「放射線教育」別冊

放射線教育を世界に広めよう

放射線教育フォーラム２００８年度活動報告書

ＮＰＯ法人放射線教育フォーラム

2009年３月

序　文

放射線教育フォーラムは、放射線・放射能に関する正しい知識を一般市民に広めて、放射線や原子力に関する適切な判断をしてもらいたいとの熱意を持った専門家有志により設立されたボランテイア団体である。設立後本年は満１５年に当たる。市民への正しい知識の普及はまず学校教育から、ということで、学校教育での現状改善に重点をおいて、教科書の調査、研究会の開催、国への要望書の提出、国際会議の開催など種々の活動を行ってきた。その努力の結果、まず平成 11 年の高等学校の学習指導要領の改訂において「理科総合 A」などの科目が設けられて原子力に関連して「天然放射性同位体の存在やα線、β線、γ線の性質にも触れること」になった。さらに昨年公表され本年度から先行実施される中学校の新学習指導要領において、理科の第１分野の「エネルギー資源」で、「放射線の性質と利用にも触れること」になった。義務教育課程で放射線が 30 年ぶりに公式に取り上げられることになった意義は大きいと考える。

フォーラムでは早速、これまで放射線を教えたことがなかった中学校の理科の教員のための教育指導資料の作成作業を行い、十分な時間がなかったので不十分であるが先ほど完成したので、その資料を本報告書にも収録した。放射線・放射能に関する知識のうち、われわれの身の回りの環境に自然放射線・自然放射能が存在している事実などについては、簡単な放射線測定器を用いた実習により容易に学習ができるので、できれば小学校で実施していただくことは大いに望ましいと考える。できればこの資料を一つのサンプルとして、近い将来に中学校用の最終版と、小学校用、さらに詳しい資料を含めた高等学校用の 3 種の指導資料が多くの方々のご意見を取り入れて作成されることを願っている。

今回の資料を、ご自身も十分に放射線などの教育を受けていなかった学校の教員の方々が、これから学校で生徒に教える内容を考えるための基礎的知識を得るための参考書として、大いに利用していただくことを期待している。この資料からは、一般社会に流布しているような情報とはひとあじ違った何かがあるということを感じ取っていただければ、任に当たった編集者として、幸いこれに過ぎるものはない。「ひとあじ違った何か」を敢えて言葉にすると、それは (1) 読者が興味を持って読んでもらえるように努力したこと、及び、(2) 正しい知識を広めて世の中をよくしたいという理想主義的精神に基づいて書いた、ということであるといいたい。

放射線利用の「経済的効果」がしばしば話題になるが、筆者は放射線教育の経済的効果について、日を改めて論じたい。世の中をよくする、ということは経済効果で測ることはできないのかもしれないが。切に希望するのは、多くの若いジェネレーションの方々がもっている放射線・放射能に対するリスク感覚を、もっとわれわれ専門家の感覚に近づけていただきたいことである。そして、優れた素質をもった方々に、世の中で必要としているが人手が不足している分野、例えば原子力技術者や放射線科の医師などの道にできるだけ進んでいただきたい。理系の方面だけでなく、一般市民の考え方に大きな影響力をもつジャーナリストや政治家を志望される方も、ものごとの判断にはイメージでなく数量で測った科学的事実が大切であるということをぜひ認識していただきたい。

昨年度の報告書のこの欄でも書いたが、日本の放射線教育をまず行き渡らせたのち、その内容とノウハウを全世界に輸出して、この地球全体の人々の幸せに貢献することに役立てたいものである。本資料が例年の報告書同様、関係各位のお役に立つことを希望する。

２００９年３月　　ＮＰＯ法人放射線教育フォーラム　事務局長　松浦辰男

放射線教育を世界に広めよう

放射線教育フォーラム２００８年度活動報告書

目　次

序　文
目　次
第１章　２００８年度の活動報告と２００９年度の計画・・・・・・・・・・・・・・・・・・１
　１．２００８年度の活動について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・３
　２．２００９年度の計画について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４
　３．２００８年度の役員名簿・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・５
　４．役員会・勉強会等の開催実績・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・６
　５．「北大プロジェクト」関係の報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・８
　６．ISRE08 関係の報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14
　７．青森支部関係の報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・15

第２章　「エネルギー・環境・放射線セミナー」の実施報告と２００９年度の実施計画・・・17
　１．２００８年度の実施報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・19
　２．２００９年度の報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・30

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
　２．低レベル放射線の生物影響検討委員会・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・48

第４章　勉強会、セミナーその他の資料・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・51
　１．「日本のエネルギー問題の現状と今後の教育問題」（有馬朗人）・・・・・・・・・・53
　２．「新学習要領とエネルギー・環境・放射線教育」(清原洋一)・・・・・・・・・・・・59
　３．「放射線・放射能の基礎―学校における放射線に関する学習指導の手引き―」
　　　(松浦辰男)・・・・・・・・・・・・・)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・66
　４．「中学校理科で放射線をどう取り扱うか―ヒロシマからの提案―」(原田忠則)・・109
　５．「放射線教育――放射線・放射能・原子力関連」問題の正しい知識を広めることの
　　　重要性」(松浦辰男)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・130
　６．「低線量放射線のがんリスク：反ＬＮＴの根拠」(田ノ岡　宏)・・・・・・・・・135
　７．「放射線生物影響研究の進展と放射線防護」(酒井一夫)・・・・・・・・・・・・139

あとがき・奥付・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・145
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
２００８年度の活動報告と
２００９年度の計画

この章では、フォーラムの２００８年度の活動と２００９年度の計画の要約、２００８年度に開催した種々の会合の記録、並びに２００８年度の主要な実績として、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中学校へのアンケート調査の報告、２００８年１２月開催の国際シンポジウムの報告、および青森支部の活動状況の報告をする。

１．２００８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最近の進歩で恩恵を受けているの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、また現在有識者を含む多くの方々が放射線や放射能に対して科学的な事実以上に過剰の不安感をもっており、そのことが原子力や放射線の平和利用を大きく妨げている現状を憂慮している。この現状を打開するため、特に小学校・中学校・高等学校の学校教育において、エネルギー環境問題・放射線・原子力に関する正しい教育が理科教育の中で行われるように、教育システムを改善し教員を育成することに重点をおいて勉強会や幾つかの専門委員会を開催し、定期刊行物を刊行し、また当局に政策提言を行うなど種々の方法で活動をしている。また、社会におけるこの分野の正しい知識の普及を図るべく努力をしている。フォーラムの会員数は、2009 年 1 月 19 日現在で個人会員 201 名、団体会員は 53 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 2008 年度の実績を要約する。

（1）勉強会等の開催については、本年度は 3 回（6 月、11 月、2 月）東京で開催した（講師・テーマについては本章 4 項に記載）。

2001 年度より毎年全国 10 箇所で開催されている学校教員を対象とするセミナー（「エネルギー・環境・放射線セミナー」、文部科学省主催、（財）放射線利用振興協会「原子力体験セミナー支援業務」に協力）については、今年度の参加者総数は 491 名〔応募者は 542 名〕であった。（本報告書第 2 章で本年度開催実績及び来年度の実施計画が記載。）

2008 年 12 月には、台湾新竹市清華大学において「第 4 回放射線教育に関する国際シンポジウム（ISRE08）」が開催されたが、フォーラムはこれの支援を行った（本章第 6 項に記載）。

（2）専門委員会開催ならびに情報発信　「教育課程検討委員会」は本年度に 3 回開催した。「低レベル放射線影響検討委員会」は 1 回開催した。「リスク問題検討委員会」、「教科書記述調査検討委員会」、「実験教材検討委員会」、「マスコミ報道調査委員会」、「加速器利用調査・検討委員会」に関しては委員会は開催されなかったが資料を収集中。(専門委員会の活動の成果は第 2 章で報告)

定期・不定期印刷物については、ニュースレターが 3 度（41、42、43 号）発行された。「放射線教育」誌とその別冊「年度末報告書」は 3 月末に刊行された。（編集委員会を 3 回開催した）。

フォーラムの広報活動については、ホームページ（http//www.ref.or.jp）が開設されており、最近体裁の改訂を行ったが、フォーラムからの情報発信をもっと充実させるべく、検討中である。

（3）政策提言　学校（特に義務教育段階）での放射線教育を改善させるために、文部科学省・初等中等教育局へ 2005 年 8 月 15 日に要望書「エネルギー・環境教育の充実のための学習指導要領の改善について」を、引き続いて 2006 年 10 月 31 日にその補足文書「義務教育課程において学ばせたい「放射線教育」の内容についての提案」を提出した。これは特に小学校・中学校の義務教育段階で放射線の基礎的知識を、以前のように学習指導要領の中に入れていただくための努力であった。その努力が実って、2008 年 2 月に公示された中学校の学習指導要領において、理科第一分野で放射線が教えられることとなった。（本章次項参照）

（そのほかの対外活動）〔1〕第 45 回アイソトープ･放射線研究発表会にパネル討論「放射線教育の新展開と社会的コミュニケーション」（2008 年 7 月 4 日（金））を提案し実行した。（提案者：田中隆一理事、座長：松浦辰男事務局長）

〔2〕昨年度に引き続き、「核テロ対処」に関する放射線教育について検討を行い資料を集めている。また、2008年度は消防大学校からの委嘱により緊急時の処置や放射線に関する講義のためにフォーラムの理事（複数）が出講した。

フォーラムの運営のための会合　（会合の記録については別項）「通常総会」を6月に開催。「理事会」・「理事連絡会」を2008年度は計6回開催。「セミナー運営委員会」を（理事会または理事連絡会の都度）合計6回開催。セミナー運営のための「ワーキンググループ」を3回開催。「将来計画検討委員会」を3回開催。「顧問会」を1回開催。又後に述べる「北大プロジェクト」に関する専門的会合（アドバイザリー委員会）を外部からの専門家とフォーラム内の幹事が加わってこの事業の基本的運営方針を討議するために11月に1度開催。なお、このプロジェクトの実質的な運営（アンケートの立案と発送、テキストの原稿作成等）はフォーラム事務局において適宜進め、又教育計画の詳細の討議は「教育課程検討委員会」、教育指導書案の内容に関する討議は理事可視、理事連絡会、将来計画検討委員会等において頻繁に行った。

支部の活動　2007年度に設立されたフォーラム青森支部が活動を始めている。（その報告は本章第7項に記載。）

2．２００９年度以降の活動について

2．1　フォーラムの運営についての計画

事務局運営の在り方については、能力と熱意がありしかも時間的にゆとりのある会員が適材適所で効率的に働くことが出来るようにしたい。

ホームページの改善と充実を図り、出版した論文・報告をホームページ上でも公表することを検討する。

専門委員会の在り方については、委員会活動を存続するための財源などの問題点についても討議する。

経常的な会合の開催予定は従来とほぼ同じく、「通常総会」を6月に開催。「理事会」・「理事連絡会」を2007年度は計6回開催予定。「セミナー運営委員会」を（理事会または理事連絡会の都度）開催。セミナー運営のための「ワーキンググループ」を3回開催。「将来計画検討委員会」を適宜開催。「顧問会」を1回開催。

2．2　フォーラムの対外的な活動計画（継続のものを含めて）

(1) 学校教員向けの「エネルギー・環境・放射線セミナー」の全国10地区での実施

(2) 学校における放射線教育内容の整備　(次項の「北大プロジェクト」と関連あり。

(3) 今回完成した放射線教育指導資料を書く中学校に、(特にアンケートに回答をしてくれた)配付し、意見や質問を聴取するほか、フォーラム会員に「出前授業」を奨励する。

(4)文系の教員のための「リスク問題」に関する教育テキストの作成

(5)治安当局者（警察、消防、自衛隊員）への放射線教育案の作成（将来の緊急事態に対処するための基礎）

(6)一般社会への正しい知識普及活動

会員が広く一般社会の方々と接触して、知識・経験を伝え意見交換をする機会を作る.

(7) 一般からの放射線に関する質問の回答・相談への対応

①　放射線・エネルギー等に関する用語解説集、②　放射線Q&A　（教育課程検討委員会と事務局で作成中）

③　リスク問題パンフレット「リスク問題検討委員会」で作業中）　以上

NPO法人 放射線教育フォーラム2008年・2009年度役員名簿

2008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（核融合科学研究所准教授）、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）、宮澤弘二（東京家政大学家政学部講師）、村石幸正（東大教育学部附属中等教育学校教諭）、渡利一夫（放射線医学総合研究所名誉研究員）

顧問： 安 成弘（東京大学名誉教授）、井口道生（アルゴンヌ国立研究所）、今村 昌（理化学研究所名誉研究員）、江田 稔（前青森大学大学院）、工藤和彦（九州大学高等教育開発推進センター教授）、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）

4．2008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

2008年

4月17日（木）　第1回理事会・第1回セミナー運営委員会（内田洋行潮見オフィス8階C1会議室、14名）

5月16日（金）　第1回編集委員会（尚友会館「すずらん」、8名）

5月28日（水）　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内、6名）

5月28日（水）　第1回セミナーワーキンググループ（浜松町島嶼会館4階第3会議室、16名）

6月21日（土）　第1回理事連絡会・第2回セミナー運営委員会（科学技術館第1会議室、12名）

6月21日（土）　2008年度総会（科学技術館第1会議室、総会34名）

6月21日（土）　第1回勉強会（科学技術館第1会議室、勉強会40名）

（勉強会プログラム）

「ラドン療法とその機構」　岡山大学医学部　山岡　聖典

「低レベル放射線影響に関する最近のニュース（コメント）」

元国立がんセンター　田ノ岡　宏

「地球温暖化問題に関する「地球を考える会」の提言及び最近の教育問題について」

日本科学技術振興財団　有馬朗人

6月24日（火）　第1回国際シンポジウム支援委員会（第一白川ビル放射線教育フォーラム事務所内、5名）

7月4日（金）　第45回アイソトープ・放射線研究発表会　パネル討論4

「放射線教育の新展開と社会的コミュニケーション」　（日本青年館　国際ホール）

座長：松浦辰男

(1)「新しい学習指導要領のもとでの社会的コミュニケーション」

佐野日本大学中学校高等学校　大島　浩

(2)「原子力エネルギーの社会受容と放射線教育」

日本原子力学会シニアネットワーク　益田　恭尚

(3)「放射線の医療利用におけるリスクとメリット」

京都医療科学大　大野　和子

(4)「照射ジャガイモ販売と社会的コミュニケーション」　士幌町農協　亀山　裕介

(5)「放射線利用の経済規模に関する最新調査の報告」　原子力機構　柳澤　和章

8月1日（金）　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、7名）

9月11日（木）　第2回国際シンポジウム支援委員会（第一白川ビル放射線教育フォーラム事務所内、5名）

9月13日（土）　第2回理事会・第3回セミナー運営委員会（浜松町島嶼会館、20名）

9月13日（土）　第2回セミナーワーキンググループ（浜松町島嶼会館、13名）

10月10日（金）　第2回編集委員会（尚友会館「すずらん」、6名）

10月15日（水）　第3回国際シンポジウム支援委員会（第一白川ビル放射線教育フォーラム事務所内、5名）

11月4日（火）　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）

11月11日（火）　第2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、6名）

11月11日（火）　放射線教育アドバイザリー委員会（浜松町島嶼会館、17名）

11月29日（土）　第2回理事連絡会・第4回セミナー運営委員会（科学技術館第1会議室、18名）

11月29日（土）　勉強会（教育課程ワーキンググループ（科学技術館第1会議室、36名）

(勉強会プログラム)

「最近のフォーラムの活動実績について」　松浦辰男

「判り易い放射線の説明―健康影響仮説 LNT を検証する―」

北海道医療大学歯科内科クリニック放射線部技師長　輪島隆博

「ラドン子孫核種からのα、β線およびβ－α連続壊変のオンライン測定

―放射線リテラシーに向けて―」　新潟大学名誉教授　橋本哲夫

「放射線の性質と利用について教えるべき内容の検討」　田中隆一

「中学での放射線に関する授業の内容について」

千葉県長生郡長南町立長南中学校教諭　小泉静恵

「最近行った中学校での放射線に関する授業についての報告」　松浦辰男

12 月 11 日（木）　第 1 回低レベル影響専門委員会（第一白川ビル放射線教育フォーラム事務所内、6 名）

2009 年

1 月 7 日（水）　第 3 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、7 名）

1 月 10 日（土）　第 3 回編集委員会（大妻学院、6 名）

1 月 21 日（水）　第 3 回セミナーワーキンググループ（尚友会館 8 階 1 号会議室、15 名）

1 月 21 日（水）　第 3 回理事連絡会・第 5 回セミナー運営委員会（尚友会館 8 階 1 号会議室、16 名）

2 月 21 日（土）　第 3 回理事会・第 6 回セミナー運営委員会（科学技術館第 1 会議室、18 名）

2 月 21 日（土）　2008 年度顧問会（科学技術館第 1 会議室、2 名）

2 月 21 日（土）　第 3 回勉強会（科学技術館第 1 会議室、40 名）

(勉強会プログラム)

「石油ピークは農業ピーク、そして文明ピーク」

東京大学名誉教授、もったいない学会会長　石井吉徳

「中学校理科では放射線をどう扱うか－ヒロシマからの提案－」

広島市立江波中学校教諭　原田忠則

「学校における放射線教育の学習指導案の提示」

学習指導案作成チーム　松浦辰男・田中隆一

「全国 5000 校の中学校へ発送した放射線教育に関するアンケート調査の集計結果」

アンケート作成・集計チーム代表　黒杭清治

2 月 23 日（月）　第 3 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、7 名）

2．「放射線のリスクと利用の学習プログラム開発の研究」について

われわれ放射線教育フォーラムの積年の努力が実って、このたび改訂された中学校の学習指導要領で、（理科第一分野）「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」と指示され、約 30 年ぶりに放射線が正式に義務教育課程で教えられることになった。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とりだしていること、核燃料は放射線をだしていること、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持ち医療や製造業などで利用されていること」を教えるようにと記載されている。

フォーラムでは、従来から、学校教育でも、社会に存在する種々のリスクの原因に比べて放射線のリスクが客観的に見てどの程度であるかという問題について、児童・生徒の発達段階に応じて教育を行う必要があると感じていた。このたびある国立大学［北海道大学］と共同で文部科学省の予算で「放射線のリスクと利用の学習プログラム開発の研究」を開始することになった。その目的は、中学校で直ぐに利用していただけるような放射線に関する指導書を、「学校教育現場との対話に基づいて」作成することである。

われわれは、このような意義のある事業を公式に行う機会が与えられたので、放射線を始めて教える先生にも理解しやすく、積極的に教育実践を行おうとする意欲が持てるような教育資料を、できるだけ現場の学校教員の意見をも取り入れて作成することを計画した。

2008 年度では、①放射線・放射能の基礎的性質（―原子や原子核構造にも関連させて―）、②この環境に自然放射線・自然放射能が存在すること，③放射線，特に少量の放射線の人体影響と防護に関する基礎的知識、および④放射線が医療や種々の産業に利用されていて、それが放射線のどのような性質に基づいているか、⑤放射線実習のための放射線測定器について（生徒個人の体験実習用とデモンストレーション用）、という諸点について、また（従来放射線あまり検討がされてこなかった）放射線利用をどのように学校教育でとりあげるか、ということを解説した原稿の試作版を、この分野の専門家である NPO 法人放射線教育フォーラムの幹部会員が委員会を作って作成した。その資料は本報告書第 4 章に収録した。

指導書案の作成と並行して、現時点における中学校の教育現場の実情を把握するために、全国で約 11,000 校ある中学校のうち今年度は約半数の 5000 校の理科教員に対してアンケート調査を行い、放射線に関する意識や教えた経験などを調査した。アンケートの回答及び(これから開始する)回答者への指導資料案の送付を通じて、学校教員との「対話」の機会を持ち、教員の資質向上をも図ることとする。（今回中学校に配付したアンケート案と、現在その集計が行われているが、現在までに得た結果を次ページ以降において示す。）

なお，放射線の教育は、理科一般の教育と同様、口述による授業だけでなく、実習を併用することが極めて教育効果が高いので、今後、全国のすべての義務教育の学校に放射線測定器を学校の負担を少なくして設備することができるシステムが出来ることが望ましいので、教育用の放射線源をどう調達するかとともに検討したい。放射線測定器には種々の形式があり、そのうちどれが中学校レベルでの教育に適切かをもこの機会に討議する。

次年度以降においては，今年度に作成した指導書の第 1 次試作版を活用して、教育実践をしていただける教員を募り、その報告を参考にして指導書の内容をさらに適切なものにするとともに、小学校での教育は今のままでよいのか、高等学校での進んだ放射線教育のあり方はどうするかをも含めて、フォーラム内で検討を続ける予定である。

２００８年１１月１０日

全国各中学校校長各位

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
電話 03-3433-0308　FAX 03-3433-4308

放射線教育に関するアンケートへの回答のお願い

拝啓　時下益々ご清祥のこととお慶び申し上げます。

さてご高承のように、このたび改訂される学習指導要領（平成 24 年度全面実施）では、中学校の理科第一分野の「科学技術と人間」における「エネルギー資源」の項目のなかで「放射線の性質と利用について触れること」と記載され、放射線・放射能に関する内容が 30 年ぶりに授業で取り上げられることになりました。

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、放射線やエネルギー問題について正しい知識を社会に普及させる活動をしております（ホームページhttp://www.ref.or.jpをご覧下さい）。現在、当フォーラムでは改訂された指導要領に沿う放射線に関わる授業のための学習指導資料を、学校教員有志や他の関係機関の協力を得て作成する準備をしています。そのためには、中学校の学校現場での放射線に関わる教育の実情を把握する必要があり、このたびアンケート調査を実施することとなりました。

つきましては、貴校の理科または技術の先生に同封のアンケート用紙をお渡しいただき、その先生からご回答を当フォーラムへ返送していただけるようご配慮を賜りたくお願い申し上げます。ご回答下さいました学校には、今年度末に完成予定の放射線学習指導資料(１次案)をお送りいたします。何卒よろしくお願い申し上げます。（もし複数の理科の先生からご回答いただける場合はコピーしてご記入下さい。）

なお、中学校の数は全国で一万校を超えますが、予算の制約で約半数を任意に選んでアンケート用紙をお送りしております。また、本来ならば返信用封筒を同封すべきところ、予算節約のためご回答を FAX で返信いただきたいと存じます。よろしくお願いいたします。　敬具

（追伸：なお、放射線・原子力の問題は理科や技術の科目に限らず、科学技術を社会に応用するときのリスクとの関連で、社会科の公民的分野でも重要なテーマであると考えられます。これに関して、教育現場の先生方が(理系・文系を問わず)どのようなお考えをもっておられるか、次の機会に調査をさせて頂きたいと考えております。この問題（「リスク教育」）に関して、ご意見がおありであれば、どうぞご教示いただければ幸いであります。）

ＮＰＯ法人放射線教育フォーラム行
ファクス番号０３－３４３３－４３０８　　**御校名：**＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿**中学校**
ファクス番号：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

～～～

放射線教育に関するアンケート(記入式以外は、該当する答えを○で囲んでください。)

1．新しい中学校理科の学習指導要領によって放射線が授業で扱われることになりましたが、貴方はこのことをご存知ですか？

a　知っている　　　　　b　知らない

2．貴方はこれまでに授業や総合的な学習の時間で放射線（放射能）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）教えた内容について簡単に書いて下さい。

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

a　実習をした　　　　　b　実習はしなかった

2－3．(「した」と答えた方に）放射線の実習ではどのタイプの検知器あるいは測定器を使いましたか？

a　GM 計数管　　b　電離箱　　c　霧箱　　d「はかるくん」　e　どのタイプか分からない

3．貴方が所属する学校の理科教材のなかに放射線の検知器あるいは測定器がありますか？

a　ある　　　　　b　ない

3－1．(「ない」と答えた方に）効果的な放射線学習には放射線計器が必要です。もし、貴方の学校の理科教材としてそれを購入するとしたら、その価格はどの程度が望ましいと考えますか？

4．貴方ご自身は学校で放射線についてなにか習った覚えがありますか？

a　習った覚えがある　　b　習った覚えがない　　c　習ったかどうか覚えていない

4－1．「習った覚えがある」と答えた方にそれは学校のどの段階ですか？覚えていたらお答え下さい。

a　小学校で　　b　中学校で　　c　高等学校で　　d　それ以上(大学等)で　　e　覚えていない

5．(財) 日本科学技術振興財団では、放射線の実習などのために簡易型の放射線測定器「はかるくん」を無料で貸し出しています。そのようなシステムがあることをご存知ですか？また、そのシステムを利用したことがありますか？

a　利用したことがある　　b　利用したことはないが知っている　　c　知らない

6．エネルギー供給源には化石燃料、原子力、水力、新エネルギー(風力、太陽光、バイオマス等)などがありますが、地球温暖化防止、エネルギー供給・安定確保、資源の有効利用などの観点から、化石燃料については供給や消費を減らすことが望まれています。その代替エネルギーの供給源としては、次のうちどれが最も有力であるとお考えでしょうか?

a　原子力、　　b　水力、　　c　新エネルギー、　　d　その他（　　）

7．化石燃料に対する代替エネルギーの供給源としての原子力についてどのようにお考えですか？
どれか一つの項目をお選び下さい。

a　原子力の供給比率を現状よりも増やすべきである
b　原子力の供給比率を現状程度に維持するべきである
c　原子力の供給比率を現状よりも減らすべきである
d　原子力は安全性などに問題があるので、廃止する方向で考えるべきである
e　その他（　　）

8．下記の記述のうち、放射線の人体影響について貴方が正しいと思うものを○、正しくないと思うものを×、わからないを△をつけて下さい。

a　放射線の大量被ばくは危険であるが、自然環境から受ける程度及び病気診断で日本人が平均的に受ける程度の少量の被ばくは危険でない。(　)
b　診断で受ける放射線被ばくの程度ならば、診断で得られるメリットのほうが被ばくのリスクより一般的に大きい。(　)
c　放射線は微量であっても被ばくしない方がよい。(　)
d　放射線は紫外線同様、大量は危険であるが少量は生物の生存に必要なものかもしれない。(　)

9．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貴方は受容できますか？
A　受容できる、　　B　受容できない、　　C　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　新幹線の喫煙車両に長時間乗る（　　）
b　胸部レントゲン検査を短期間に繰り返し受ける（　　）
c　全頭検査を受けていない輸入牛肉を食べる（　　）

ＮＰＯ法人放射線教育フォーラム行
ファクス番号０３－３４３３－４３０８　**御校名：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿中学校**
ファクス番号：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

〜〜

d　放射線照射で芽止めをしたジャガイモを食べる（　　　）

e　遺伝子組み換え作物を用いた食品を食べる（　　　）

f　原子力発電所のある市町村で暮らす（　　　）

お忙しいところご協力を有難うございました

これから、われわれ NPO 法人放射線教育フォーラムが中心となって、先生方が教室で生徒に放射線について教えるために役立つような指導内容を提案したいと考えております。このアンケートにご回答いただいた方には、その資料を早めにお送りいたしますので、下記にお名前とご住所をお書きいただければありがたいと思います。（ただし、名前を書くことを望まない方は学校名だけでも結構です。）

このアンケートに関連して、何かご質問、ご意見、ご要望などがあれば以下の欄にご自由にお書き下さい。

回答者所属＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿中学校

ご氏名＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿　ご担当教科＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

学校の住所　〒＿＿＿＿＿　＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

電話＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿FAX＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

メールアドレス＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

今後作成する教育指導書に従って教育実践を行い、その結果を報告していただける方を募集します。この計画に応募してもよい、という方はどうぞお申し出下さい。

（このアンケートの集計のまとめは　NPO 法人放射線教育フォーラム
幹事・教育課程検討委員会委員長代理　黒杭清治による）

放射線教育に関するアンケート回答概要

発送数　　5001 通　（実発送可能実数　4993 通　発送不可能数　8 通）
回収数　　1148 通　（有効回収数　1146 通　不備回答を含む数　2 通）
有効回収率　23.9%　（発送実数に対する有効回答数の割合）

主な質問事項と回答

1．中学理科新学習指導要領に放射線が復活したことを知っているか。　66.4%
2．放射線について教えたことはあるか。　44.8%
3．教えた経験者の内　実習をしたか。　17.3%
（全体を含めると実習を伴う放射線学習を実施した者は 8%）
4．自身が在学中に放射線について習ったか。　53.5%
（義務教育のとき放射線について習った者。　7%）
5．「はかるくん」の無料貸出システムがあることを知っていたか。　37.5%
6．（「はかるくん」を実際に授業で使ったことのある者　8.7%）
7．化石燃料の代替エネルギーとして新エネルギーが有力と考える者　62.0%
8．放射線の人体への影響について、微量であっても被曝しない方がよいと思う者　68.0%
9．胸部レントゲン検査を短時間に繰り返すことを容認できない者。　60.0%
10. 放射線で芽止めしたジャガイモを食べることを容認できない者。　42.9%

