使用する画像支援治療)など、放射線を利用する高度な診療技術が近年急速に普及しつつあることを学習し、医療における役割を認識させる（下左図参照）。

④ １回の検査で受ける放射線量はどの程度か、歯科、胸、胸部などのＸ線検診、ＣＴなどについて認識させる。その線量と日本人が１年間に平均的に受ける自然放射線量と比較し、その安全性を考えさせる。

発展学習

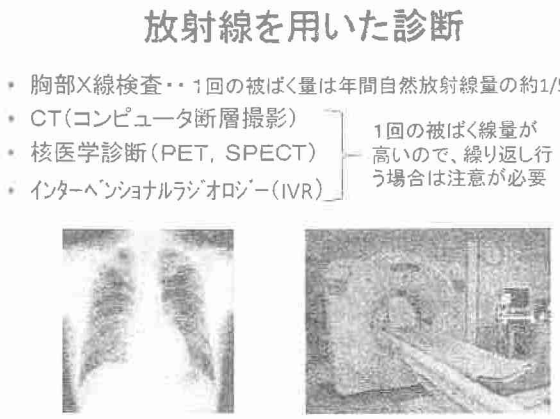
① 近年急速に高まりつつあるガン医療への放射線利用の普及がどのような技術的な進歩を背景としているのか調べる。

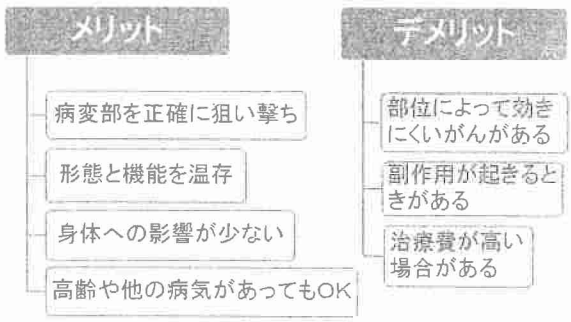
② すでに学習した放射線の性質をもとに、がん治療に放射線を使うことのメリットとデメリットを外科や内科の診療と比較して考察し、発表させる（下右図参照）。

③ 国民一人当たりの医療における年間の被ばく線量が他国に比べて多い。この事実のメリットとデメリットを、医療技術の進歩、医師と患者のコミュニケーション、医療制度とも関連付けて調べる。

④ 放射線を怖がることの個人的及び社会的なメリットとデメリットを考えさせ、発表させる。

⑤ 「正しく放射線を怖がる」とは具体的にどんな意味であるかを考えさせ、討論させる。





留意

① 患者にとって検査や治療はメリットであるので、法令では医療のための放射線被ばくに限度値を定めていない。無暗にＸ線検査を繰り返すのはよくないが、日本人が年間に受ける自然放射線量は胸部Ｘ線検診を 50 回ほど受けるのと同等なので、どちらかと言えば怖がり過ぎて検査を控えるほうが問題である。

② 胃のＸ線検診では１回当たりざっと胸部検診の 10 倍、ＣＴの場合はさらにその 10 倍以上受ける。それらのリスクを正しく認識することが大切である。とくに、ＣＴの進歩やＩＶＲの普及によって医療被ばくが増加する傾向にある。つまり、メリットとデメリットを正しく判断することの必要性が増している。

③ Ｘ線検査等に適用されている被ばく線量では、妊娠中の女性であっても胎児の形態異常などの障害は起きないことを正しく認識させる。

④ 日本人の死因のトップであるガンへの対策では、放射線医療が重要な役割を担っていることを認識させる。

学習指導事例７　　放射線利用③　製造業・学術分野　　（中学校、高校）

ねらい　製造業及び学術分野での放射線の利用事例を学ばせる。また、それを通して放射線利用が日常生活の中に深く浸透している事実や科学技術の発展と人間生活との多様なかかわりを認識させる。

概説　製造業での利用は医療、農業分野に比較して認知度が極端に低いが、クルマ、パソコン・ケイタイなど、放射線利用は日常生活のなかに深く浸透している。認知度が低い理由の１つは、完成品を構成する個々の部品の製造技術がブラックボックス化し、消費者が無関心であるからであり、もう１つは放射線を利用し製造していることを公にしたがらない製造者もいるからである。利用事例は、半導体製品、タイヤ、電線などの高分子材料、医療用具、食品包装材の滅菌、製造工程における品質管理、空港手荷物などの非破壊検査など、多岐にわたる。その経済規模は放射線利用の中で最も大きい。学術分野でも年代測定をはじめとするさまざまの高度な科学分析に広く利用されている。

要点

① クルマでは、薄い鋼板、タイヤ、電線、内装材などの製造に放射線が使われていることを認識させる。放射線がなぜ製造手段として適するのかについても関心をもたせる。高分子材料の加工における放射線利用の利点は、加熱しないので素材の形状や性質を変えないで済むことや化学物質を添加せずに意図する化学変化を起こせることも理解させることが望ましい。

② パソコン・ケイタイを構成する半導体の高集積回路はその品質を決定づける鍵となる10万分の１ミリ程度の細い電子線を用いて加工されていることに関心をもたせる。こうした先端技術がナノテクノロジーの発展を支えている。（放射線による半導体加工は放射線利用の経済規模のなかで最大）

③ 空港手荷物検査によるテロ防止に限らず、航空機、鉄道車両、自動車、パイプラインなどの目に見えない傷を調べる非破壊検査では、社会インフラの安全安心を保つための縁の下の役割を放射線利用が担っていることを認識させる。

④ インフルエンザなどの感染防止のために注射器、ガーゼ、カテーテルなどの医療用具や食品包装材の滅菌がますます大切となっているが、放射線による滅菌はコストが高いが、その滅菌能力だけでなく、包装されたままで素早く処理できること、化学薬品を使う場合のように毒物が残留する可能性がないこと、品質保証が確かなことなど、最も信頼性の高い方法であることを認識させる。

⑤ 放射線の利用は利便性と引き換えに、事業に伴う職業人と住民の放射線被ばくに関する安全管理や加工製品の品質管理が厳しく要求される。これらが実際にどのように管理され、安全性が確保されているかを認識するため、放射線利用施設を見学する。

発展学習

① 人間社会の営みの変遷は加工技術の進歩に大きく依存している。18世紀までの熱や自然光、19世紀の動力機械や化学処理による加工に加えて、20世紀の放射線加工がもたらした発展について調べる。

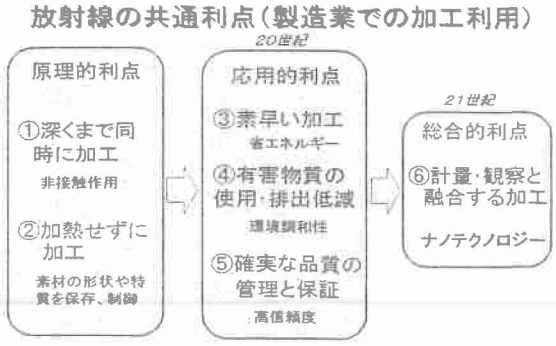
② 宇宙線の作用によって大気中でつくられる放射性同位体である炭素14を用いた遺跡や遺物の年代測定の原理を調べる。この超高精度の測定に加速器技術が重要な役割を担っていることを調べる。

③ 放射線実習と違って観察や実験を取り入れにくい放射線利用の学習については、放射線を利用している施設の見学が発展学習として効果的である。とくに、利用における安全性の確保が実際にどのようになされているかを学ぶ貴重な機会である。

留意点

① 製造業における他の加工手段を比べたときの放射線加工の共通的な利点は、素早い加工、有害物質の使用・排出を抑制できること、及び容易な工程管理で確実な品質管理が出来ることである（右図）。

② 医療、農業、製造業分野で使用される放射線源には放射性同位体と加速器がある。現在の主役は加速器（X線発生装置を含む）である。加速器の場合は、放射性同位体を線源とする照射方式と違って、電源スイッチを切ることによって放射線の発生を直ちに停止できる。



学習指導事例８　放射線利用④　農業分野　（中学校、高校）

ねらい　農業分野における放射線の利用事例を学ばせるとともに、国民の間で意見が分かれる食品照射のメリット及びデメリットを判断できる科学技術的な思考力を育成する。

概説　世界の食糧需給は人口増や気象変動によって厳しくなりつつあり、衛生的な食料を安定に供給することは世界共通の課題である。国際連合食糧農業機関(FAO)、世界保健機構(WHO)、及び国際原子力機関(IAEA)では食品の衛生、損耗防止等の対策の一つとして食品の放射線照射を推進している。現在、先進国をはじめ、世界の57カ国でさまざまな品目の食品の照射が許可されている。わが国では約30年前に発芽抑制と新鮮さ保持を目的としたジャガイモの食品照射が実用化され、現在でも照射ジャガイモの販売事業は継続している。しかし、消費者の一部から照射食品の安全性が疑問視され、それ以後は食品照射の許可について国は慎重な対応をとって現在に至っている。

もう一つの重要な利用事例として放射線育種がある。これは放射線照射を用いた植物の突然変異によって農作物を改良することが目的であり、作物のもとの良さをそのままにして、耐病性などの形質をもたせることができる。台風に強いイネや病気に強いナシをはじめ、わが国だけでも100品種以上の成功例がある。

要点

① 世界あるいは日本の食糧需給の厳しい現状と食品照射の目的を理解させたうえで、食品照射に関して現状におけるメリットとデメリットを認識させる。

② 芽止めされた照射ジャガイモの店頭販売では、現在は放射線照射の表示が義務づけられている。消費者に対して流通段階での透明性が確保され、購入の選択は消費者に委ねられている。一方では照射ジャガイモを新鮮さゆえに好む消費者も表れ始めている。この状況について生徒に考えさせ、判断力を養う。

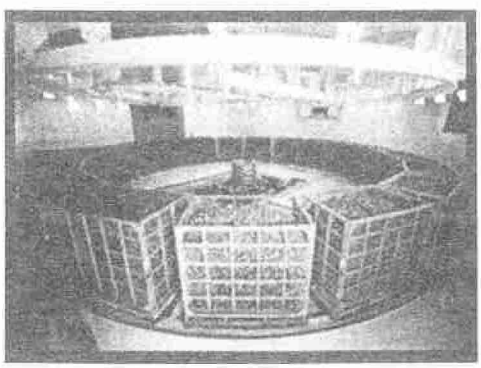
③ 放射線照射で改良された作物にどのようなものがあるか、また、どんな点が改良されたかを調べる。

発展学習

① 食品照射については、学術データをもとに安全性に問題がないと国際機関が宣言しても、それを信頼するかどうかについては、国民の間で価値判断が分かれている。そこには、科学技術に関わる不確実性や社会的なリスクをすべて回避できないという問題がはらんでいる。そういう状況下で意思決定できるのは、行政や専門家ではなく国民・市民による社会的合意でしかない。食品照射の問題を例にとって、科学技術の社会の関係、科学技術のリスク問題について科学的な思考力、判断力、表現力を育成するため、インターネット等を活用し探求させるとともに、発表させたり、社会参加できるようにする。

② 突然変異は自然の中でも誘発される遺伝子の変異であるが、遺伝子組み換えとの違いについて調べる。

③ 農作物の害虫退治によく使用される農薬の代わりに放射線を使った実例がある。大量に増殖した害虫ウリミバエの幼虫を放射線照射によって不妊化し、野山にその成虫を大量に放って沖縄地域のウリミバエの退治に成功した話である。この害虫退治になぜ放射線を選択せざるを得なかったかを調べる。



北海道土幌町のジャガイモ照射施設の内部

タイにおける照射ソーセージの販売風景

留意点

① 食品照射は「放射線」と「食」という国民的な関心の高い２つの安全問題が共存することに留意する。

② 日本を除くアジア諸国では食品照射及び照射食品の流通がかなり普及していることに留意する。

学習指導事例９　　放射線の影響と安全性　　（中学校、高校）

ねらい　そこに放射線があるかないかではなく、どれだけあるかということを知って、放射線のリスクを正しく認識し、適切に対応できる能力を身につける。

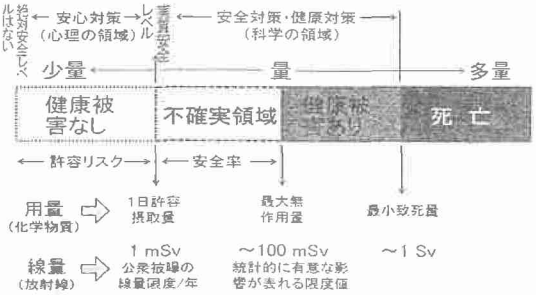
概説　大量の放射線量を被ばくした人の健康への影響は、身体的影響とその人の子供や孫に影響が現れる遺伝的影響とに分けられる。身体的影響には、放射線を受けて２、３か月以内に症状が出る急性障害及び数カ月から数年後に症状が出てくるガンなどの晩発性障害がある。急性障害では、一度に 0.5 シーベルト程度を全身に受けると白血球の現象がおこり、一度に 4 シーベルト受けた人の半数は死亡する。原爆被災者を含めて、約 0.1 シーベルト以下の少量の放射線被ばくでは、晩発性障害を含めて放射線障害は統計学的に確認されていない。遺伝的障害は人間の場合これまでの調査で見出されていない。

要点

① 放射線の危険性が無知であった時代には、キュリー夫妻をはじめ、多くの人が放射線障害を受けたが、原爆被災者や職業的被ばくに関する疫学的調査、膨大な動物実験などにより、今では科学的解明が進んでおり、線量に応じて身体的なリスクをかなり正しく評価できるようになったことを認識させる。

② 放射線のリスクの大きさは線量に依存する。線量という物差しに沿ってリスクを正しく理解させるため、白(=健康被害なし)でも黒(=健康被害あり)でもない不確実な灰色ゾーンの存在を認識させる。食品添加物や農薬のような化学物質の暴露あるいは摂取では、用量と人体への作用の関係を通してリスクの大きさを右図のように説明できる(*)。放射線の場合、この関係は線量(ｼｰﾍﾞﾙﾄ)と健康への影響の関係に相当する。右図の化学物質の用量と作用の関係をもとにして、放射線の場合にも適用してみると、右図の下のようになる。それ以上では健康への影響が表れる最大無作用量である線量値(統計的に有意な影響が顕れる限度値)を科学的に示すことがリスク評価であり、それをもとに、それ以下では健康被害がない線量の実質安全レベル ばくの年間の線量限度である１ミリシーベルトをたとえ超えても、すぐに健康被害が表れるわけではないことも理解させる。

化学物質の用量作用関係をもとにした
放射線リスクのわかり易い図解



＊唐木英明：「食の安全と安心の違い」平成 16 年度食の安全都民フォーラム（2006）

③ 放射線が存在するとき、放射線から身体を防護する方法について調べ、防護についての理解を深める。

発展学習

① アルコール、食塩、くすりなどの日常的に摂取する物質では、一日摂取量の数倍～20 倍程度を一度に取ると、人は死ぬこともある。しかし、放射線は公衆被ばくの年間の線量限度の 1000 倍以上を一度に受けないと死ぬことはない。しかし、放射線はアルコールや食塩よりも怖がられているように、主観的なリスクは客観的なリスクと異なる。なぜそうなるのか、日常生活の身近な例を探してみる。

② 多量ならば有害なのに、少ない放射線量では有益であるというホルミシス効果について調べる。

留意点

① 同じ放射線量を受けても、それを短時間に受けたときよりも、長い時間にわたって受けたときのほうが回復が十分におこるので影響が少なくなる。つまり、線量率（単位時間当たりの線量）が低いほど、人体への影響は小さい傾向がある。逆に、大量の放射線を一度に受けたときは回復せず、障害が現れる。

② 放射線は電離作用等によって生命現象のすべての情報をもつＤＮＡ分子が切断するなどの損傷が起きる。ＤＮＡの殆どの傷は防御機構によって修復されて細胞の働きが正常化し、組織や臓器の機能は回復するが、一部の修復しきれないＤＮＡによって細胞に異常が発生し、組織や臓器に放射線障害が起きる。

③ 35 億年前に生命が誕生した頃の地球表面における放射線レベルは、今よりずっと高かった。生物進化の過程で放射線などの様々な悪影響に対して生物は有効な防御機構を発達させてきた。そうした防御機構によってわれわれが現在こうして存在していることを認識させる。

学習指導事例　追加１　　放射線とエネルギー　　（主に高校）

ねらい　放射線がいろいろなエネルギーの一つであるという認識をもとに、放射線学習のエネルギー及びその変換とのかかわりを学ぶことによって、放射線の学習をエネルギー学習のなかに位置づける。

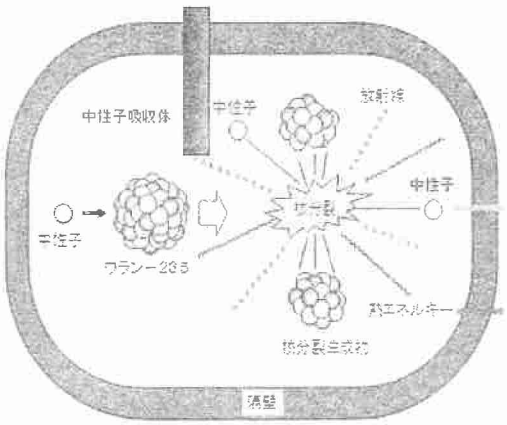
概説　放射線は多くのエネルギーのうちの１つである。したがって、放射線利用も広義のエネルギー利用と言える。原子力発電では、核分裂で生成した放射線のエネルギーを物質原子との摩擦を利用して熱エネルギーへ変換し、さらにそれを電気エネルギーに変換している。原子力発電を含めて、放射線の作用はエネルギー変換（⇒ 熱、化学エネルギー等）の１つの形態であると理解できる。放射線エネルギーが物質中の着目要素に移動した量を表す放射線の単位が吸収線量である。移動したエネルギーの大部分は熱エネルギーになるが、一部が化学反応などに費やされ、放射線による化学、生物効果あるいは生命体への影響となって表れる。吸収線量は物体の着目要素におけるエネルギーの変換量を表している。加速器は電気エネルギーから放射線エネルギーへの変換装置であると言える。

要点

① 原子力発電の原理に関する教科書等での説明において、ウランの核分裂による大きな熱エネルギーの放出が中性子と核分裂生成物の発生とは独立に起きているのではないかと誤解を生むような説明がよくされている（下図参照）。核分裂で発生する中性子と核分裂生成物は高いエネルギーをもつ粒子放射線であって、その放射線エネルギーが熱エネルギーに変換されることを正しく理解させる。

② 放射線一つ一つのエネルギーを表すのに、電子ボルト（eV,エレクトロン・ボルト）という単位が使われている。この単位の理解のもとに、１MeVの放射線の全エネルギーが１ジュールであるとすると、放射線が何本になるかを計算させる（１eV＝1.6 x 10^{-13} ジュール）。

③ ジャガイモの発芽を防止することで収穫後の保存期間を延長するため、吸収線量の最大許容値150 Gyのガンマ線照射がわが国で実施されている。照射中の放熱を無視できると仮定すると、照射によるジャガイモの温度上昇はどの程度かを計算させる。簡単のためにジャガイモを水と等価な物質として扱うものとする。



原子核分裂によるエネルギー発生の原理

発展学習

① 電気エネルギー、力学的エネルギー、化学的エネルギーに対して電磁波や光のエネルギーを位置づけ、これらの間でのエネルギー変換模式図をつくる。そのうえで、電磁波や光のエネルギーに放射線エネルギーに加えて、電磁波・光・放射線エネルギーとした場合、どのようなエネルギー変換が新たに追加されるかを調べる。自然放射線だけでなく人工放射線も含めて考える。

② X線発生装置や加速器などの人工放射線源を対象に、加速粒子、加速エネルギー及び加速電流を調べ、それらをもとに、電気エネルギーから放射線エネルギーへの変換効率を調べる。

留意点

eV(エレクトロンボルト)単位で表わされるエネルギーの微視的な概念とエネルギー資源で代表される巨視的な概念を正しく使い分けられるように指導する。

学習指導事例　追加２　　放射線と加速器　　（高校）

ねらい　荷電粒子と真空についての基礎知識をもとに、加速器の簡単な原理を理解させる。人工放射線源としての加速器が果たした役割を科学技術の発展と人間生活のかかわりの広い視野から認識させる。

概説　加速器は原子力エネルギーの学習のなかでは扱いが明示されていないので、学校教育ではほとんど触れられてこなかった。高校理科の新学習指導要領でも、人工放射線の主要な発生源としての、あるいは科学や技術の発展の道具としての加速器が明示されていない。しかし、中学校で放射線が復活するこの機会に、放射線利用に関連して加速器についても触れておくのが今後の新しい流れであると考える。加速器は電気を帯びた粒子を高い運動エネルギーをもつ高速粒子まで加速して何らかの目的に利用するシステムである。ノーベル賞を目指すような物質の究極を解明する研究に使用する巨大な装置を加速器についてイメージされる場合も多いが、実際の加速器は多種多様であり、半導体微細加工も含めて普及度の高いものは医療・産業用として使われている小型の加速器である。

要点

① レントゲンがX線の発見する道具立てとなった高電圧装置付きの陰極線管（ｸﾙｯｸｽ管）は加速器のルーツとみなせる。19 世紀における電気・磁気技術や真空技術の発展が加速器を登場させる土台となった。

② 電気を帯びた粒子を真空中で加速するには高い電界が必要である。加速電界には静電界と高周波があり、前者を用いる加速器にはコックロフト・ウォルトン型やバンデグラーフ型の加速器、後者を用いる加速器には、直線状のリニアック、ビーム軌道が円状のサイクロトロンやシンクロトロンなどがある。

③ 加速器はその種類、大きさがさまざまである。物質や宇宙の謎を解明する研究に使用する巨大な装置から 19 世紀の陰極線管に先祖帰りしたような卓上の超小型のものまである。

④ 製造業、農業、及び医療分野での放射線利用には、加速器、放射性同位体、原子炉などが使われているが、利用の経済規模では加速器の利用が放射線利用の大部分を占める。

発展学習

① 加速器を用いて放射線利用の研究や事業を行っている施設を見学する。それによって放射線の管理が実際にどのように厳しくなされて、安全が確保されているかを実感させる。

② 運動、位置、電気、化学等の様々なエネルギーに放射線エネルギーを加えて、様々なエネルギー利用を対象にエネルギー変換の模式図を作成してみる。放射線を光や電磁波のエネルギーに含めて、光・電磁波・放射線エネルギーとして扱うこともできる。

③ 20 世紀の科学や技術の発展に加速器の利用がどのように関わってきたかを調べる。

④ わが国の科学者を含めて、ノーベル賞に加速器や放射線がどのように関わってきたかを調べる。

⑤ 加速器を用いた放射線利用は、放射光、レーザー、中性子線等の利用開発へと発展しており、21 世紀の先端科学技術の一分野として進められているが、それらの研究が人間生活にどのように関わっていこうとしているかを調べる。

留意点

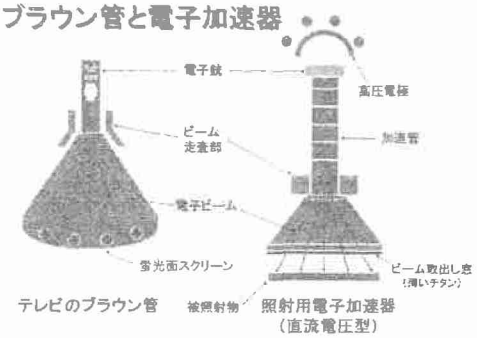
① 加速器の名称の起源については、加速した原子核（イオン）を原子核に衝突させ、初めて人工原子核反応を起こした装置に与えられた歴史がある。しかし、原理的には原子核反応にこだわる理由はない。

② X線発生装置は高電圧で加速した電子線を重金属板に当てることによってX線を発生する装置であるので、広くは加速器の範疇に含めるべきである。その意味では、ブラウン管、電子顕微鏡、半導体製品の製造に使用する電子線マスク描画装置も原理的には加速器である（右図参照）。

③ 加速器は多種多様、大小様々で、十把ひとからげに扱えないところに扱いの難しさがあることを留意する。

④ エネルギー変換の視点から見ると、加速器は電気エネルギーに変換する装置である。

ブラウン管と電子加速器



本冊子の制作は、平成 21 年度文部科学省公募プロジェクト「原子力基礎基盤戦略研究イニシアテイブ」の公募テーマ「原子力に対する信頼醸成のための社会学的アプローチ」に応募し採択された研究課題「学校教育現場との対話に基づく原子力・放射線学習　プログラム開発」（研究代表者：北海道大学大学院工学研究科杉山憲一郎教授）からの再委託により、ＮＰＯ法人放射線教育フォーラムが「放射線のリスクと利用の学習プログラム開発」のサブテーマ「小、中、高等学校用学習プログラム開発」の中で実施されたものである。

冊子の原稿の執筆と編集作業は、ＮＰＯ法人放射線教育フォーラムの理事・事務局長松浦辰男を主責任者とする、放射線教育指導資料作成グループが作業にあたった。詳しくいうと、第１部は平成 20 年度に主に中学校の教員のために作成した「放射線・放射能の基礎」（2009 年 3 月発行）を基礎にして、笹川澄子、朝野武美、工藤博司、大野新一、河村正一、田中隆一、金子正人、長谷川圀彦ら（いずれもフォーラムの幹部会員）による改訂原稿の作成という協力の下に松浦が編集を担当し、第２部と第３部はそれぞれ森千鶴夫と田中隆一が執筆を担当した。（なお、2010 年 3 月 10 日が発行の日付であるこの冊子の内容は、2010 年５月末を目処に一部の原稿を追加する予定であり、その最終的内容は放射線教育フォーラムのホームページにおいて公開することとしている。）

放射線学習指導資料

－中学校・高等学校における放射線に関する学習指導の手引き－

（改訂版）

発　行　　NPO 法人放射線教育フォーラム
編　者　　放射線学習指導資料作成グループ
代表　松浦辰男
発行日　　２０１０年３月

NPO 法人放射線教育フォーラムの連絡先：
〒105-0003　東京都港区西新橋 3-23-6 第一白川ビル５階
電話：03-3433-0308　　FAX：03-3433-4308
E-mail：mt01-ref@kt.rim.or.jp　URL：http://www.ref.or.jp

「放射線を正しく怖がる知恵」

―放射線が理解されにくい・しにくい要因はなんだろう―

北海道医療大学歯科内科クリニック放射線部　放射線技師　輪嶋隆博

低線量域の放射線被ばく：診断目的の医療放射線　環境放射線　住民被ばく事件・・
はどのように考えたらよいのか

報道記事：以下の新聞報道から世間一般の読者はどのような印象を受けるのだろうか？？

宇宙放射線被ばく
乗務員に広がる不安
高緯度ほど操縦室でも
深刻な数値　最近話題に

国内原発
作業員被ばく　世界最悪
他国分析、改善へ調査

海のほ乳類に核汚染
イルカ、アザラシ…迫る危機
チェルノブイリ事故
核実験、再処理が影響
筋肉に放射性物質

「原発労働で骨髄腫」
福島の労基署　元作業員の労災認定

50年代のビキニ核実験
日本近海　今も放射能
プルトニウム
海流で運ばれ

がん3.2%　診断被ばく原因
英の大学指定
CT普及　背景
早期発見に貢献
過剰検査には注意

放射線が一般社会に理解されにくい・しにくい要因

1　放射線リテラシー

（放射線の認識度・理解度）

2　社会的受容

・社会に必要とされるものなのか。社会への受け容れられかた：積極度の温度差

裏を返せば、社会に不可欠・必要と認識されるものはリスクやコストの大小はあまり問わない

・　交通手段　車社会（年間国内で約１万人死亡）

＜放射線リテラシー＞　（放射線を理解する枠組み：評価の物差しを中心）

１健康影響（科学的検証）

科学的な根拠（生物学、分子生物学、疫学ほか）を基に人体への健康影響を検証する

２放射線防護学

放射線の扱いのルール・モラル（害か無害かに係わらず）の見地に立って、検証する

３法的管理規制

社会的な取り決め（害か無害かに係わらず）の見地からにたって、取り決め内容に合致しているか否か　⇒管理目標値：一般人１ミリシーベルト/年　職業人50ミリシーベルト/年

＜社会的受容＞

判断基準：社会風潮の反映　理性的な評価　感性的な評価

現状：流動的（マスメディアの影響　風評　うわさ　感性・ムード　風潮　利害　好き嫌い）

上述の複数の評価の枠組みを重ね合わせることにより、総合評価・個別評価が可能

放射線を理解する枠組みのなかでの問題点（その１）

本来、（報道されているような事象が発生した場合）まず問われているもの（有害？無害？）を基本にして考えればよいものが、３（きまり）を基準にして議論されている。決まりだからルールを守ろう、ならまだしも管理目標値があたかも健康被害の目安にされている事が多い。

⇒総合評価・個別評価の欠落。

物事の判断例では客観的評価（有害度・危険度などの定量・定性的評価）に加えて情緒的な表現（良いこと・イケナイ・上品・下品・忌避・賢い・ずるい・有難い・カッコイイ・バカみたい・好き・嫌い・流儀にあらずetc）がある。客観的評価＋情緒表現の言葉の組み合わせで全体像が理解できるような表現例は日常生活のなかに山ほどある。放射線も同じく「生活の知恵」の表現例を使えばもっと理解しやすいものになるだろう。

日常の「常識判例」から判断基準というものをヒントにあらためて考えてみよう。

日常生活での遭遇例

以下の事象をどう捉えるか？　（良いならどのように良いのか。普通のことか。悪いならどのように悪いのか）・・・・？？？？

Ａさんがお猪口一杯お酒を飲んだ

Ｂさんが列車の中でお弁当広げてビールを飲んだ

Ｃさんは素手で食べ物を食べた

Ｄさんは賞味期限を過ぎたものを食べた

Ｅさんは食べ残しの刺身を揚げ物に調理しなおした。

各々の事象で特に問われているのは何の要素だろう？を考えてみよう

？？？？

＜普通に迷う＞

＜迷わずひとつの原則にこだわる＞

解釈の枠組み

食生活

・安全度：　摂取可能か（腐っていないか、毒が入っていないか）衛生度・品質の見極め

・きまり：　食品に関する法規制　宗教戒律　施設などでの取り決め

・作法：食習慣（食べられるものか：摂取可能とは異）テーブルマナー・宗教・地域習慣

＊　判断の尺度の次元が異なることにより、解釈の切り口が判りやすい

⇒複数の規範から選択肢を取り出す生活の知恵（この場合はこう、ということ）

☆　社会的受容の判断では状況の提示がキーポイント　安全度・きまり・作法がそれぞれ放射線被ばくの評価の枠組みに対応すると考えればわかりやすい。

☆　評価の枠組み（物差し）

安全度⇒放射線健康影響　きまり⇒法的規制　作法⇒放射線防護学

解釈例：・健康影響には問題がない（安全だ）が扱い方に問題あり・規制法にのみ抵触

・　害があってもそれを上回る利益・それぞれの物差しでも該当しない・全部にかかわる

⇒枠組みを理解（全体像がわかると）できると　ことの次第が１行で説明できる！

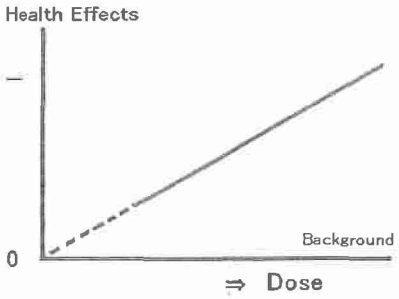
放射線を理解する枠組みのなかでの問題点（その２）

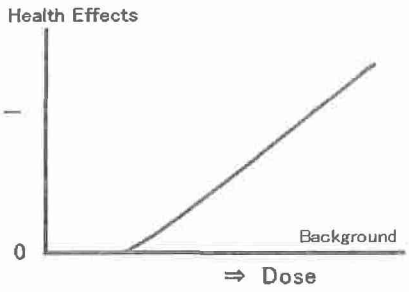
有害か？無害か？が問われている問題は放射線健康影響の知識が不可欠

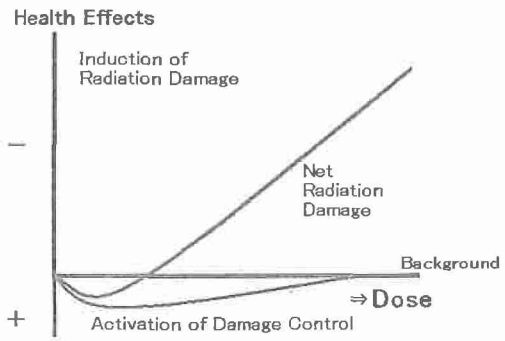
1 健康影響の科学的検証

科学的な根拠（生物学分子生物学、動物実験データ・疫学ほか）を基に低線量放射線被ばくが健康に有害・無害・有益かを検証する

リスク仮説　健康影響模式図







【健康影響仮説概念模式図】

低線量放射線被ばくによる健康リスクの争点は「発がんリスクのみ」である。

争点において次のリスクモデル仮説が挙げられる。

①しきい値なし直線仮説：

LNT(Linear No sureshold Theory)