主なコメント　（自由解答欄に記載した者　77 名

放射線教育を積極的に推進したいと考えている者　54.5%（要望事項ありを含む）
検討してみたい意見を含む者　39.0%
批判的意見　6.5%

実践協力を申し出た者　14 名（条件付申し出を含む）

放射線教育を推進したいと考えている主な意見

★　放射線＝怖いものと言うイメージが子供達に浸透していますが、刃物と同様に使い方が正しければ有用なものであるとの認識を持たせてあげたいと思っています。

★　授業は中 3 の後半です。15 分～20 分程度の DVD が教材として利用価値があると思います。

★　放射線についての正しい知識が得られるような資料をよろしくお願いします。

批判的の主な意見

★　現状を考えれば原子力発電に頼らざるを得ないと思いますが、最終処分場も決まらないまま、そしてもし事故が起こったら・・・と思うと、放射線に対してもプラスの方向に捉えることができません（なので授業もそうなってしまいます）。

「第４回放射線教育に関する国際シンポジウム」（ISRE08）終了報告

「第４回放射線教育に関する国際シンポジウム」（ISRE08）は、台湾国立清華大学原子科学院、NPO 法人放射線教育フォーラムの主催、スポンサーとして台湾行政院国家科学委員会、台湾電力会社、及び台湾行政院原子能委員会等の協力で、２００８年１２月１８日（木）から１９日（金）の２日間にわたり、国立清華大学原子科院環境科学館を会場として開催された。

講演の会場となった環境科学館１階の講堂は、２００名を収容でき、立派な設備を備えていた。今回のシンポジウムは、口頭発表（招待講演）、ポスター発表、見学会の３部門に分かれ２日間にわたって開催された。招待講演発表の１件あたりの持ち時間は、討論時間を含めて４０分であったが、日本人の発表に限って最初に日本語による講演の概要（５分）、これを中国語（翻訳、５分）、残りの３０分を英語による講演と討論時間にあてた。また、ポスター会場は、講演会場となった講堂と同じフロアーにあって、ゆったりとしたスペースの広さもった会場であった。ポスター賞が設けられ、参加者の投票によって行われた。

今回のシンポジウムにおける招待講演数は、１５件（国別の内わけは、台湾５件、日本８件、タイ１件、ハンガリー１件）であったが、ハンガリーの講演者は、開催直前に当国の交通事情で参加されなかった。ポスター発表は４６件、分野別内わけは、医療３３件（内、日本４件）、放射線教育１１件（内、日本９件）、その他２件（内、日本２件）であった。なお、シンポジウム参加者数は、１５０名（参加者所属の内わけは、教育関係者、医療関係者及び電力会社の関係者。日本からは２１名の参加者（内、２名は同伴者））であった。

この国際シンポジウム（ISRE08）開催の趣旨は、放射線、エネルギー及び地球環境に関する最近の情報をいかに一般社会に伝達すべきかについて討議することにより、放射線に対する人々の過度の不安の軽減に役立つこと。最新の科学的知識と放射線の基礎的な理解を学校や社会で役立たせる、という立場で、講演の討議すべき内容を７項目とされた。

シンポジウム１日目（１２月１８日）の最初に、当大学原子科学院院長潘欽教授による歓迎スピーチがあり、次いでフォーラム有馬朗人会長のメッセージ（フォーラム松浦辰男事務局長代読）で始まった。この日の講演者１０名は、それぞれ壇上に立ち講演とフロアーからの質問に答えた。ポスター発表は夕方５時過ぎから約８０分間行われ、熱心に活発な討論が展開され、ポスター賞は、吉田悦子氏（お茶の水女子大）が獲得した。その日の夜、当大学で懇親会があり、荘教授の挨拶の後、中国料理を楽しみ話が弾んだ。２日目（１２月１９日）は、４件の講演と午後から大学構内にある研究用原子炉（原子炉出力２MW）を見学し、原子炉を用いたホウ素中性子補足療法の成果について所員の説明を受けた。

この稿を終えるにあたり、本シンポジウムを無事盛会裏に終了させた荘克士教授（台湾清華大）をはじめとする研究室スタッフの方々、今回のシンポジウム開催に甚大のご努力をされ、企画・運営にも当たられた黄金旺教授（台湾中原大）、翻訳に尽力された黄郁慈助理教授（台湾中原大）、そして陳佳如助教授（台湾高雄医大）の労に深く感謝申し上げる。フォーラムの ISRE08 支援委員会の各位の協力に対して謝意を表する。〔長谷川圀彦〕

青森支部活動報告

設立2年度目の青森支部は支部活動の中心であるセミナー開催を、予定よりも1回多く3回（第3～5回）行った。追加の第5回セミナーは第3回セミナー（テーマ「放射線利用」）に参加された五所川原市の方が「五所川原市でも開いて欲しい」と依頼されてきたのを受け、依頼者を共催として開催したものである。当地がリンゴや米等を主な生産物とする本県津軽地方の農業地帯で、そのため放射線を用いた農作物品種改良を専門家と対面して直接学びたいということで、特に農業利用に焦点を当てた。

支部の陣容は昨年度と同様、支部長1名、支部事務局長1名、支部幹事若干名、支部友（セミナー参加の個人および後援・協賛・協力をいただいた団体）であった。活動資金は本部および支部友から援助いただき、資料作成費や事務通信費等に充当した。

各セミナーの概要を以下に記す。詳細は「放射線教育」第12巻（印刷中）を参照されたい。支部HPも閲覧されたい（http://www.jomon.ne.jp/~ssgw/）。

第3回セミナー（次頁　資料1、2）

日　　時：2008年7月11日（金）・12日（土）13:30～15:30
場　　所：（独）日本原子力研究開発機構（原子力機構）・青森研究開発センター
テ　ー　マ：放射線利用
参　加　者：約60名（2日間の延べ人数）
プログラム：講演の部：講演「放射線利用」（原子力機構・柳澤和章博士）
　　討論の部：参加者全員による討論および企業相談・製品紹介・パネル説明

第4回セミナー

日　　時：2008年11月15日（土）13:30～15:30
場　　所：六ヶ所村中央公民館
テ　ー　マ：「活断層」今昔話
参　加　者：約50名
プログラム：講演の部
　　昔話「地震・雷・火事・親父～庶民の知恵あれこれ～」
　　（八戸短大・三村三千代客員教授）
　　今話「活断層」（東大地震研・島崎邦彦教授）

第5回セミナー

日　　時：2009年2月22日（日）10:00～12:30
場　　所：五所川原地域職業訓練センター
テ　ー　マ：農業における放射線の利用
　　（五所川原はつらつ虹の会　女も学ぼうシリーズ1）
参　加　者：約40名
プログラム：講演1「わが国の放射線利用とその経済規模」（原子力機構・柳澤和章博士）
　　講演2「農業における放射線の利用」（原子力機構・小林泰彦博士）
　　参加者全員による討論および製品紹介・パネル説明

放射線活用の利点紹介

六ケ所 NPO法人がセミナー

特定非営利活動法人（NPO法人）放射線教育フォーラム青森支部（津島園子支部長）主催のセミナーが十一日、六ケ所村の日本原子力研究開発機構青森研究開発センターで開かれた。

同法人は原子力研究の専門家や教員などで作る団体で、放射線や放射能に関する知識の普及活動を行っている。同支部のセミナーは三度目の開催で、住民や企業関係者二十人が参加した。

講演では、原発の費用対効果などを研究している原研機構の柳澤和章主任研究員が、半導体加工や煙感知器のほか、紙の厚さを測る測定器など、放射線が生活に身近な所で使われている事例を紹介。

「六ケ所村でも放射線を上手に利用し、東海村のように産業活動の発展につなげてほしい」と述べた。

会場には、放射線を利用して品種改良したカーネーションなどが展示され、来場者が熱心に見入っていた。

セミナーは十二日も開かれる。

放射線のさまざまな使われ方について講演する日本原子力研究開発機構の柳澤和章氏（中央奥）

資料1　「デーリー東北」2008年7月12日21頁に掲載された第3回セミナー

資料2
「東奥日報」2008年7月
12日2頁に掲載された第3
回セミナー

放射線の産業利用

地元商工業者学ぶ

六ケ所でセミナー

特定非営利活動法人（NPO法人）「放射線教育フォーラム」主催の放射線利用セミナーが十一日、六ケ所村の日本原子力研究開発機構・青森研究開発センターで開かれた。地元商工業者ら約三十人が参加し、放射線利用の経済効果、技術移転の可能性などについて考えた。

講演した原子力機構の柳澤和章博士は「原子力発電は生活基盤の安定化に役立っている」と述べ、放射線が工業や農業、医療に幅広く利用されている状況を説明。

「六ケ所村も放射線を上手に利用し、その恩恵を享受し、東海村（茨城県）のように発展してほしい」と産業利用を呼び掛けた。

会場には、原子力機構の特許を利用して民間企業が開発した海産物加工品や水分安定性・抗菌性のある和紙、花の新品種などの商品が並べられた。講演終了後、参加者は自社の商品開発に役立てようと担当者に熱心に質問していた。

セミナーは十二日も同所で開かれる。午後一時半から、参加無料。

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」の実施報告と２００９年度の実施計画

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２００８年度の実施報告と、２００９年度の計画について紹介する。

第２章　２００８年度「エネルギー・環境・放射線セミナー」の実施報告と２００９年度実施計画

１．　２００８年度実施報告

（１）はじめに

このセミナーは、おもに中学校・高等学校の文系の教員と小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、８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（RADA）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・運営を当たることとなった。

この事業は、「エネルギー・環境問題、放射線および原子力問題に対する一般市民の公正な判断力、資質の養成と、この分野における将来の人材の確保および育成のために、学校および社会におけるこの分野の教育の充実と正しい知識の普及を図り、もって公益の増進に寄与する」というNPO法人放射線教育フォーラムの定款に掲げて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」などを通じて、正しい知識を生徒に普及させることを目的とした。２００７年度および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。

（３）セミナーの概要

①　コースの内容

主として文系教職員等を対象として「総合的学習の時間」の授業に役立ち、さらにエネルギー・環境問題および放射線について正しい知識の習得を図ることができるような視点に立った講演（教育問題、エネルギー問題、資源、環境問題、放射線・原子力の基礎知識）、放射線の実験・演示、パネル討論会、自由討論会、交流会ならびに施設見学会を実施した。

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、北陸地区、関東・信越（Ⅰ）地区、関東・信越（Ⅱ）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１日開催コース（北海道地区、関東・信越（Ⅰ）以外の８地区）と２日開催コース（北海道地区、関東・信越（Ⅰ））でそれぞれ実施した。２００８年度の参加者目標は、５００名で、応募者は、５４２名、実際の参加者の総数は、４９１名であった。セミナー参加者によるアンケートによる評価は、各地区とも総じて好評であった。

２００８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。

北海道地区セミナー実施報告

世話人代表　佐藤　正知

セミナーお名称：エネルギー・環境・放射線セミナー

開催日時　平成２０年７月２９日（火）～　３０日（水）

開催場所　ホテルポールスター札幌および北海道電力（株）泊原子力発電所

セミナープログラム　７月２９日（火）１０：００～１６：３０

講演「排出量取引に関する検討・導入の背景とその仕組み」西村邦幸（(株）三菱総研))

講演「放射線を観察する霧箱作成の実験の紹介」住吉　孝（北海道大大学院教授）

講演「わが国の地震調査研究と原子力の耐震性について」澤田義博（(財）地震予知総合研究振興会地震防災調査研究部、名古屋大学名誉教授）

講演「先端医療に生かされる放射能の話し」関　興一（北海道大 RI 総合センター教授）

７月３０日（水）９：３０～１７：３０　北海道電力（株）泊原子力発電所見学会

実施状況　講演会の申し込み数６５名（欠席者なし）でプログラム通り行われた。見学会の申し込み数６０名、参加者数は５７名でプログラム通り行われた。

西村邦幸氏の講演は、社会的経済的諸課題に深くかかわる GDP 成長とエネルギー消費について話された。CO_2の削減はエネルギー消費を抑制することであって、このことは市民生活にかかわる経済問題である。京都議定書の背景、CO_2の放出に対しての価格づけをした京都メカニズム、この秋から排出量取引制度の実施を予定している日本の動き、CDM の仕組み、日本の排出量と削減の考え方について、さらには排出権取引のイメージについて話され、身近で経済的な視点からの講演であった。

澤田義博氏の講演は、わが国の地震調査研究と原子力の耐震性に関する最新の研究成果を、わかりやすく解説したものであった。まず、日本で生起した地震の概要とその調査結果についての説明があり、次に地震の原子力施設に対する影響について詳細なデータによる解説があった。

関　興一氏の講演は、放射能や放射線が生命の歴史のなかで私たちの身の回りに普遍的に存在し、現在はいろいろの形で生活の中で利用されていることを紹介された。つぎに放射能と放射性同位体の性質や特質について述べられた。そして最近の核医学分子イメージング法についても言及された。人体に対する放射線の影響についての質問が多く出された。

見学会（泊原子力発電所）は、はじめに「とまりん館」（PR 館）で概要説明を受けた後、２グループに分かれ見学した。タービン建屋、中央制御室と衣類を着替えて使用済燃料貯蔵プール等を見学した。

総括　本年度のサッミトが北海道で開催されたこともあり、経済的側面から地球環境問題をとらえる講演を用意した。もう１つは、柏崎刈羽原子力発電所の地震から１年経過していることから、原子力発電所の地震対策についてのテーマを講演として選んだ。アンケート結果によると、今日的諸課題に向き合ったテーマの選択に対しては評価を得たが、先生方の教育現場における共通の課題を討議する場も欲しかったとの意見もあった。見学会は総じて好評であった、と受け止めている。

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20年度）

報告者：地区代表　森　千鶴夫

日時：平成20年8月6日（水）9：50～17：05
場所：核融合科学研究所　岐阜県土岐市下石町322－6
参加人員：58名　（小25、中17、高12、その他養護学校など2、うち文系14名、校長教頭12名、オブザーバー2名（大学院生））
放射線利用振興協会：広瀬正美参与
放射線教育フォーラム本部：田中隆一理事、北陸地区代表：横山明彦教授

講演1「生活に役立つ放射線」　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あった。したがって、アンケートでは、本講演だけでも１日かけて聞きたかった、身近な利用の話は放射線の理解に有効である、などの評価があった。

講演2「宇宙エネルギーの源・核融合エネルギー実用化への道」　講師　本島　修
（核融合科学研究所所長、自然科学研究機構・副機構長）

エネルギー、環境などの危機的な状況において、核融合エネルギー開発の重要性を説かれ、しかもその実現が夢ではないことを、分りやすいビデオを使って説明された。

アンケートでは、核融合の正しい知識が得られた。核融合は実現しないものと思っていたが、今日聞いて驚いた、もっと聞きたかった、人柄が出ている良い話だった、最先端の話しにわくわくした、などの意見があった。

見学：核融合研の大型ヘリカル装置などを、ビデオで説明の後、2班に分かれて見学した。アンケートによれば、少人数で時間をかけて欲しかった、との意見もあったが、実用化されることを期待させる素晴らしい施設でした、などの意見があった。

実験（霧箱）：アンケートでは、霧箱の説明、組立の説明は分かりやすかった、霧箱製作や見学の実体験は子供の指導上効果的で驚きもあり大変面白かった、目が覚めた、感動した、などの意見があった。

講演3「日本のエネルギー問題と今後の教育問題」　講師　有馬朗人（元参議院議員・文部大臣）

世界のエネルギー、環境の危機的状況において、原子力は極めて重要なエネルギー源であることを非常に力強く話された。また、安全、安心に関しても触れられた。講演後の質疑応答にも丁寧に、かつ自信を持って対応された。そのためか、アンケートには、今日の講演の中では最も分りやすかった、原子力発電への誤解が解けたように思う、説得力があったので中性的な意見を持った人は納得されたと思う、などの意見があった。

アンケートにおけるその他の意見：プレゼンのCDがあるとよい。子供向けの絵本ができたらいい（小学生向き）。キャラクターが出て簡単な言葉で説明し、子供達に興味を持たせられるとよい、そのような本があれば紹介して欲しい、などの意見があった。また、生徒の生活に身近ではない放射線をどのように伝えてゆけばいいのかに関して具体的な提案、例えば授業案や生徒が持っている放射線についての間違った考え方の集計など、が頂けると有難い、などの意見があった。

まとめ、反省等：

・アンケートの「セミナーの入手先」では「学校公文書」（放振協からの募集案内送付）が圧倒的に多い。
・「参加理由」では「原子力。放射線等の知識を深め、授業に役立てたい」が圧倒的に多く、次に「見学」が多い。
・応募者を集めることがやはり簡単ではなかった。放振協が締切日、FAXなどで協力してくれた。応募に際して有馬先生の講演は魅力であったように思う。又、見学を組み入れたことも良かったと思っている。
・時間的なゆとりを持たせることが、プログラム編成の前から望まれていたが、編成者にとってはセミナーで聞いて欲しいことが多くて、どうしてもタイトになりがちであった。
・自身の勉強のために参加している人と、授業での教材探しで参加している人に分ける事ができそうである。前者はほぼ納得してくれたと思うが、後者には授業案、プレゼンのCD、子供向けテキストなどの情報提供を今後考慮する必要があるように思う。
・授業紹介、パネル討論などがあると良いので取り入れるように努力したい。

平成２０年度原子力体験セミナー地域（Ⅲ）コース

静岡・山梨地区セミナー作業実施報告書

世話人代表　奥野　健二

セミナーの名称：エネルギー・環境・放射線セミナー

開催期間：平成２０年8月１９日（火）９：００～１６：４５

開催場所：ワークピア磐田　視聴覚室（静岡県磐田市見付２９８９－３）

セミナーのプログラム

講演１　「日本のエネルギー・環境教育と今後の課題」
有馬朗人（放射線教育フォーラム会長・元文部大臣）

講演２　「身の回りの放射線・放射能」
近藤健次郎（高エネルギー加速器研究機構名誉教授）

講演３　「医療における放射線の利用」
大野和子（京都医療科学大学教授）

実験「霧箱の作成と空気中の自然放射能の観察」と演示「火力、原子力発電の仕組み」
矢永誠人（静岡大学准教授）

実施状況

文部科学省の主催、（財）放射線利用振興協会・放射線教育フォーラムの企画・運営、静岡県および磐田市教育委員会の後援により１日間のコースを開催した。受講応募者は６９名であったが、開催会場の収容人員が５３名であったため１０名を遠慮していただき５９名としたところ、４名欠席、実際の受講参加者は、５５名であった。その内、小学校教員が１０　名、中学校教員が９名、高等学校教員が３２名、その他特殊学校教員及び教育関係者が４名であった。なお、文系教員は、中学校教員、高等学校教員及び専門学校教員 名中 名で、文系教員が占める比率は、％であった。なお、セミナー世話人として、熊野善介氏、オブザーバーとして、長谷川圀彦氏が参加した。

講演１（有馬朗人氏）教育問題、再生可能なエネルギーとしてバイオマス、続いて温暖化の問題を中心に、環境･エネルギー問題の実情とそれに対する国際的ならびに国内的取り組みについて話された。３R運動（Reduce, Reuse and Recycle）について、人間の欲望をおさえ、さらに道徳的な面が強調されていることが講演の主張であった。参加者からは「総合的な学習の時間」を如何に考えるか、などの質問があった。なお、テキストpptファイルは、「温暖化問題とエネルギー」であった。

講演２（近藤健次郎氏）身の回りの放射線・放射能を取り上げその実体を説明すると共に、放射線および放射能を正しく理解する必要性を強調された。また、さらに放射線を利用する上で、介在する危険性について、人間活動に伴うリスクと比較された。講演者の声が、あまりマイクをとして聞こえなかったのは残念であった。

講演３（大野和子）病院における放射線の利用、妊婦と放射線検査そして放射線診療室の構造について分かりやすく話された。プレゼンテイションもすっきりしていて見やすかった。最新の医療機器、CTとMRIについて詳細な説明がなされた。（参加者からの質問は、CTとMRIとの相違ついてなされたが、明快な回答がなされた。）

実習　霧箱の説明を受けた後、受講者全員が個々に霧箱を製作し、放射線の飛跡を観察した。

総括　このセミナーに応募した中学校・高等学校の文系教員は、全体の３割に満たなかった。アンケートの回答結果から、セミナー全体的としては、好評であった。講義についての評価は文系教員にとっても好評であった。講演の内容は、いろいろな分野にわたってバランスが取れていた。当日のセミナーの運営には、この地区で毎年行っているやり方で現地の小学校、中学校、及び高等学校の教員あるいは教育関係者が携わり、進行役、座長等の役割を果たし、会を盛り上げた。プログラムが少々タイトであった。今後の反省としたい。

平成20年度原子力体験セミナー地域コース（Ⅲ）
関東・信越地区（１）実施報告要旨

１．関東・信越地区（１）エネルギー・環境・放射線セミナー

２．実施日：2008年10月18日(土)

３．場所：メルパルク長野　会議室、　長野市鶴賀高畑７５２－８

４．実施状況：

１）受講者、37名　内オブザーバー3名

２）セミナーは10月18日(土)9時30分から17時30分まで、別紙時間割の計画通りに進行し終了した。概要は次の通りである。

３）講演

講演１、原子力発電は安全で環境保全に役立つか

講師　松浦祥次郎　（財）原子力安全研究協会　理事長

講演２、わが国の医療被ばくの現状

講師　赤羽恵一　放射線医学総合研究所重粒子医科学センター主任研究員

講演３、原子力をめぐる世界の現状と日本の立場

講師　吉田康彦　大阪経済法科大学　客員教授

４）受講生と講師３名によるパネル討論

パネル討論効率化のために、講師の講演時に質問票を配布し記入された質問を元に討論を行った。質問票が２６票と多く、質問票に答える時間に大部分が費やされ、フロアーからの自由な討論が少なくなった。が、質問と討論は３講師共にあり、活発な討論となった。受講者のアンケートにも討論の時間が少なかったとの意見があった。

５）実習

霧箱実験による放射線飛跡観察は全員が興味関心を持ち、中には感動したという受講生がおり、好評であった。

５．全体の評価

セミナー企画時には、受講参加者が少ないことが懸念され、申込締切り時には定員の1/3にも満たない状態であった。締め切り日をぎりぎりまで延長し、学校訪問など行い受講勧誘に努めた結果、41名の申し込みがあり最終受講者は37名であった。受講申込が少なかった要因として、セミナー開催時は小中高校に共通して秋季催し物（体育祭、文化祭、地域合同行事など）が行われたので、日程が重なり受講を諦めるケースが多く見聞された。セミナー開催時期の課題である。

３人の講師の講演は好評であった。とくに講演３は、原子力の国際的観点から日本の立場を解説したもので、理系一点張りの講演とは異なった社会科学的な時事問題を扱った点は好評であった。パネル討論は質問票が多く、その質問に答える時間に多く割かれフロワーからの自由討論時間が少なくなったのは今後の検討課題である。

セミナー全体は成功裏に終わり、主催者側と受講者の期待に応えることができたと評価できる。これは、受講者アンケートの感想と意見にも表れている。

６．世話人代表　笠井　篤　（元日本原子力研究所研究室長）

08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20年10月25日（土）　9:30－17:00

開催場所：県立広島大学三原キャンパス（広島県三原市学園町1－1）

プログラム：

講演　1　新学習指導要領とエネルギー・環境・放射線教育　　清原　洋一（文部科学省　教科調査官）

講演　2　放射線を学校でどのように教えるべきか　　松浦　辰男（放射線教育フォーラム事務局長）

報告　1　高等学校における科学研究の指導について　柞磨　昭孝（広島県立廿日市高校定時制課程教頭）

報告　2　小学生が行うサイエンスショー「みんなで止めよう！地球温暖化」石津　善久
（四国中央市立中曽根小学校教諭）

実験　1　放射線をつかまえろ―霧箱キットの組み立てと観察、　地京久美子　川原田淳

実験　2「はかるくん」測定実習　　岩谷　和夫　近村千穂

実施状況：

主催：文部科学省　企画･運営：放射線利用振興協会、放射線教育フォーラム

後援：三原市、鳥取県、島根県、岡山県、広島県、徳島県、香川県、愛媛県、高知県の各教育委員会

参加者は42名で、小学校9(21%)、中学校10(26%)、高校16(37%)、その他7(16%)。教諭56%、管理職37%、その他7%で、文系9%、理系72%、小学校教諭など19%であった。昨年に比べ小学校が少なく中学校が多い。また、管理職が多かったことは、プログラムの「指導要領改訂」講演に関連するかと思われる。

放射線利用振興協会担当者、事務局から大野新一理事、講師を兼ねて松浦辰男事務局長ら4名の出席があった。世話人高橋忠義、砂屋敷忠のほか、地区実行委員の向井景昭、加藤一孝、坂田祐司、阪田祐司、地京久美子、荘内博之、近村千穂、岩谷和夫、川原田淳ら11名が参加し、運営にあたった。

講演1は、新学習指導要領の基本的事項と改訂の流れを説明した。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･中学校について社会科と理科の現行と20年告示の具体的な比較をお話いただいた。理科教育、体験活動の充実や総合的な学習も奨励され、高校では科学と人間生活、物理などの基礎を学ぶとともに課題研究を各学校の事情に合わせて採用することを希望された。

講演2は、これまでの放射線教育フォーラムでも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、広島原爆の問題点など幅広いお話であった。

事例報告1は、演者が取り組んだスーパーサイエンスハイスクールの経験をお話いただいた。先端的な理科教育を実施することを目指したもので、国の予算的支援と担当者の熱意が、生徒を動かし高校生とは思えない研究成果は数多くの成果を上げ、国内外の表彰を受けた。学習意欲の発揚は理数科教育とその他の教科、各学年を結ぶようにもプログラムが工夫され、生徒の探究心、教師の指導力両者の向上に寄与できた。

事例報告2は、小学校5年生の総合的学習の時間で取り扱った、地球温暖化の原因や解決策を理解し、保護者などに解決策を実践してもらえるよう説明と協力を呼びかける一連の活動を説明した。演示実験をみて児童の理解がえられ、発電や省エネルギーの手法を主体的に考えるようになったプロセスを報告した。

実験は、希望者別に、2グループに分かれて行った。

1　放射線をつかまえろ―霧箱キットの組み立てと観察は、簡単に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。

2　「はかるくん」測定実習は、過去、霧箱実験を行った方たち12名ほどで、放射線測定器はかるくんをもちいたもので、取扱法、自然放射線計測、遮蔽物による減弱の測定実験を行った。

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が関連する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、アンケート調査（回収率100%）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を増やすこと、参加者の交流もできる、ゆとりあるセミナーとしたい。

平成21年1月14日（水）

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

1　実施場所,日程及び主要なプログラム

場所（財)佐賀県地域産業支援センター九州シンクロトロン光研究センター

日程　10月31日(金)　9:30～16:45

プログラム

10:30～11:45 講演1　「日本のエネルギー問題の現状と今後の教育課題」
講師　有馬　朗人氏

13:00～14:00 講演2　「知っておきたい環境問題」
講師　大塚　徳勝氏

14:15～14:45 講演3　「シンクロトロン光の原理と応用」
講師　九州シンクロトロン研究センター　職員

15:00～16:30 実習　「放射線を見てみない？」
指導　執行　信寛氏

2．実施状況

九州全県から46名の受講申込者があり、3名が当日欠席され、受講者は43名（小学校11名、中学校14名、高等学校15名、その他3名），（中学校と高等学校の文系4名、中学校と高等学校の理系19名とその他9名）であった。その他は9名（講師4名，世話人2名、オブザーバー1名；放射線利用振興協会2名）であった。また、受講者は男性37名、女性6名、年代（20代、30代、40代、50代）はそれぞれ3，14，12，14名であった。全国コースをすでに1回以上受講している者が8名、地域コースを受講しているものが6名であった。

アンケートの詳しい分析は別に提出するが、講演1,2および実習の内容についてはほとんどの受講者がほぼ満足したとの回答であった。しかし、講演3のシンクロトロン光研究施設の説明および見学については、もっと詳しい説明が欲しかった、見学時間が短かったなど、改善を要するという意見が多く、これは次回以降に考慮すべきことである。

平成20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：大阪府教育委員会、大阪市教育委員会

3．期　　日：平成20年11月8日(土)　10:00～16:40

4．開催場所：大阪大学ラジオアイソトープ総合センター吹田本館（大阪府吹田市山田丘２－４）
大講義室

5．受講者数：30名（小学校8, 中学校11, 高校10, 高専1; 文系11, 理系19;
滋賀2, 京都3, 大阪10, 兵庫6, 奈良6, 和歌山2, その他(石川)1）

6．実施内容（プログラム）：

①講演1　地球環境は持続可能か？現在の日本人の暮らしは持続可能か？
－環境問題・エネルギー問題および教育の役割に関連して－　山寺秀雄（名大名誉教授）

②講演2　がんは放射線で治るのですか？　井上武宏（阪大）

③教育実践報告と全体討論　塚平恒雄（摂陵中学校・高等学校）

④実習　霧箱の製作と放射線の飛跡の観察　斎藤直、吉岡潤子（阪大）、朝野武義（阪府大）

⑤講演3　教育実験：放射線が固体中に作る飛跡の観察　鶴田隆雄（近大）

7．実施状況：　①講演1は、地球温暖化問題の中心とされているエネルギーおよび環境問題を豊富なデータで紹介したもので、風力、太陽光、バイオマスおよび原子力について具体的な説明があった。多様なエネルギー源を総合的に論じ、また教育の役割にも言及された基調講演にふさわしい内容であった。②講演2はがん対策基本法の成立を受けてがん治療の整備が急務となっている現況で、高度医療としての放射線治療を紹介したものである。患者の負担が軽い放射線治療をわが国ではもっと盛んに利用すべきだと強調された。③教育実践報告では、中学校と高校（生物クラブ活動）において実施されている諸実験の紹介があった。動物の運動から一般相対性理論の検証までの幅広いテーマの実験は、実験者と見学者の双方が楽しめる要素を持ち、さらに本質的に未知の部分について考察を促すもので、大変興味深い内容であった。④実習は、主催者が用意した材料を個々の受講者が霧箱として組み上げ、放射線の飛跡を観察したもので、全員がアルファ線とベータ線の観察に成功した。サーベイメータを用いて、放射線測定の演示も行った。⑤講演3は、これまで研究に用いられてきた固体飛跡検出器を、永久に記録された飛跡を観察できる放射線検出器として教育分野でも利用可能であることを紹介したものである。