②しきい値仮説

③放射線ホルミシス仮説

注：Activation of Damage Control：放射線ホルミシス仮説においては、比較的高い線領域までホルミシス効果があるとされている。

Net Radiation Damage: 害と有益レベルを相殺補正したもの

＜異なる放射線リスクモデルと相違点＞

① LNT：高線量域での障害（皮膚傷害、不妊、胎児奇形）はしきい値（確定的影響）
　　低線量での推定障害（発がん・遺伝的影響）はしきい値なし（確率的影響）

② しきい値仮説：高線量域・低線量での障害（発がん・遺伝的影響）共にしきい値存在

③ ホルミシス仮説：②に加え、有益線量域の存在

放射線ホルメーシス（ホルミシス）生物学用語：放射線適応応答

＜Luckey 博士の造語。ホルメーシスは従来から存在＞

従来から認識されているホルメーシス効果

本質的に有害であっても、微量（適量）で有益な刺激効果として作用(必須の場合もある)

・　日光浴・金属　重金属・衛生環境・適度のストレス・飲酒　薬　ほか

放射線ホルミシス効果（適量の放射線は健康に良い、を 200 以上の論文をもとに提唱）

1　成長（生長）の促進

2　放射線傷害への抵抗性の増強

3　炎症の改善促進

4　発がん及びがん転移の抑制（東北大学で放射線治療に応用して好成績）

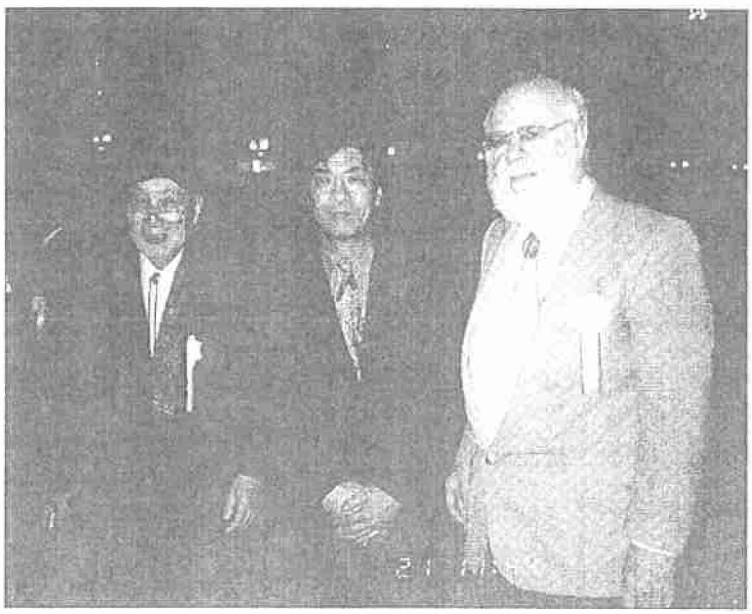
5　鎮痛・鎮静（ラドン温泉）

6　免疫機能亢進（SOD 活性↑）

＊　至適線量（ホルミシス線量）

生活環境で目にする「放射線ホルミシス」

ラドン温泉　岩盤浴　健康用品（マイナスイオン鉱石　○×社製：健康パッド）



中央：筆者　向かって右：Luckey 博士　1998 年　低線量放射線健康影響国際シンポジウム：東京

放射線教育

ノルウェー：放射線防護学で記載　　日本：放射線防護学では記載がない

17 世紀　仏科学者　：パラケラスス

すべてのものは毒であり、すべてのものは毒ではない。毒であるかないかは量で決まる

放射線に係わる出来事と放射線被ばくに関する考え方の時代的変遷

年代	topics	健康影響の知見・議論	放射線防護学の姿勢	法的規制
1895年	X線の発見	放射線障害の発見	被ばく低減に対処	
1930年～		放射線障害が見られなくなった。⇒しきい量	国際的な被ばく制限（国際放射線医学会）	10mGy/週 3 mGy/週
1945年	広島・長崎に原爆投下	被爆者の白血病・胎内被ばく悪影響　発がん		
1946年	X線照射遺伝学実験（マーラー）ノーベル賞	遺伝的影響にはしきい量がない⇒LNT仮説の原形		
1958年	米ソ核兵器軍拡	LNT概念社会的合意形成	国連原子科学委員会合意	一般5mGy年 職50mGy年
1978年	ニール報告	遺伝的影響にしきい量		
1982年	放射線ホルミシス論提唱	微量の放射線被ばくは健康上有益とする学説		
1988年	ICRP基本理念		LNTが発がんリスクの概念に	
1990年前半～	分子生物学の発展⇒国際的放射線リスク論争	発がん線量にもしきい量示唆		
1998年	低線量健康影響国際シンポジウム・東京	放射線ホルミシス論再確認		
2004年	ICRP90年勧告 仏科学アカデミー提唱	200mSv/年は無害		一般人 1mSv/年

低線量健康影響の放射線リスク論議　論点とその社会的影響

＜しきい値なし直線仮説（LNT）への揺らぎ：90年前半～国際的な放射線リスク論争＞

LNTの原型は1958年国連原子科学委員会提言（科学的実証ではなく社会的合意に留意）

LNTの功罪

- 厳密な放射線管理によって精度の高い放射線管理ができると考えられている。
- 放射線管理上では都合が良い（健康影響・防護学・法規制に一貫性がある）
- 反面、健康影響・防護学・法規制の各々のリスク観が混在して切り口が不明
- 一般社会に少しの放射線でも害があると捉えられるようになってしまった⇒放射線の怖がりすぎの風潮。放射線有効利用の阻害。
- 放射線防護のための莫大なコスト計上の必要
- 政争の具・イデオロギー主張の手段
- マスメディアの格好の報道ネタ

LNTに対する異論

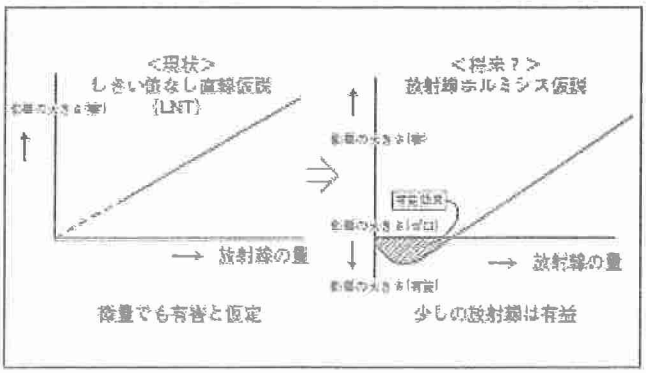
- ＬＮＴの根拠は原爆被爆者の疫学データを基にしているが、データの信頼性に問題
- 同じ線量でも、瞬間被ばくの影響と緩慢被ばくの影響とは本質的に異なる。
- 高線量域の比例関係を低線量領域にそのまま外挿し、リスク推定するのはおかしい
-

LNTを否定する異論、科学的証拠

- 放射線ホルミシス仮説の提唱（T.D.Luckey）
- 動物実験データ
- 分子生物学的研究成果（発がん究明研究のなかで）低線量放射線の“適応応答”現象
- 疫学報告（高自然放射線地域報告・宇宙線被ばく報告・台湾の住民被ばく etc）
-

論点

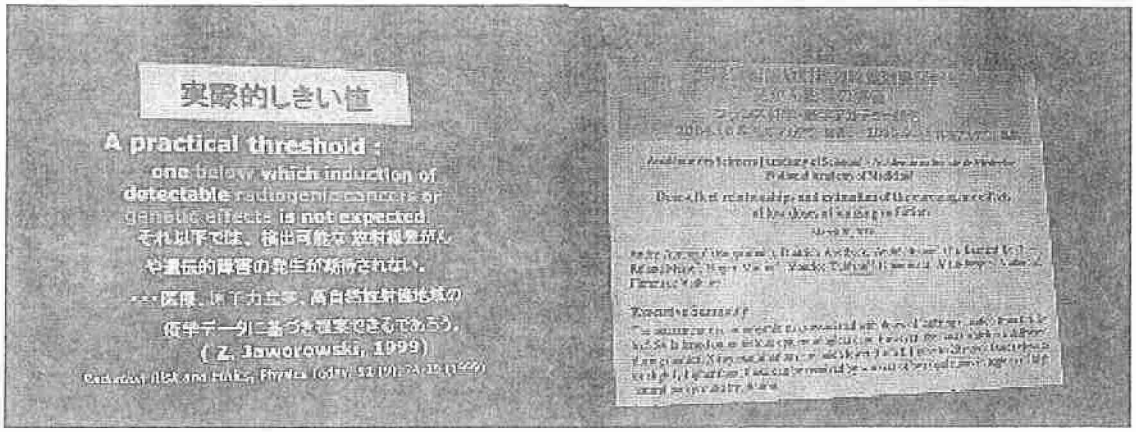
- 放射線影響の発がんメカニズム解明と量的レベル（どのリスクモデルに妥当性があるか）
- しきい量があるのか否か。あるとすれば量的レベル（一時量・緩慢年間量）は？



放射線リスク仮説の概念
リスクの仮定が変わると常識も変わる？

提言・声明

2004年　米国保健物理学会　仏：科学アカデミー提言　200mSv/年　は無害量



放射線リスク概念が変更された場合の社会的インパクト

- 国際機関（ICRP　IAEA）が放射線リスク基本理念を変更した場合
- 米国・仏などが国として新たな基本理念を提言して他国にも倣うよう示唆した場合
  ⇒米国エネルギー省の低線量放射線影響研究10年プロジェクトの答申
  (2000年開始 2010年報告・答申)

●マスメディアを賑せてきた従来の“有害な放射線被ばく”報道は実は無害線量だった！

- 診断目的の医療放射線被ばく　（200mSvを超える実態がない）
- 東海村JCO臨界事故　（最大10mSvの一般人被ばく）
- 宇宙線被ばく　（最大10mSv/年）
- 放射線漏れ報道　（事業所内規制レベル）
- 核物質の環境汚染　（環境放射線レベル）
- 原発労働者の被ばく訴訟　（職業被ばくレベル）

●環境リスク問題の評価の視点に影響？

・リスク推定見積もりの考え方（動物実験データ評価はLTNと同様である）

・過去の有害物質問題の評価　（有機水銀・ダイオキシン　人口甘味料etc）

・　評価の在り方が推定リスク重点よりも他の要素（作法・モラル・矜持）も重要視される
　⇒生活の知恵活用⇒乱用の抑止効果

- 放射線の有効利用・原子力エネルギーへの見直し
- 莫大な防護費用の低減
- 放射線を正しく怖がる対処（安全量・危険量・注意量・取扱量）の見極め

まとめ

＜事象の判断の優先度＞

・　先ず何が問われているのか？を考え、検証する

・　見極めの視点をどこにおくか？

（中越沖地震の原発被災評価）

（原発での“事故”報道の実態）

放射線リテラシーの涵養を阻害する実態

・　放射線のリスク論争の核心部分のマスメディアからの情報・報道がない

・　放射線に限らず、いたずらに社会を脅す机上のリスク推定情報が重用されている

・　怖がり情報が重用され、台湾の住民被ばく事件、宇宙線被ばくの航空乗務の詳細結果情報は何故か報道されていない

・　イデオロギー主張の手段として放射線は怖いものとして宣伝されている。

・　専門部会では内部での難解な議論が中心

⇒肝心な部分の情報が社会に開示されない

⇒議論の進展を阻む“抵抗勢力”の存在？？

提 案

・ 専門部会の議論をわかりやすいかたちで社会に開示して、放射線のリスク論議を議論の対象にして社会の評価を得ることの必要性

⇒一般社会での放射線に対する興味の喚起

⇒科学議論のテーマとして格好の対象

⇒世論の動向の反映として「ルールが動く」かもしれない

・ 放射線教育

○一般対象（学校教育⇒受験内容に放射線に関する設問がない！）

○専門職種（特に医療従事者に対する放射線教育がお粗末⇒社会への接点が大ゆえ重要）

さいごに

エネルギー手段の社会受容⇒最終的にその社会が決定

選択の背景には、生活習慣　文化・宗教的背景もあるが　放射線・原子力の社会受容が進展しない大きな原因が“リテラシー不足”であるなら、リテラシー力を上げれば、放射線・原子力の必要性がさらに求められるだろう。

小学生にも大人にもわかる放射線実習の指導法

ー天然放射能を用いた放射線教育ー

中村麻利子（鳥取大学工学部）

1.はじめに

放射線は、私たちの身のまわりに存在し、また、私たちの生活の中でいろいろな分野で利用され、私たちの生活と切り離せないものになっています。しかし、特別なもので怖いものと考えている人が多く、本学の理系の学生であっても放射線や放射能に関する知識は乏しく、高校までに学んだことがなく、あったとしてもほとんどの学生がその内容については覚えていないのが現状です。また、教員自身も放射線について学んだ経験がほとんどないため扱いにくい題材となっているのではないかと思われます。

そこで、特別な機器を使用せず、身のまわりに存在している天然の放射能を用いた実験であれば、取り組みやすくなるのではないかと考え、鳥取県の自然である三朝温泉の温泉水を用いた実験を開発し、小、中、高校で出張講義を行ってきました。授業前は、怖いものと感じている子どもたちがほとんどでしたが、授業後には放射線に対するイメージが大きく変わっています。授業には身のまわりの放射線を用いた実験やゲームを取り入れ、放射線がどんなものなのかを体験してもらっています。子どもたちは実験やゲームに楽しそうに取り組んでいます。

今回の学習指導要領では、中学校理科で放射線の性質と利用についても触れることになりました。小学校でもエネルギーや環境学習において放射線に触れることもあることと思います。今回紹介する実験はそのような時に大いに役立つことと思います。これらの実験や実習例を先生方がご自分の授業の中に取り入れてくだされば、さらに活かされるのではないかと期待しています。現場の先生方のご意見も聞かせていただき参考にさせていただきたいと思っています。

2.放射線・放射能とは

放射線・放射能という言葉はよく耳にしますが、よくわからないという人が多いのではないでしょうか？　そこで、放射線の基礎について少しふれてみます。

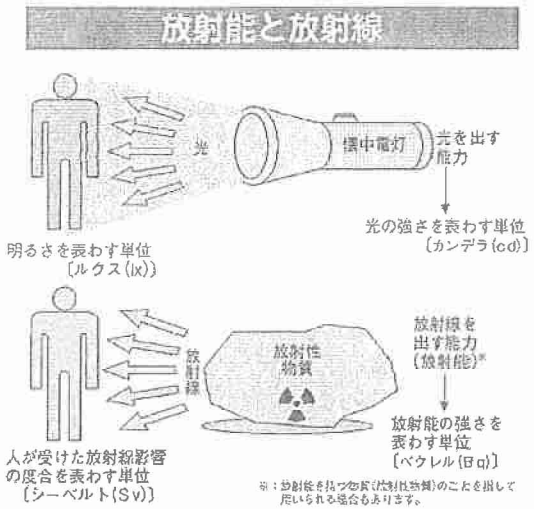
2.1 放射線と放射能の違いは？

ウランなどの原子核が壊れた時に飛び出す電子や中性子などの粒子、エックス線やガンマ線などの電磁波を「放射線」、その放射線を出す能力を「放射能」、そして放射線を出す物質、つまり、放射能をもつ物質を「放射性物質」といいます。