8．受講者による評価：　アンケート結果の集計では、全ての内容について妥当がほとんどであり、受講者には非常に好評であったことがわかる。放射線についての豊富な知識を提供でき、また身近に存在していることを示せたことが評価された。霧箱には、楽しく、感動的であったとの付言もあった。

9．総括：　募集人員50名のところを30名しか集まらなかったことを反省している。近隣の教育センターに直接勧誘に行ったがその効果がなかったのは残念であり、難しい課題として残る。内容については、どの講演も分かり易い説明に徹していただき、また休憩時間を挟むことによって時間の余裕をもたせたために受講者には満足のいく内容であったと思う。

（報告者：世話人代表　斎藤直）

平成20年度 原子力体験セミナー 地域コース（Ⅲ）
「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20年11月15日（土）9時40分～16時30分・八戸工業高等専門学校
2. 後援：青森県教育委員会、八戸市教育委員会、十和田市教育委員会、八戸工業高等専門学校
3. 内容

講　　演：	最新の放射線治療について	蘆野 吉和
講　　演：	青森県におけるエネルギー地産地消にむけた取り組み	高坂 幹
講　　演：	日本のエネルギー・環境教育の現状と今後の課題	有馬 朗人
講義・実習：	すぐに使えるエネルギー実験と霧箱を使った放射線実験	村田 直之

4. 受講者数
受講申込数：50名、オブザーバー1名、計51名
受講参加者数：45名、オブザーバー1名、計46名

5. 実施状況

50名の応募者数であったが、当日5名が欠席したため、最終的な受講者数は45名であった。受講者は、東北6県から参加し、割合は青森48.9%、岩手15.6%、宮城15.6%、秋田4.4%、山形8.9%、福島6.7%であった。また、校種は小学校26.6%、中学校37.8%、高等学校24.4%、その他（高専を含む）11.1%であった。受講者の教科については、中学校・高等学校の受講者28名中、理系（技術・工業を含む）が25名で、文系の受講者は社会1名、英語2名であった。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。

セミナーの開催にあたり、青森県、八戸市、十和田市の教育委員会の後援を得た。また、増募対策として、上北教育事務所、むつ市教育委員会、東通村教育委員会、六ヶ所村教育委員会、十和田市教育委員会、三八教育事務所、八戸市教育委員会、葛巻町教育委員会を訪問し、セミナーの周知を図った。さらに、青森県内、および会場に近い岩手県・秋田県の中学校理科教員宛てに、講演と実習の詳細を記述した案内状も送付した。その結果、当日5名の欠席者はあったが、定員の50名を満たす応募が得られた。

アンケートによると、コース全体および、各講演・実習について、ほぼ全員から妥当という評価が得られた。改善点についても、講演時間の延長や、内容の更なる充実など、セミナーに対する積極的な意見をいただき、本セミナーに対する受講者の満足度は高かったと思われる。他方、今後のセミナーのあり方について、セミナー時間の延長（2日間）、教育実践の紹介など、次年度以降のセミナーを企画する際に参考となる意見も頂いた。

有馬先生の講演用パワーポイントのデータを希望する受講者が多く、後日郵送した。受講した参加者が教育現場ですぐに実践できるよう、講演者の了解のもと、予めデジタルデータをいただき、当日のうちにCD等を配布できれば、よりセミナーが充実したものになるのではないかと思う。

北陸地区セミナー実施報告

世話人代表：　横山　明彦（金沢大学教授）

セミナーの名称：　北陸地区エネルギー・環境・放射線セミナー
開催日時：平成20年12月6日（土）　10時40分開始　17時00分終了
開催場所：石川県能美市、能美市根上学習センター（〒929-0113　石川県能美市大成町ヌ１１１番地）

セミナーのプログラム

基調講演：「石油ピークは農業ピーク、そして文明ピーク」
石井　吉徳（東京大学名誉教授、NPO法人「もったいない学会会長」
講　　演：「放射線で植物の中の水や養分を見る」
中西　友子（東京大学大学院農学生命科学研究科教授）
模擬授業・実践授業：「理科教育の一分野としての放射線教育実践ー生徒とともに新しい発見をしながら」大津　浩一（愛知県立熱田高校教諭）
実　　習：「ガイガー計数管を自作して自然放射線を検出してみよう」
三門　正吾（千葉大学先進科学センター准教授）

実施状況

文部科学省の主催、(財) 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、富山県・石川県・福井県教育委員会，富山市・金沢市・福井市・小松市・能美市・敦賀市教育委員会の後援を得て開催した。受講参加者は58名*（申込み58名）であった。その内，小学校教員は26名，中学校教員17名，高等学校教員12名，その他3名であった。（＊事前申込をしそこなって飛び入り参加した教員2名を含む）

［基調講演］　有限地球で「石油ピーク」は必然であり、また農業も石油に頼っているため、「農業ピーク」もおこる。既に世界的にエネルギーも食料も不足している現状では、日本の自然に基いた「日本のプランB」が必要となる。当講演はその理念として「脱浪費、もったいない」、「量より質」、そして判断基準に、エネルギー収支比：EPR(Energy Profit Ratio)の重要性を強調して参加者に感銘を与えた。講演で使用されたパワーポイントスライドの抜粋をコピーすることを講師が快諾されたので，コピー希望者が続出した。勤務先の学校で活用されることが期待される。

［講演］　放射線利用の例として、植物が水と養分元素を吸収して生きている様子について、レントゲン線で人体の中が見られるように、放射性同位元素（アイソトープ）を用いて、水や元素の分布や動きとして調べられることを紹介した。講師は多くの映像や写真スライドを使って紹介されたので、目に見えない植物の中の様子が手に取るようにわかり、好評であった。

［模擬授業・実践授業］　高校教育の現場で生徒とともに実践してきた放射線教育活動について紹介された。特に高校生スタッフとともに実施した小学生対象の「見えないものを見よう！放射線･紫外線･赤外線」の紹介では身近にあるデジカメやおもちゃのリモコンを使って紫外線や赤外線の実験をさせて光の性質の理解から放射線の理解へ導く試みが興味をひいた。また、霧箱実験の簡単な提示法についての提案をふくめて、手作り教材を使って楽しめる体験授業を提案した。参加者にとっても楽しい授業であった。

［実習］　紙筒を細工して自作したガイガー計数管に小型高電圧電源を接続し、そばにAMラジオを置くだけで、非常に感度のよいガイガー型の放射線検出器を作る実習が行なわれた。今回は自作した完成品を参加者に持ち帰ってもらうために、ガイガー計数管実習の参加者を30名に限り、その他の参加者には霧箱作製をおこなってもらった。実習については概ね好評であった。

総括

基調講演、講演、実習、模擬授業・実践授業ともに内容が充実しており、参加者にとって有意義なセミナーであり、当初の目的は達せられたと考えられる。今後は、セミナーの企画の段階から関心を持っている先生方を増やしていくなど、興味をもった参加者を増やす方策を考えていきたい。

平成２０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の概要

期　　日　平成 21 年 1 月 11 日(日)　～　12 日(月)
会　　場　日本科学未来館(11 日)　東芝・磯子エンジニアリングセンター(12 日)
重点目標　１．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計画案の報告
　　２．義務教育の教員・高等学校文系教員に焦点を合わせたプログラムを編成し呼びかける。
後援団体　東京都・神奈川県・埼玉県･千葉県各教育委員会
応募状況　申込者（74）　出席者（68）　欠席者（6）　他に聴講出席者（4）　（括弧内は人数）
　受講者内訳　小学校（20）　中学校（26）　中・高等学校（10）　高等学校（13）
　その他（1）　合　計（70）（括弧内は人数　含当日欠席２名　申込書記載による分類）

プログラムと実施状況
第１日目（日本未来科学館）
基調講演「岐路に立つエネルギー問題　－　原子力の再評価　－」
乱高下する原油価格に捉われず、エネルギー資源の現状と未来を見据えたエネルギー安定確保の対策を述べ、エネルギー資源として原子力は必要不可欠であることから安全対策まで網羅。もっと聴きたいとの希望多数。
講演１「環境問題の真実　―　リサイクルとエネルギー　」
環境にやさしい生活、リサイクル賛美など覚感的･情緒的な世間に対して、熱力学の基本法則を背景にして、国・自治体の政策・活動の矛盾点・問題点・改善点を鋭く批判した解説。「目からうろこ」などの感想多数。
実践報告
平成 24 年度から実施の新学習指導要領中学校理科に「放射線教育」が微量ながら 30 年振りに復活することに即応し、先行的実践計画案を作成・報告して受講者からの検討を仰いだ。次年度の実践報告に期待の声。
講義と実習１．選択１
放射線利用振興協会提供の霧箱キット組み立て、放射線観察実習を挟んで、放射線に関する基礎知識の解説、自作霧箱の工夫、自然放射線の観察法などを、己体験を交えて講義し、受講者を引き込ませ感動を与えた・
講義と実習１．選択２
霧箱作成経験者を対象に選択２「放射線測定器自作」希望者を募集。人気高く定員 10 名に 31 名が応募。２名追加したが、予算不足の悲しさ、「希望したが受けられない」との不満に応えられなかった。

第２日目　（東芝・磯子エンジニアリングセンター）
センター長挨拶と磯子エンシニアリンギセンター概要説明
挨拶に続き、当センターの概要説明と原子力発電の現状紹介。基調講演の内容と重なる部分が阿多との意見もあったが、現状が良く理解できたと好評。
講義と実習２．「小学生にも知ってもらいたい放射線の基礎知識」
見学来館の小学生を対象にした放射線測定器による自然放射線観測実習を含む模擬授業の紹介計画であったが、受講者多数のため授業形態は不十分。しかし、食品からも放射線などの体験で初心者に大好評。
見学（1.展示コーナー　2.原子力技術研究所）
模型を目前にした説明が丁寧でわかりやすく、質問にもよく答えてもらえた。PWR。BWR（ABWR）などの相違、共通点がよく理解できた（再確認する復習になった）と好評。改善意見なし。
講演３　「海外原子力発電所建設で期待される日本の建設計画管理技術」
WH を傘下に収めたアメリカで原発プラント建設を受注し、カザフスタンからウラン燃料長期確保を図った東芝の最新原発建設計画と管理技術の紹介。重厚で綿密、安全対策の各技術を総合する建設工程管理に驚嘆。

総　括（世話人の感想と希望を含む）
◆新学習指導要領中学校理科に即応した「放射線教育」の先行的授業計画案の成果は実践報告まで未知数。来年度より各地区ともセミナーのテーマ中に「放射線教育実践例報告」を加えることを希望（重要）。
◆義務教育担当教員の応募が増加し目標の一部は達成したが、高校文系教員の獲得には至らず。更に努力必要。
◆基調講演でのエネルギー資源問題網羅の PPT 資料を CD で全員に配布。好評であったがセミナー全ての CD 資料が欲しいなど希望がエスカレートし、甘え教員には逆効果。資料配布方法に一考を要す（反省点）。
◆講演１で科学の目による真実の見極め、講演２で異なる視点から原子力理解の大切さが学べたと自画自賛。

（文責：世話人代表　黒杭　清治）

２．　２００９年度実施計画

２００９年度から業務題目が、「原子力体験セミナー」から「教職員理解促進対策」に変更となる。

業務の目的としては、小学校・中学校・高等学校・特別支援学校等の教職員を対象に、原子力や放射線に関する知識を得ることのできる、学校教育の場での実践を意識した内容構成の研修会を実施し、原子力や放射線に対する正しい知識や適切な判断力を身に付けることができる環境を支援することにより、原子力や放射線に対する理解増進を図る、と云うことである。

（１）受講対象者

全国の小学校・中学校・高等学校・特別支援学校等の教職員

（２）カリキュラム（講義、実習、討論等）

原子力・放射線等に関する基礎を中心としたカリキュラムのほか、文部科学省がこれまで実施してきた原子力体験セミナーの受講経験者を中心とする原子力・放射線等の応用面を学ぶカリキュラム等とする。

基礎を中心としたカリキュラムにおいては、小学校・中学校・高等学校の区分毎の内容とし、多くの教職員が理解できる体制を整える。

また、改訂（平成２０年度告示）された学習指導要領においては、中学校理科第１分野で、「放射線の性質と利用」を授業で取り上げることが明記されていることから、学習指導要領を踏まえた項目をとりいれることとする。

なお、カリキュラム（講義、実習、討論等）は、学校教育の場での実践を意識した内容構成とする。

上記したように、２００９年度から実施計画が変更となることに合わせて、基礎コースが全国９地区で開催されるが、２００９年度のセミナー（研修会）の開催は、昨年度と同様に、次に示す１０地区で実施される予定である（２００９年３月３日現在）。

募集目標人数は、各地区４０人を基準とし、全国合計４００人とする。

（３）　予定開催場所（括弧内は、開催地、開催日、世話人）

北海道地区（札幌市、１０月１０日（土）、１１日（日）　佐藤正知）、東北地区（仙台市、９月１２日（土）　関根　勉）、北陸・新潟地区（新潟市、７月２６日（日）　橋本哲夫）、関東・信越（Ⅰ）地区（前橋市、１１月２８日(土) 田中隆一）、関東・信越（Ⅱ）地区（東京都、１月１０日（日）、１１日（月）黒杭清治）、静岡・山梨地区（沼津市、１０月１７日（土）奥野健二）、愛知・岐阜・三重地区（名古屋市、１０月３１日（土）　森　千鶴夫）、近畿地区（大阪府熊取町、１１月８日（日）　柴田誠一）、中国・四国地区（広島市、１１月１４　日（土）　砂屋敷　忠）、九州・沖縄（宮崎市、９月２６日（土）工藤和彦）

（４）　事業計画についての留意点

①　応用コースの実践型コースに位置づけられているので、教育現場に適用する指導案実践報告等を取り入れる。さらに、各地区での精選課題を含めた研修内容とする。

②　来賓等特別な場合を除き、挨拶者・司会者の記載を行わない。講義名と講師名だけを募集案内冊子に記載する。

③　講師原稿を地区世話人が取りまとめて、研修会開催の２週間前までに放振協へ提出する。

第３章　専門委員会の報告または関係資料

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のほか、「低レベル放射線の影響検討委員会」に関する資料を収録した。

平成21年(2009)3月

2008年度の教育課程検討委員会活動の記録

委員長　江田　稔

1. 設立趣旨

放射線は学校教育（初等中等教育）のいろいろな教科・科目で取り扱われており、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、かける時間は少ない。また、放射線の重要性に反して、一般には怖い、危ないと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月に設立され現在に至っている。

2. 委員名簿(2008年度)

委員長	江田　稔	青森大学大学院教授
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	千葉県立柏高等学校教諭
同	渡部　智博	立教新座中・高等学校教諭
相談役	飯利　雄一	広領域教育研究会代表幹事　元信州大学教授
同	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。結果を「第１回放射線教育に関する国際シンポウム」で講演。

1999年度　９月に発生したJCO臨界事故に対する生徒（卒業生を含む）の疑問を集め、初年度の意識調査に加え放射線教育のあり方を検討。

2000年度　２年間の調査をもとに、小・中・高等学校における各教科・科目での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（財）科学技術振興財団主催「エネルギー・環境問題総合教育用地理情報データwebシステムの構築と活用」に協力。

2003年度　委員長黒杭清治(2006年度まで）以下の活動を行った。

1）放射線リテラシー育成資料作成のための基本資料収集。

2)三門委員自作の放射線測定器を南関東地区エネルギー・環境・放射線セミナーで実習する計画を立てた（2004年度のセミナーで実施し、以降も継続実施)。

2004年度　活動状況：１）大学生、教員を対象に「放射線に対する知識・意識アンケート」を行い、集計結果についての意見・感想を約100名の理科教員に再アンケートを行って16ページの報告書にまとめた。２）放射線モジュラー教材に適する実験等を検討した。自作放射線測定機器による実験を「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（平成17年３月５日実施）実施。大変好評のため毎年実施することになった。

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」を完成させて報告書に掲載した。**

2006 年度：**前年度までに作成した**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。また、本資料集の性格を明確にするためタイトルを『**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**』と変更して以下のように４章構成とし、「**はじめに**」、及び「**第１章**」を完成させた。

はじめに（2006 年度報告書に掲載）

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（2006 年度報告書に掲載）

第２章　放射線・放射線用語の基礎知識（2005 年度報告書に掲載）

第３章　放射線教育のための教員用Ｑ＆Ａ（20056 年度報告書に掲載）

第４章　理科教員のための放射能・放射線モジュール教材（未完）

2007 年度：昨年度報告の指導資料集『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』を授業に組み入れるため、ア．授業展開例の作成例の紹介　イ．図書やインターネットで公表されている資料の検索法の紹介資料の作成。

（２）2008 年度の目標と活動

指導資料作成の１時中断

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』の作成を本年度（2008 年度）は次の２つの理由により一時中断することにした。

１．新学習指導要領の中学３年理科に「放射線の性質・利用にも触れること」が加わることに即応し、全ての中学校で新学習指導要領に沿った授業ができるようにするための学習計画・授業展開例を作成する。

２．杉山プロジェクトの一環として本フォーラムが本年度（2008 年度）に実施する「放射線教育に関するアンケート」(注) の集計結果によっては、標記指導資料の内容に改定・補充を加える必要が出るであろう。

注：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　通称杉山プロジェクト）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」の一貫として行う全国中学校 5,000 校を対象としたアンケート。

活動内容

１．放射線の性質とは（中学校理科で新学習指導要領に沿った授業を行う場合についての内容検討）

「**放射線には物質を透過する力と電離作用の２つの性質がある**」（励起作用には触れない）と定義のように決め付けることには問題がある。次のような表現が良いのではないか。

1-1：　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。

1-2：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。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という扱い方にする。

下線部については「放射線が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も出たが、結論は出さず今後の検討課題にした（注）。

注：学習指導要領の解説では「放射線は透過性をもち、その性質を医療や製造業などにも利用している」と記されており、放射線に電離作用があることには触れていない。そのためこの解説を読むと「放射線の透過性という性質を医療や製造業に利用している」よう誤解されることも考えられる。

２．授業展開の検討（放射線の性質を新学習指導要領に準拠して中学理科で教える場合の内容についての検討）

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させるために必要なことであるが、中学生を対象とした場合は、専門家の養成ではないので、必ずしも原子構造などを既習事項にせず、レントゲン検査のような「放射線の医療利用」から導入する方が中学生にとってわかり易いのではないか。

この検討結果を千葉県長南中学校教諭小泉静恵が学習計画・授業展開例（３時間分）として作成したものを検討した

小泉案の検討

授業計画案は３時間分として次のように展開されている。

指導案１，電気エネルギーをつくる方法

指導案２．エネルギー資源の特性

指導案３．放射線の性質と利用

良く構成されているが本年度は的を絞り「放射線の性質と利用」のみを先行的に実施する（現実には放射線だけでそれ程時間は取れないが、理想案をつくるという考えで計画を進める）ことになり、長南中学校教諭小泉静恵が**「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」**という演題で本年度（2008 年度）関東・信越地区（２）エネルギー・環境・放射線セミナーで報告した。

３．セミナーでの報告についての検討

放射線の防護についての改善意見

「放射線の人体への影響」に関することが「学習指導案（１）放射線の性質と利用」「学習指導案（２）自然放射線」「学習指導案（３）放射線の防護」の３本柱に分散している。防護するというのは危険だからであるので、放射線はなぜ大量に浴びると危険なのかに触れる必要がある」との改善意見があり、これについて検討した。

本指導案は前述のように中学校理科で放射線についての授業が３時間取れるものとの前提で作成したものであり、現実には１時間取れればよいとしなければならず、放射線の防護まで扱うことは不可能に近い。仮に放射線の防護を１時間独立して取り上げるとすれば学習指導案（１）～（３）より「人体への影響と防護」に関する内容を集約させ次のような流れにしてはどうかという結論になった。

学習指導案（３）「人体への影響と防護」

１．高線量放射線の影響　２．低線量放射線の影響　３．放射線防護の基礎

３．2009 年度の活動計画

3-1. 長南中学校教諭小泉静恵が**「中学理科新学習指導要領に沿った放射線教育の先行的授業」を実践し、逐一その報告を受けて授業内容を検討する。**

3-2. **「放射線に関するアンケート」結果を分析し、**『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』の編集を再開し改定、補足を図る。

（記録記述・文責　委員長代理　黒杭　清治）

中学校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

千葉県長南町立長南中学校教諭
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※1しているが、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、放射線教育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、全ての中学校で新学習指導要領に沿った授業ができるための学習計画案を作成してみた。今回は「ネルギー資源」全体の授業計画を立てるのではなく、「放射線の性質と利用」に絞って、現実の授業時間数を考慮せずに最大限どれだけのことを教えるべきかを考察した。

この学習計画案による実践は本年度（平成 20 年度）に既に長南中学校3年理科の授業で実施中であり、来年度（平成21年度）に実践報告をする予定である。

1　中学校学習指導要領における放射線の取扱いの変遷

新学習指導要領改訂によって、30年ぶりに放射線を中学校で取扱うことになった。

放射線教育取扱いの変遷

西暦	元号	学習指導要領	内容
1951	S26	小中高1次改訂	生活単元学習「科学によって見える世界はどのように広がったか」 X線の性質や利用の学習目標が設定された。
1958	S33	小中2次改訂	理科　第1分野　原子の構造を学ぶ過程で放射線が扱われる。 放射線は原子力と結びついた。
1977	S52	小中4次改訂	放射線が扱われなくなる。
2008	H20	小中7次改訂	理科　第1分野　「科学技術と人間」の「エネルギー資源」 内容の取扱いにおいて「放射線の性質と利用にも触れる」

1951 年（学習指導要領試案改訂版）

放射線は生活単元学習における科学技術教育的な取扱いであった。

第３学年　　主題「科学の恩恵」
単元Ⅲ　科学によって見える世界はどのように広がったか
３．　電波やＸ線が光学器械にどのように応用されているかを理解する。
５．　Ｘ線によってどのようなことがわかってきたか。
（１）　Ｘ線にはどのようなはたらきがあるか話し合い、Ｘ線写真を観察し、Ｘ線についての知識とＸ線に関する写真撮影や透視の経験などについて話し合う。
研究と発表
Ｘ線の発見について調べて発表する。実験または研究と話し合い。Ｘ線の装置があれば実験してみる。また参考書などで研究してＸ線の性質について話し合う。
a.　Ｘ線の透過力　　b.　写真感板に対する作用　　c.　蛍光物質に対する作用。
d.　人体に与える作用（生理作用）　　e. その他の性質

内容が多過ぎ、基礎学力が低下したと批判された。

1958 年（学習指導要領小中２次改訂）

国の最低基準が明確化され、原子力平和利用に結びつけて、原子の構造を学ぶ過程で放射線が扱われるようになった。

第４節　理科　第２　各学年の目標および内容
〔第３学年〕　２　内容　Ａ　第１分野
（５）　原子の構造の大要について指導する。
ウ　原子の構造
（イ）原子の構造（(ア）真空放電に続く）
a　原子は原子核と電子からできていることを知る。
b　原子核は陽子と中性子とからできていることを知る。
c　放射性元素は、放射線を出すことを知る。[注]
d　人工的に元素を変換できることを知る。

注：「放射性元素から放射線が出る」ことのみ扱ったため、放射線が出るのは放射性元素だけのような誤解を与える原因になった。医療を始め研究用の放射線は加速器によって放出されるものが含まれている。

1977 年（学習指導要領小中４次改訂）

身の回りにも放射性元素が存在し、生物は微弱な放射線を浴びながら進化し、生存を続けているということに気付かせないまま放射線は扱われなくなり、以来 2008 年の小中７次改訂まで 30 年間中学校の学習指導要領から放射線は消え、一般市民のこころには放射線は危険、怖いという感覚のみ定着した。

2　新学習指導要領の改訂内容

目標の新旧対比

旧（平成 10 年）	新（平成 20 年）
（４）物質やエネルギーに関する事物・現象を調べるとともに、 を総合的に見ることができるようにする。	（４）物質やエネルギーに関する事物・現象を調べる活動を行い、これらの活動を通して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、科学的に考える態度を養うとともに、自然を総合的に見ることができるようにする。

内容の新旧対比

旧（平成１０年）	新（平成２０）
（７）科学技術と人間 エネルギー資源の利用と環境保全との関連や科学技術の利用と人間生活とのかかわりについて認識を深めるとととともに、日常生活と関連づけて科学的に考える態度を養う。 ア　エネルギー資源 （ア）人間が利用しているエネルギーには水力、火力、原子力など様々なものがあることを知るとともに、エネルギーの有効な利用が大切であることを認識すること。 イ　科学技術と人間 （ア）科学技術の進歩による成果として新素材などの利用が行われ、日常生活が豊かで便利になったことを知るとともに、環境との調和を図りながら科学技術を発展させていく必要があることを認識すること。	（７）科学技術と人間 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、自然環境の保全と科学技術の在り方について科学的に考察し判断する態度を養う。 ア　エネルギー （ア）様々エネルギーとその変換 エネルギーに関する観察、実験を通して、日常生活や社会では様々なエネルギーの変換を利用していることを理解すること。 （イ）エネルギー資源 人間は、水力、火力、原子力などからエネルギーを得ていることを知るとともに、エネルギーの有効な利用が大切であることを認識すること。 イ　科学技術の発展 （ア）科学技術の発展 科学技術の発展の過程を知るとともに、科学技術が人間の生活を豊かで便利にしてきたことを認識すること。 ウ　自然環境の保全と科学技術の利用 （ア）自然環境の保全と科学技術の利用 自然環境の保全と科学技術の在り方について科学的に考察し、持続可能な社会をつくることが重要であることを認識すること。

内容の取扱いの新旧対比（つづき）

旧（平成１０年）	新（平成２０）
	アの（イ）については、放射線の性質と利用にも触れること。

中学校学習指導要領解説（平成 20 年 7 月） 内容（7）アの（イ）エネルギー資源

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。

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、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について理解させる。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、核燃料は放射線を出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されていることなどにも触れる。

また、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、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、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。

3　放射線をどこで教えるか

放射線は次の**ア**、**イ**のように教えられることが多い。

ア　原子力発電のしくみを学ぶ過程で、放射線の性質を扱う

イ　原子の構造を学ぶ過程で、放射線を扱う

しかし、**ア**では放射線の負の面が強調されすぎる恐れ[注1]がある。また、**イ**では原子の構造についての学習が不十分[注2]な中学生には難解すぎて理解できない恐れがある。

注１　大日本図書　中学校理科　第１分野下

エネルギー利用の問題点を考えよう

C　原子力の利用による環境への影響

原子力発電では、核分裂してできた有害な放射性物質が原子炉の核燃料の中にたまる。それが外にもれると、人体や農作物に被害が出るおそれがある。放射性物質には有害な放射線を 1000 年以上も出すものもあるため、使用済みの核燃料は安全に管理しなければいけない。

現行の学習指導要領による教科書から一部抜粋したものである。放射線の性質と利用について、危険性からの導入では利用についての教育が進めにくいのではないか。

注２

新学習指導要領では、内容（６）「化学変化とイオン」の「ア　水溶液とイオン」の（イ）「原子の成り立ちとイオン」で、内容の取扱いにおいて、「原子が電子と原子核からできていることを扱い、原子核が陽子と中性子でできていることにも触れる」とあるため、原子の構造を学ぶ過程で放射線を扱うことも可能だが、中学生には難解であるように思える。また、高等学校物理のように「原子核」で授業時数を確保して系統的に放射線教育を行うことも中学校では現実的でないと考えた。

ア・イを基本にして案1、案2を、また放射線利用の視点から案3を考えた。

（７）　科学技術と人間

　ア　エネルギー

　　（ア）様々なエネルギーとその変換

　　（イ）エネルギー資源　←ここで教える（案1・案2）

イ　科学技術の発展　←ここで教える（**案3**）
ウ　自然環境の保全と科学
　　技術の利用

案1　「エネルギー資源」の１つである原子力発電の特徴として「放射線の性質と利用」を扱う。「放射線の性質と利用」については触れる程度とするため、時数は要しない。

・エネルギー資源の特性
　石油や天然ガス・石炭などエネルギー資源の種類
　エネルギー資源の入手方法
・発電の仕組み
　火力、水力、**原子力発電の仕組みや特徴**
・新エネルギーの開発

案2　「エネルギー資源」の中でエネルギー資源の種類・特性や発電の仕組みについて学習した
後で「放射線の性質と利用」について１～２時間を使って学習する。

・エネルギー資源の特性
　石油や天然ガス・石炭などエネルギー資源の種類や入手方法
・発電の仕組み
　火力、水力、原子力発電の仕組みや特徴
　新エネルギーの開発
・**放射線の性質と利用**

案3　「科学技術の発展」の中で、「放射線の性質と利用」を扱う。

・**科学技術の発展（放射線の性質と利用）**
・エネルギー資源

案3は 1951 年の学習指導要領試案改訂版における科学技術教育的な取扱いである。新学習指導要領の内容（７）イ「科学技術の発展」として「放射線の性質と利用」を取扱うことは、学習指導要領解説より、放射線が新素材の開発や、医療、農林水産業、工業に利用されていることから妥当ではないかと考えた。

中学校学習指導要領解説（平成 20 年７月）　内容（７）イの「科学技術の発展」のねらい

ここでは、科学技術の発展の過程について具体例を通して理解させるとともに、科学技術が人間の生活を豊かで便利にしたことを認識させることがねらいである。

中学校学習指導要領解説（平成 20 年７月）　内容（７）イの「科学技術の発展」の具体例

天然素材を用いていた時代からプラスチックのような合成された素材を利用する時代に変わってきたことなど、素材の変遷を取り上げ、使用目的や用途に応じた機能を備えた素材が開発され、日常生活や社会に役立ってきたことを理解させる。
防災、医療、農林水産業、工業、交通及び通信などに科学技術が役立っている平易な例について調べさせたり、エレクトロニクス、ナノテクノロジー、宇宙開発など最新の科学技術を調べさせたりすることが考えられる。

また、「科学技術の発展」→「エネルギー資源」の順に学習すると、中学生にとって放射線が危険なもので終わらず、科学技術の発展に欠かせないものであることが理解しやすいと

考えた。また、原子力発電の仕組みや核燃料についても理解しやすいのではないかと考えた。

案3について、３時間扱いで授業計画を立てた。

４　授業計画

放射線の性質と利用（３時間扱い）

時数	項目	目標	実験・観察	主な学習内容
1	放射線の性質と利用	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。		・ 放射線はものを透過する力がある。 ・ 放射線はものの性質を変えるはたらきがある。 ・ 放射線は人為的に発生させることができる。 ・ 放射線は医療・工業・農業などで様々な分野で幅広く利用されている。
1	自然放射線	自然界に放射線が存在していることを確認する。	＜演示実験＞ 霧箱で放射線の飛跡を観察する。 ＜演示実験＞ GM 計数管で放射線が入射した回数をカウントする。 ＜実験＞ はかるくんを使って、自然放射線を測定する。	・ 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。
1	放射線の防護	放射線を防御できることを確かめる。	＜実験＞ はかるくんを使って、放射線の遮蔽、距離による減衰を確かめる。	・ 放射線は遮ることができる。 ・ 放射線から身を守るには遮蔽すればよい。 ・ 放射線から身を守るには離れればよい。 ・ 放射線から身を守るには受ける時間を短くすればよい。

４時間扱いにして、２時目（自然放射線）を２時間で学習できると余裕があってよい。演示実験を生徒実験にしたり、十分な時間をとって観察したりできる。自然放射線の測定を屋外で行うこともでき、生徒の興味や関心を高めるのに効果的だと考えられる。

5　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。また、場合によっては「発展」として放射線には透過力の強いものと弱い（種類とエネルギーの違い）ものがあることにも触れることがあってよい。＜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。 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。	X線写真 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
	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

	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
	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
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

（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、測定器「はかるくん」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えできるようになるようになることに気付かせる。 ・ **発展**：自然界には放射線に限らず、紫外線や二酸化炭素のように見えない、無味、無臭のものが多いが、それらはそれぞれの検知器によって存在を知ることができるようにしていることに ・ 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留める。	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。	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。	

（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

おわりに

冒頭でも述べたように新学習指導要領の「エネルギー資源」の中で「放射線」の「性質と利用に触れる」ことができることになった。

「放射線をどこで教えるか」についての本稿案１・２は新学習指導要領の趣旨に沿った授業展開になっているが、本実践計画案では、案３の授業計画を立てた。案３はレントゲン検査などのように放射線が身近に利用されていることから導入しているので、新学習指導要領の趣旨と異なる取り扱いのように見える。

しかし、本報告は前述のように的を「放射線の性質と利用」に絞って考察したものであり、「エネルギー資源」全体の流れを示してはいない。全体としては様々な流れが考えられ巣が「エネルギー資源としての放射線」についての取り扱い方の一例として、案３の授業（身近で使われている放射線）に続き、放射線のこのような性質は産業界で大規模にどのように使われているかを発展的に調べさせ、放射線の透過力や物質の性質を変化させる性質とは別の性質（放射線はエネルギーをもつ）が原子力発電に利用され、火力や水力とともに電力を得るエネルギー資源の一翼を担っていることを発展的に取り扱えば新学習指導要領の趣旨に沿った授業展開になる。

いまや放射線は電力から医療・工業製品・農業へと人類福祉のために貢献し、放射線の利用なしに快適で文化的な現代社会を支えることができなくなっている。

多量の放射線は危険であることは違いないが、危険なものを安全にコントロールして使いこなすのが人類の英知である。放射線と聞いただけで怖い、恐ろしいと思うのは、無限に役立つ火を見て逃げ出す野生動物にも劣る。放射線の安全利用はまさに最先端技術の活用である。

資源・食料不足ばかりが強調されて未来に希望がもてなくなっている若者が増えているといわれているが、放射線に対する正しい理解を深めさせる教育によって若者に夢と希望をもたせたい。そのような願望で本授業計画を立てたが、まだ不完全で絵に描いた餅になりかねない。実践を通じて多々修正し、その体験を来年度報告したい。そのためにもこの不完全な学習計画案について忌憚のないご意見を頂ければ幸いである。

参考文献

※１：2007:3　NPO 法人放射線教育フォーラム 2006 年度活動報告 p39～p42

「低レベル放射線影響をいかに理解し教えるか」

低レベル放射線の生体影響に関する検討委員会
金子正人

放射線の安全規制と低レベル放射線の健康影響の現実との関係を理解し、一般の人たちにどのように伝えたらよいかについて検討していく必要があります。

1．現在の放射線安全規制の考え方

放射線によって生じた遺伝子 DNA の傷の修復は、100％ではないので、どんなに放射線の量が少なくてもがんの発生や、遺伝障害が起きる（線量と影響の関係は、直線的で「しきい値」はない）という仮説に基づき、国際放射線防護委員会（ICRP）は、次の 3 原則からなる放射線防護の体系を勧告しており、各国ともこの勧告を尊重して、放射線の安全規制を行っています。

（1） 放射線を伴う行為の正当化（正味でプラスの利益がなければならない）
（2） 放射線防護の最適化（被ばくは合理的に達成できる限り低く保たなければならない）
（3） 被ばく線量の制限（作業者および一般公衆は、それぞれの線量限度をこえてはならない）

2．国際放射線防護委員会（ICRP）勧告の改訂

ICRP は、放射線影響に関する最近の知見などを取り入れ、基本勧告（1990 年勧告）の改訂案を 2006 年 6 月 5 日付けでホーム・ページで公開し、一般から意見を求め、2007 年 1 月 12 日に最終案を公表しました。3 月の委員会で決定するともいわれています。

この改訂案での低レベル放射線の健康影響の扱いは、つぎのようになっています。

（1）がんと遺伝的影響（確率的影響）の線量反応

しきい値のない単純な比例関係は、放射線防護の実際的な目的のための慎重（prudent）な基礎（base）である。これは、国連科学委員会（UNSCEAR）の 2000 年報告や米国科学アカデミー（NAS/NRC）の BEIR VII 委員会報告の見解と一致するが、フランスの科学・医学アカデミーの報告は、放射線のがんリスクに関する実際的なしきい値を支持して反論している。

広島・長崎の被爆者のような高線量・高線量率で得られた発がんリスクを低レベルの放射線被ばくに当てはめる場合に使用する低減ファクター（線量・線量率効果係数）は、1990 年勧告と同じく、2 とする。

なお、ゲノム不安定性、バイスタンダー効果、適応応答といった最近わかってきた生物学的現象は、防護目的のためには知識がまだ不十分として考慮しない。

（2）確率的影響に対する名目リスク係数

新勧告案を 1990 年勧告（Publication 60）と対比して次表に示しますが、最大の変

更点は、遺伝的影響に関する名目リスク係数が6分の1から8分の1にまで減少したことです。これは、放射線による突然変異の影響が誕生までの間に大部分が回復する効果を考慮したこと、さらに、遺伝的影響は淘汰されるので2世代（子、孫）までを考えればよいとしたことによります。

表　がんと遺伝的影響に関する損害を調整した名目リスク係数（10^{-2} Sv^{-1}）

被ばく集団	がん		遺伝的影響		合計	
	今回	*Publ. 60*	今回	*Publ. 60*	今回	*Publ. 60*
全体	5.5	6.0	0.2	1.3	6	7.3
成人	4.1	4.8	0.1	0.8	4	5.6

名目リスク係数は、若干減少したが大きくは変わらないので、作業者一般公衆に対する線量限度は変更しないとしています。

（3）集団線量の扱いについての注意

集団線量（人・シーベルト）は、最適化のための手段であり、放射線を使用する技術と防護過程を比較するための物差しとして重視しています。しかし、リスク評価、とりわけ、大きな集団に対する些細な被ばくからなる集団線量をがん死亡計算に用いることは不合理で、避けるべきであり、集団線量の間違った使用であるとしています。

3．低レベル放射線の健康影響調査の結果

低レベル（低線量かつ低線量率）の放射線被ばくを受けている放射線業務従事者や高自然放射線地域住民についての大規模な疫学的調査でも、有害な健康影響の検出は困難となっています。低レベルの放射線でがんリスクを検出したという研究報告は、ネガティブな結果よりも学術誌に採用されやすく重要視されますが、調査・解析に伴うバイアスや放射線以外の発がん要因等の考慮が不十分といった問題があります。

4．低レベル放射線影響についての考え方

最近の放射線生物学等の進歩により、放射線による DNA の修復、修復が十分でない不良細胞のアポトーシス（細胞の自殺）による排除、さらに、免疫系などによる生体防御の機構についての知識が深まり、「直線しきい値なし」と仮定することの妥当性が疑問視されております。ICRP は、例外の存在を認めつつ、100 mSv 未満で線量と発がんおよび遺伝的影響が直線比例すると仮定するのが「科学的で合理的」、あるいは、「放射線被ばくのリスクを管理する最善のアプローチ」と考えていますが、放射線はどんなに微量でも有害との考え方は、放射線を取り締まる立場からは好都合でも、一般の人々に対しては必要以上の恐怖を与えかねません。

生体防御機構の存在と低レベル放射線の健康影響の実際について理解し、放射線の影響は量次第であるため、「微量の放射線は心配する必要がないこと」を教育する必要があると考えます。

第４章　勉強会、セミナーその他の資料

この章では、２００８年度のセミナーにおける有馬先生のご講演テキストをはじめ、学校での放射線教育指導のための資料、及び放射線影響の理解に役立つと思われるセミナーその他の会合での配布資料などから数点を選んで収録した。

日本のエネルギー問題の現状と今後の教育課題

有馬 朗人

NPO 法人放射線教育フォーラム会長、東京大学名誉教授
元参議院議員・文部大臣、元東京大学総長

1．世界の人口の増大、エネルギー需要の増大

世界の人口は、図１に示すように、2050 年には 80～100 億人になろうとしています。この増加の原因は発展途上国の人口増加です。

しかし、図２に見られるように、一人当りのエネルギー消費量は先進国に比べて、発展途上国は非常に少ないことがわかります。発展途上国における人口増加とエネルギー使用量の増加の相乗効果で、既に始まっているエネルギー獲得競争が今後一層激しくなることは誰の目に明らかです。

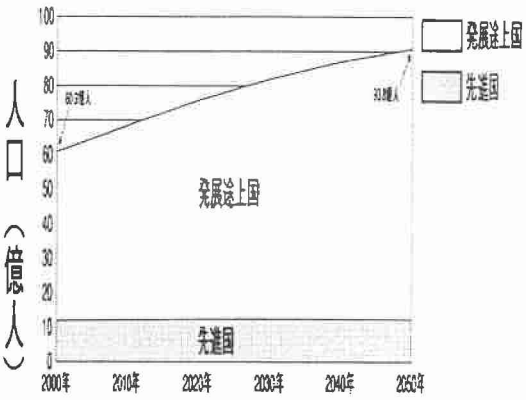


図１　世界の人口の推移

中国だけをとってみても、我が国がたどってきたモータリゼーションの道を１桁大きなスケールでしかも短い期間で歩んでいます。インドを含む他の発展途上国も同様です。しかし、化石燃料の可採埋蔵量は、石油などは約 60 年分、これから採掘技術を開発しなければならないオイルシェールなどでも 130 年分などと言われています。エネルギー源の不安から石油の値段が高騰を続けています。

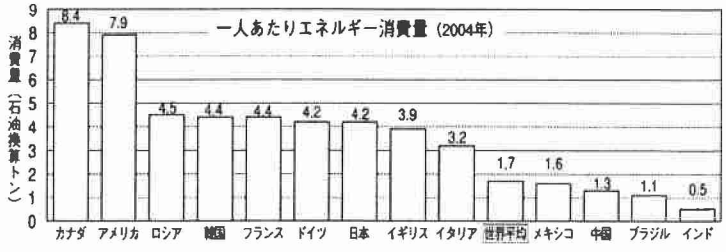


図２　世界の一人当りのエネルギー消費量

2．地球温暖化と他のエネルギー源

化石燃料の使用の増大によって二酸化炭素が多く発生し、温室ガス効果によって世界の気温が上昇しつつあると言われています。気温は図３に示すように確かに上昇しつつあります。

温暖化によって 2080 年までには海面が約 40cm 上昇し、世界で 7500 万人から２億人が今の住居を失うことになると言われています。温暖化の影響として水資源の枯渇も心配されています。

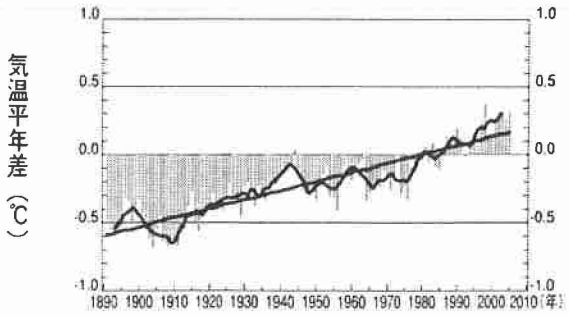


図３　世界の年平均地上気温の平年差変化

それでは化石燃料に代わる適当なエネルギー源があるのでしょうか。ご存知のように、太陽光発電、風力発電、バイオ燃料、燃料電池などが検討されています。しかし、たとえば、最近の大型の火力発電あるいは原子力発電のわずか一基分の発電量（150 万 KW）を太陽光発電で行うとすれば、東京の山手線の内側を全て太陽光パネルで埋め尽くす必要があるほど大変です。原子力発電所一基分を風力発電で賄うとすれば、京都から東京までの新幹線の沿線に最大級主力（設備容量 2000KW）の風力発電機 2400 台をほぼ隙間なく（200ｍおきに）一列に立てる必要

があるという計算になります。しかも、太陽光も風力も出力が安定的ではありませんから、蓄電をするとか、他の発電方法で補なうとかをしなければなりません。

石油の値段が高騰しているように、これからはエネルギーの値段は一層高くなるでしょう。現在進行中とみなされている地球温暖化の問題を考えると、前述したように新エネルギー源に量的な問題はあっても、少しでも太陽光発電や風力発電、その他のエネルギー源の開発と利用に努力しなければなりません。特に、二酸化炭素の排出の少ないエネルギー源の確保が重要です。そうした意味では、現在わが国の電力の 1/3 を賄っている原子力発電は二酸化炭素をほとんど排出しないこと、また、使用済み燃料の再処理を行うことによる燃料の長期利用が可能であること、などの理由により、最近はその重要性が一般の方々にかなり認識されるようになって来ました。また、まだ商用発電としては実現していませんが、ウランの利用効率のきわめて高い高速炉の実現に大きな期待がかかっています。

3．3Rと「もったいない」の精神

このような時代においてはエネルギー消費を極力抑え、つつましい生活を送ることが大切であって、エネルギー源の開発ばかりに焦点を当てて走ることは望ましい方向ではない、という主張も十分に肯けます。この主張は、循環型社会形成のための Reduce(消費削減) 、Reuse(再使用) 、Recycle(再生利用)の３R の推進活動、ノーベル平和賞で知られるケニアの環境保護活動家ワンガリ・マータイ氏が唱える「もったいない」の精神などに代表されます。先進国の国民は３R 運動に参加すべきです。

しかし、世界のすべての人々が先進国の生活に近づいたより豊かな生活を送ることを望むことは当然であって、そのためには二酸化炭素を排出しない、より安定的で安価なエネルギー源を開発する義務が先進国にはあると言わざるを得ません。

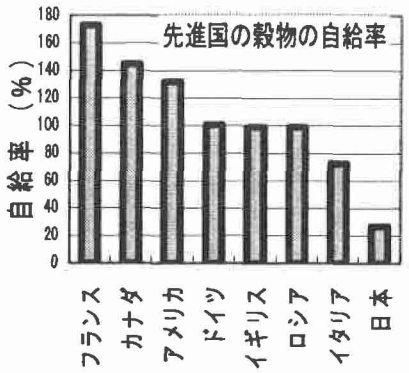


図４　先進国の穀物の自給率
2003 年

4．食糧問題

世界の食料の需要･供給に関しては、需要と供給はほぼバランスしていますが、やや需要が上回り、在庫率がやや減少しています。しかし、長期的な予測では、かなり長期にわたって需要と供給はバランスすると言われています。

ところが、最近では食料さえも余剰資本の投機の対象となって食糧価格の高騰をもたらしており、需要と供給の地域的なアンバランスのため飢餓に苦しむ途上国が少なくありません。我が国に関しては、図４に示すように、穀物の自給率は先進国の中では極端に低いことがわかります。中国は、大豆などは大量に輸入していますが、穀類に関しては現在では需要と供給がほぼバランスしています。しかし、2030 年には穀類の自給率は 55%になるとの予測もあります。人口が多いだけに、たとえ 10%の自給率の低下でも、世界の穀物の絶対量から見れば大量の穀物を必要とすることを意味しており、大きな脅威です。

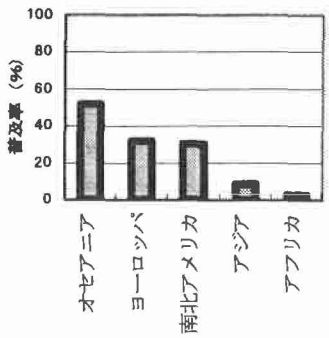


図５　世界のインターネットの普及率　2004 年

5．情報、生活様式、等のグローバル化

図５に示すように、世界の各地域のインターネットの平均の普及率はそれほど高くはありません。特に、アジアは

高くなく、アフリカは非常に低いことがわかります。しかし、図６に見るように国別では、先進国はほぼ60%を超えています。

中国インターネット情報センターの発表によれば、2007 年６月現在で平均 12.3%で、都市部では21.6%になっています。利用者数は１億6200 万人で、米国の２億1100 万人に次いで世界で２番目です。

インターネット社会では、事実か虚偽か、あるいは風説かが判明していない情報で溢れかえっています。情報のグローバル化によって、扇動を目的にしたインターネット情報が人々の意見や行動を大きく左右します。

情報の伝達速度が高くなければ、極端な意見や扇動は、それが社会に広まっていく間におのずと弱められますが、インターネットにこうしたブレーキを効かせることはかなり困難です。瞬時性がありブレーキがほとんど効かないのがインターネットの特徴でもあり、その効用の大きさは計り知れません。したがって負の面を強調しすぎることは妥当ではありませんが、インターネット社会の現実をよく認識する必要があります。

また、最近の携帯電話の技術的進歩とその普及の度合いは、目を見張るものがあります。このような状況において重要なことは何でしょうか。

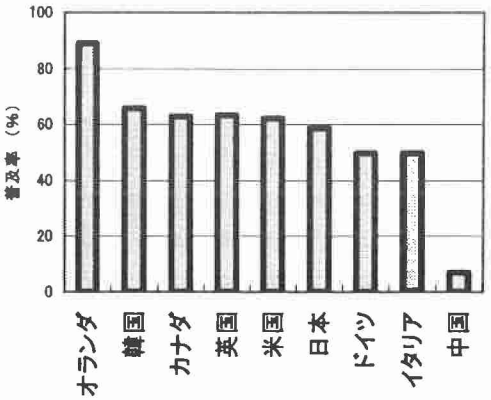


図６　各国のインターネットの普及率　　2004 年

われわれのように年長であり、かつ社会を指導していかねばならないものが、自分がこのような社会の傾向にすぐにフォローできないからといって、その欠点のみをあげつらっていてはいけないと思います。タイプライターやワープロが普及し始めたときもそうであったと思いますが、これらの情報機器はあくまでも機械であって、大事なのは、その機械によって伝えられるべき情報の中身であり、その中身においては、われわれ、社会に長く生きてきたもののほうが、年少の人々よりも、一般的に言ってはるかによい情報を持っているはずであり、われわれも、この種のメデイアを利用するしないにかかわらず、折に触れて年長者の智恵を社会に発信すべきであります。外国記者の一人が「日本がもっとも誇れることは、一般大衆の成熟した妥当な考え方である」と述べていました。かなり買いかぶりだとも思われますが、人々の考え方がどのように成熟しているかは非常に大切で、その意味でも教育が果たす役割は極めて大きく、このことは万人が認めるところです。

６．教育の役割

「学校の常識は社会の非常識」というやや聞き捨てならない言葉があります。学校の先生方の考え方や行動が、他の一般社会人のそれらに何となく合わない様子を揶揄した言葉であると思われます。しかし考えてみると、仕事の価値とか人生の意義とか言われながらも、世の中の万事は金銭づくで動く傾向があることも事実です。そのような社会的な通念が何の抵抗もなく学校で通用してよいはずはありません。ある意味では学校の常識は社会の非常識であって当然であり、非常識でなければならないとも言えます。

学校の基本的な役割は、学力の向上と同様に、人生の意義や価値、友人や隣人と社会を構成する意義や価値などについて教えることであり、お金よりももっと価値の高い生き方をすることのできる人を育てることです。学校の先生の基本的な考え方や言動は子供の将来に、ひいては社会の将来に直接的に強く結びついています。子供達は、大人を、特に先生方をじっと見ていて極めて大きな影響を受けています。20 世紀の大量生産・大量消費社会に対して、21 世紀

は、わが国の歴史と伝統に根ざした、「物」より「心」の豊かさを尊ぶ学校教育へと見直していくべきです。

そもそも何のために学校へ行って教育を受けるのでしょうか。学校を卒業し社会に出て、「生き甲斐」を持って生活することができるようにするためです。学校では知識だけでなく、それを基礎にして、あらゆる物事を、あたかも試合をしている運動選手のように、臨機応変に処理できる能力を身に付けることが大切です。

また、一方において、われわれは日本人であり、海外へ行って行動したときに自然にその資質が現れることがあります。器用さとか、思いやりとか、細事へのこだわりとか、がそれです。日本の伝統的な芸術なども是非その一端を学校教育において習うことが望ましいと思います。文学的な表現などもそうです。

国際的な観点からしても、日本は天然資源が乏しいにも関わらず、他の先進国と対等に付き合って行かなければなりません。いったい何を売り物にすべきでしょうか。それには、日本人の特質を生かして、職人芸的な新しい技術によって、また芸術や文化の面で、他の国に真似のできない、優れた価値のあるものを生産する必要があります。「知的財産」ということで、優れたアイデアでつくりだした技術や芸術作品も十分に価値のあるものです。教育の方法のようなものも十分に海外に広める価値のある考え方が生産できるのではないかと思われるのですが、いかがでしょうか。

7．学力とは何か

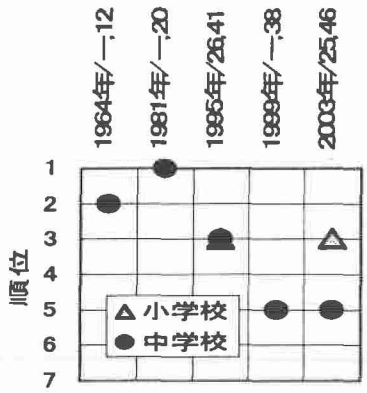


図7　算数･数学の学力の国際比較、年の上の数字は参加した小学校、中学校の国の数である。

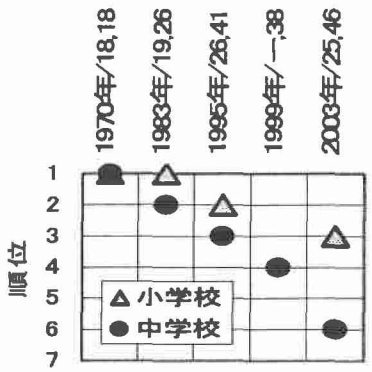


図8　理科の学力の国際比較、年の上の数字は参加した小学校、中学校の国の数である。

学力低下とか、生きる力を養うとかいろいろと意見があるようです。先ず学力に関して言えば、記憶力、思考力、応用力、等のいずれに力点をおいた調査であるかによってかなり異なりますが、とりあえず算数･数学の国際比較を見てみましょう。図7では、1981年（参加校：小学なし、中学12校）では日本は中学は1位でしたが、2003年（参加校：小学25、中学46）では、小学3位、中学5位です。図8は理科の比較です。いずれも過去から最近になるにしたがって順位が低下しています。しかし、参加した国の数が大幅に増えていること、これらの中には香港、台湾、韓国、など近年教育レベルを大幅に向上させてきている国があること、などを考慮すれば、40カ国ほどの参加国の中でいつもほぼ5，6位以内を確保しているのは、一応肯定してよい結果であり、先生方の努力に負うところと考えられます。

少し心配なのは、表１に示す理科学習に対する動機付け指標の設問と、その設問に対して「そうだと思う」と答えた我が国の生徒数は他国に比べて非常に低い割合であることです。

表１　理科学習に対する動機付けの指標としての設問
A)私は自分の役に立つと分かっているので、理科の勉強をしている
B)将来自分の就きたい仕事で役に立つから、努力して理科の科目を勉強することは大切だ
C)理科の科目を勉強することは、将来の仕事の可能性を広げてくれるので、私にとってやりがいがある
D)私は理科の科目からたくさんのことを学んで就職に役立てたい
E)将来勉強したい分野で必要となるので、理科の科目を学習することは重要だ

我が国の現在の生徒達は若者を含めて、就職と言うことに関して他国とはやや異なる意識を持っています。かなり豊かな社会（最近では少々かげりも出てきましたが）の子供達の生活手段に対する当然の意識かもしれませんが、やはり、実利に対する強い欲求は重要なことかと思います。次に気になる点は、「就職」とか「役に立つ」と言った実利的な設問ばかりを大人がしていることです。「理科は面白い科目だから」と言った対象の本質的な面白さや、探求することの魅力に対する設問を入れることが重要で、そのような設問に対して「そうだと思う」と答える生徒が増えることが望ましいでしょう。そのためには大人の我々がそういう思いを持っている必要があります。新しいこと、人のあまり気がつかないことを口にする、あるいは行動する生徒が先生から「それは君、素晴らしいところに気がついたね。先生も感心したよ。」などと言ってもらって、目を輝かせる子供が多くなる状況を作りたいものです。こつこつと努力する子に目を配る必要があることは勿論です。残念ながら、我が国における一般市民の科学に対する理解度や関心度は他国に比べて非常に低いことがわかります。1991 年の調査においては 14 ヶ国中 13 位、2001 年の調査においては 17 ヶ国中 13 位です。これは、理系の分野に対する事柄だけではなく、知識、文化に対する国民の総合的な理解、関心の問題です。医学においても臨床と基礎があるように、実業は常に基礎、すなわちより広く言えば、物事に対する絶えざる興味の心に支えられています。学力の国際比較のみならず、国内の学力検査においても、学力が近年低下しているとの意見もありますが、必ずしもそうではありません。それどころか計算力、漢字力などは上昇しているものも多いのです。ただ、応用力や自ら考える力には課題があり、今後一層の努力が必要です。

８．教育予算について

図 10 は各国の教育費の対 GDP 比（%）です。我が国の公的支出は他国に比べてかなり低いことがわかります。他国並みに公的支出を増やすことを文科省は要求していますが、財務省は生徒一人当りの費用は他国並みであることを理由に増額を拒んでいます。国家の財政状況を考慮しなければならないことは当然ですが、社会や国家や世界の人々の将来を支える根幹は教育です。我が国民が文化を愛し、高い生活レベルを維持しつつ、それを世界の人々に広げてゆく活動を支えるための思考を養うのは教育です。我が国の教育はやや新しい局面に入っていると言うことができ、それを支えるには、先生方の努力だけに期待することは気の毒で、それなりの財政的な支援が必要です。