この放射線、放射能、放射性物質の違いを懐中電灯にたとえると（図 1）、懐中電灯の光が「放射線」、懐中電灯の光を出す能力が「放射能」、懐中電灯が「放射性物質」ということになります。テレビや新聞で「放射線漏れ」「放射能漏れ」という言葉を聞いたり、見たり

することがありますが、これらには大きな違いがあります。「放射線漏れ」の場合、漏れているのが放射線ですので事故をおこした施設から距離が離れるほど影響は小さくなり、漏れないようにふさぐことができればそれ以上被害を与えることはありません。しかし、「放射能漏れ」の場合、放射線を出す能力をもった放射性物質が漏れていることになり、施設から距離だけでなく、風向きや天候によって影響の範囲が変化しますし、漏れないようにふさいでも、漏れてしまった放射性物質の放射線を出す能力がなくなるまで放射線を出しつづけることになります。

放射能の強さを表す単位としてベクレル（Bq）、放射線の人体への影響を表す単位としてシーベルト（Sv）が使われます。



出典：「原子力・エネルギー」図面集

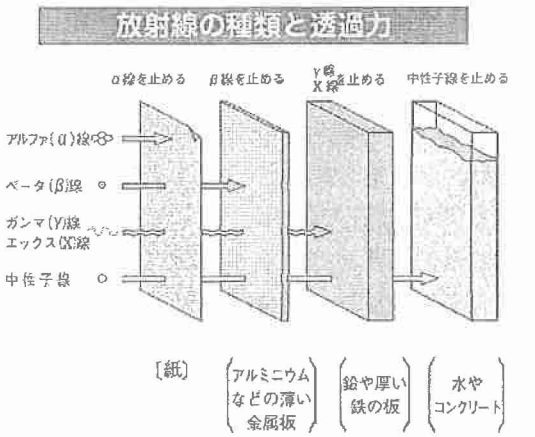
図 1

2.2　放射線の種類と性質

放射線とは、高いエネルギーをもち高速で飛ぶ粒子（粒子線）と、高いエネルギーをもつ短い波長の電磁波の総称です。

粒子線としてはアルファ線（α線）、ベータ線（β線）、中性子線など、電磁波としてガンマ線（γ線）、X線などがあります。小柴先生が観測されたニュートリノも放射線の１種です。

原子核は陽子と中性子でできていて、その原子核の回りを電子がまわっていますが、放射性物質の原子核は不安定なため壊れやすく、その時放出されるのが放射線です。放射線が放出されることによって別の物質に変わります。



出典：「原子力・エネルギ

図 2

不安定な原因

・*核が重すぎる場合*

アルファ線（α線）・・・陽子２個と中性子２個（ヘリウムの原子核）

・*中性子と陽子のバランスが悪い場合*

ベータ線（β線）・・・・電子が放出され、中性子が陽子に変わる

・*核のエネルギーが高すぎる場合*

ガンマ線（γ線）・・・非常に波長の短い光を放出する

放射線はものを通り抜ける能力をもっています。この性質は放射線の種類によって異なっています（図 2）。

2.3 身のまわりの放射線

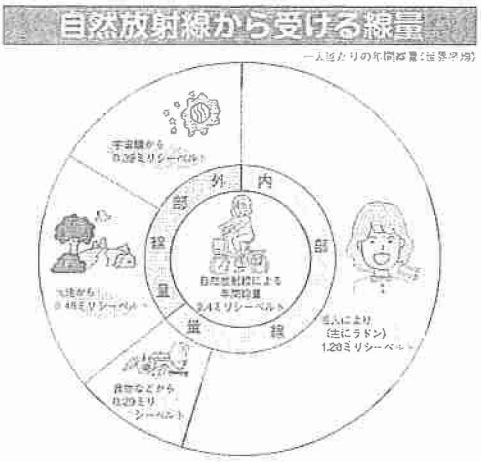
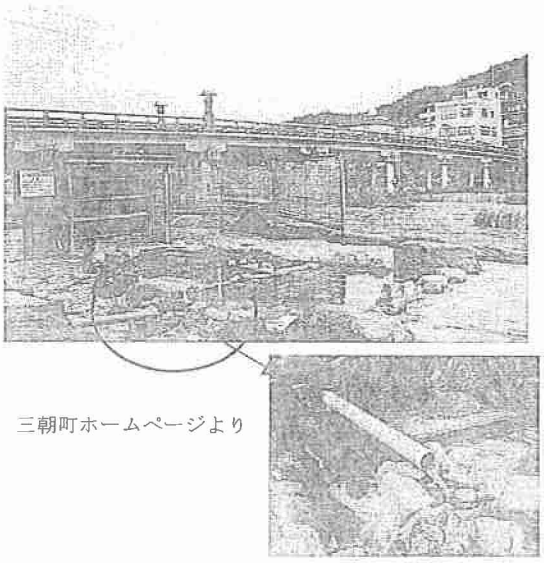


図 3

放射線は、決して特別なものではなく、私たちは、日常生活の中で、宇宙、大地、また食物や大気など、自然界からの放射線を絶えず受けながら暮らしています。宇宙からは、超新星の爆発や太陽表面の爆発などで発生した高エネルギーの粒子（一次宇宙線）が大気圏に突入し、空気中の酸素や窒素の原子核と衝突して多数の放射性粒子となって地上に降り注いでいます。また、放射性元素であるウランやトリウムを含んでいる花崗岩が広く分布している西日本は東日本に比べて大地放射線が多くなっています。私達が毎日食べている食物にも放射線を出す物質が入っています。主にカリウムで、カリウムのうち放射線を出すカリウム 40 がごくわずかな割合（約 0.012%）入っているためです。当然、食物を食べている私達の体からも、放射線は出ています。

3. 三朝温泉の温泉水を用いた放射線教育

日本にはたくさんの温泉がありますが、その中に放射能温泉と呼ばれるものがあります。放射線といえば怖がってしまう日本人ですが、温泉となると多くの観光客が訪れています。日本人にとって温泉は馴染み深いもののようです。そこでそれらを利用した放射線教育を行えば、子どもたちにも（先生方にも）興味をもって取り組むことができるのではないかと考えました。そこで、本セミナーでは、三朝温泉の温泉水を使った実験を体験していただき、学校での学習に役立てていただければと考えました。三朝温泉は別名「ラジウム温泉」ともよばれていますが三朝温泉の温泉水にはこのラジウムから生まれたラドンが含まれています。ラジウムやラドンは放射線を放出している放射性同位元素の一つです。このように放射性同位元素が溶け込んでいる温泉を放射能温泉と呼んでいます。放射能温泉といわれるものには、ラジウム温泉（ラジウム 226）、ラドン温泉（ラドン 222）、トロン温泉（ラドン 220）と呼ばれるものがあります。


三朝町ホームページより

ふつうラドンと呼ばれているものはラドン 222 のことで、これはラジウム 226 がα崩壊して生まれます。そして、地中のラジウム 226 から生まれたラドン 222 が地下水に溶け込んで、地上に湧き出したものがラドン温泉、ラドンではなくラジウム 226 そのものが地下

水に溶けて湧き出したものが、いわゆるラジウム温泉なのです。三朝温泉の場合、温泉水にはラジウムは溶け込んでいませんので、ラドン温泉といった方が正しいかもしれません。

3.1　温泉水に溶けている放射能

ラドン222の半減期は3.8日で、図4のように次々と崩壊を繰り返しながら、異なる放射性核種に生まれ変わっていきます。したがって、ラドン温泉と言っても、温泉の水の中に溶け込んでいるのは、ラドンだけではなく、ラドンから生まれた様々な放射性核種が含まれています。

これらの放射線を検出する放射線検出器は一般に高価で、教育用と称して売られているものの中にも1台で数十万円程度するものは珍しくありません。しかし、現在では「はかるくんII」という検出器が文部科学省から(財)日本科学技術振興財団を通じて無料で貸し出されています。貸し出されている「はかるくん」には3つのタイプのものがありますが、本実習には「はかるくンII」が適しています。

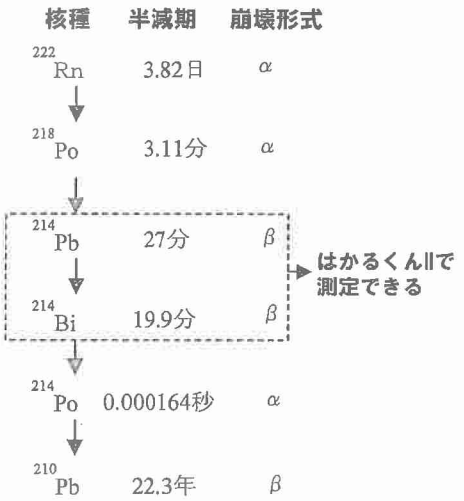


図4　温泉水に含まれている放射能

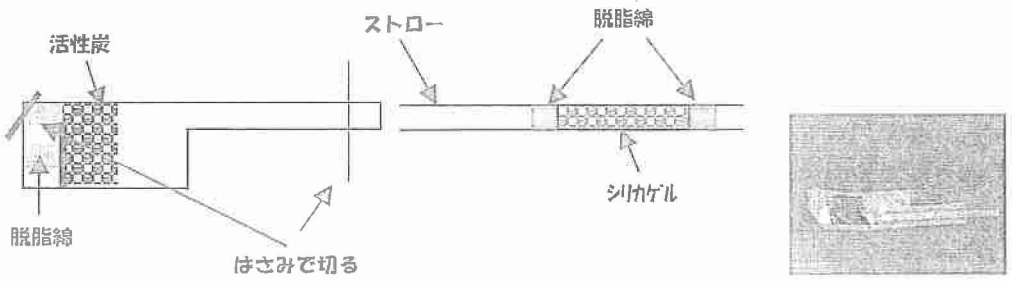
「はかるくンII」は、γ線とβ線を測定することができます。そのため、温泉水に含まれている鉛(Pb)214とビスマス(Bi)214から放出されているβ線を測定することができます。また、「はかるくンII」には自動記憶モードがあるためセットしておけば、測定終了後にデータを読み出すことができ、放射線量の変化を観察できます。

3.2.　放射線教育のための温泉水の教材化

3.2.1 活性炭を用いた温泉水の放射能測定

操作はいたって簡単です。温泉水に含まれているラドン222が気体であることを利用し、活性炭に吸着させて活性炭上でラドン222から生まれる鉛214とビスマス214から放出されるベータ線を「はかるくンII」を使って測定します。ラドン222から鉛214とビスマス214が次々と生まれてきてやがて放射能が一定になる現象(放射平衡)を観察できます。さらに、活性炭を電子レンジで加熱すれば、ラドン222を活性炭上から取り除くことができ、減衰の様子も観察できます。

放射平衡の観察



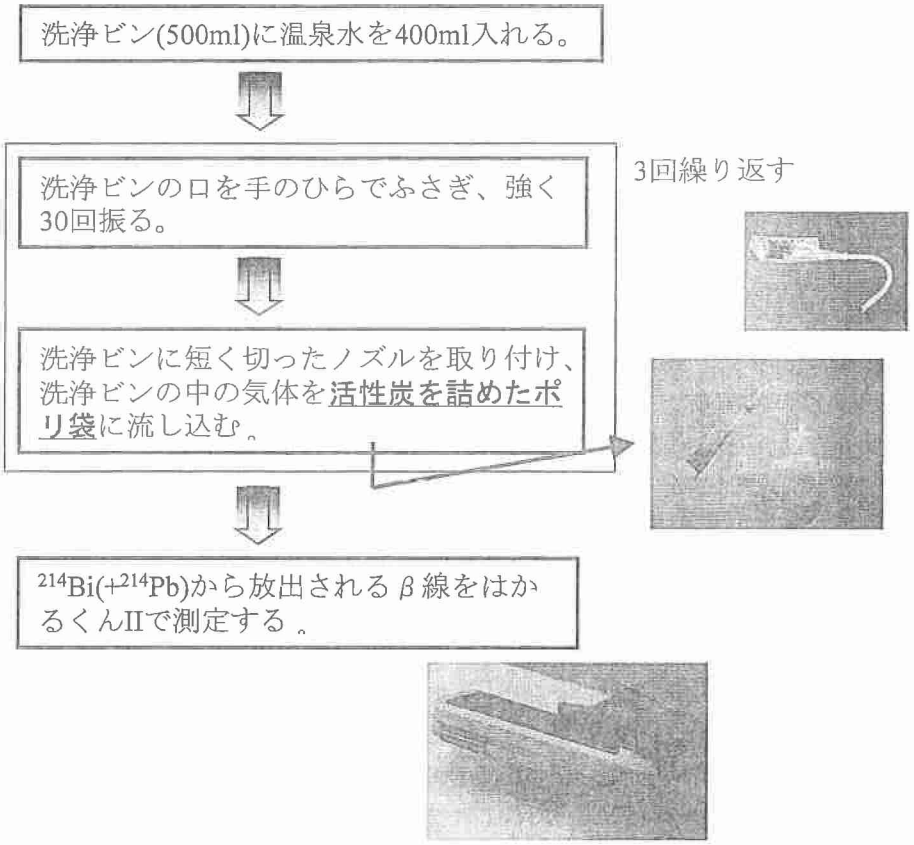


図5　活性炭を用いた実験方法

・放射平衡とは

活性炭上に十分な量のラドン 222 を集めたとする。最初、活性炭上には放射性核種はラドン 222 しかないが、やがてラドン 222 が崩壊して、鉛 214 やビスマス 214 という核種が生まれてくる。これらの核種の量は、しばらくは時間とともに増えていくが、その一方で鉛 214 やビスマス 214 も崩壊して別の核種に変ってしまうため、ある一定量以上になることはない。このような時、「ラドン 222 の崩壊によって 1 秒間に生まれる鉛 214 の量」と「鉛 214 の崩壊によってそれ自身が 1 秒間に消失する量」は等しくなり、見かけ上、鉛 214 の量は変化しない。このとき「ラドン 222 と鉛 214 が放射平衡にある」という。

•活性炭には温泉水中のラドンの一部を吸着させたのであり、また吸着されたラドンやそのラドンから生まれる鉛やビスマスは、時間の経過と共にそれぞれの半減期にしたがって減衰していく。**そのため活性炭に含まれる放射能は、どこにでもある量と同じで危険性はない**

減衰の観察

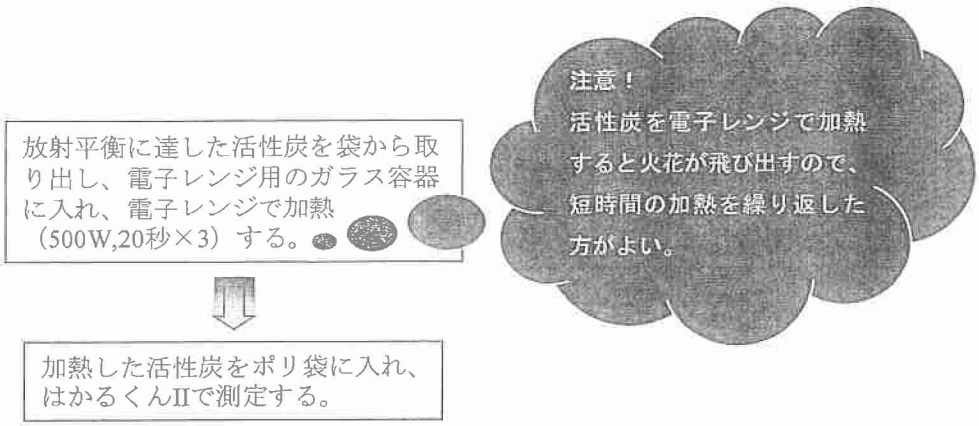


図６　電子レンジを用いた減衰の観察

三朝温泉の温泉水を使った時の測定結果の一例です。データ１（○印）は、矢印の時点で測定を中断し、活性炭を電子レンジで加熱し、その後、再びはかるくんⅡで測定した結果です。データ２（▲印）と比べ、データ１では、急激な減少が見られました。実線は、活性炭上に鉛（^{214}Pb）とビスマス（^{214}Bi）のみであった場合（ラドンが存在しない）の減衰の様子を示したものです。電子レンジで加熱することにより、ラドンが取り除かれていることが分かります。