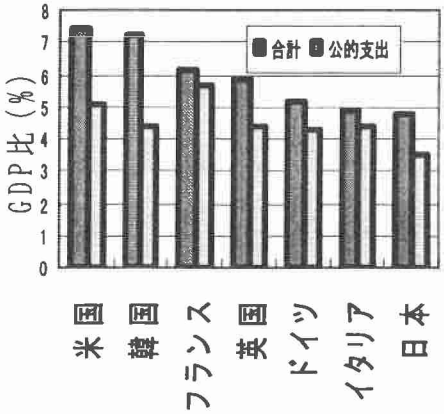


図 10　教育費の対 GNP 比(%)
OECD 資料、2007 年

９．社会の動きと基本的な事柄の認識および教育について

前述のように、世界の人口の動き、エネルギーの問題、それらに伴う地球温暖化、食料の問題、インターネットや携帯電話の普及に伴う情報伝達の電光的な速さ、生活様式や思考のグローバル化や差別化、など社会の具体的な動きを認識することは重要です。スピードがあるだけに、対策を誤れば、地球を破滅しかねない大きな惨禍につながるからです。

しかし、このような具体的な動き、やや皮相的とも言える動きにとらわれるあまり、基本的な事柄を軽視してはなりません。大きな資本がより大きな利潤を求めて世界を駆け巡ることは現代の資本主義が生んだ鬼子とも言えます。こうした動きに惑わされることのないように、よほど注意しなければなりません。私たちは、基本的には「人間は一人では生きられない」のであって、家族、隣人、社会、国家、世界の人々と共に、よりよい地球環境の中で、世界の人々の生き方の向上のために、愛と協力の基本の精神を忘れてはならないと思います。

教育は、学校においても、家庭においても、社会においても、将来を見つめ、反省の上に立って熱意を持って進めて行く、極めて価値の高い行為であり長い道のりです。我が国の社会においては徐々にではありますが、そうした事柄が認識されつつあるように思います。先生方への社会の期待は一層大きくなって来ているように思われます。

新学習要領と
エネルギー・環境・放射線教育

文部科学省初等中等教育局教育課程課 教科調査官
国立教育政策研究所教育課程研究センター 教育課程調査官

清 原 洋 一

教育基本法

（教育の目標）

第二条 教育は、その目的を実現するため、学問の自由を尊重しつつ、次に掲げる目標を達成するよう行われるものとする。

一 幅広い知識と教養を身に付け、真理を求める態度を養い、豊かな情操と道徳心を培うとともに、健やかな身体を養うこと。
二 個人の価値を尊重して、その能力を伸ばし、創造性を培い、自主及び自律の精神を養うとともに、職業及び生活との関連を重視し、勤労を重んずる態度を養うこと。
三 正義と責任、男女の平等、自他の敬愛と協力を重んずるとともに、公共の精神に基づき、主体的に社会の形成に参画し、その発展に寄与する態度を養うこと。
四 生命を尊び、自然を大切にし、環境の保全に寄与する態度を養うこと。
五 伝統と文化を尊重し、それらをはぐくんできた我が国と郷土を愛するとともに、他国を尊重し、国際社会の平和と発展に寄与する態度を養うこと。

学習指導要領改訂についてのこれまでの経緯

平成17年2月　学習指導要領の見直しに着手（大臣からの要請）
↓
平成18年12月　教育基本法改正
↓
平成19年6月　学校教育法改正
↓
平成19年11月7日　中央教育審議会教育課程部会「審議のまとめ」
広く国民から意見募集(11/8～12/7)
関係団体からヒアリング
↓
平成20年1月17日　中央教育審議会「答申」
↓
平成20年2月15日　小・中学校学習指導要領（文部科学省告示）改訂案公表
広く国民から意見募集(2/15～3/16)
↓
平成20年3月28日　小・中学校学習指導要領（文部科学省告示）改訂
高等学校学習指導要領改訂に向け準備中

学校教育法

第二十一条 義務教育として行われる普通教育は、教育基本法……

一 学校内外における社会的活動を促進し、自主、自律及び協同の精神、規範意識、公正な判断力並びに公共の精神に基づき主体的に社会の形成に参画し、その発展に寄与する態度を養うこと。

二 学校内外における自然体験活動を促進し、生命及び自然を尊重する精神並びに環境の保全に寄与する態度を養うこと。

三 我が国と郷土の現状と歴史について、正しい理解に導き、伝統と文化を尊重し、それらをはぐくんできた我が国と郷土を愛する態度を養うとともに、進んで外国の文化の理解を通じて、他国を尊重し、国際社会の平和と発展に寄与する態度を養うこと。

六 生活に必要な数量的な関係を正しく理解し、処理する基礎的な能力を養うこと。

七 生活にかかわる自然現象について、観察及び実験を通じて、科学的に理解し、処理する基礎的な能力を養うこと。

学習指導要領改訂の基本的な考え方

- 改正教育基本法等を踏まえた学習指導要領改訂
- 「生きる力」という理念の共有
- 基礎的・基本的な知識・技能の習得
- 思考力・判断力・表現力等の育成
- 確かな学力を確立するための必要な時間数の確保
- 学習意欲の向上や学習習慣の確立
- 豊かな心や健やかな体の育成のための指導の充実

教育内容に関する主な改善事項

- ○ 言語活動の充実
- ○ 理数教育の充実
- ○ 伝統・文化に関する教育の充実
- ○ 道徳教育の充実
- ○ 体験活動の充実
- ○ 小学校段階における外国語活動（仮称）
- ○ 社会の変化への対応の観点から教科等を横断して改善すべき事項

情報教育，環境教育，ものづくり，キャリア教育，食育，安全教育など

「理科」改訂の基本的な考え方

理科改訂の基本的な考え方（続き）

□ 科学への関心を高め，科学を学ぶ意義や有用性を実感させる

（課題）生徒が科学を学ぶ意義や有用性を実感していない

・日常生活や社会との関連を重視

科学技術が日常生活や社会を豊かにしていることや安全性の向上に役立っていること，理科で学習することが様々な職業などと関係していることなど

□ 科学的な体験，自然体験の充実を図ること

（課題）自然体験などの不足

・観察，実験の充実

・原理や法則の理解を深めるためのものづくり

・継続的な観察や季節を変えての定点観測など

・科学的な体験や自然体験の充実を図ることを配慮

＊ 体験の重視　＊ 豊かな感性　＊ 実社会に生きる

理科教育における課題

- 子どもの理科の学習に対する意識の問題
- 国民の科学に対する関心が低いこと
- 子どもの自然体験などの不足
- 基礎的な知識・理解
- 科学的な思考力や表現力

など

小学校「理科」の目標

自然に親しみ，見通しをもって観察，実験などを行い，問題解決の能力と自然を愛する心情を育てるとともに，自然の事物・現象についての実感を伴った理解を図り，科学的な見方や考え方を養う。

理科改訂の基本的な考え方

□ 科学に関する基本的概念の一層の定着

→ 科学的な見方や考え方，総合的なものの見方を育成

・科学の基本的な見方や概念を柱に，構造化，充実

・内容によりスパイラル構造に

・科学に関する基本的概念の一層の定着

・小学校との接続，国際的な通用性，内容の系統性の確保等

□ 科学的な思考力・表現力の育成

・科学的に探究する学習活動を一層重視

・見通しや目的意識をもった主体的で意欲的な観察，実験

・観察，実験の結果を分析して解釈する学習活動，科学的な概念を使用して考えたり説明したりする学習活動等を充実

＊ 習得と活用，探究……相互に関連し合って力を伸ばす。

＊ 言語力の育成

＊ 理数の授業時数増

中学校「理科」の目標

自然の事物・現象に進んでかかわり，目的意識をもって観察，実験などを行い，科学的に探究する能力の基礎と態度を育てるとともに自然の事物・現象についての理解を深め，科学的な見方や考え方を養う。

中学校「理科」第1分野の目標

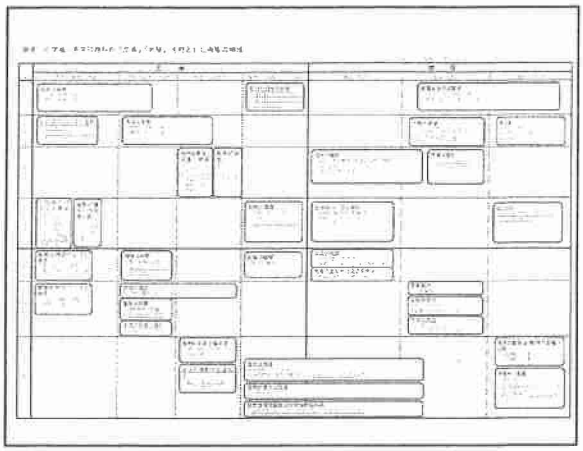
(1) 物質やエネルギーに関する事物・現象に進んでかかわり，その中に問題を見いだし意欲的に探究する活動を通して，規則性を発見したり課題を解決したりする方法を習得させる。

(2) 物理的な事物・現象についての観察，実験を行い，観察・実験技能を習得させ，観察，実験の結果を分析して解釈し表現する能力を育てるとともに，身近な物理現象，電流とその利用，運動とエネルギーなどについて理解させ，これらの事物・現象に対する科学的な見方や考え方を養う。

(3) 化学的な事物・現象についての観察，実験を行い，観察・実験技能を習得させ，観察，実験の結果を分析して解釈し表現する能力を育てるとともに，身の回りの物質，化学変化と原子・分子，化学変化とイオンなどについて理解させ，これらの事物・現象に対する科学的な見方や考え方を養う。

(4) 物質やエネルギーに関する事物・現象を調べる活動を行い，これらの活動を通して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，科学的に考える態度を養うとともに，自然を総合的に見ることができるようにする。

→ 意思決定



中学校「理科」第2分野の目標

(1) 生物とそれを取り巻く自然の事物・現象に進んでかかわり，その中に問題を見いだし意欲的に探究する活動を通して，多様性や規則性を発見したり課題を解決したりする方法を習得させる。

(2) 生物や生物現象についての観察，実験を行い，観察・実験技能を習得させ，観察，実験の結果を分析して解釈し表現する能力を育てるとともに，生物の生活と種類，生命の連続性などについて理解させ，これらの事物・現象に対する科学的な見方や考え方を養う。

(3) 地学的な事物・現象についての観察，実験を行い，観察・実験技能を習得させ，観察，実験の結果を分析して解釈し表現する能力を育てるとともに，大地の成り立ちと変化，気象とその変化，地球と宇宙などについて理解させ，これらの事物・現象に対する科学的な見方や考え方を養う。

(4) 生物とそれを取り巻く自然の事物・現象を調べる活動を行い，これらの活動を通して生命を尊重し，自然環境の保全に寄与する態度を育て，自然を総合的に見ることができるようにする。

→ 意思決定

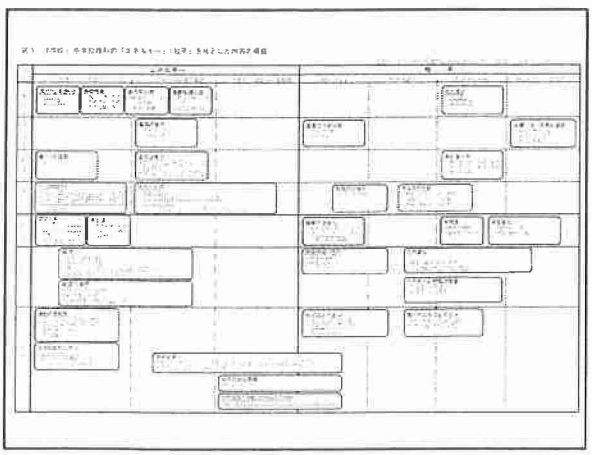
指導計画の作成と内容の取扱い（中学校の主な変更点）

- 問題を見いだし観察，実験を計画する学習活動
- 観察，実験の結果を分析し解釈する学習活動
- 科学的な概念を使用して考えたり説明したりするなどの学習活動

- 原理や法則の理解を深めるためのものづくり
- 継続的な観察や季節を変えての定点観測

- 博物館や科学学習センターなどと積極的に連携，協力

- 科学技術が日常生活や社会を豊かにしていることや安全性の向上に役立っていることに触れること。
- 理科で学習することが様々な職業などと関係していることにも触れること。



高等学校理科の科目構成

	単位	
□ 科学と人間生活	2	科学技術が人間生活を豊かにしてきたことなどについて、身近な事物・現象に関する観察・実験などを通して理解させ、興味・関心を高める新たな科目。
□ 物理基礎	2	
□ 化学基礎	2	
□ 生物基礎	2	
□ 地学基礎	2	
□ 物理	4	より基本的な内容で構成し、観察・実験、探究活動などを行い、基本的な概念や探究方法を学習する科目。日常生活や社会との関連を重視。
□ 化学	4	
□ 生物	4	
□ 地学	4	
□ 理科課題研究	1	

必履修科目について
「科学と人間生活」と基礎を付した科目1科目を含む2科目
又は
基礎を付した科目を3科目

今後の見通し

○ 高等学校指導要領改訂（告示）

○ 移行措置「理科」

・小学校 21・22年度（新指導要領の理科の時数に）

現行 70,90,95,95時間 → 90,105,105,105時間

・中学校 21から23年度

中学校理科 移行期間の授業時数

	第1学年	第2学年	第3学年
現行の課程	105	105	80
平成21年度	105	105	105
平成22年度	105	140	105
平成23年度	105	140	140

○ 完全実施の時期

小学校　平成23年度
中学校　平成24年度
高等学校　平成25年度から（予定）

国連持続可能な開発のための教育（ESD）について

- 持続可能な開発（SD、Sustainable Development）とは、1987年に、「環境と開発に関する世界委員会」により、「将来の世代のニーズを満たす能力を損なうことなく、現在の世代のニーズを満たすような開発」として提案された。
- これは、すべての人が公平に、健康で文化的な生活を営むために必要な開発を世界が協調して取り組み、かつ、その開発を資源の有限性、自然の回復力を意識した節度あるものとし、将来世代へと持続する社会づくりとするもの。
- 世代間の公平、地域間の公平、男女間の公平、社会的寛容、貧困削減、環境の保全と回復、天然資源の保全、公正で平和な社会などが持続可能性の基礎となる。
- すなわち、環境の保全、経済の開発、社会の発展を調和の下に進めていくことが持続可能な開発である。
- この持続可能な開発のために教育が極めて重要な役割を担うことから、国連において、2005年からの10年間を「国連持続可能な開発のための教育の10年」（ESD、Education for Sustainable Development）としたい。

「理科」の学習で目指すもの

- 科学的な見方や概念の定着
- 科学的な思考力・表現力の育成
- 実社会に生きる・・・・・・活用，意思決定
- 自然体験等を通じて・・・・・・豊かな感性

環境教育の推進方策についての取組の方向
イ 環境教育の内容

- 「人間と環境との関わりに関するもの」
  「環境に関連する人間と人間の関わりに関するもの」
  その両方を学ぶこと。
- 環境に関わる問題を客観的かつ公平な態度でとらえること
- 豊かな環境とその恵みを大切に思う心をはぐくむこと。
- いのちの大切さを学ぶこと。

環境教育指導資料[小学校編]第1章
（国立教育政策研究所）より

教育基本法（抜粋）（平成十八年十二月二十二日法律第百二十号）

（教育の目標）
第二条 教育は、その目的を実現するため、学問の自由を尊重しつつ、次に掲げる目標を達成するよう行われるものとする。
四 生命を尊び、自然を大切にし、環境の保全に寄与する態度を養うこと。

学校教育法（抜粋）（平成一九年六月二七日法律第九八号）

第二章 義務教育
第二十一条 義務教育として行われる普通教育は、教育基本法（平成十八年法律第百二十号）第五条第二項に規定する目的を実現するまた、次の掲げる目標を達成するよう行われるものとする。
二 学校内外における自然体験活動を促進し、生命及び自然を尊重する精神ならびに環境の保全に寄与する態度を養うこと。

これからのエネルギー・環境・放射線教育

各教科、道徳、特別活動及び総合的な学習の時間それぞれの特質等に応じ、環境に関する学習が行われるようにする必要がある。

（例）
・社会科、地理歴史科、公民科において、環境、資源・エネルギー問題などの現代社会の諸課題についての学習の充実。
・理科において、野外での発見や気付きを学習に生かす自然観察や、「科学技術と人間」や「自然と人間」についての学習の充実。
・家庭科、技術・家庭科において、資源や環境に配慮したライフスタイルの確立、技術と社会・環境とのかかわりに関する内容の改善・充実を図ることなどを行う。

平成20年1月 中央教育審議会 答申
社会の変化への対応の観点から教科等を横断して改善すべき事項（環境教育）より

学習指導要領における主な内容の比較（小学校）

		改訂（平成20年告示）	現行（平成10年告示）
小学校	社会科	（3・4学年） ○飲料水，電気，ガスの確保 ○飲水や燃電などの資源の有効な利用 （5学年） ○我が国の工業生産が国民生活を支える重要な役割を果たしていること 貿易の働き	（3・4学年） ○飲料水，電気，ガスの確保 （新設） （5学年） ○我が国の工業生産が国民生活を支える重要な役割を果たしていること 貿易の働き
	理科	（第3学年） ○電気を通すつなぎ方や電気を通す物 （第4学年） ○乾電池や光電池の働き，電気の働き （第6学年） ○電気の利用の仕方，電気の性質や働き【22年度】	（第3学年） ○電気を通すつなぎ方や電気を通す物 （第4学年） ○乾電池や光電池の働き 電気の働き （新設）

※ ＿＿は平成20年告示において充実した内容
※ 現行(10年告示)の小・中学校の実施年度は，平成14年度から全面実施。
※ 改訂(20年告示)の実施年度は，小学校は23年度から，中学校は24年度から全面実施。
※【 】内の年度は，移行措置期間から実施する年度

これまでの経緯と今後の予定

- 平成20年3月28日
  幼稚園教育要領、小・中学校学習指導要領等（文部科学省告示）改訂
- 平成20年6月13日　移行措置告示
- 平成20年度の周知・研修・補助教材の検討を経て、
  - 幼稚園は平成21年度から全面実施
  - 小・中学校は平成21年度からできるものについて先行して実施
- 小学校では平成23年度、中学校では平成24年度から新学習指導要領全面実施
  - 高等学校、特別支援学校学習指導要領等については，本年中を目途に改訂予定

学習指導要領における主な内容の比較（中学校）

		改訂（平成20年告示）	現行（平成10年告示）
中学校	社会科	（地理的分野） ○エネルギーに関する課題 （公民的分野） ○資源・エネルギーなどの課題解決のための経済的，技術的な協力の大切さ ○持続可能な社会の形成の観点から解決すべき課題の探求	（地理的分野） ○エネルギーに関する課題 （公民的分野） ○資源・エネルギー問題について課題学習 （新設）
	理科	（第1分野） ○日常生活や社会における様々なエネルギー変換の利用【23年度】 ○人間は，水力，火力，原子力などからエネルギーを得ていること，エネルギーの有効利用の大切さ ○放射線の性質と利用【23年度】 （第1分野，第2分野） ○自然環境の保全と科学技術の利用の在り方について科学的に考察（必修）【23年度】 ○持続可能な社会をつくることの重要性の認識（必修）【23年度】	（第1分野） （新設） ○人間が利用しているエネルギーには水力，火力，原子力など様々あること，エネルギーの有効利用の大切さ （新設） ○環境との調和を図った科学技術の発展の必要性（2分野「自然と人間」との選択）
	技術・家庭科	（技術分野） ○技術の進展が資源やエネルギーの有効利用に貢献 ○エネルギー変換に関する技術を利用した設計・製作（必修）	（技術分野） ○技術の進歩がエネルギーや資源の有効利用に貢献 ○エネルギーの変換を利用した設計・製作（選択）

※ ＿＿は平成20年告示において充実した内容
※ 現行(10年告示)の小・中学校の実施年度は，平成14年度から全面実施。
※ 改訂(20年告示)の実施年度は，小学校は23年度から，中学校は24年度から全面実施。
※【 】内の年度は，移行措置期間から実施する年度

（参考）
文部科学省　新しい学習指導要領

http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/index.htm

指導要領解説，移行措置などの情報が得られます。

学習指導要領の改訂に伴う移行措置の概要

平成20年度中に周知徹底、平成21年度から可能なものは先行して実施

○ **総則や道徳等は直ちに先行実施**
- ◇ 直ちに実施可能な、学習指導要領の総則や、道徳、総合的な学習の時間、特別活動については、平成21年度から新しい学習指導要領の規定を先行実施

○ **算数・数学及び理科は教材を整備して先行実施**
- ◇ 算数・数学及び理科については、新課程に円滑に移行できるよう、移行措置期間中から、新課程の内容の一部を前倒しして実施（授業時数の増加も前倒し実施）
- ◇ これに伴い、小学校では、総授業時数を各学年で週1コマ増加
  （中学校は、選択教科等の授業時数を削減するため、総授業時数は変更なし）
- ◇ 新課程の前倒しに伴い、現在の教科書には記載がない事項を指導する際に必要となる教材については、国の責任において作成・配布（具体的方策は検討中）

○ **他の各教科等（学校の判断で先行実施）**
（1）各教科（算数・数学及び理科を除く）
- ◇ 各教科（算数・数学及び理科を除く）は、学校の判断により、新学習指導要領によることも可能とする
- ◇ 但し、以下のものについては、全ての学校で先行実施
  - 地図帳で指導可能な「47都道府県の名称と位置」等の指導（小学校）
  - 音楽の共通歌唱教材として指導する曲数の充実等（小・中学校）
  - 体育の授業時数の増加（小学校低学年）

（2）小学校における外国語活動
- ◇ 第5・6学年における外国語活動は、各学校の裁量により授業時数を定めて実施することが可能
  （各学年で週1コマまでは、総合的な学習の時間の授業時数を充てることが可能）

END

図１　小学校・中学校理科の「エネルギー」「粒子」を柱とした内容の構成

実線は，新規項目。破線は，移行項目。☆印は，選択から必修とする項目。

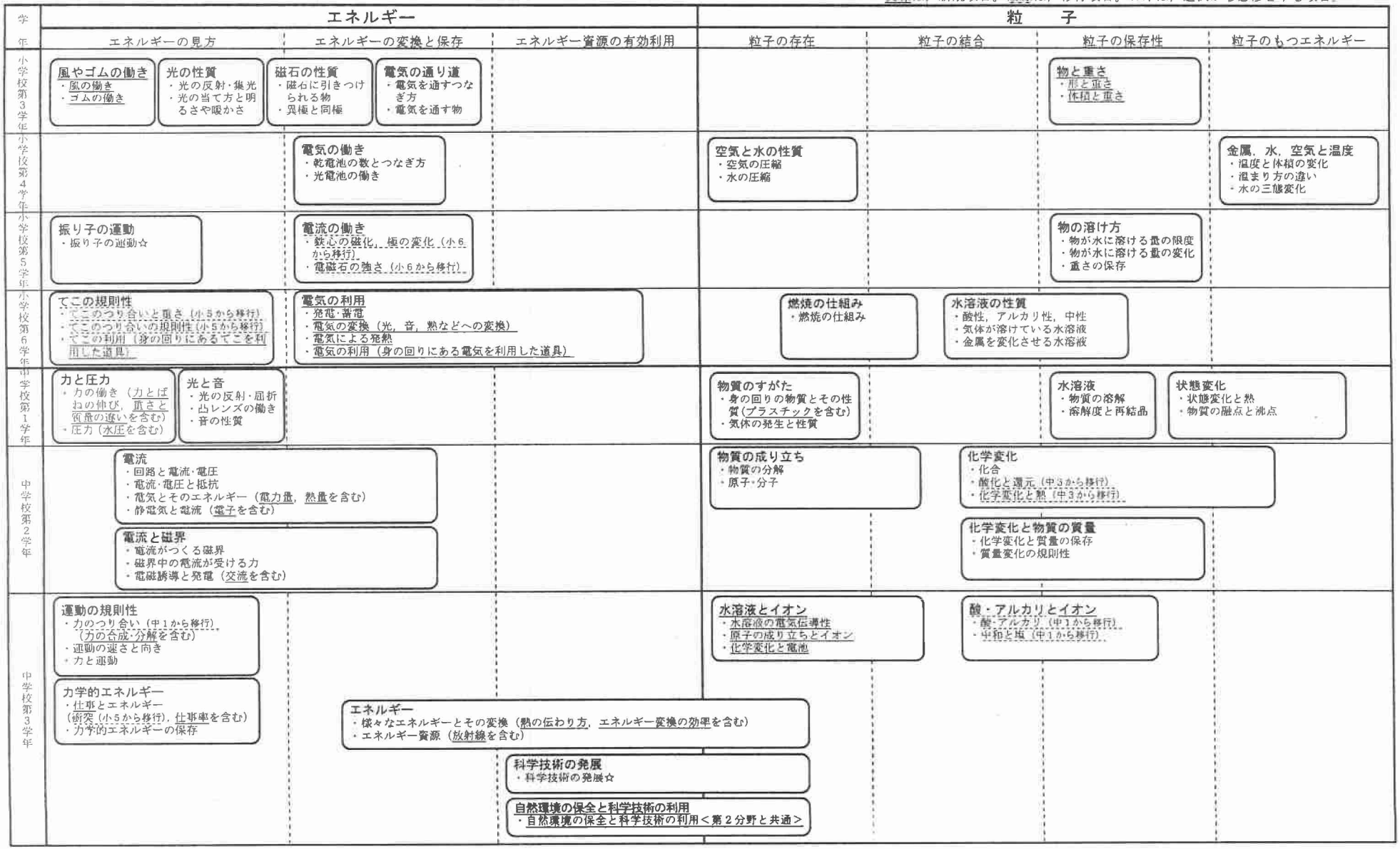
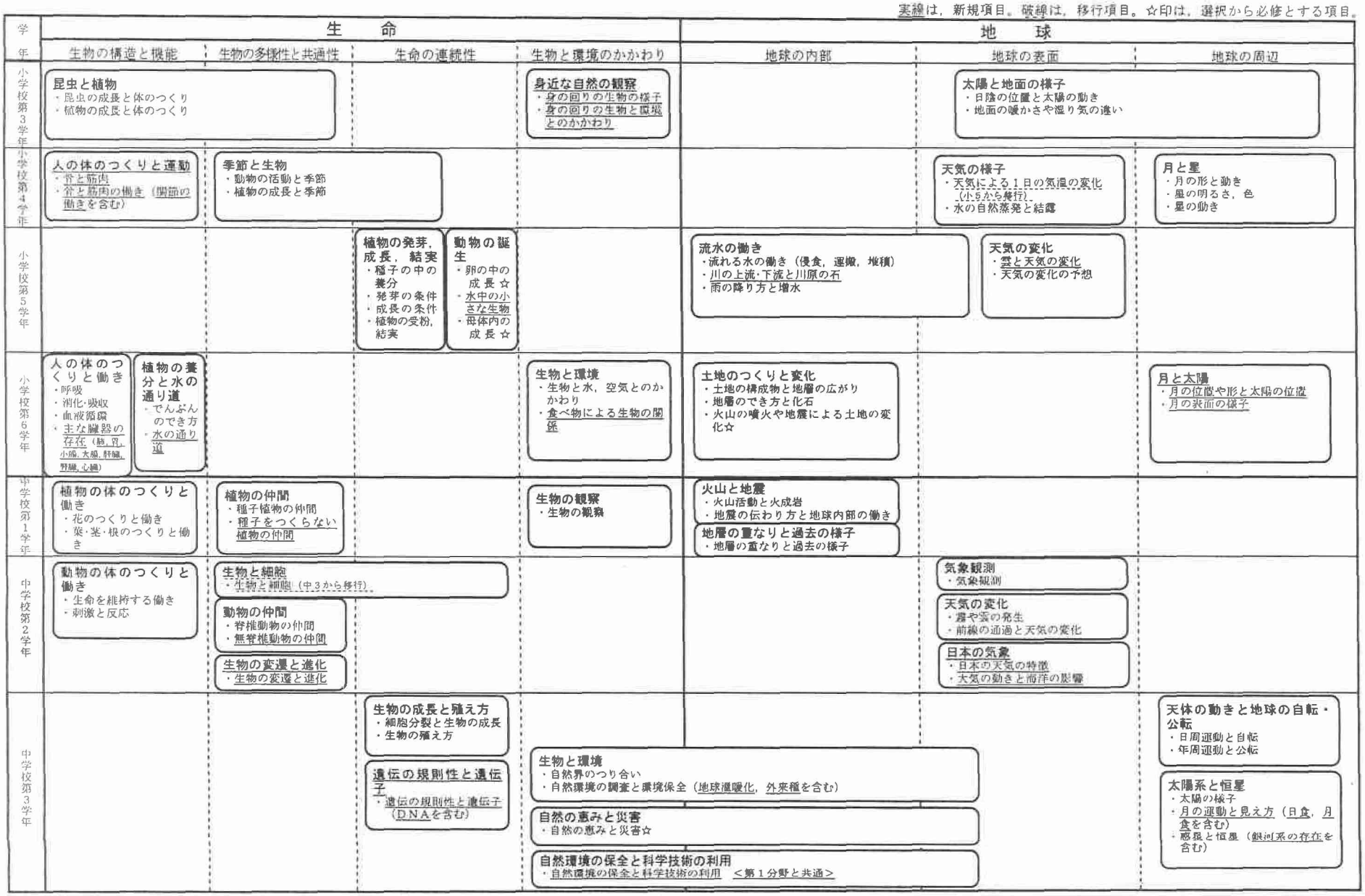