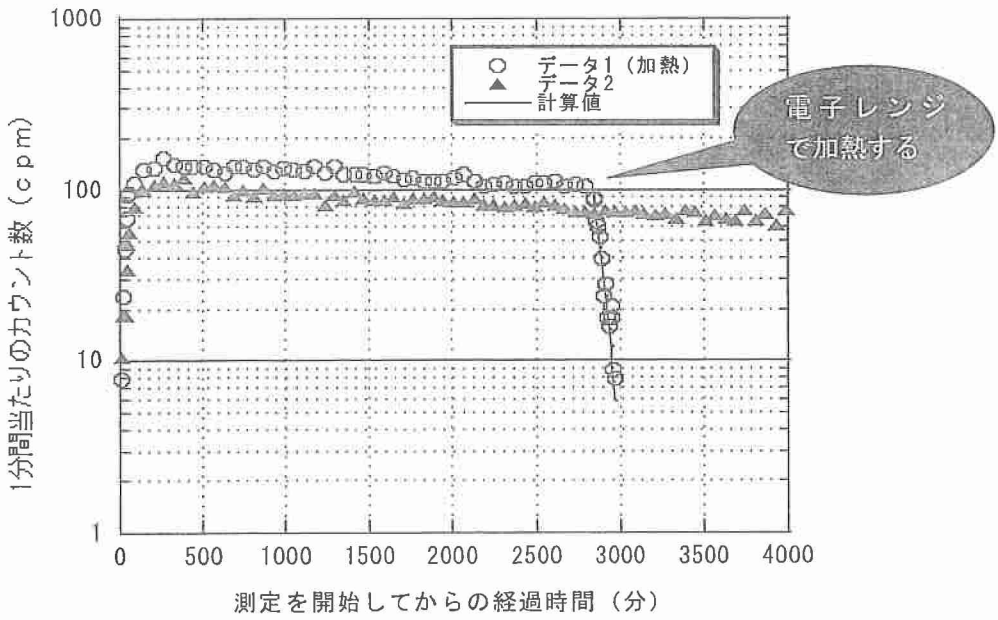


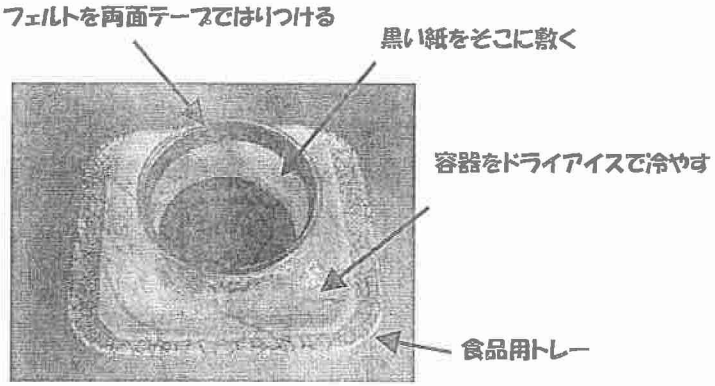
図７　三朝温泉の温泉水を使った実験の測定結果の一例

3.2.2　手づくり霧箱による放射線の観察

身の回りのもので霧箱を作り、温泉水の中に放射能が含まれていることを目で直接確認します。ラドン 222 からは、霧箱で飛跡が容易に観察できるアルファ線が放出されています。

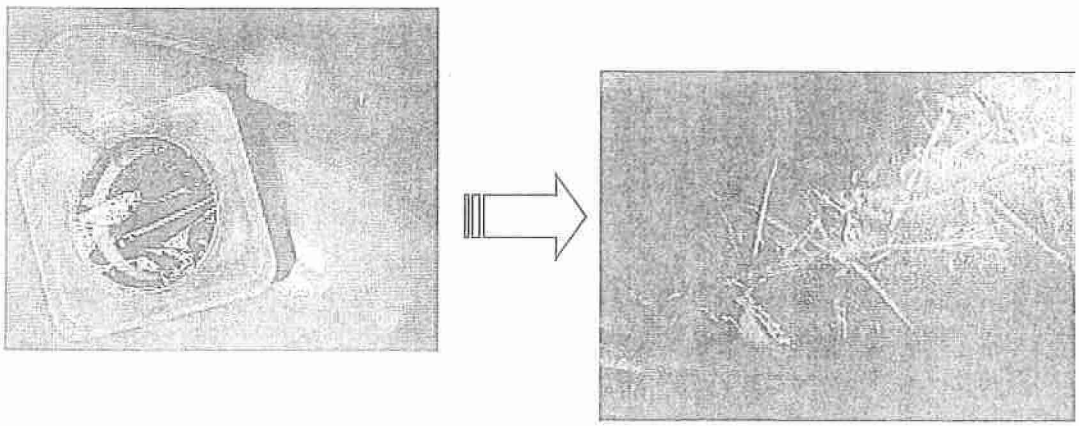
霧箱の作り方

1. 透明な容器にフェルト（幅約１ｃｍ）を両面テープではりつける。
2. 黒い紙を丸く切り、容器の底に敷く。
3. フェルトにエタノールをしみ込ませ、容器をサランラップでふたをして輪ゴムでとめる。
4. 食品用のトレーにドライアイスを入れ、その上に容器を置き冷やす。



霧箱での観察の仕方

活性炭を使った実習の時と同様、洗ビンに温泉水を入れ、洗ビンを振って、ラドンを取り出し、写真のように霧箱の中にラドンを含んだ空気を注入します。そして、懐中電灯等で霧箱の中を照らしてみます。



白い飛行機雲のような筋が、
α線の飛跡です。

4. 出張講義での実践

小・中・高校からの要望をうけ出張講義（身のまわりの放射線）を行っています。子どもたちの学年によって講義の内容を考え、授業時間によって実験の内容も変えています。

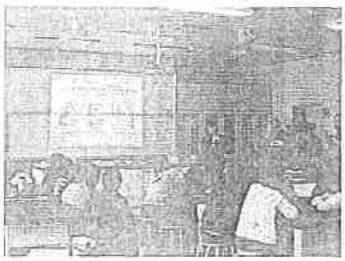
小学校では、身のまわりにも放射線はあり、私たちの生活でもいろいろと役立っていることを講義し、霧箱での放射線の観察と放射線が遮へいされることを体験できるゲームも取り入れています。霧箱での観察には、三朝温泉の温泉水から取り出したラドン222から放出されるα線の飛跡を観察します。

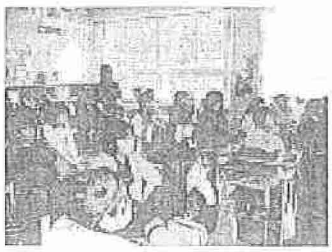
中学校、高校では、原子や原子核にもふれ、放射線がどんなものなのかということにもふれています。実験には、三朝温泉の温泉水を用いて霧箱での観察と放射平衡の実験を行っています。

講義時間は、2時限にまたがって行うことがほとんどですが、休憩時間は必要ないほど子どもたちは終始講義や実験に集中しています。

講義の様子と子どもたちの感想

（小学校）





・放射線で、害虫を減らすことができるなんてびっくりしました。実験では、楽しくでき、いろんなことを学びました。今日の実験では、楽しかったり、発見することがたくさんあって、とても楽しかったです。

・今日、**初めて目で耳で手で放射線を実感しました。**ずっと怖いものだと思っていたけど人の役に立ったり便利だという事が分りました。

・今日の実験はおもしろかった。**また、やりたい。**

・今日の実験で、放射線のことがよくわかりました。所どころむずかしいところもあったけどとても楽しくてわかりやすかったです。家でみんなに自まんしたいです

・今回放射線のことを勉強して、いままでもっていた**イメージが少し変わりました。**実験などもしてとても楽しめました。

・放射線は「**こわい**」というイメージが強かったけど、実験をしてみて「**ふしぎだ**」と思ったり、「**少しおもしろい**」と思いました。

・放射線は、人の命をうばうイメージがあったけど、おもったよりこわくなかったです。

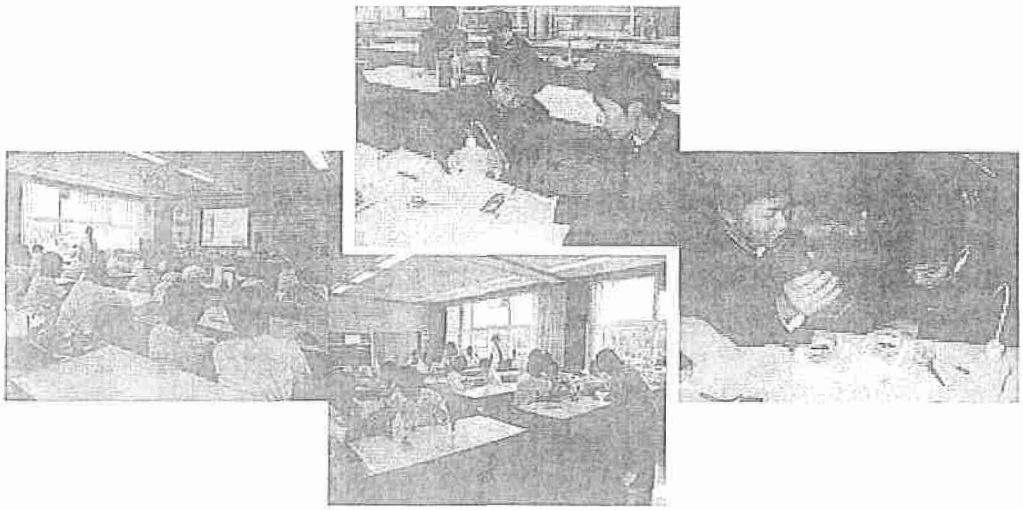
・実験で**放射線をみるのが楽しかった**です。

・放射線が常に身の回りにあることは知っていたけど、**ふだん見えないものが工夫すると見えた**から、少しびっくりした。家でもできればやってみたい。

（中学校）

・**おもしろい実験だった。**家でもやってみたいと思う。とてもびっくりした。
・少し難しかったけど、放射線といったら怖いから浴びたくないと思っていました。でも、放射線を使った実験などをするとおもしろかったのでもっと**自分で調べて、正しい知識をもっていたいと思いました。**
・**放射線に対するイメージが変わった。**とても楽しくできた。もう一度やってみたいと思った。
・**放射線がこんなに身近にあるとは思わなかった。**イメージとは逆に役に立っているものもあるんだと思った。
・習っていないところがあって少し難しかったけど、概要は理解できたと思う。**時間が足りなくて残念だった。**またいつかやっていただきたいと思った。

（高等学校）



・実験も説明もおもしろかったです。**放射線のイメージが変わりました。**
・難しそうなイメージを持っていたけど、説明が分りやすくて、そうなんだ！って思えるところがたくさんあって、実験ものすごくおもしろかったです。**体とか食べ物からも放射線が出ていることがおどろきました。**
・**実験がたのしかった。**
・もっと深い内容をしてみたい。
・**放射線を身近に感じることができて**おもしろかった。

5. おわりに

私自身放射線について専門的に学んだことはありません。十数年前から学生実験で教員とともに天然放射能を用いた実験を担当するようになってから、興味をもち、子どもたちでもできる実験方法はないか、実験室ではなくても教室でできる実験方法はないかと試行錯誤してきました。そしてここ数年は、実際に学校で講義としてやっていますが、子どもたちの感想からみても教材として十分役立つと実感しています。子どもたちは実験が大好きです。実験をしている子どもたちの目は輝いています。

活性炭や電子レンジを使った実験は、操作は簡単ですが、放射線の基礎的な事象である放射平衡や減衰を簡単に観察することができます。出張講義では、2時限という限られた時間の中で行っていますが、先生方が日常の授業に取り入れられれば（1日目に放射平衡の実験を行い、次の授業のときに放射平衡になった試料を用いて減衰の実験を行う）さらに教材として効果的に役立つことと思います。

セミナーでは、三朝温泉の温泉水を用いた実験を紹介しましたが、三朝温泉の温泉水以外にも実験に用いることができる天然放射能はたくさんあります。ラジウム温泉としては、増富温泉（山梨県）、恵那鉱泉(岐阜県)、池田鉱泉（島根県）の温泉水を用いても実験を行いました。皆さんの回りにも実験に用いることのできるラジウム温泉があるかもしれません。また、園芸用の肥料である過燐酸石灰の中にもわずかですがウランが入っているものもあります。ぜひ、先生方にも興味を持っていただき、学校の授業に取り入れていただければと期待しています。

天然放射能を用いた実験については、下記の文献でも報告しています。

1) 中村麻利子，江坂享男：“小学生でもできる活性炭を用いた三朝温泉の泉水中の放射能測定－科学の祭典鳥取大会にて”，化学と教育，Vol.48，No.8，pp.538-539，2000.

2) M. Nakamura、M. Kamata, T. Esaka:”Radiation education using local environment - Educational experiment using Misasa spring water”, Proceedings of International Symposium on Radiation Education (ISRE 04), pp.538-539, 2004.

3) 鎌田正裕，中村麻利子，江坂享男：“天然放射性同位元素を用いた放射化学実験法(I)－ 温泉水に含まれる ^{214}Bi の放射能測定－”，化学と教育，Vol.42，No.4，pp.286-291，1994.

4) 鎌田正裕，中村麻利子，江坂享男：“天然放射性同位元素を用いた放射化学実験法(II)－温泉水に含まれる ^{214}Bi の放射能測定－”，化学と教育，Vol.42，No.7，pp.500-503，1994.

5) 鎌田正裕，江坂享男，中村麻利子：“天然放射能を教材とした学生実験の実施例”，化学と教育，Vol.44，No.5，pp.339-340，1996.

6) 鎌田正裕，中村麻利子，江坂享男："天然放射性同位元素を用いた放射化学実験法（VI）－増富温泉の泉水中に含まれる ^{214}Bi 及び ^{214}Pb の放射能測定－"，化学と教育，Vol.45，No.1，pp.33-36，1997.

7) .Kamata, M.Nakamura, T.Esaka : "Educational Experiment for Students using Natural Radioactivity. I (Radiochemical Analysis of ^{214}Bi in ENA and IKEDA Mineral Spring water)", Proceedings of International Symposium on Radiation Education (ISRE 98), pp.238-244, 1999.

8) 鎌田正裕，中村麻利子，星野洋子，江坂享男："天然放射性同位元素を用いた放射化学実験法（VII）－玉川温泉の湯の花に含まれるＲａ，Ｔｈを用いた放射化学実験－"，化学と教育，Vol.47，No.1，pp.46-49，1999.