図２　小学校・中学校理科の「生命」「地球」を柱とした内容の構成

実線は，新規項目。破線は，移行項目。☆印は，選択から必修とする項目。



放射線・放射能の基礎

学校における放射線に関する学習指導の手引き

2009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―

目　次

第１部　放射線・放射能の基礎

１．はじめに――本資料作成の趣旨など……1
２．放射線・放射能の基礎……2
　２－１　大きい世界、小さい世界を眺めて見よう……2
　２－２　原子と分子、原子核と軌道電子……3
　２－３　原子核の構造と安定性……4
　２－４　放射性同位体と半減期……5
　２－５　核分裂……6
　２－６　原子炉と原子力発電……7
３．日常生活と放射線……8
４．放射線の性質……11
５．放射線の利用……12
６．放射線の人体への影響……14
　６－１　放射線が安全か安全でないかは量で決まる……14
　６－２　高線量放射線の影響……15
　６－３　低線量・低線量率放射線の影響……16
　６－４　身体と放射線……17
７．放射線の防護－放射線はどのように防ぐか……18
８．放射線実験……20
９．おわりに――エネルギー原子力・放射線に関する教育について……27
１０．参考文献……28

第２部　「放射線の性質と利用」の学習指導について

１．はじめに……29
２．中学校理科の学習指導要領における放射線の利用の位置づけ……29
３．放射線の性質の学習について……30
４．放射線の利用の学習について……32
５．放射線源としての加速器について……38
６．放射線の利用に関する探究活動について……38
７．放射線学習全体のなかでの位置づけ……39
８．参考文献……40

第1部　放射線・放射能の基礎

1．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20年公布）、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、核燃料は放射線を出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。」というように新たに教えるべき「放射線の性質と利用」について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、実際に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。

本資料作成に当たっては、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、教員自身が基本的知識として興味を持っ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。中学校ではここに記載されている全項目について授業で取り上げることは到底無理と思えるが、教員の方々におかれては、ご自身の興味と重要度に関するご判断に応じて、自由に取り扱っていただくことを期待する。また、多少無理にページ数を圧縮している所もあるので、説明不足で理解しにくい箇所をご指摘いただきたい。

教育関係者のお話では、最近は学習指導要領の「縛り」は緩和され、全員に学ばせるべき基本的・一般的事項に加えて、「発展的学習」として多少高度な内容のことを関心の高い生徒に学ばせることも奨励されるとのことであるので、この資料のうち少し程度が高いと思われる項目はそのような取り扱いにしていただくことはもちろん結構なことである。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この環境に自然放射線があることを実感させることが、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、教育上極めて重要である。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。

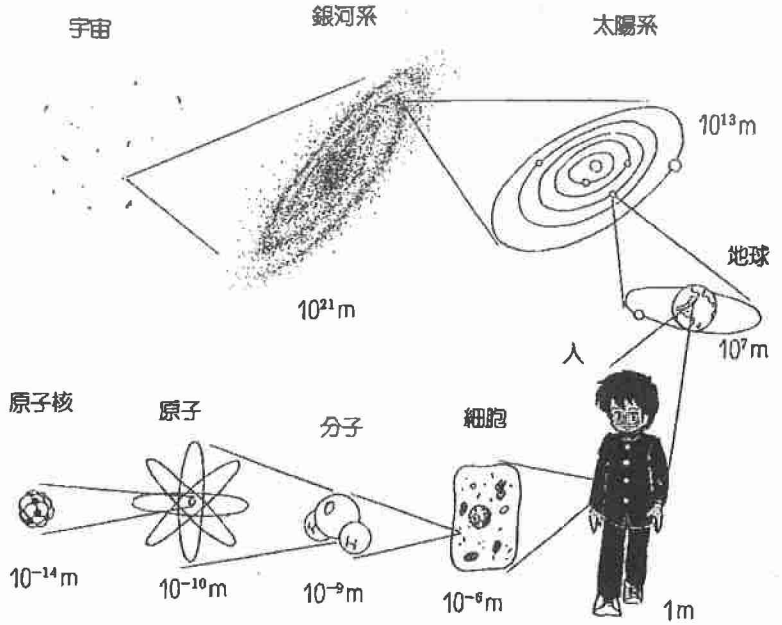
本資料は 2008 年度に交付された研究費で急いで作成した試作版である。これを基にしてわれわれは 2009 年度中に標準的な中学校用指導資料を作成する予定である。さらに高等学校用及び小学校用試作版も作成したいと考えている。本資料の読者におかれては、この資料を利用して早めに教室で実践を行っていただき、その結果を今後の標準的資料の作成に役立てたいので、ご協力を心から希望する。また、われわれ NPO 法人放射線教育フォーラムのメンバーには放射線教育のベテランが少なくなく、編集責任者自身も最近中学校で教壇に立つ機会を与えていただいて放射線の話を行った実績もあるので、このような「出前授業」を行ってもらいたいとの要望があれば、できるだけ応えていきたいと考えていることを付記する。

2009年3月　　放射線教育指導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

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。



アルファ線、ベータ線、ガンマ線は、実は、原子よりもさらに小さいところ、すなわち原子核の中で誕生するのです。
このことを以下に説明していきましょう。

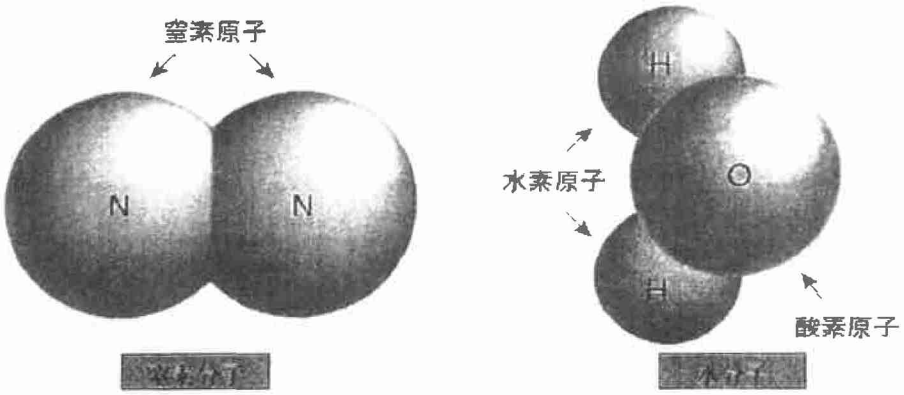
倍数	記号	読み	倍数	記号	読み
10^{18}	E	エクサ	10^{-1}	d	デシ
10^{15}	P	ペタ	10^{-2}	c	センチ
10^{12}	T	テラ	10^{-3}	m	ミリ
10^{9}	G	ギガ	10^{-6}	μ	マイクロ
10^{6}	M	メガ	10^{-9}	n	ナノ
10^{3}	k	キロ	10^{-12}	p	ピコ
10^{2}	h	ヘクト	10^{-15}	f	フェムト
10^{1}	da	デカ	10^{-18}	a	アト

（指導のポイント）
（1）大きな数量・小さな数量の表し方について、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あること、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}）とか、補助的な記号をおもな単位の記号に付けて表す方法もあるということを理解すること。
（2）自然科学の事物や現象の理解のためには、何事も、数量的に理解することが大切。

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、[redacted]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。



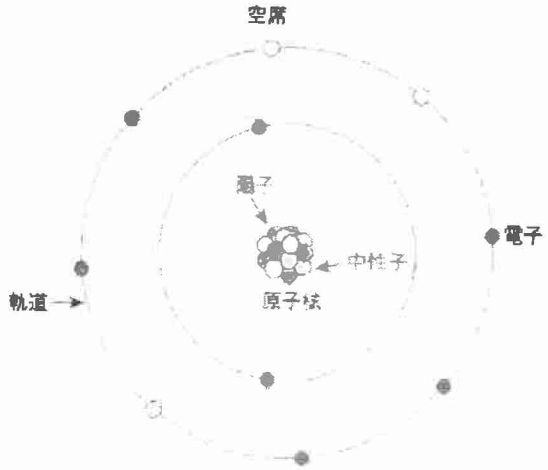
このように、[redacted]で成り立っています。ただ１個の原子のみで構成される分子もあれば、遺伝をつかさどる分子として知られるDNA（デオキシリボ核酸）のように数十万個以上の原子が鎖のようにつながったものもあります。

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（プラスイオン）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。この状態をマイナスイオンといいます。



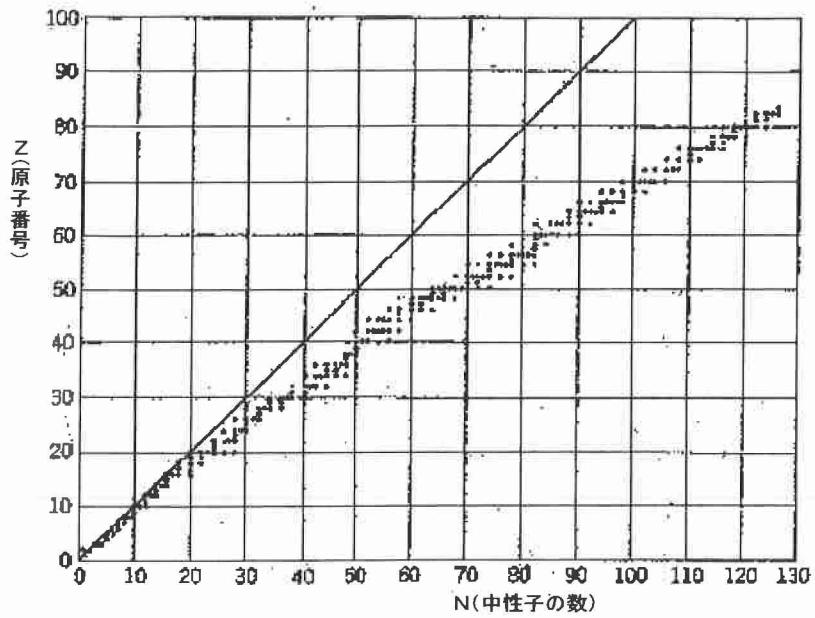
窒素原子の模式図

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。

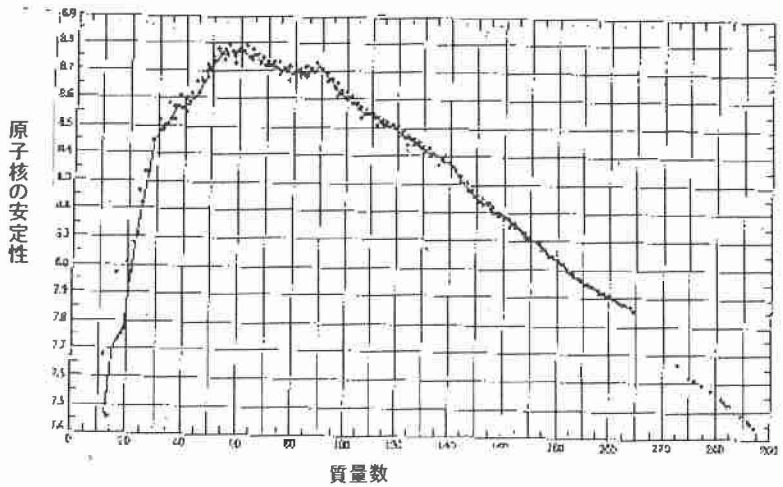
2 - 3　原子核の構造と安定性

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。

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。

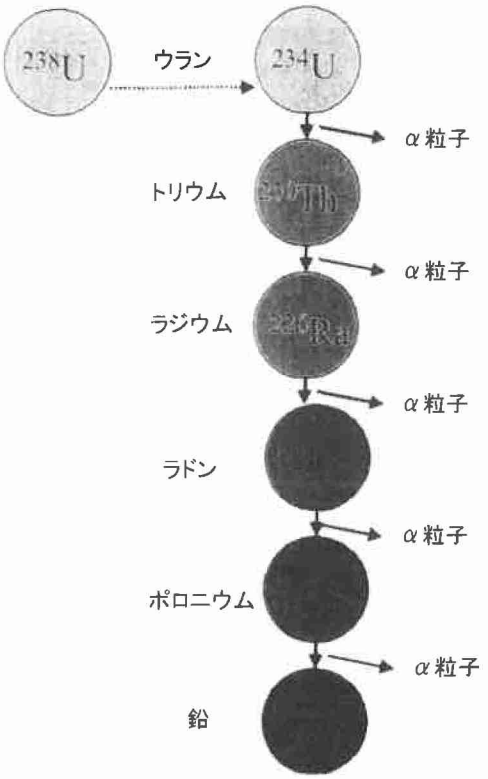
α壊変　原子核の中の陽子数があまり大きくなると、中性子を増やしても原子核はもはや安定に存在できなくなります。そのときどうなるかというと、原子核から一塊りの粒子を放出して原子核の大きさを少しでも小さくします。この場合普通２個の陽子と２個の中性子が一緒になったヘリウムの原子核の形で放出します。この現象がα壊変で、放出される放射線がα線、すなわちヘリウム原子核の流れです。（その結果、元の原子核の質量数は４だけ減少し、原子番号が２だけ減少した別の元素になります。）

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。

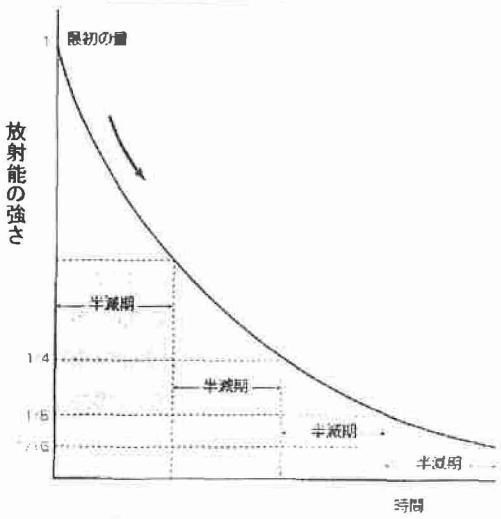
(壊変系列)　放射性壊変が一度だけで完全に核を安定化することはまれで、重い原子核は何度もα壊変（及びβ壊変）を繰り返して最終的に安定になります。これを壊変系列といい、ウラン系列を右上の図に示します。このウラン系列のほかにアクチニウム系列、トリウム系列、ネプツニウム系列があります。

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



ウランの壊変系列

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

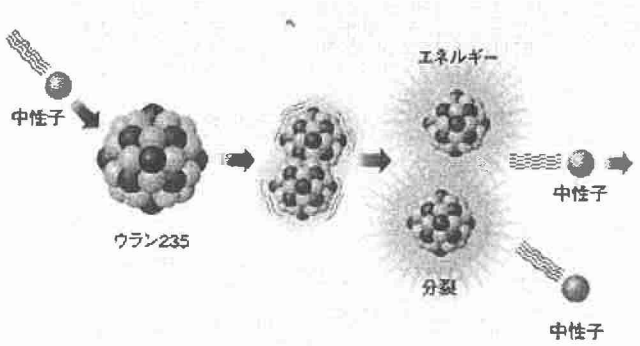


放射能の減り方

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

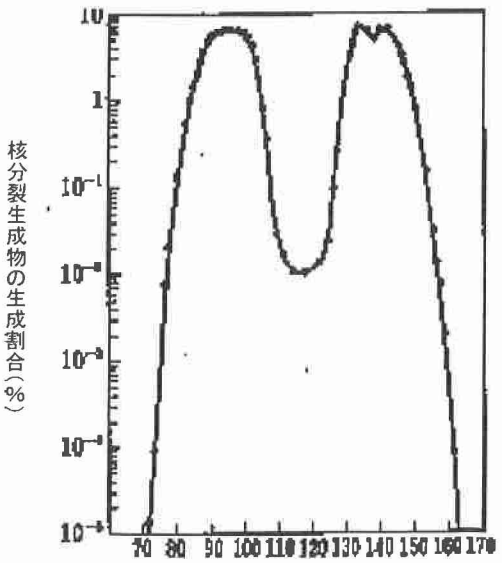
高校生のための原子力ブック（茨城県）

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。

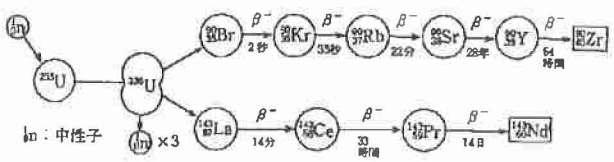
核分裂の際に大きなエネルギーが発生します。これはすぐ熱エネルギーに変わります。原子力発電ではこの熱を利用して水蒸気を作り電気を作ります。

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。

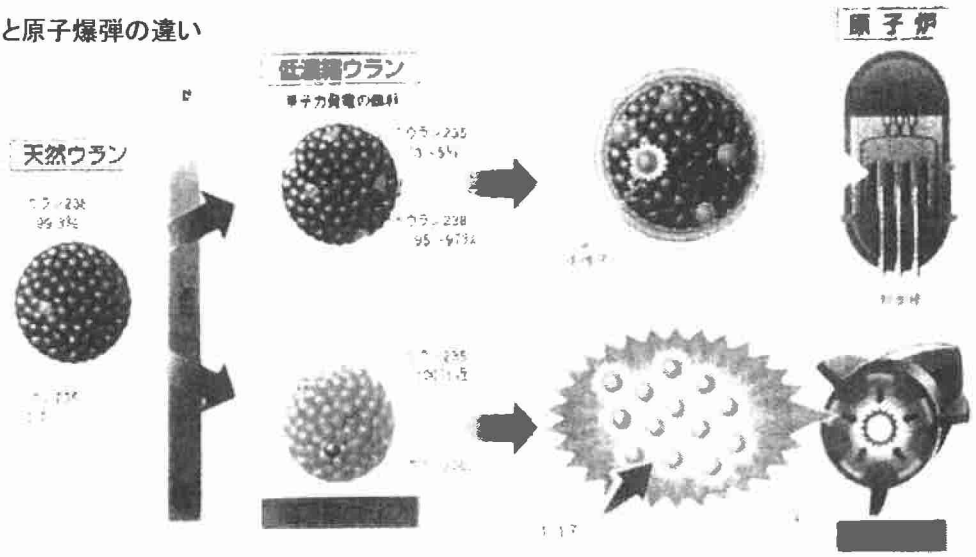
②　原子力発電の仕組み　原子力発電の仕組みは、基本的には火力発電と変わりません。火力発電では、ボイラーで石油や石炭などを燃やし、その熱で蒸気をつくりタービンを回して発電します。原子力発電の場合は、ボイラーの代わりに原子炉を置き、この中でウランを核分裂させ、そのときに発生する熱エネルギーで蒸気をつくり、タービンを回して発電します。

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。

原子力発電と原子爆弾の違い

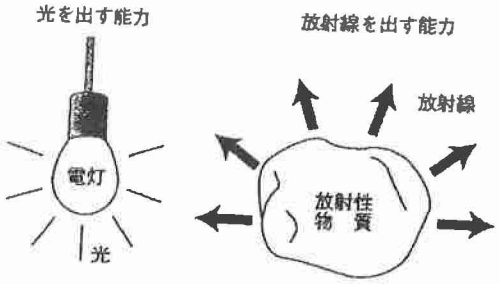


高校生のための原子力ブック（茨城県）

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、それは放射能砂割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・性質のことですが、今では放射能の性質を持った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

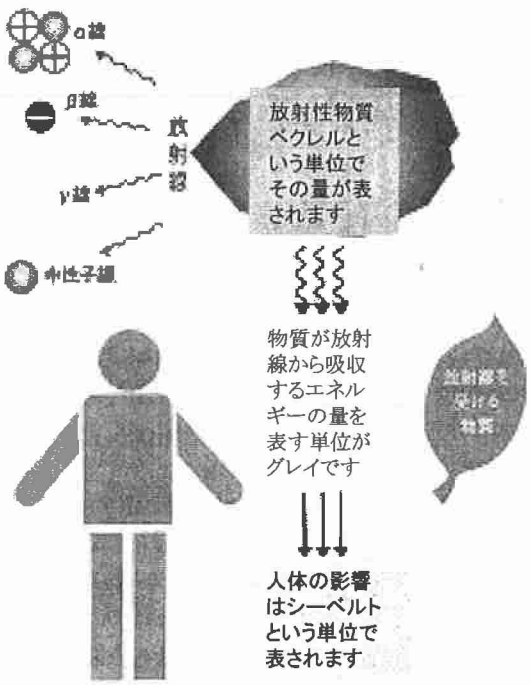
放射線の仲間（放射線の影響がわかる本ー放影協）

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。



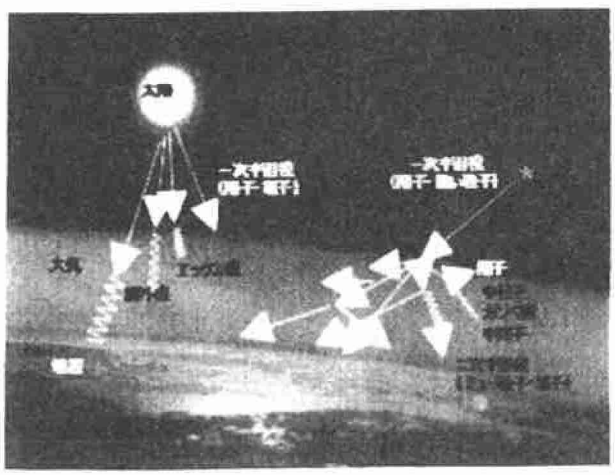
放射線の世界2008（原文振）

3 - 2　自然放射線

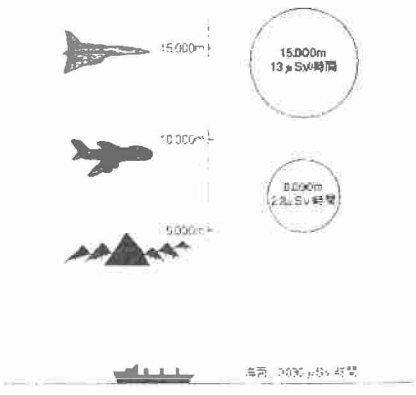
放射性物質は、われわれ人類誕生の時にはすでに地球上に存在しており、われわれ人類は放射線を全身に受け続けてきました。自然界に存在する放射線を自然放射線といいます。それにはいろいろな発生源があり、空から降り注ぐ宇宙線をはじめ、大地からでる放射線、食物の中に含まれる放射性物質からの放射線があり、されには空気中にもラドンなどに起因する放射性物質があり、私たちがこうして自然界から年間 2.4 シーベルトの放射線を受けています。

（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―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。

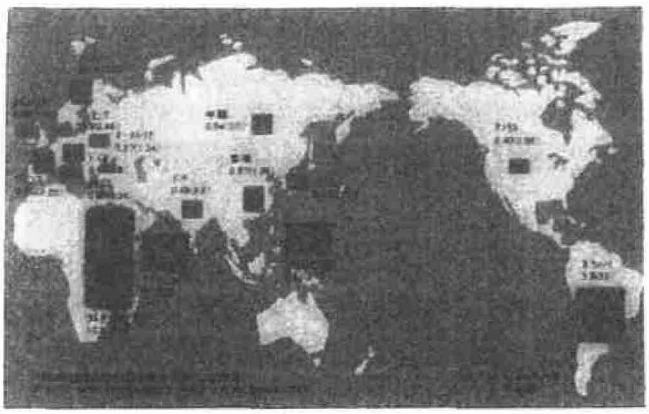
世界的には、大地だけからの線量は平均値で 0.50mGy／年、日本の平均値は 0.43mGy／年（最高値 1.20mGy／年）ですが、ブラジルのガラパリでは平均値 5.5mGy／年、インドのケララでは平均値 3.8mGy／年、というふうに、日本の数倍から数十倍も高いところがあります。線量の高いはじめの 3 箇所はトリウムという放射性元素を含む砂が多く、イランのラムサールでは温泉の噴出でたまったラジウムが原因であることがわかっています。

● **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。

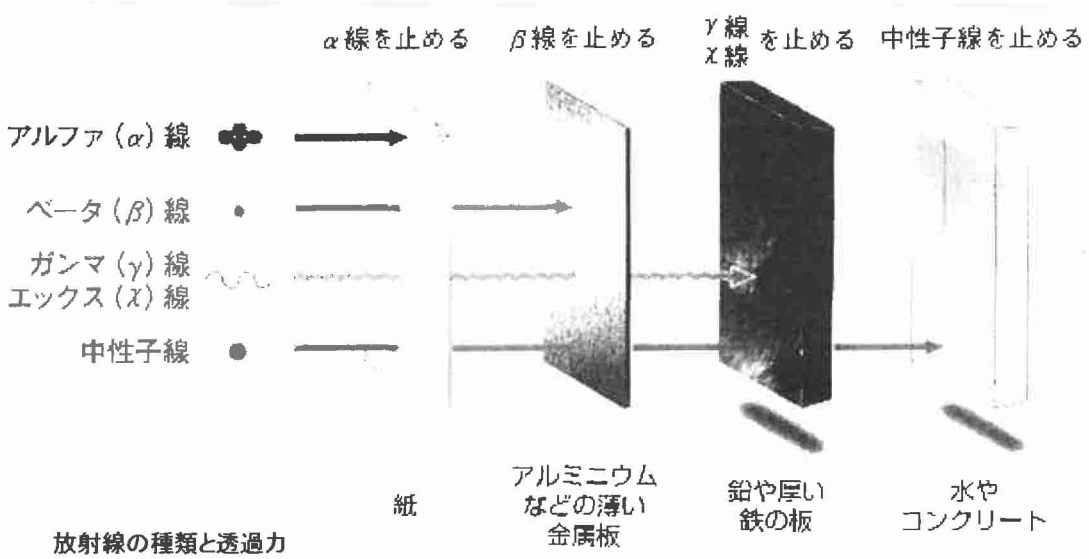
4．放射線の性質

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が、基本的に、放射線の特徴的な性質を利用しています。

5－1　医療への利用

医療への利用には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。

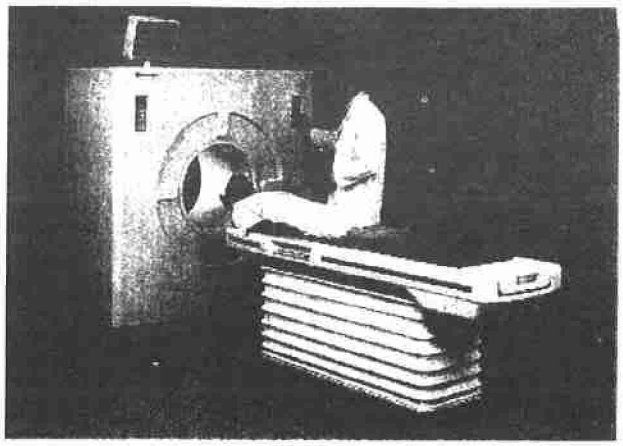
● **診断**

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ＣＴ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。



ポジトロン断層撮影装置PET（(株)島津製作所提供）

● **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

がん治療には、コバルト60等の放射性同位体により、放射線を体外から照射して行います。また、体内へがんに集まりやすい放射性同位体を取り込み、がん治療等を行っています。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。

5－2　工業計測への利用　（非破壊検査、液面計、厚み計など）

● **高機能をもった材料をつくる**

高分子系材料の加工処理　高分子材料に放射線を照射して、優れた性質や品質の製品に加工することができます。　例／照射電線被覆、自動車タイヤ、熱収縮材

半導体素子の製造　半導体素子の製造過程で複数回にわたる放射線照射を行い、製品に加工します。　例／ドーピング、微細加工、イオン注入

● **放射線滅菌**

医療用器具滅菌　医療に使用する注射器、手術用メス、輸液セット等の滅菌に利用されています。

● **工業計測**

検出器　紙や鉄の厚さの測定、オイルタンク等の液位計などのセンサーとして利用されています。

非破壊検査　金属の溶接部、圧力容器の見えない傷の検査、配管内部の様子の検査に利用します。

5－3　**製造業への利用**　（自動車タイヤ、耐熱被覆電線、発泡ポリエチレン、医療用具の滅菌、半導体部品の製造など）

5－4　**環境問題への利用**　（排煙処理、有害化学物質の処理、有害物捕捉材など）

● **環境浄化**

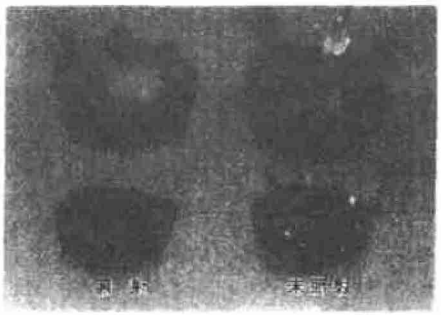
排煙等の処理　ごみ焼却炉からの排出ガス中にあり、発がん性のあるダイオキシンに放射線を照射し、分解・無害化して環境浄化をします。