知っておきたい，エネルギー・原子力・放射線

元 東海大学教授・熊本大学講師
元 九経連・九州エネルギー問題懇話会顧問
大塚　徳勝

1　こんなにもある環境問題

環境問題は 表1.1 のように分類することができる．その中でも，CO_2による温暖化の問題は，エネルギー問題と密接に関連しているので，ゴミ問題と並んで最大の難問であり，その背景には，人口増とそれを上回るエネルギー消費量の増大がある（ 図1.1）．

大量生産・運搬・消費には，膨大な量の資源とエネルギーが要るので，必然的に大量の廃棄物とCO_2を生じる．このことがゴミ問題と温暖化の問題の根源になっている．

表1.1　環境問題の全容

①二酸化炭素CO_2による地球の温暖化
②フロンによるオゾン層の破壊
③大気汚染
④酸性雨
⑤地下水の汚染
⑥海、河川、湖沼の汚染・汚濁
⑦森林破壊、砂漠化、生物種の激減
⑧廃棄物（ゴミ）処理、土壌汚染
⑨環境ホルモン

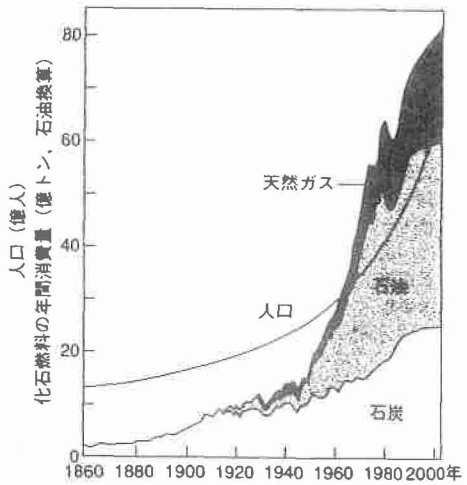


図1.1　人口とエネルギー消費量の増大

●わが国の資源消費量と廃棄物発生量

わが国の年間資源消費量と廃棄物発生量を 表1.2 に示した，化石燃料だけでも年間4.1億トン輸入し，その量は，旧博多駅ビルの大きさ（10万m^3＝10万トン）の船で4100隻分（12隻分/日）に相当する．

紙は年間3200万トン（世界３位），プラスチックは1500万トン生産されている．廃棄物の平均リサイクル率は19%に過ぎない．空缶の発生源になっている自動販売機（500W）が265万台（世界一）もあり，その消費電力は原子力発電の１～２基分に相当し，まさにエネルギーを飲んでいる．自動販売機はＥＵには，ほとんどない．

表1.2　日本の資源消費量と廃棄物発生量

輸入資源	6.8億トン/年 （うち，化石燃料　4.1）
国内資源	12.9
産業廃棄物	4.1
都市ゴミ	0.5

ゴミ処理問題は年々深刻化し，ゴミ焼却場や処分場の新設が困難になり，ゴミの不法投棄が増大している．ゴミ処理問題は，もはやリサイクルやゴミ収集費の有料化，レジ袋の有料化などの対策では解決する状態にはない．やはりドイツのように，すべての商品に対して，ゴミの分別・収集と再資源化の経費をメーカーに負担させる，『拡大生産者責任』制度を設けるか，スウェーデンのようにゴミの発生を抑えるため，主な商品をリース・レンタル方式へ転換するしか方法はないと思われる．

文明とは皮肉な見方をすれば，『人間がゴミを作る活動である』．現在の産業構造と社会経済システムを変えない限り，やがて現代文明はゴミ問題と温暖化で行き詰まると思う．

2 CO_2による温暖化の問題

石炭と石油は３億年の昔，それぞれ植物と動物が地殻に埋もれて，化石化したもので，いわば原始大気中のCO_2の缶詰である（ 図2.1 ）．そのため，これを燃やすことは，３億年昔のCO_2を地殻から大気中へ呼び戻し，まさに寝た子を覚ましていることになる．化石燃料の使用は温暖化だけでなく，硫黄酸化物や窒素酸化物による大気汚染と酸性雨を招くので，化石燃料の発見は，まさに「パンドラの箱」を開けたようなものである．

地球誕生		化石燃料の生成		人類誕生		産業革命
46億年前	……	3億年前	……	300万年前	……	200年前
(46m)		(3m)		(3cm)		(0.002mm)

図2.1 地球の歴史から見た化石燃料の生成（時間軸を長さに対比）

●温暖化の仕組み

赤外線は人間も放射している．マムシが人の接近を感知するのも，そのためである．太陽は表面温度が6000度もあるので，強い赤外線と光，紫外線を放射している（太陽放射）．一方，太陽放射によって暖められた地球は，図2.2(上）のように，平均温度の14℃に相当した，弱い赤外線の大部分を宇宙空間に向けて放射している（地球放射）．

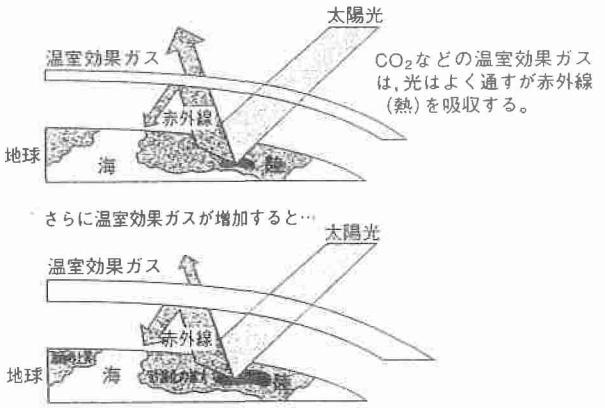


図2.2 温暖化の仕組み

ところが大気中には，微量（0.0389％＝389ppm）のCO_2が含まれている．CO_2は 図2.2（下）のように，太陽から放射される赤外線はあまり吸収しないが，地球から放射される弱い赤外線を吸収する性質を持っているので，CO_2の量が増大すると，図2.2（下)のように，CO_2による赤外線の吸収量が増えるので，宇宙空間に逃げ去る赤外線の量が減少し，その結果，気温が上昇する．

温暖化の原因は，①化石燃料の過剰使用が８割，②森林破壊が２割と推定されている．CO_2の濃度は，産業革命以前は280 ppmであったが，現在は389ppmに増大し，それに伴って気温も上昇している．CO_2は世界全体で年間272 億トンも排出され(図2.3)ているが，途上国の近代化が進めば，CO_2の排出量はさらに増え，地球自身がもたないだろう．

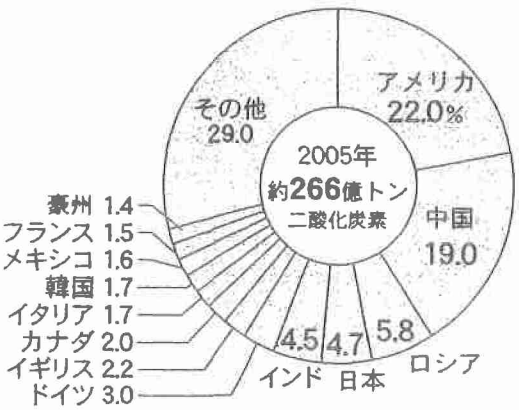


図 2.3 主要国の CO2 の排出量

●温暖化の予測と影響

気温が上昇すると，海水の熱膨張や南・北極大陸上の氷の融解によって，海面も上昇する．国連機関のＩＰＣＣは，気温上昇と海面上昇について，『21世紀末には，地球の平均気温が 図2.4 のように，1.1～6.4℃上昇し，海面は18～59cm上昇する．温暖化は単に気温の上昇に留まらず，局地的な熱波，干ばつ，集中豪雨，台風などの異常気象を招くので，

生態系に異変を生じ，農業は大打撃を受ける．その上，海面上昇によって広範な地域が水没するので，数千万人の環境難民が生ずる．』と予測を発表している．

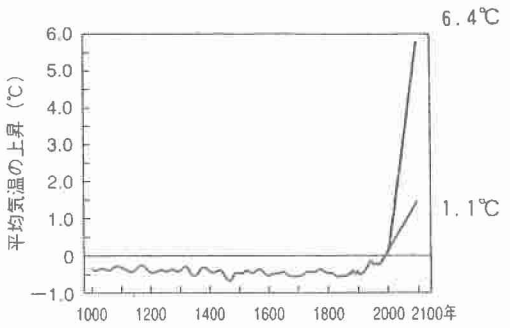


図2.4　温暖化の予測（出典：IPCC）

●CO_2排出削減の国際的動向

CO_2を排出削減するため，1980年代から国際会議が頻繁に開かれているが，化石燃料の抑制は経済成長や生活レベル，雇用の低下を招くので，各国の利害が対立して会議も難航している．1997年の京都会議では，『先進国は温室効果ガスの排出量を2012年までに，1990年レベルより5.2 %削減する』ことが決まり，わが国も６%削減の国際的義務を負っているが，既に90年レベルより 8.7%も超過しているので，実質14.7%の削減が必要である．これを仮に原子力だけで賄うと，新たに10基以上も必要になる．

CO_2排出量を1990年レベルより5.2%削減しても，温暖化は防止できず，その進行が約10年遅れるだけである．ＩＰＣＣは，『温暖化を２℃に抑えるには，CO_2濃度を1990年レベルに安定化させ，そのためには60～80%の排出削減が必要である』と提言している．表2.1に，温暖化を抑制するための技術的，法的な規制・対策を示した．

表2.1　温暖化の抑制・遅延対策

① 省エネルギー
② エネルギー利用の効率化
③ 環境税の導入
④ 森林保全（伐採禁止，植林）
⑤ 非化石エネルギー源への転換（自然エネルギー，原子力）

3　日本のエネルギー事情は，どうなっているのか

わが国はエネルギー問題に関して，３つの難題を抱えている．

(1) 低過ぎるエネルギー自給率（エネルギー安全保障の問題）
(2) 石油の枯渇（資源問題）
(3) 温暖化の防止（環境問題）

図3.1 は，日本のエネルギー供給の構成を示したもので，全体の80%を化石燃料に依存し，その99%を輸入に頼り，原子力発電用のウラン燃料もすべて輸入している．そのため，エネルギー自給率は僅か４%（食糧自給率は40%）で，国のエネルギー安全保障上，極めて憂慮すべき状態にある．主な国のエネルギー自給率を 図3.2 に示す．

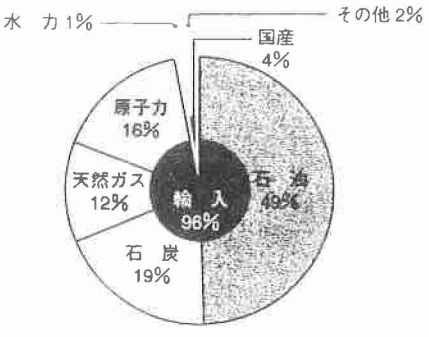


図3.1　日本のエネルギー供給の構成（2001）

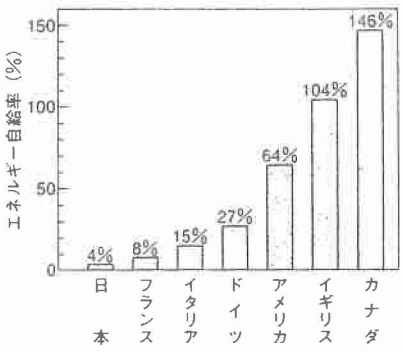


図3.2　主な国のエネルギー自給率（2000）

一方，石油は可採埋蔵量が有限なので，約40年で枯渇する．そのため，現代文明も崩壊するであろう．そこで，代替エネルギーの開発が急務であり，それが現代科学技術に負わ

された課題でもある．その一つが太陽光や風力，原子力なのである．

そんな難題を抱えながらも，エネルギー消費量は依然として伸び続けている．特に民生部門（家庭生活と業務部門）と運輸部門で増加している．その背景には，自家用車や家電製品，コンビニ店，宅配便の増加がある．車は7600万台もあるので，車の平均長を５ｍとすると，その総長は38万 kmになり，月までの距離に等しくなる．アイドリング・ストップや『１日ノーカーデー』などで解決するレベルの問題ではなく，やはり車の総量規制を行わない限り，解決は不可能と思われる．コンビニ店だけでも，56万 kW（中型原子力発電の１基分相当）の電力を使っている（表3.1）．

表3.1 エネルギー浪費の実例

車の数＝7600万台（車の平均長：5m） 車の総長＝38万 km ＝ 月と地球間	
コンビニ（４万店）	原発１～２基
自動販売機(260万台)	１～２基
家電製品の待機電力	２～５基
冷房温度を１℃節約	５基

4 放射線・放射能とは何だろう

原子力発電では，燃料にウランを使うので，CO_2は生じないが，放射能を持った廃棄物（放射性廃棄物）が生じる．放射線や放射能は怖いものと思われているが，医療，工業，農業，理学的分析などの分野で広く利用されている．その事業所の数は国内だけでも5000箇所もあり，最近の医療や産業は，放射線の利用なしには成り立たなくなっている．

●放射線とは，どんなものか

図4.1 は，電磁波の種類と周波数の関係を示したもので，周波数が高くなるほど，電磁波のエネルギーも高くなる．電磁波は，すべて四方八方（放射状）に放射されるので，広義にはこれを放射線と呼ぶが，通常は高エネルギーのＸ線とγ線を放射線と呼んでいる．言い換えると，放射線とは目には見えないが，強力なエネルギーをもった光のようなもので，光の仲間なのである．ただ，エネルギーが高いか低いかの違いである．

放射線の種類には，Ｘ線とγ線（電磁放射線という）の他にも，α線やβ線，電子線，中性子線，イオンビームなどの粒子放射線（高エネルギー粒子の流れ）がある．

電　　波	赤外線	光	紫外線	X線	γ線
長，中，短，VHF，UHF		10^{15}			10^{20}Hz

図4.1　電磁波の種類と周波数の関係

●放射線は何から出るのか，あるいは何処こから来るのか

まず，α線とβ線，γ線は，表4.1 のようにRaや^{60}Co（コバルト60）などの元素から放射されるので，このように放射線を出す元素のことを放射性元素（ラジオアイソトープ）という．また，放射性元素を含んだ物質のことを放射性物質という．

次に，宇宙線は太陽や宇宙の彼方の恒星から来ている放射線で，その実体は高エネルギーの陽子や中性子，電子，γ線である．太陽などの恒星は核融合反応を行っているので，宇宙線は絶えず来ている．一方，Ｘ線や電子線は人工放射線と呼ばれ，放射線発生装置を用いて，電気の力で発生させる．Ｘ線は高電圧の下で加速した電子が，陽極に衝突すると発生する．これと同じ原理のテレビのブラウン管からも，極微量のＸ線が漏れ出ている．

表4.1　放射線の発生源

α線，β線，γ線	放射性物質（ラジウムやコバルト等）
宇宙線	宇宙の彼方（星）
Ｘ線，電子線	人工発生源（レントゲン装置，テレビ等）

●放射能とは，どんなものか

蛍は光を出す性質・能力（発光能）を持っているので，発光性の昆虫と呼ばれように，Raや^{60}Coのような物質は，放射線を出す性質・能力（放射能）を持っているので，放射性物質と呼ばれる．しかしマスコミでは，放射能を持っている物質のことを放射性物質と呼ばずに，単に放射能と呼んでいるので，放射能＝放射性物質が社会的に定着してしまっている．そのため，専門家も放射性物質のことを放射能と呼んでいる．

ところがマスコミでは，放射能と放射線が混同されているため，人は放射能＝放射線と信じ込み，放射能漏れと放射線漏れを混同しているが，これは『蛍』と『蛍の光』を混同するのと同じである．かつて，原子力船,「むつ」の放射線漏れ（その量もＴＶ並の極微量）を「放射能」漏れ事故と報道したために，国中がパニックに陥った（1974年）ことがあるが，1999年に起きたＪＣＯの事故のときも，一部のマスコミは『放射線で汚染された水は危険』と報道していた．放射線漏れと放射能漏れとの違いを 図4.2 に示した．

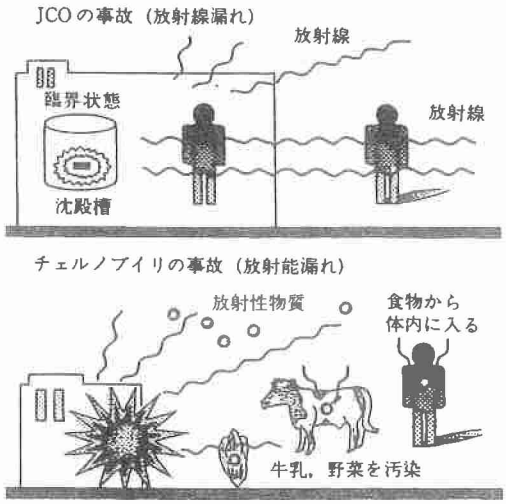


図4.2　放射線漏れと放射能漏れの違い

●放射能の強さは，どう表すのか

^{226}Raや^{60}Coのような原子は，エネルギー的に見て不安定なので，自然に壊変（変身）して安定な別の原子に変わるが，そのとき放射線を放出する．この性質は雷雲と似ている．高電圧に帯電した雷雲は不安定なので，自然に放電して安定な普通の雲に変わるが，そのとき帯電エネルギーを稲妻（光）や雷鳴（音）の形で放出する．

ところで，機関銃の威力は重さ［kg］では表さず，１秒間に放出される弾の数で表す．これと同じく，放射能の強さも重さでは表さず，１秒間に物質中の原子が壊変（して放射線を放出）する数で表す．１秒間に１個の割合で原子が壊変して放射線を放出するとき，その物質の放射能の強さを１Bq（ベクレル)という．つまり，１Bqとは１個/秒のことである．^{226}Ra１gの放射能の強さは相当強く，370 億（＝3.7×10^{10}）Bqもある．

●放射能の強さは，何によって決まるのか

放射能の強さは当然，放射性物質の量が多いほど強い．しかし同一量の放射性物質でも，放射能の強さは元素の種類によって異なり，不安定な元素ほど強い．例えば１gの^{226}Raは１秒間に3.7×10^{10}個も壊変するが，１gの^{238}Uは1.2×10^{4}個しか壊変しないので，放出される放射線の数もそれだけ少ない．つまり同じ１gでも，^{226}Raが^{238}Uより約300万倍も放射能が強いので，^{226}Ra１gの放射能の強さは，^{238}Ｕ３トンの放射能に等しい．このように放射能の強さは，放射性物質の量だけでなく，元素の種類にも関係する．

●放射性元素は，何処にあるのか

自然界には，種々の天然放射性元素が存在し，地殻の中には，^{40}Kや^{226}Ra，^{238}Uなどが500 兆トンも埋蔵され，その放射能は4.3×10^{25}Bqもあるので，膨大な量の放射線エネルギーが放出され，これが地熱の原因の一部になっている．60坪（深さ１m）の宅地に

は，１kgのUが埋蔵されている．これらは雨水や地下水，河川や海水などにも溶けているので，動植物に取り込まれた後，食物を通して人の体内にも取り込まれている．一方，空気中には^{14}Cや^{222}Rnなどが含まれている．放射能は正しく怖がろう！．

身の回りの主な放射能の強さと濃度を 表4.2 に示す．海水中には，Uが3mg/m^3（総量で46億トン）が溶けている．放射性元素には，天然放射性元素の他にも，^{90}Srや^{137}Csなどの人工放射性元素があるが，これらは^{235}U原子の核分裂によって生じる．天然放射性元素は無害で，人工放射性元素は有害と思うのは誤りである．

表4.2　身近な放射能の強さと濃度

地　殻	4.3×10^{25} Bq	ホウレン草	89～222	Bq/kg
1メガトンの水爆	3.7×10^{21} Bq	サラダ油	181	〃
原子炉	1.1×10^{20} Bq	玄　米	74	〃
がん治療装置	1.9×10^{14} Bq	尿	111	Bq/l
「むつ」の炉心	1.5×10^{11} Bq	牛　乳	52	〃
山梨県増富温泉	11,100 Bq/l	海　水	11	〃
人体（60 kg）	7,400 Bq	河川水	3.7	〃
輸入食品規制値	370 Bq/kg	水道水	0.74	〃
土　壌	155～1,025 〃	大　気	0.4～5.6	Bq/m^3

●放射能の強さは，だんだんと弱くなる

物質中の放射性原子核の数は，壊変に伴って次第に減少するので，放射能の強さも，風呂の温度と同じく次第に弱くなり（**図4.3**），それに伴って放射線の放出も少なくなる．放射能の強さが，元の強さの半分になるまでの時間を半減期という．^{60}Coの半減期は５年なので，放射能の強さが100Bqの^{60}Coは５年後には50Bqに低下する．

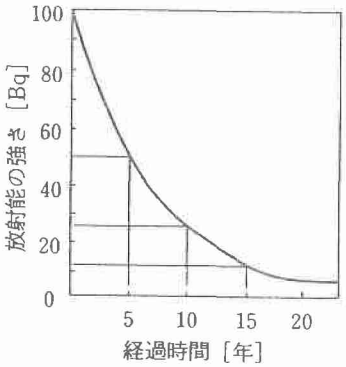


図4.3　放射能の減衰の様子

半減期は元素の種類によって決まっており，不安定な元素ほど短い．放射性元素は半減期が長いほど，危険と思われているが，それは誤りで，半減期が無限に長ければ，壊変は起こらない．放射能の強さは放射性元素の量に比例し，その半減期に反比例する．

^{226}Raの放射能が^{238}Uより約300万倍も強いのは，^{226}Ra原子が^{238}U原子より約300万倍も不安定，つまり^{226}Raの半減期が^{238}Uの約１/300万も短いためである．

●放射線が物質に当たると，どうなるのだろう

放射線には，強い透過力と電離作用がある．

①物質を透過（貫通）する性質が強い．
②放射線は，物質を構成している原子や分子を電離させる（電離作用）．

X線やγ線の透過力は極めて強い．X線検診や空港の手荷物検査では，物体を透過したX線はカーテンを透過した光と同じく，物体が厚く，密度が高いほど弱くなるので，その強度分布から内部の異常や異物の有無を調べることができる．

一方，α線やβ線のような帯電粒子が物質に当たると，**図4.4** のように，近くの原子に電気的引力や反発力を及ぼすので，電子は原子核の外へ弾き飛ばされる．この現象を電子が原子核から離れるので，**電離**（イオン化）と呼び，この性質を放射線の電離作用という．

物質を構成している原子や分子が電離されると，互いに電子を１個ずつ出し合って形成していた，原子や分子間の化学結合が切れる．そのため，水に放射線を照射すると，水はH

とOに分解する．

放射線照射によって化学反応が促進されたり，あるいは癌細胞が破壊されたり，注射器のような医療器具が滅菌されたり，ジャガイモの発芽が防止されたり，害虫が不妊化されたりするのは，基本的には，この電離作用による．

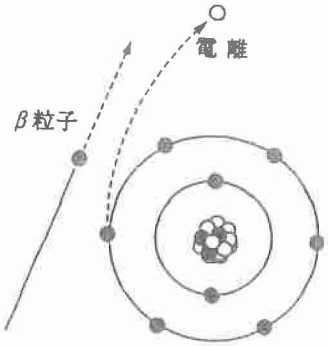


図4.4 放射線による電離

●放射線の強さや量とは，どんなことなのか

放射線の強さは，光の照度［ルクス］に相当する概念である．その単位には，照射対象が物質の場合にはグレイ/時［Gy/h］が，人体の場合にはミリシーベルト/時［mSv/h］が使われる．一方，放射線の量（線量）は，日光浴の光量に相当する概念である．その単位には，GyやmSvを用いる．原爆や爆弾を被ることを「被爆」，放射線や紫外線を受けることを「被曝」と呼ぶが，マスコミでは，両者が混同されている．

なお，ある点の光の照度は光源の光度に比例し，光源からの距離の２乗に反比例して弱くなる．放射線の強さも，放射線源（放射能）の強さに比例し，放射能からの距離の２乗に反比例して弱くなる．この関係は地震の震度とマグニチュードの関係に似ている．

●放射線は，どれだけ浴びると危険なのか

人は地上で１秒間に約500 個の宇宙線を受けている．私たちは，①宇宙線と②大地と③食物と④空気中のRnガスから，年間2.4 mSvの自然放射線を受けているが，これが生物に進化をもたらす突然変異の原因でもあるが，最近の研究によれば，自然放射線を遮断した環境では，生物は成育しにくいことが明らかになっている．これは，放射線も薬や酒や食塩と同じく，多量であれば有害であるが，極微量なら生理的な刺激作用を与えるためと考えられ，ホルミシス（刺激）効果と呼ばれている．なお，放射線はエネルギーの一種なので，これを浴びても，人や物質に放射線が残ることはない．

ところで，放射線が恐れられるのは，生体内細胞のDNAが放射線によって，分子切断や分子配列に狂いを生じて突然変異を起こし，癌を誘発するからである．逆に癌の放射線治療では，大量の放射線によって，癌細胞分子の化学結合をズタズタに切断して死滅させている．一方，放射線の遺伝的影響は，動物実験では顕著に認められるが，原爆の被爆データからは，幸いにも認められていない．

5 原子力発電とは，どんなものか

●原子力エネルギーとは，どんなものか

図5.1 のように，^{235}Uの原子核に低速の中性子が当たると，^{235}U原子核は２つの核分裂片（核分列生成物）のAとBに分裂すると同時に，２~３個の中性子が飛び出す．核分裂片は猛烈な速度で，周囲の他の原子と摩擦しながら飛び散るので，核分裂片の運動エネルギーは摩擦熱に転化する．この

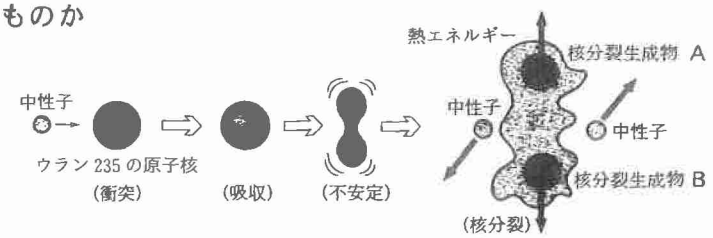


図5.1 ^{235}U の核分裂

ように^{235}U原子核が核分裂する際に生じる熱エネルギーのこを，原子力エネルギーや原子力，核エネルギーという．なお，核分列生成物のＡとＢは強い放射能を帯びているので，これが高レベル放射性廃棄物になる．

ところで，１個の^{235}U原子核が核分裂しても，かなりの熱エネルギーが発生するが，飛び出した中性子は 図5.2 のように，近くの^{235}U原子核を核分裂させ，そのとき飛び出した中性子は，さらに核分裂を起こす．このように，核分裂がネズミ算的に増える現象を連鎖反応という．連鎖反応が起きるに必要な最小限の質量を臨界量という．

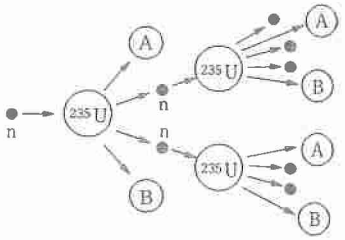


図5.2　^{235}U の核分裂と連鎖反応

さて，エネルギーは無からは生じない．核エネルギーは何から生じるのだろうか．核分裂の前後の質量を比較すると，分裂前の質量より分裂後の総質量の方が多少，軽くなっているが，実は，この質量欠損分△ｍがエネルギーＥに転化したのである．ミクロの世界では，いわゆる質量保存の法則は成り立たない．アインシュタインの相対性理論によれば，質量はエネルギーに転換し，光速をｃ（＝3×10^8m/ｓ）とすると，Ｅ＝ｃ^2・△ｍで表される．ｃ^{2}が大きいので，僅かの質量欠損から膨大なエネルギーが生じる．

核エネルギーの膨大さの秘密は，ここにある．１ｋｇの^{235}Uが核分裂すると，その質量が△ｍ＝約１ｇ（＝0.1%)消えて無くなるので，石炭3000トンに相当した熱エネルギーを発生する．したがって，U燃料の単位体積当たりの発生エネルギー（エネルギー密度）は，化石燃料の約300万倍にもなる．

原子力が期待される反面，恐れられるのは，そのためである．逆に原子力発電では，U燃料から生じる廃棄物の量は化石燃料から生じるＣＯ$_2$の量の約300万分の１に過ぎないが，それが放射能を持っているのが，原子力発電の難点である．

●濃縮Ｕとは，どんなものか

天然Ｕは，質量数の異なる^{235}Ｕ（0.7%)と^{238}Ｕ（99.3%)の混合物である．核分裂するのは^{235}Ｕなので，天然Ｕは核分裂しにくい．そこで，^{235}Ｕの濃度を高めたものを濃縮Ｕ，^{235}Ｕの濃度を高めることをＵ濃縮という．原爆では，90 %以上の濃縮Ｕを使用するが，原子力発電では 3～5%に抑えている．なお，核分裂しにくい^{238}Ｕは，そのままでは役に立たないが，これに中性子が当たると^{239}Ｐｕに変わるので，核燃料として有用である．

●原子力発電の原理は，どうなっているか

水力発電は自転車の発電機と同じ理屈で，運動エネルギーをもった水によって，発電機

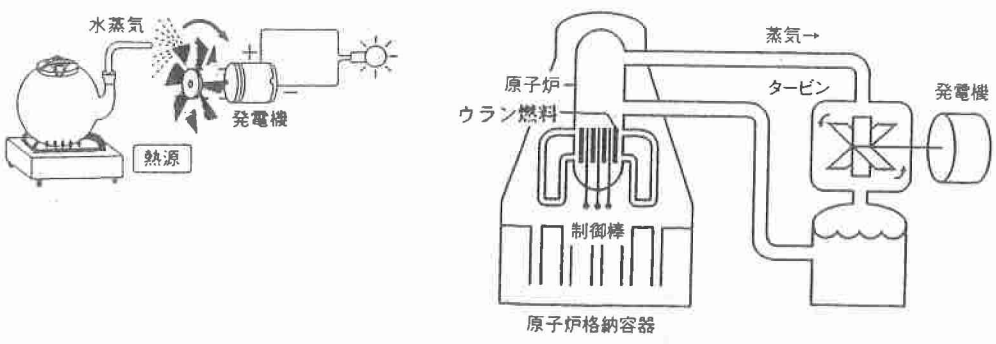


図5.3 原子力発電の原理

に直結した水車を回転させ，電気を発生させるが，火力発電では，水を加熱して高温高圧の蒸気を作り，それを発電機に直結したタービン（羽根車）に吹きつけて回転させ，発電する．

原子力発電では，**図5.3** のように，原子炉の中で^{235}Uに核分裂を起こさせ，そのとき生ずる熱エネルギーによって水を加熱して，高温高圧の蒸気を作るが，それ以降は火力発電と全く同じである．原子炉は次の４つから構成されている．

① 核燃料（濃縮Ｕ）
② 冷却材（水）
③ 減速材（水）：中性子の速度を減速させる．
④ 制御棒　　：カドミウムやホウ素に中性子を吸収させて，出力を調節する．

日欧米の原子炉では，冷却材と減速材に普通の水（軽水という）を兼用しているので，この種の原子炉を「軽水炉」と呼んでいる．チェルノブイリ型の原子炉は，軽水炉とは構造も特性も安全性も異なり，もともと出力が急上昇（暴走）しやすい欠陥炉である．

6 エネルギーの選択について考えてみよう

エネルギー源には，**表6.1** のような種類があるが，CO_2排出量の少ないエネルギー源となると，僅か数種類に過ぎない．社会を支えるエネルギー源は **表6.2** のように，①安価で，②必要なときに必要な量を直ちに供給でき，③安全性が高くないといけない．しかし預貯金と同じく，この３条件をすべて満足するエネルギー源は見当らない．

表6.1 エネルギー源の種類

化石エネルギー……石炭，石油，天然ガス		
非化石エネルギー	原子力エネ	現在の原子力発電（ウランの核分裂）
		未来の核融合発電（水素の核融合）
	自然エネ……水力，太陽光，太陽熱，風力，地熱，バイオマス，海洋エネルギー	
	その他……ゴミ発電，燃料電池（水素）	

表6.2 エネルギー源としての条件

① 経済性
② 供給の安定性
③ 安全性

●経済性

発電コストは **図6.1** のように，原子力発電が最も安い．太陽光発電が意外と高価なのは，太陽電池自体が高価で，しかも光から電気へのエネルギー変換効率（約12%）と年間平均日照率（約10%）が低いためである．太陽電池の出力（パワー）は約100 W/m^{2}である．一方，風力発電はエネルギー変換効率が約25～30%で，年間平均稼働率が約20%である．