● **有害物質測定**　有害物質に含まれる分析対象元素に放射能を持たせ（放射化）、その放射能を測定することによって元素分析を行う方法です。

5－5　**農業への利用**　（品種改良、食品照射、害虫駆除など）

● **食品照射**

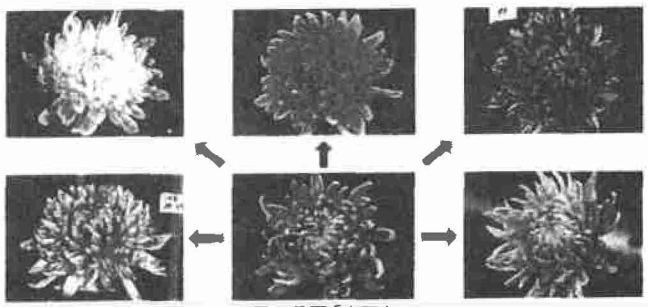
食品に放射線を照射し、発芽の防止、殺菌、滅菌等を行います。日本では、馬鈴薯の発芽防止だけが許可されていますが、海外では、その他の分野で多くの食品照射が行われています。



馬鈴薯と玉ねぎの発芽防止の様子
（日本原子力研究所提供）

● **品種改良**

植物等に放射線照射を行い、生ずる突然変異などを利用し、品種改良等を行っています。
例／菊、果樹などの品種改良



元の品種「大平」
品種改良の代表例（菊）放射線育種場提供

● **害虫駆除**

害虫の幼虫に放射線を照射し、不妊化したものをその生息域で放つことを繰り返して害虫を根絶します。　例／キュウリ、ナス等の野菜を食べるウリミバエの駆除

5－6　**市民生活への利用**　（煙探知器、蛍光灯スターター、蛍光塗料など）

蛍光灯グロースターター　蛍光灯のグロー中にある極微量の放射性物質が出す放射線の電離作用により、スイッチを入れるとすぐに放電が起こり、蛍光灯がすばやく点灯します。

煙探知器　煙感知器に流れる電流は、極微量の放射性物質が出す放射線の電離作用により一定していますが、煙が流れ込んだときは電流が減少するため、煙の発生を知ることができます。

以上のほか、放射性同位体が「トレーサー」として、生科学や医科学などの研究に、また実用に広く利用され、X線の利用や中性子放射化分析は文化財の保存や年代決定に役立っています。

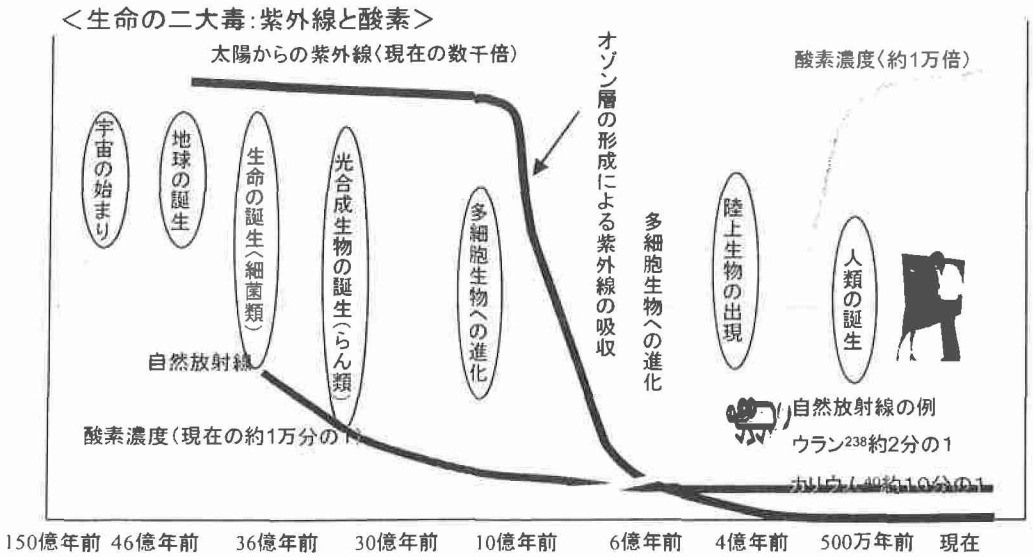
6．放射線の人体への影響

6－1　放射線が安全か安全でないかは量できまる

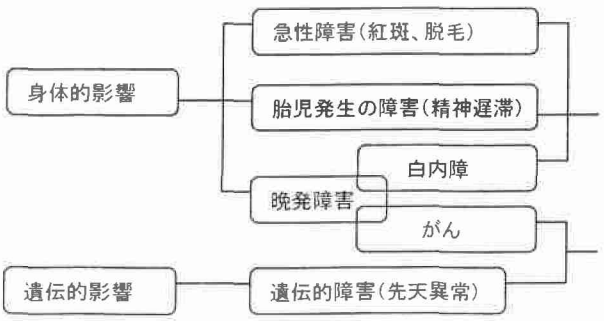
1999年9月に東海村のJCOのウラン加工工場で発生した臨界事故で2人の方が亡くなりました。この人たちは、私たちが日常1年間に受けている自然放射線量の約5千倍にあたる 10,000ミリシーベルトもの量を一瞬の間に受けたのです。これは原爆のときに爆心地におられた被災者と同じ状況でした。1年間に受ける自然放射線量の5千倍以上の量は致死量ですが、1千倍程度までは死亡する危険はなく、JCO 事故で亡くなった人から少し離れていて助かった方の被ばく量は、この程度であったといわれています。放射線が安全か安全でないかは、量で決まるのです。

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。



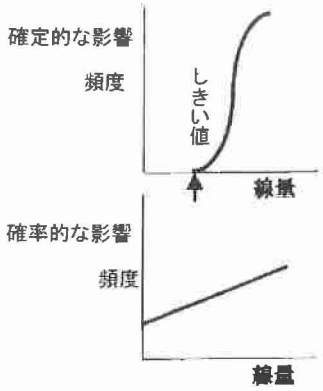
(図6-1)放射線とのお付き合いは大昔から



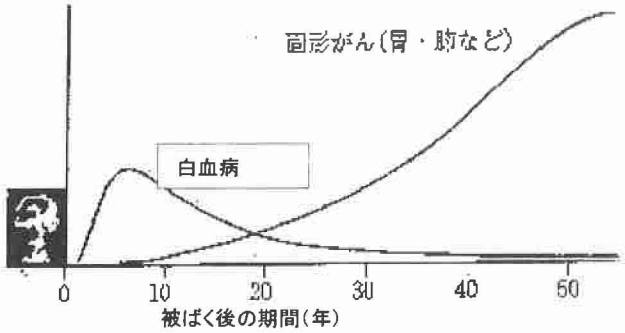
(図6-2)放射線の人体への影響の分類

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。身体的影響のうち、脱毛や白内障のように、ある程度以上の線量（これを「しきい値」といいます）を受けないと現れない確定的影響と、がんや白血病のように、少しの線量でも発生頻度が増加すると仮定する確率的影響に分類されます(図６－3)。また、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。

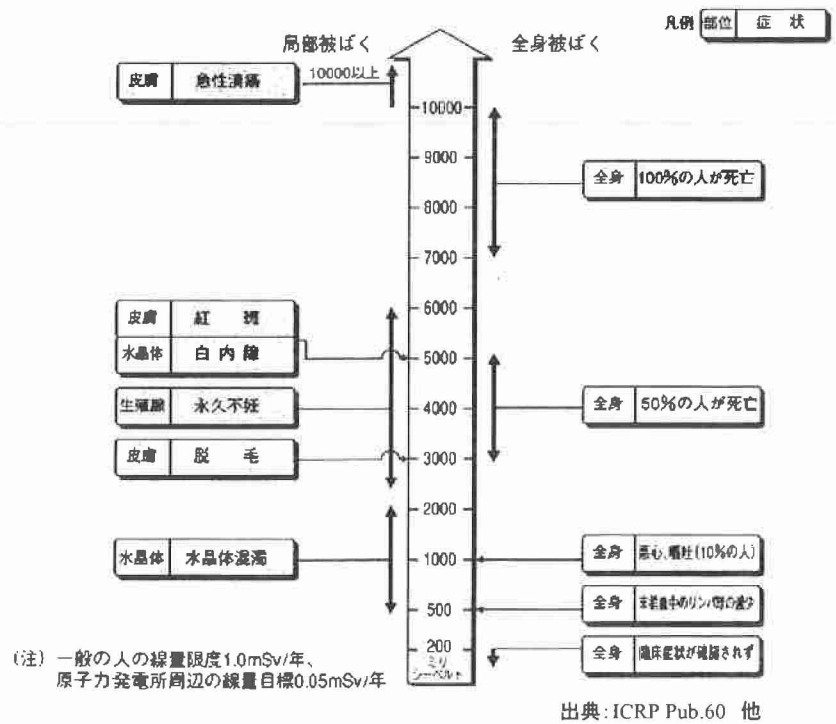


(図6-3)しきい値について



(図6-5)被爆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 6-4)。



出典：ICRP Pub.60　他

(図6-4)短時間に多量の放射線を受けた場合の障害

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 6-5)。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。

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。

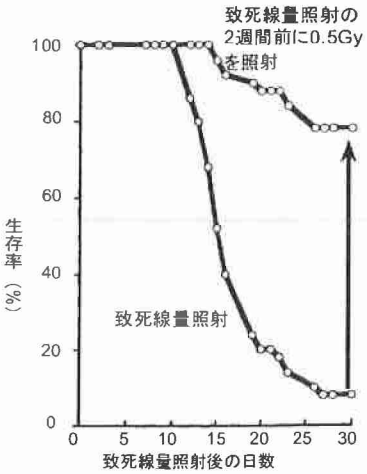
原爆被災者にはこの程度の放射線被ばくを受けた方々がいますが、この方々の調査ではがんの増加を示す明確なデータは得られておりません。また、自然放射線の量が世界平均より多い地域の住民の調査では、がんの増加は認められておりません。

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。

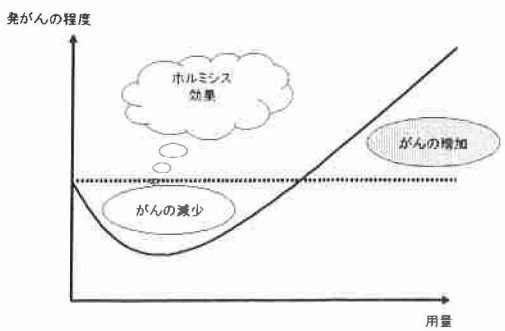
最近分かってきたことは、放射線の人体影響は放射線量が大量のときと少量のときとでは、後者の方が人間の体の中の防御機構が有効にはたらいて、明らかに悪影響が少なく、かえって少量の放射線照射により健康に有益な効果が生じている場合も見られることです。これを放射線ホルミシスあるいは適応応答といいます（図6-6、図6-7）。

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



（図6-7）発がんにおけるホルミシス効果

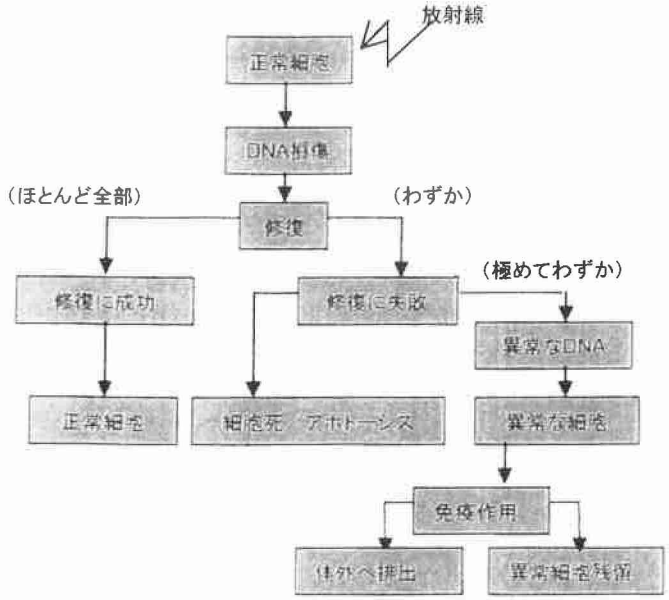
詳しくはお話ししませんが、現在では、放射線やその他の原因で、身体の細胞の中のもっとも大切な部分であるDNA分子に損傷を受けても、それを修復したり、修復に失敗して大きな損傷が残って細胞全体の生存に支障を来たす場合は、アポトーシスといって細胞自身が死んで組織から排除されて生命全体の健全性を保つ機能があることが分かっています。それでも一部の異常な細胞が残留して増殖したものががん細胞であると考えられています。DNA分子の傷は、放射線を受けなくても細胞1個当たり毎日数万個起こり、同時に修復されているのだそうです。（図6-8）

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。

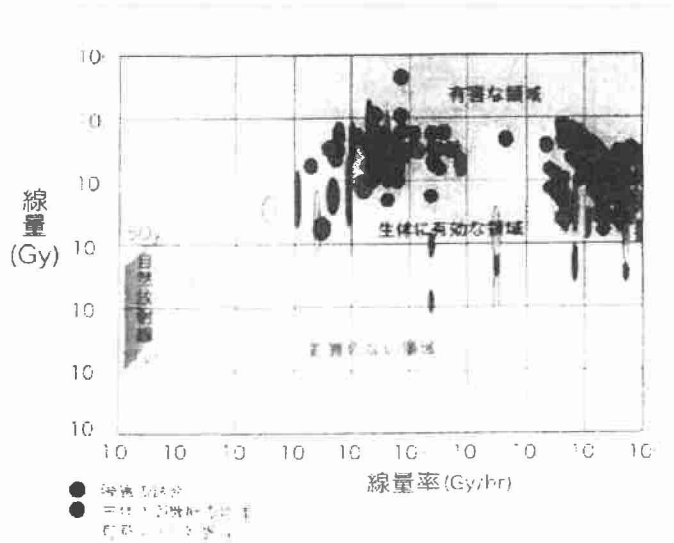
6－4　身体と放射線

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６-９)。

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1 mSv
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、「はさみ」などの道具を用いて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

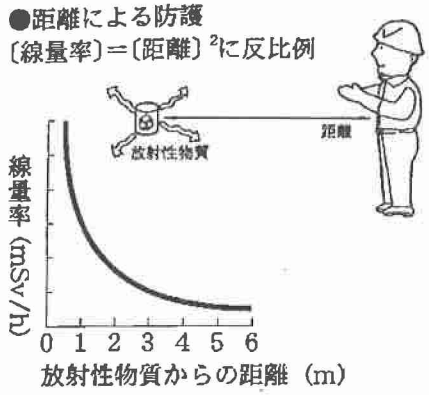
放射性物質が食物や呼吸する気体として体内に入ると、消化器官から吸収されて血液中に含まれて内臓や骨に濃縮されたり、呼吸気管や肺に沈着して局部的な被ばくが起こり、体内の組織が放射線被ばくをします。

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

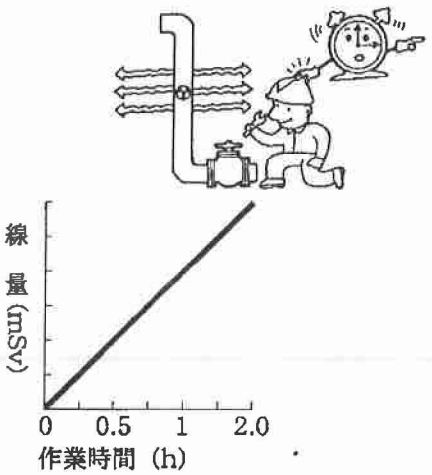
●距離による防護

〔線量率〕＝〔距離〕^{2}に反比例

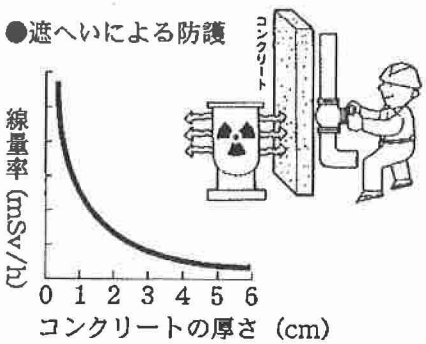


●時間による防護

〔線量〕＝〔作業場所の線量率〕×〔作業時間〕



●遮へいによる防護



8．放射線実験

理科の授業では、実験は理解を助ける重要な手段です。しかし、長い間、理科で放射線は扱われていなかったので、放射線に関する実験の経験をお持ちの先生方は比較的少ないと思われます。ここでは、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紹介します。以下の実験は、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。

（1）霧箱を用いた放射線の飛跡の観察
（2）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
（3）可搬型放射線測定器〔サーベイメーター〕による各種放射線の測定
（4）その他：　手作りガイガー計数管、あるいは箔検電器を用いた放射線の測定

8－1　霧箱を用いた放射線の飛跡の観察

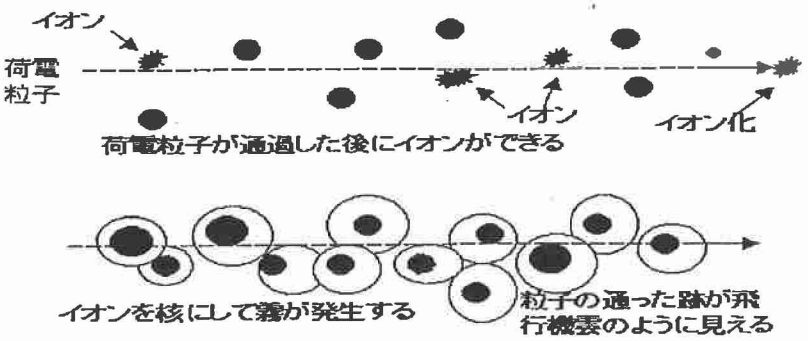
（1）霧箱の原理

身近な現象を通じて、原理を理解することは生徒たちにとっても重要であります。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ます。これは何故でしょうか？　霧箱の原理はこの現象に基づいています。

肺の中の空気には水蒸気が、ほとんど湿度 100%で含まれています。「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。飽和水蒸気圧とは、これ以上に水蒸気を安定的に含むことができない圧力という意味です。温度が高ければ飽和水蒸気圧は高く、たとえば肺の中の温度を 35℃とするとこの圧力は 0.056 気圧で、1cm³ 中に 0.041mg の水蒸気が含まれています。しかし、温度が低ければ飽和水蒸気圧は低く、たとえば、外気を 5℃とすると 0.008 気圧で、1cm³ 中に 0.006mg しか含まれていません。（その差は 1cm³ 中に 0.041mg-0.006mg=0.035mg です。

息を吐くと、肺の中の温度で飽和水蒸気圧になっている空気が、急に外気の低い温度にさらされます。そうすると、低い温度では飽和水蒸気圧が低いので、上記の差、0.035mg/cm³ の水蒸気が余り、過飽和の状態（飽和水蒸気圧よりも水蒸気を多く含み過ぎている不安定な状態）になります。そのときに、もし外気の中に小さなほこりなどがあると、それを中心核としてその周りに、含みすぎて余っている水蒸気が集まり、多くの水滴ができるのです。これが白い息です。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。もし、小さなほこりなどがなければ水滴はできない。南極ではほこりが殆どないので息は白くならないそうです。

実は、水蒸気が凝結する中心核になるのは小さなほこりばかりではなく、イオンなども核になって水滴ができます。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になり、排気の中のほこりやイオンが核になって水滴ができ、線状の雲となったものです。



(図8-1)なぜ飛行機雲ができるのか

(霧箱の原理)

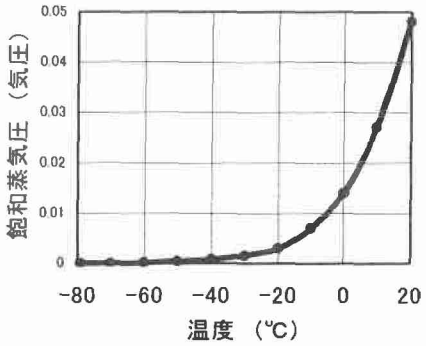
４章の「放射線の性質」の項で述べたように、アルファ線やベータ線のように電荷を持った放射線が物質中を通ると、通り道に沿って原子や分子を電離します。電離が起きると、原子や分子はイオンになります。したがって、過飽和の状態にある気体の中を放射線が通ると、その道筋に沿ってイオンが中心核になった液滴ができます。そして、放射線が飛んだ跡（飛跡と言う）が白い線になって目に見えます。これが霧箱です。ちなみに、霧箱は、ウイルソン（英）が発明し（膨張霧箱）、1927年にノーベル物理学賞を受賞しています。

（2）霧箱実験の概要

霧箱には、大きく分けて膨張霧箱と拡散霧箱がありますが、ここでは簡単な拡散霧箱について説明します。

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りますが、エチルアルコール（無水エタノール：試薬販売店や薬局で購入できます）は常温でも早く蒸発し、飽和蒸気圧が高いので好適です。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ます。

図8-2にエチルアルコールの温度と飽和蒸気圧の関係を示します。常温（20℃とする）で蒸発した高い飽和蒸気圧（0.0485気圧：0.0925mg/cm^3）のエチルアルコール含む空気をドライアイス（昇華温度：−78.5℃）で冷やします。すると低い温度（たとえば−30℃）になり、飽和蒸気圧は低い（0.0015気圧：0.0035mg/cm^3）ので、アルコールの蒸気は過飽和の状態になります（0.0485−0.0015=0.047気圧(0.089 mg/cm^3)が余る）。そこへアルファ線などが走ると、その道筋に沿って酸素や窒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のです。



(図8-2)エチルアルコールの温度と飽和蒸気圧の関係

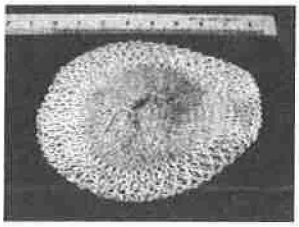
(図8-3) 発泡スチロールの上に、約5cm角、厚さ約1cmのドライアイスを乗せ、その上にシャーレ霧箱を載せている。シャーレの中には、底に敷いた黒い髪、壁面の内側に沿って置いた馬蹄形のすきま用スポンジ(エチルアルコールを含ませている)、中央に放射性線源がある。右下に線源の写真を示す。

（3）霧箱実験の具体的方法

霧箱は非常に簡単なものから、かなり高級なものまで様々です。ここでは、生徒一人一人に実習させることができる極めて安価で簡単な方法を説明するために、エネルギー環境教育情報センターの出版物からの記事を補足資料として複写させて頂きましたので、ご覧ください（24、25、26ページ）。

(4) 線源について

キャンプの際の灯りや炊飯などに使用するカンテラの芯(図 8-4) は市販されていますが、この芯には、放射性物質である酸化トリウムが含まれています（放射性物質を含まない芯もあるので注意する必要あり。）この芯のほんの一部をはさみで切り取り、プラスチックの小さな台の上に、アラルダイトなどの接着剤でくっつければ線源ができます（図 8-3 のシャーレの中央、または右下の白い線源）。線源の作製と配布については放射線教育フォーラムでも検討中です。この線源を入手しておくと、他の実験にも使用できて便利です。コンクリートで囲まれた部屋の中で、ゴミに付着した自然の放射性物質（コンクリートの壁材に含まれたトリウムから室内に放出されたラドンの壊変生成物）を集塵機でろ紙上に集め、ろ紙を小さく切って、霧箱や、他の測定用の線源とすることも可能です。



(図8-4)マントルの芯:酸化ナトリウムが含まれていて、α、β、γのそれぞれの放射線が放出されている。

８－２　簡易放射線測定器を用いた自然放射線の測定

図 8-5 に示すような携帯型簡易放射線測定器「はかるくん」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ます（ホームページ参照）。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ます。カリ肥料、湯の花、花崗岩などからは放射線が比較的多く放出されていること、プールの水の上などは放射線が少ないこと、などがすぐに分ります。そして私達の身の回りには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ます。また、図 8-4 で述べたカンテラの芯の線源など、適当な放射線源を使えば、放射線の吸収・遮蔽の実験なども可能で、この目的のキットも借り出しができます。

(図8-5)簡易放射線測定器「はかるくん」

DX-200 ガンマ線測定用

「はかるくん」には４種類あります。DX－200、DX-300、メモリータイプ、及びはかるくくん II です。DX－200 は CsI（ヨウ化セシウム）というシンチレータが利用されています。シンチレータとは、放射線の作用によって蛍光を発する物質です。シンチレータに放射線が飛び込むと、シンチレータを構成する原子が励起され、短時間に元の状態に戻りますが、このとき励起エネルギーに相当する発光が生じます。この光を検知すると、放射線が測定できます。はかるくん II はシリコン半導体が使われています。(半導体には、空乏層と呼ばれる電気を通さない層があります。ここに放射線が飛び込むと、ガス中の電離作用と同じように、電気の担い手である電子と電子が無くなってプラスの電気を持った部分(正孔)の対が生じ、電流がながれます。この信号を利用して放射線を測定しているのです。）

はかるくんの操作法ですが、ボタン一つで簡単に操作できます。測定値の表示はμSv/h(マイクロシーベルト毎時)の単位で 10 秒ごとに表示されます。これを年間の値に換算するには、1 年は 8760 時間（24 時間×365 日）ですから、測定値を 8.76 倍すれば、１年間の放射線量がミリシーベルト（ｍＳｖ）単位で得られます。

８－３　可搬型放射線測定器による各種放射線の測定

図８－６に示すような可搬形の放射線測定器が市販されています。図はGM計数管式ですが、シンチレーション式などもあります。いずれも放射線施設において放射線管理用に使用されるもので、サーベイメータと呼ばれています。高価ですが、できれば１校に１台は備えていただきたいと思いますが、予算的に厳しい場合には、数校で共同の教材として備えて頂くのがよいように思われます。自然放射線の測定や各種の放射線実験に使用できます。

図８－６に示すGM計数管式の場合には、計数管の先端のキャップを外して、図８－４で述べたカンテラの芯の線源を近づければ、１分間に千カウント程度の計数が得られるので、ベータ線のアルミニウム板、厚紙などによる吸収・遮蔽の実験ができます。

８－４　その他の実験

(A)　手作りガイガー計数管による放射線の測定

（アイソトープニュース、No.628, 2006、ｐ15、
同、No.629, 2006、ｐ31、など）

GM計数管を手作りして放射線測定をするという多少の熟練を要する実験ですが、上述の文献の著者（手作りガイガー計数管の開発者）の実験に参加し、熱心に技術を習得される先生方が少なくありません。文献だけからでも技術習得が可能です。

図8-6　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（アロカ（株）TGS-121）

(B)　箔検電器を用いた放射線の測定

（アイソトープニュース、No.634, 2007、p17）

箔検電器はほとんどの中学校や高等学校にあり、また、手作りすることも容易です。少し根気の要る実験ですが、（１）の霧箱の項で述べたカンテラの芯の線源を、箔検電器の荷電電極の近くに置いた場合と置かない場合の箔の閉じる速度が異なります。これは、芯線源から放出される放射線（主としてアルファ線）が荷電電極の近くの空気を電離し発生した電荷が、あらかじめ荷電された電極の電荷を中和する（放電する）からです。

この方式による放射線の測定によって、１００年以上前に、キュリー夫妻はラジウムなどの放射性元素の発見という歴史的な仕事をなしとげました。また、今はもう博物館か古い研究室にしかないものかもしれませんが、「ローリッツェン検電器」という放射線測定器はこの方式の装置で、摩擦電気で開かせた箔検電器の動く速度を顕微鏡で観察できるようになっており、小型で持ち運びが容易なので、野外での放射線測定には大いに活躍しました。

補足資料（24～26ページ）

4 自然放射線の測定

活動のねらい

私たち身の回りにはたくさんの放射線がある。放射線と言うと危険な物と言うイメージが強い。しかし、昔から自然の放射線は存在していたのである。自然に存在する放射線のことをバックグラウンド放射線と呼び次の２つに大別している。１つは、宇宙線と言われ空から降り注いでいる。その発生源は太陽であったり、宇宙に存在する他の天体からのものであろうと推定される。もう１つは、地球に存在しているもので、地面の中にあるウランやトリウム、ラドンなどをごくわずかに含む鉱物から出る放射線、植物や建物に含まれる放射性物質から出る自然の放射線などがある。

このような自然の放射線に対して人工的な放射線がある。それは19世紀の終り頃、ドイツの科学者レントンゲンによって発見されたＸ線や、原子炉などで作られる各種の放射性同位元素（ラジオアイソトープ）、原子爆弾や水素爆弾による各種の放射性物質など、人間が作りだしたものである。こうした人工的に作り出された放射線は、身体にとって危険なものが多いので、取扱いには十分な注意が必要である。しかし、これらの人工放射線も科学的に安全に取り扱えば私達の日常生活の中で有効に活用されているものもある。例えば医療用に使用したり、新しい製品開発のためにβ線が使用されている。もちろん、発電にも原子力が使用されており、様々な課題を含みながらも原子力エネルギーに依存しなければならない現状がある。こうした身近な放射線について、科学的に正しく理解することが重要であり、ここでは下記に示した項目を活動のねらいとして学習する。

1．私たちの身の回りにある自然放射線を簡易放射能検知器を用いて、α線、β線、γ線などを観察する。それぞれの線種のサンプルとして実験用簡易放射線源セットを使用する。これらの放射線は長時間（数時間程度）取り扱わなければ、被爆の恐れのないことを十分に理解する。