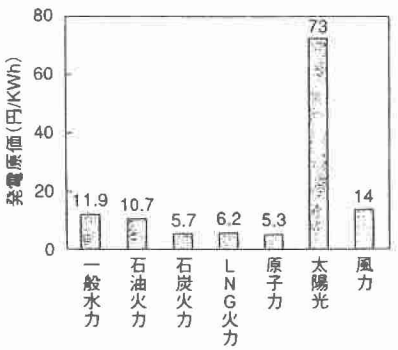


図6.1 各種エネルギー源の発電コスト

●供給の安定性

自然エネルギーは出力と稼動率（設備利用率）が低いため，水力や火力，原子力発電のような大規模の供給量は期待できない．また，出力が天気や昼夜，季節によって変動するので，供給の安定性は極めて低い．太陽光発電で火力や原子力と同規模の100万kWの発電量を得るには，約100km^2（東京山手線内の面積）の太陽電池が要る．

図6.2 に，日本の年間総電力量を自然エネルギーで賄える割合をに示す．これに対して

原子力発電は，エネルギー密度が化石燃料より約300 万倍も高いので，一度輸入すると数年間は使え，しかも２～３年分備蓄されているので，供給の安定性は極めて高い．

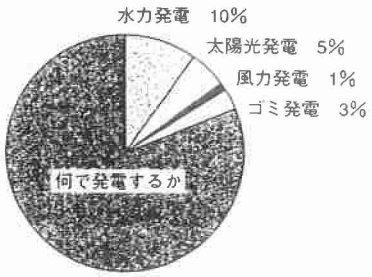


図6.2　日本の総電力量を自然エネルギーで賄える割合

●安全性

科学技術に絶対安全はない．電気やガス，自動車，電車，飛行機，発電所など，いずれも便利さという一種の利益を求めて人が作り，人が操作する．絶対に故障しない機械はないし，絶対にミスをしない人もいない．科学技術には，ある程度の危険を伴うので，絶対（100%）安全などあり得ない．科学技術に絶対安全を要求したら，科学技術は成り立たない．外科手術で絶対安全を医師に要求したら，断られるだろう．

ところで最近，「安全・安心」というペアー言葉が，定義や違いも分からずに乱用されているが，工学的な「安全」と心理学的な「安心」とは，本質的に異なる概念である．安全（性）は，過去の災害統計を基にして，災害の大きさと発生確率の積で表すことができるので，他との比較もできるが，安心は心（感情や気持ち）の問題なので，人によって異なり，比較もできない．世の中には，絶対安全でないと安心できない人もいれば，仮に絶対安全でも安心できない人もいる．「安全工学」では，『安全とは，許容できる危険のことである』と定義されている．

絶対安全な交通機関がないように，絶対安全なエネルギー源はない．交通機関の安全性を統計で比べると，表6.3 のように飛行機は車より1000倍も安全なのに，逆に怖がられるが，それは車が分散型災害なのに対して，飛行機は集中型の大災害になり，ニュース性も高く，感性的に危険と思われるからである．その点は，宝（多空）くじの購買心理に似ている．あらゆるエネルギー源には，何らかの欠点があり，何も欠点のないエネルギー源はあり得ない．統計によると，エネルギー源の安全性は天然ガス火力が最も高い．

表6.3　災難による年間死亡率（危険度）

$1/10^2$	入院患者
$1/10^3$	癌
$1/10^4$	自動車，喫煙，転落
$1/10^5$	火災，溺死
$1/10^6$	感電，大気汚染，鉄道，船舶，ガス事故，登山
$1/10^7$	飛行機，地震，台風，雷
$1/10^8$～$1/10^9$	原子力発電
$1/10^{11}$	いん石落下

①天然ガス火力＞ ②原子力＞ ③水力＞ ④風＞ ⑤太陽光＞ ⑥石油火力＞ ⑦石炭火力

◆ おわりに

原子力は放射性廃棄物を『つけ』として残すので，後世への犯罪行為という人もいるが，石油を食いつぶすほうが，より高度な犯罪行為と思われる．54基で発電量の30%を賄っている原子力を止めた場合の温暖化の激化や，エネルギー不足による失業と貧困に伴う社会的混乱も，別の意味で危険である．エネルギー源を確保しておくことは，後世への義務と思われる．このように，原子力の問題は単なるエネルギー問題ではなく，経済・社会問題であり，文明の在り方・選択の問題であり，まさに，現代思想そのものが問われている．

参考文献

(1) 大塚徳勝：「知っておきたい環境問題」，共立出版社（2005）
(2) 大塚徳勝：「Ｑ＆Ａ放射線物理」，共立出版社（2007）

ナガセ ランダウア
NL だより
10
No.382
平成21年10月発行

●トップコラム／NPO法人 放射線教育フォーラム事務局長　松浦 辰男
●平成20年度／リングバッジによる手指被ばく線量の集計
●お知らせ／「保物セミナー2009」開催のご案内
●お願い／ご連絡の際は、まず「事業所番号」を！
●お知らせ／社屋がつくば市に移転します。

トップコラム 94

松浦 辰男

放射線教育をいかに進めるか－国民の「放射線リテラシー」の達成を目視して

日本人のいわゆる「核アレルギー」は、(1)原爆の体験、(2)原子力・放射線に対するマスコミの報道姿勢、(3)放射線規制に関して基本となっている「しきい値なしの直線モデル」の三つが大きな原因である。放射線取扱い専門家のための教育は放射線防護が中心となるが、社会人のための放射線教育は防護よりも放射線影響に重点を置くべきである。

社会の放射線に対する考え方を改善すべく1994年に設立された放射線教育フォーラムは、その活動を学校における放射線教育の改善に重点を絞り、文部科学省に数度の要望書を提出した。この努力が実って、義務教育で公式に取り上げることが30年間されてこなかった放射線が、このたび改訂された中学校学習指導要領で「放射線の性質と利用にも触れること」という消極的な表現ながら正式に理科の授業に取り入れられることになった。

この機会に我々が行なった全国5,000校の中学校の理科教員に対するアンケート調査の結果（回答率24%）、(1)「授業で放射線を教えたことがない」が45%、(2)「教師自身が放射線を学習していない」が30%もあった。我々は、このように放射線に関して教えた経験が乏しい中学校の教員の方々に、まず自分自身が放射線について理解しそれに基づいて生徒たちに正しい教育を行っていただけるような、放射線について解説した指導書を作成し、これを全国に普及させようと考えた。そこで我々は2008年度において、「放射線・放射能の基礎」なる指導資料の作成を行い、不十分ながら一応完成させた。（この資料は放射線教育フォーラムのホームページで現在公開中である。）現在この内容をさらに充実させるべく努力をしているので、専門家の方々のご批判をお願いしたい。

最近筆者は、中学生、高校生、および大学の理工系学生に対して、短時間ながら放射線に関する講義をさせていただく機会があった。講義の後で放射線に関する知識についてつぎの2つの質問をしたところ以下のようであった。(1)「環境に自然放射線が存在することについて知らなかった」が中学生71%、高校生55%、大学生32%もあり、(2)「食べ物や体内に放射性物質が存在することについて知らなかった」は中学生88%、高校生79%、大学生46%であった。(3)また「放射線は非常に危険なものと考えていたが、少量ならば危険でなく、むしろ健康に良い場合もあるということに興味をもった（おどろいた）」の感想を述べたものが多く、また「この授業を受けることによって放射線に関するこれまでの考え方が変わった」大学生が77%あった。

教育とは、一般的にいって、知識・技術・経験・ノウハウなど、情報を豊かに持っている者が、その情報を本人の哲学とともに他の個人に理解させ、あるいは共感させて伝えることにより、情報の受け手が、新しい哲学・知識・技術を自分のものとして生み出し発展させることである。このときの情報伝達の効率を高めるためには、送り手と受け手の間の信頼関係が必要である。また、受け手が既にある価値判断に基づく情報をもっていると、それに反するような情報は受け入れにくい。したがって、自然放射線の存在や放射線の人体影響などの基礎的知識をできるだけ年少のうちに知らせることが望ましい。この意味でも、今度の学習指導要領の改訂で義務教育の段階で放射線が取り入れられたことの意味は大きい。この機会に、まず学校の教員自身が放射線・放射能の基礎的知識とこの分野の教育の重要性について積極的な関心を持っていただき、その情報を若い生徒諸君に正しく伝えていただきたいと思う。そうなれば、家庭内教育活動で保護者にもその情報は伝わり、少し偏向した意見が伝わってきても社会全体がそれに惑わされない状況が生まれてゆくと思う。我々の理想は、わが国が、「原子力・放射線の平和利用」とともに「放射線教育」においても国際的に指導的立場に立つ状況になってほしいことである。

まつうら たつお（NPO法人 放射線教育フォーラム事務局長）

プロフィール●1928年兵庫県生まれ。1950年東京大学理学部化学科卒業。同年立教大学理学部助手、1959年同大学原子力研究所に移り、1960年助教授、1968年教授。1993年立教大学定年退職・名誉教授。1994年「放射線教育フォーラム」を設立（2000年にNPO法人となる）、事務局長として現在に至る。専門は放射化学・ホットアトム化学・原子炉化学。現在の関心は放射線影響・放射線教育。啓蒙書「放射性元素物語」や「放射線・原子力教育と教科書」（共著）を出版。趣味は音楽（邦楽系を含む）。モットーは「社会に必要だが人の嫌がる仕事に挑戦する」こと。

あ と が き

本資料は、例年のように、NPO 法人放射線教育フォーラムの年度末報告書として、２００９年度中に開催した会合や専門委員会の報告書、２００９年度に開催した学校教員を対象とした「エネルギー・環境・放射線セミナー」の実施報告書、２００８年度から始まった「北大プロジェクト」関連のアンケート結果と放射線教育の指導資料、及びセミナー講師の方々が作成されたテキストなどを、事務局長松浦辰男が中心となり、フォーラム副会長長谷川圀彦、理事田中隆一、会員辻萬亀雄及び会員関本順子の各氏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、関連する専門委員会委員長、セミナー講師及び世話人、及び上記の編集作業にご協力を賜った方々に感謝する。また、巻末の広告欄に資料を提供され、本資料の出版費をご支援下さった諸団体に御礼を申し上げる。本資料が、フォーラム会員をはじめ放射線教育にご関心の各位にお役に立つことを願うものである。

（松浦辰男）

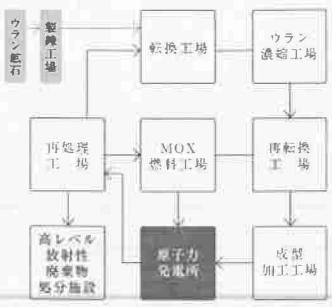
発行　NPO 法人放射線教育フォーラム　事務局
〒105-0003 東京都港区西新橋３－２３－６
第一白川ビル５階
電話：　０３－３４３３－０３０８
FAX：　０３－３４３３－４３０８
E メール：　mt01-ref@kt.rim.or.jp
ホームページ：http://www.ref.or.jp
発行日：　２０１０年３月３０日

大豆5%、エネルギー4%。なくてはならない、このふたつ。自給率は、意外と低い。

日本には、ウラン資源を有効に活用できる「原子燃料サイクル」の確立が不可欠です。

豆腐や味噌などの原料として、暮らしにとても身近な大豆。同じように、暮らしに欠かせないエネルギー資源もそのほとんどを輸入に頼っています。そこで今、エネルギー資源を将来にわたって確保するため、使用済の原子燃料を再処理し、再び燃料として活用する「原子燃料サイクル」の確立がすすめられています。ウラン資源をリサイクルすることでエネルギー自給率は向上し、長期的かつ安定したエネルギー供給に貢献します。

［原子燃料サイクルの工程］



※大豆5%…食料需給表（平成19年度版）活版本
※※エネルギー4%…エネルギー白書2008

エネルギーの安定供給と地球環境保護のため、「原子燃料サイクル」を推進しています。

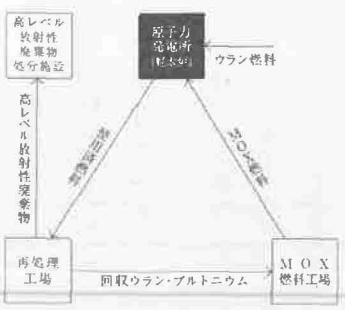
全国10の電力会社でつくる 電気事業連合会 http://www.fepc.or.jp

工夫して、有効活用。
それが、今の時代の考え方です。

ウラン資源も、リサイクルして有効活用。「プルサーマル」が可能にします。

大根の葉は普段は捨ててしまいがちですが、炒めものや味噌汁などに利用できます。同じように、原子力発電の使用済燃料も、貴重な資源として再利用できるのです。使用済燃料に含まれる燃え残りのウランと生成されたプルトニウムを混ぜ合わせたMOX燃料を使うことを「プルサーマル」といいます。このようなウラン資源のリサイクルは、エネルギー自給率の向上という点でとても重要なことなのです。

［プルサーマルのしくみ］



エネルギーの安定供給と地球環境保護のため、「原子燃料サイクル」を推進しています。

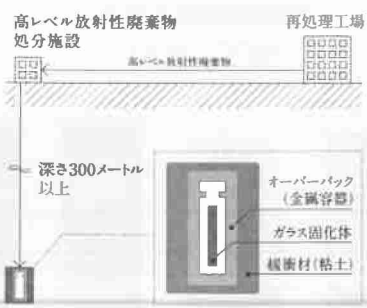
全国10の電力会社でつくる **電気事業連合会** http://www.fepc.or.jp

処理の仕方が確立されていれば、安心です。

リサイクルしても残ってしまう高レベルの放射性廃棄物。厳重な管理のもと、適切に処分します。

安全にそして安心して食べられるように、ふぐの毒はしっかりとした技術で取り除かれます。原子力発電でも、使用済燃料の再処理過程で出る「高レベル放射性廃棄物」は、何重ものバリアで閉じ込められ、さらに、三百メートル以上の地下にしっかりと処分されます。この処分方法は地層処分と呼ばれ、「高レベル放射性廃棄物」を安全・確実に隔離し、生活環境から半永久的に遠ざけることを可能にするのです。

［高レベル放射性廃棄物の処分方法］



エネルギーの安定供給と地球環境保護のため、「原子燃料サイクル」を推進しています。

全国10の電力会社でつくる **電気事業連合会** http://www.fepc.or.jp

文部科学省委託事業

誰でも簡単に使える簡易放射線測定器

はかるくんで放射線を測ってみよう!

無料貸出中

わたしたちの身近に存在する自然放射線を測ってみませんか？グループで模造紙に測定結果をまとめたもの、「はかるくん」を使った実習の新しい展開、自由研究や指導案など、「はかるくん」の活用事例を実践・研究作品として募集していますので、ぜひご応募ください。

詳しくは‥ はかるくん 検索

夏休みの自由研究に!

電車の中は車体の金属によって放射線が弱められているよ!

自然界にも放射線があることを知ろう!

水の量が多いほど放射線はさえぎられるよ!

ラドン温泉では、放射線がたくさん出ているよ!

■□問い合わせ□■
財団法人 日本科学技術振興財団
情報システム開発部 「はかるくん」係
〒102-0091 東京都千代田区北の丸公園２－１
TEL：03-3212-8504 FAX：03-3212-8596
http://hakarukun.go.jp/

三菱重工は、ものづくり企業として
技術と情熱で、たしかな未来を提供していきます。

私たち三菱重工は、次の世代の暮らしと、そこにある幸福を想い、
人々に感動を与えるような技術と、ものづくりへの情熱によって、
たしかな未来を提供していくことを目指します。

そのために私たちは、これまで培ってきた技術を磨くとともに、
新たな発想で様々な技術を融合させるなど、
さらなる価値提供を追求し、
地球的な視野で人類の課題の解決と
夢の実現に取り組みます。

三菱重工
この星に、たしかな未来を

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

原子力の今を学ぶために

原子力ポケットブック

本体価格6000円＋消費税300円

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

電力・エネルギー時事用語事典

本体価格2,667円＋消費税133円

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

電氣新聞
ENERGY & ELECTRICITY The Denki Shimbun

原子力の今を知るために

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

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

購読料
1ヶ月 3,990円
（本体価格3,800円＋消費税190円）

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

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