2．簡易型霧箱を製作し、放射線を肉眼で観察する。これらの放射線の種類には４種(α線、β線、γ線、中性子線)があり、それぞれの性質についても学習する。

3．放射能、放射線、放射線量の違いと単位について、懐中電灯と簡易型霧箱をモデルにして学習する。

4．放射性元素がα崩壊、β崩壊を繰り返して質量が半減される現象を、コンデンサーの放電現象の実験からグラフ化することによって学習する。

自然放射線を測定する実験

1．簡易放射能探知器を使用して自然放射線を測定する。

(1) 上記の探知器で下記の場所で放射線の10分間当たりのカウント数を表にまとめる。

①屋内（教室または実験室）と屋外を違いを測定する。

②鉄筋コンクリートの建物と木造建築の違いを測定する。

＜バックグラウンド放射線の測定結果＞

測定場所	μSv／10min（放射線カウント数）					
	1回	2回	3回	4回	5回	平均
屋　内						
ｺﾝｸﾘｰﾄ建物						
木造建築						
トンネル内						
池、湖、海						
飛行機						

〈場所の違いによる考察〉

③トンネル内で測定する。
④池、湖、海などで測定する。
⑤飛行機に乗る機会があれば測定しておくとよい。

(2)実験用簡易放射線源セットを使用してα線、β線、γ線のカウント数の違いを測定する。
①ポロニュウム(Po-210)α線0.10μCi、半減期138日を用いて測定する。
②ストロンチュウム(Sr-90)β線0.10μCi、半減期28.6年を用いて測定する。
③コバルト(Co-60)β線、γ線1.0μCi、半減期5.27年を用いて測定する。

＜α線、β線、γ線のカウント数の測定＞

	1回	2回	3回	4回	5回	平均
α線						
β線						
γ線						

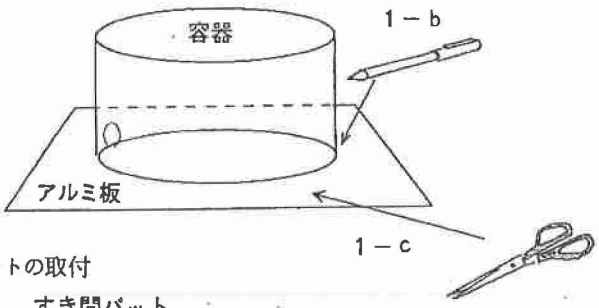
簡易型霧箱キットの製作と放射線の観察方法

1．簡易型霧箱キットの製作手順
下図のような方法で簡易型霧箱キットを製作する。

2．自然放射線を霧箱を使用して観察する。また、完成した霧箱を使用し、実験用簡易セットのα線、β線、γ線を観察する。放射線の違いは次ページの表による。

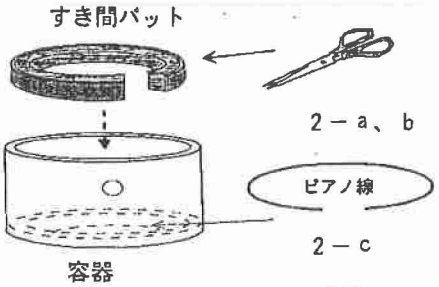
〈簡易型霧箱キットの製作の手順〉

1．底蓋の作り方



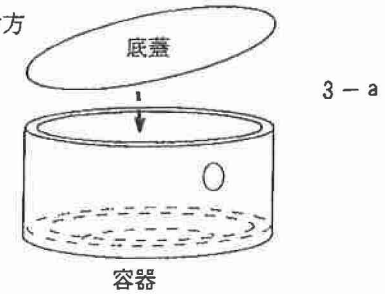
a．底蓋用のアルミ板を黒色塗装面を裏側にして机の上に置く。
b．アルミ板の上に開口面を下にして容器をのせ、マーカーペンを用いてアルミ板に容器の外側に沿って円を描く。
c．はさみでアルミ板を切り抜き、円板を作る(容器の縁にピッタリのるような感じが最適)。

2．すき間パットの取付



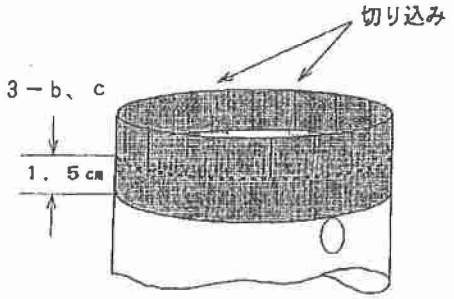
a．容器の内側にぴたりとはまる長さにすき間パットを切る（すき間パットの接着面保護紙をはがしてしまうと容器の底にはめ込むのが難しいので、必ずしもはがさなくてもよい)。
b．容器の底に沿ってすき間パットをはめ込む。
c．パット押えのピアノ線をすき間パットの内側にはめ込んで、容器を逆さにしてもすき間パットが落ちないようにする。

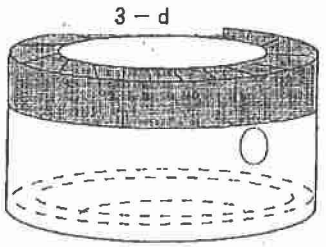
3．アルミ底蓋の取り付け方



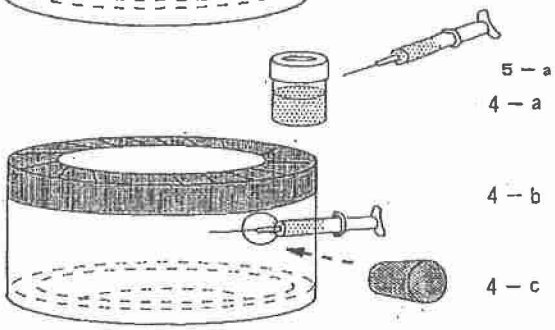
a．容器の開口部を上にし、容器にアルミ底蓋を黒色の面が内側になるようにのせる。
b．アルミ粘着テープを容器の側面に1周するように巻き付けて貼る。このとき図のように開口面から約 1.5cmになるようにするとよい。
c．上側にはさみで切り込みを入れ、折り曲げやすくする。

d．切り込みから折り曲げて丁寧に密着して貼りつける。
e．密封状態を保てるようにして底蓋の取り付け作業を終了する。



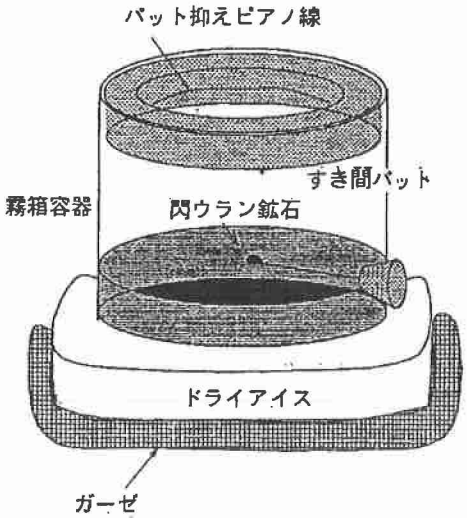


4．アルコール注入とくもり止め
a．アルコール瓶のゴム栓に注射器の針を刺し込み、約2ccのアルコールを採る。
b．容器側面の穴から注射器のアルコールを容器の底にはめ込んであるすき間パット全体に、できるだけ均一にしみこませる。
c．注入が終わったら速やかに栓をして観察面（容器の底）を上にし、この面にくもり止めを少量塗布する。

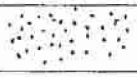


完　成　図

5．放射線の飛跡を観察する実験の手順
a．厚手の手袋（軍手）をはめ、容器がのる大きさのドライアイスをガーゼの上に置く（凍傷防止に留意）。
b．容器をアルミ円板側を下にしてドライアイスの上にのせる。この時容器が水平になるようにガーゼで調整する（水平でないと飛跡が斜めに流れる）。
c．容器内が十分冷えるのを待って栓をとり、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、しっかりはめ込む。
d．室内を暗くし、ポケットライトの光線を斜め横から当てて、α線の飛程に沿って生じる霧の飛跡を観察する。時間が経過すると線源の表面がアルコールで濡れα線を止めるので、観察は手際よく行う。
（補足）濾紙と竹くしの使い方
掃除機の吸い込み口に濾紙を載せて1～2時間吸引を行う。竹くしは3cmに切り、片方は鋭く削り、もう片方は濾紙の小片がはさめる様切り込みを入れる。吸引が終了したら速やかに容器の穴から入る程度の小片に切り、竹くしに挟んで容器に入れ放射線の飛跡を観察する。この方法で自然界に存在するラドンガスからでるα線が観測される。



〈α線、β線、γ線のカウント数の違い〉

放射線の種類	霧箱の飛跡の様子	飛跡の図	イオン化能力	透過能力
α線	たこ糸のように太く短い		大	小
β線	蜘蛛の糸のようで細く曲がっている		中	中
γ線	点状に広がる		小	大

α線…高速のヘリウムの原子核
β線…高速の電子の流れ
γ線…X線より波長の短い電磁波

本資料の24，25、26 の3ページは「エネルギー環境教育情報センター」から平成10年3月発行の「エネルギー・環境教育教師用ガイドブック(高等学校用)」の62～64ページを、特に許可を得て転載したものである。

9．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の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。

もしかりに大地震で原子炉施設が多少の損壊をうけた場合でも、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上に、本来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。運転中の原子炉施設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を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）

（この資料の最終版（2009年度に発行の計画）では、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内容を改訂するとともに、ご質問にお答えするような（Q&A）のページを設けたいと考えております。）

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

１０．参考文献

１．飯田博美・安齋育郎「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」、北海道ｴﾅｼﾞｰﾄｰｸ 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２部　「放射線の性質と利用」の学習指導について

1．はじめに

中学校の学習指導要領の平成20年度改訂によって、理科第一分野の単元「科学技術と人間」のエネルギー資源の項目にかかわる「内容の取扱い」のなかで「放射線の性質と利用に触れること」という記述が加わった、「触れること」という控えめな扱いではあるが、約30年ぶりに放射線についての学習指導が復活することとなった。また、新学習指導要領の解説では、「放射線は透過性をもち、その性質を医療や製造業などにも利用していることにも触れる。」と述べており、放射線の利用分野も具体的に示された（文部科学省2008）。特に製造業については、放射線が大いに役に立っていることが国民にほとんど知られていないという実態があるので、バランスのとれた知識を習得するために放射線の利用についての学習指導が行われる意義は大きい。

ここでは、放射線の性質と利用に関する学習を中心に述べるが、30年間という一世代に相当する放射線に関わる学習指導に空白があったので、放射線学習については基本から改めて考える必要がある。そのためには、原子力や放射線にかかわる学習指導要領の記述がたどった変遷を踏まえて、改訂された指導内容を位置づけることから始めたい。

放射線にかかわる理科の学習指導におけるもう一つ大切なポイントは科学技術の発展という視点である。学習指導要領における「科学技術と人間」の目標は、科学的に考える態度を養う方法について、旧版では「日常生活と関連付ける」に止まっていたが、新版では、「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、・・・」と踏み込んだ表現となった。したがって、放射線は原子力エネルギー利用におけるリスク要因であるがゆえにエネルギー資源の項目のなかで放射線を取り扱う、という消極的な捉え方だけではなく、放射線を新しい手段として利用したことによる科学技術の発展が人間生活や社会にどのようにかかわってきたか、という積極的な捉え方も必要である。

ここでは、学習指導要領の変遷を踏まえての新学習指導要領に基づいた放射線の性質と利用に関する学習に加えて、放射線発生源としての加速器、発展的な探求活動の考え方、放射線学習全体のなかでの位置づけなどについても述べる。

ここに書かれたことのなかには中学生が身につけるべき標準的な知識レベルを超える内容も含むが、中学校理科の学習内容よりも広くかつ高度な視野から放射線の性質と利用を先生方がよく理解したうえで、授業計画を立てることが望ましいと考えたからである。

2．中学校理科の学習指導要領における放射線の利用の位置づけ

2.1 学習指導要領の変遷（飯利 1991）

放射線が最初に扱われたのは1951年の学習指導要領（試案の改訂版）であるが、この改訂では1947年に出された学習指導要領（試案）の不備を補い、生活単元学習や問題解決学習を徹底させることを主な目的とし、「科学技術の発展によって見える世界はどのように広がったか」という捉え方でX線の性質や利用の学習目標が設定された。電波と並んで、発展した科学の身近な応用であるX線写真を経験として話し合うことなどを通して、放射線の性質である透過性や「はたらき」を学習することが指導された。放射線の応用は科学技術の発展を示す具体例として扱われ、放射線に関わるキイワードとして、性質、透過、作用などが学習指導要領ですでに扱われていた。

しかし、当時の教育界の実態がそうした意図を受け入れるに十分な訓練がされていなかったこと、単元学習が体系的でないため基礎学力の低下を招いたことなどが批判された結果、生徒の能力の発達に合わせた系統的な学習の指導を新しい目標とする改訂が1958年に実施された。

この改訂では、わが国が原子力平和利用の推進の着手したことを背景に、放射線については、X線の応用事例を学ぶ過程ではなく、原子の構造を学ぶ過程で、放射性同位体から放出されるものとして取扱われるようになった。放射線の学習はX線の発見を端緒とする科学技術の発展としてよりも原子力エネルギー

開発と結びついた。この内容は続く1969年の改訂において踏襲された。しかし、授業時間数の削減などのいわゆるゆとり教育の導入となった1977年の改訂において、その取扱いが高度になりがちな内容である「放射線」は「原子の構造」とともに削除された。こうして、義務教育における放射線の学習指導の空白期に移行したが、近年のゆとり教育見直しの流れのなかで、2008年の改訂においてエネルギー資源の項目のなかで復活するに至った。学習指導要領における放射線の取扱いの変遷を大きな流れとして図1に示す。

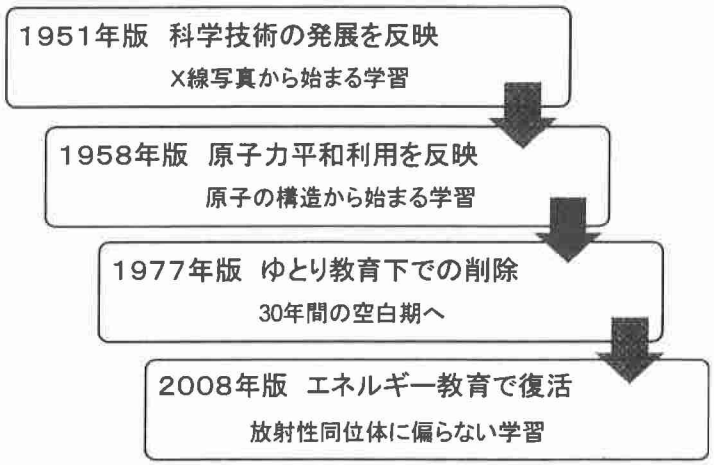


図1　中学校理科の学習指導要領における放射線の取扱いの変遷

2.2　2008年改訂の位置づけ

これまで述べたように、中学校における放射線についての学習は、原子力平和利用の開発をわが国が着手する前から、科学技術の発展が人間生活に大きくかかわるという観点での学習指導のなかに取り入れられていたことがわかる。原子力の登場によって放射性同位体に結びつけて放射能・放射線が扱われるようになったのは、系統的な学習の指導が重視されたためでもある。

今回の改訂の特色は、放射線を「エネルギー資源」の項目で扱うことでは「原子力」との結びつきを継続するが、「原子力」を「放射線」に結びつける役割をしていた放射性同位体には、放射線の学習が縛られない扱いとなったことである。これについては、放射性同位体の扱いの前提となる原子の構造の学習指導を中学校では避けるという意図があるかもしれないが、一方では、放射線利用に使われる人工的な放射線発生源としては、加速器の使用が放射性同位体の使用を経済規模において大きく上回るという近年の社会状況を反映しているという見方もできる。

従来の学習では、放射線とは放射性同位体から発生するα、β、γ線であるという狭い観念に囚われる傾向があった。放射線の利用はすなわち放射性物質の利用であるという誤解さえあった。今回の改訂によってバランスのとれた放射線利用の学習へ改善されることが期待される。

過剰な不安や恐怖がもたれがちな放射線や放射能についての認知を科学的な知識に基づかせることによって、原子力エネルギーについての客観的な知識をもたせることがエネルギー資源の学習において必要である。一方、X線の発見以来発展してきた放射線利用の普及については、エネルギー資源の観点とは別に、放射線の利用と人間生活のかかわりについての認識を深めるという科学技術の観点が必要である。

3．放射線の性質の学習について

3.1 放射線の性質の学習へのアプローチ

「性質と利用」という放射線のキイワードが2008年版の学習指導要領に初めて登場したが、すでに述べたように、X線写真の観察などを通して、透過と「はたらき」という放射線の両性質を学ばせる指導が1951年版ですでにされていた。これに対して、1958年版で始まった系統的な学習では、放射線や原子核変換を

理解させるために、原子の構造から説き起こす指導となった。しかし、2008年版の学習指導要領では「原子の構造」の扱いは復活せず、原子の構造には触れないで原子の初歩的な概念を理解させる指導が開発されつつある(山際　2009)。この指導に従うと、系統的な学習によって放射線の「はたらき」の意味を正確に理解させるのは、中学校理科では容易ではないかもしれない。その理由は、系統的な学習では「はたらき」の代表格である「電離」の概念が重要であるが、「電離」を理解するためには、原子の構造の知識が必要となるからである。

学習内容が高度になりがちな放射線の性質の学習への別のアプローチとして、電離の概念を理解させる学習を避けるためには、身近な観察や経験に基づいて理解させる学習指導が有効な選択肢になり得ると考える。その場合は1951年版の学習指導と同様なアプローチとなり、身近な放射線の利用事例の学習を先行させることになる。具体的には、X線写真の濃淡で示される物質による透過度の違いが放射線の「はたらき」の結果であることを電離という概念抜きで理解させることになろう。

現行の学習指導要領では光の反射や屈折の規則性を身近な物理現象の実験を通して学ばせる指導がされている。これを光の仲間とも言える放射線の場合も適用すると、高度な物理概念の理解を避けるもう一つのアプローチが可能である。たとえば、自然放射能などを利用した透過の実験を通して放射線の性質を学ばせることができる。物体を透過した放射線の検知数が物体の厚さを増すに伴って減少することの観察を通して、放射線の「はたらき」を理解させることが可能である。

3.2 放射線の性質とその学習について

(1) 放射線の性質について

放射線の性質の学習について考察する前に、その基本概念を簡単に述べる。放射線には様々な種類があり、その性質は放射線の種類に依存するが、それらに共通する性質は透過と「はたらき」である。放射線がα線あるいはβ線である場合、透過は「はたらき」がない状態での慣性運動（ニュートンの第一法則）である。「はたらき」の対象となる物質が存在しない真空中では放射線は慣性運動を続ける。ただし、放射線に対してはたらく外部の電磁場が存在しないことを条件とする。外部の電磁場が放射線にはたらくことは放射線のもう一つの性質(物質にはかかわらない性質)であるが、γ線やX線のような電磁波の放射線には当てはまらない。

「はたらき」は物質に対する放射線の「作用」であり、放射線は「反作用」を受けて、その勢い(エネルギー)が衰え、運動の方向も変わる。ニュートンの第三法則によって、放射線から物質への作用には物質から放射線への反作用が伴う。勢いが衰えるのはこの逆向きの「はたらき」に因る。この「はたらき」が放射線の遮蔽や防護に活用される。

(2) 放射線の「はたらき」の学習について

透過という性質は観察や実験を通して理解できるが、「はたらき」という概念を中学校において正しく理解させるには、3.1 で述べたような工夫が要る。特に、電離は放射線による人体への影響や様々な目的を有する放射線の利用を基礎づける最も重要な「はたらき」である。電離の本質を理解するためには、原子の構造の知識のほかに、放射線がエネルギーの一形態であるという微視的なエネルギー概念の知識が必要である。「エネルギー資源」に代表されるような巨視的なエネルギー概念との差異を理解させることは中学校で取扱う範囲を超えているかもしれない。しかし、放射線の性質をもとにして放射線の利用を科学的に理解させるためには、微視的なエネルギーの概念（つまり、一つ一つの放射線が高いエネルギーをもつこと）の理解が必要である。

(3) 性質から利用への橋渡し

どのような放射線の利用でも透過と「はたらき」の両性質が利用されている。X線検査は放射線の透過性を利用しているが、同時に、透過したX線を検知する「はたらき」も利用することによって検査が可能であることも認識するべきである。「はたらき」をよく理解することによって、医療や製造業などでの放射線の利用や人体への放射線の影響についての理解が深められる。

放射線の「はたらき」は、一方において、人体あるいは生体に有害な「影響」をもたらすが、他方において、放射線が有益とみなされる主な理由は、放射線の「はたらき」の結果として、物理的、化学的及び生物的な「効果」も生むからである。その「影響」や「効果」の大きさを評価、比較、あるいは予測するための客観的な尺度として放射線量が必要となる。「シーベルト」を単位として表す放射線量は、放射線が物質に分け与えたエネルギー量をもとに、人体への「影響」を加味した量である。

4．放射線の利用の学習について

4.1 まえがき ― 放射線利用の二面性

放射線の利用という原子力エネルギー（核エネルギー）の利用とは別のキイワードが中学校の学習指導要領で取扱われたのは今回が最初である。放射線に関わる学習指導が始まった1951年版の取扱いでは、放射線の「利用」ではなく「応用」であったが、原子力平和利用が始まった1950年代の後半から「利用」というわが国独特の表現が使われるようになった。放射線や放射能を原子力発電に伴う望ましくない排出物あるいは副生物と見なす考え方からすれば、そうした放射線や放射能を役立たせるという意味において「応用」よりも「利用」という表現が適切である。また、広く国民一般も放射線利用は原子力平和利用の一部として認識している。学習指導要領では放射線の利用について「エネルギー資源」の項目のなかで触れるという取扱いことになったことはそうした事情から理解される。

しかし、医療、産業及び学術分野で使われている主要な放射線の発生源である加速器そのものは核エネルギー技術（原子力）に依存する技術ではない。したがって、核エネルギー利用における負の副産物としての放射性同位体が放出する放射線（α、β、γ線、中性子線等）が利用可能であるという受動的な捉え方だけではなく、レントゲンが発見したX線の発生源であった陰極線管を端緒とする加速器が、放射性同位体とともに、放射線利用という新しい独自の科学技術の発展を可能にし、今日の人間生活や社会に貢献しているという能動的な捉え方も大切である。

ここでは、単に放射線が様々な領域で役に立っている実例を個別的に取り上げて、放射線のもつ便益性の側面を学習するだけでなく、一つの科学技術として捉えることによって、基本となる利用形態、放射線利用の発展の大筋、放射線利用における共通的な利点と欠点、個々の利用事例、人工放射線源としての加速器、放射線利用の安全性などについて述べる（田中　2006, 2007, 2008）。個々の利用事例の詳細は、情報通信ネットワーク、デジタル教材、参考書籍、パンフレットなどの情報が豊富に入手可能であるので、ここでは述べない（岩崎 2003, 日本原子力学会 2004, 田中 2006, 町 2008）。むしろ、それらの資料からは得にくいいくつかの重要なポイントに重点をおく。

4.2　放射線利用における２つの利用形態

放射線利用を科学技術として捉える場合、放射線がどのような原理で利用されているかを知る必要があ

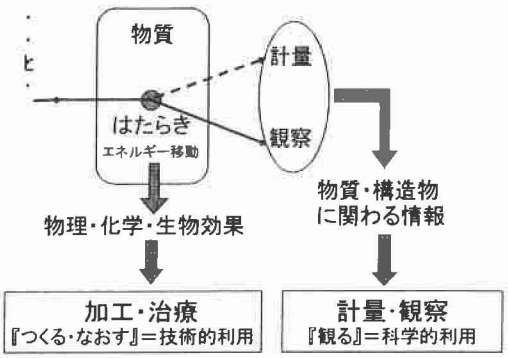


図２　放射線の２つの利用形態

る。放射線の利用は原理的に２つの利用形態に分けることができる（図２）。放射線は物質を通過しながら物質中の所々で多様な「はたらき」を繰り返す。「はたらき」後の放射線や「はたらき」に伴って発生する放射線、光などを検知することによって、物体や構造物にかかわるいろいろな情報を得る利用形態が医療診断を含む計量・観察という科学的利用である。また、「はたらき」を通して物質に分け与えたエネルギーが物理的、化学的、生物的な効果を生むが、それらの放射線効果による物質の性質の変化を利用するのが治療や照射加工という技術的利用である。

4.3 放射線利用の発展の大筋

次に、そうした放射線の利用形態がレントゲンによるＸ線の発見以後どのように発展したか、その大筋を捉えておくことも、科学技術と人間生活とのかかわりについての認識させるために大切である（図３）。

Ｘ線の発見直後から、放射線利用は前述の２つの利用形態をもつ医療分野で始まった。その一つである医療診断はやがて「観る（みる）」ことで象徴される利用形態へと普遍化され、産業・学術分野における計量・観察への利用として発展した。もう一つの利用であった病気治療もその利用形態がやがて「つくる・なおす」ことで象徴される利用形態へと普遍化され、産業分野における照射加工への利用として発展した。さらに、この２つの利用形態を機能的に融合した、「みながらつくる」ことで象徴される高度な利用形態がナノテクノロジーの技術基盤として21世紀に大きく発展することが期待されている。

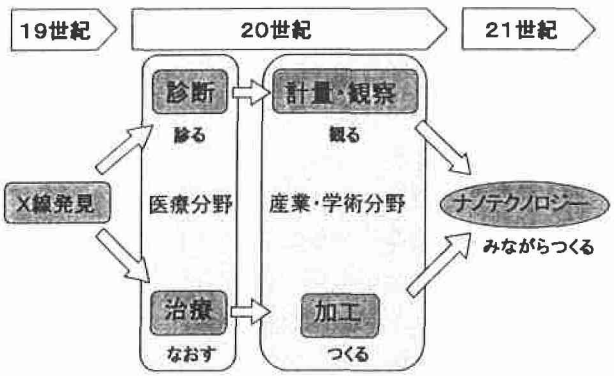


図３　放射線利用発展の大筋

4.4 放射線利用の特徴

医療及び製造業への放射線利用についての学習では、単に放射線が広い分野で様々な目的に利用されていることを知るだけでなく、科学技術と人間生活とのかかわりについて認識するため、個々の利用事例について、なぜ、放射線が利用されているのか？なぜ、放射線という手段がその目的に適するのか？という視点を持つことが大切であると考える。放射線利用の利点だけでなく、同時に欠点も学習することが望ましい。利点や欠点は利用事例ごとに多様であるが、ここではそれらに共通する利点及び欠点についてまとめて述べる。計量・観察・診断への放射線利用はその目的や特徴が比較的わかりやすいので、ここでは放射線による治療や加工への利用に絞った。

(1) 放射線治療の共通的な利点と欠点

医療の放射線利用には、レントゲンによるＸ線の発見以来100年の歴史があるが、いまでは３人に１人が死亡する国民病であるがんに対して、放射線治療が大きな使命を担うようになってきたのは、近年の放射線技術の高度化によって放射線利用の原理的な利点が十分に活かされるようになりつつあるという背景がある。他のがん治療手段と対比したとき、放射線によるがん治療にはどのような共通的な利点があるの

かを図４にわかりやすくまとめた。

放射線治療の原理的な利点は、①身体の深くまで遠隔的な「はたらき」によって内部の病巣も切らずに治せること、及び②集中的な照射制御が可能なことである（ピンポイント技術）。最近のハイテク技術の進歩によって放射線治療のもつ本来の利点が活かせるようになった。

原理的な利点から導かれる応用面での利点として、③病変部の正確な狙い撃ちによって副作用を低減できること、④臓器を切りとらずに形態や機能を温存できるので、ＱＯＬ（=生活の質）を高く維持できること、及び⑤高度な技術に基づいた治療計画による確実な品質管理ができることなどが挙げられる。

これらの応用的利点によって、手術や化学療法が困難を伴う高齢で体力がない患者にも治療が可能となった。放射線の場合、微視的には強いエネルギーであっても巨視的には弱いエネルギーでがんの増殖は止まるので、温度が上がらず痛みもないという特長がある。

もう一つは⑥総合的な利点である。診断と治療の技術が一体的に融合し、治癒効果が高くて身体の負担が少ない放射線利用を中心とするがん治療が遠くない将来に実現することが期待される。

一方、放射線もがんに対して万能ではなく欠点や限界がある。例えば、胃、大腸など、部位によって効きにくいがんがある。正常細胞を損なわないようにするために、治療回数を減らせない場合もある。発生確率は少ないが数年後に副作用が出ることもある。しかし、わが国において外科手術の優位が依然続いている大きな原因は、放射線に対する恐怖感や忌避感が強いためである。

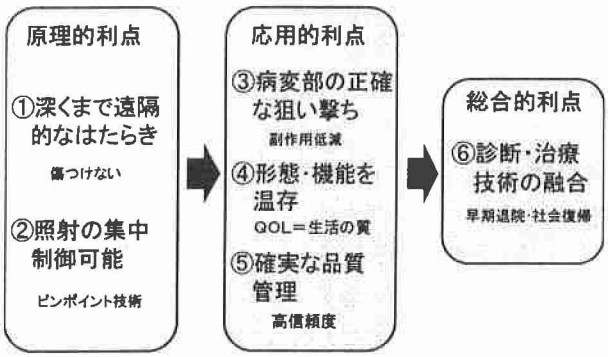


図４　放射線治療の共通的な利点

(2) 放射線加工の共通的な利点と欠点

製造業の歴史は加工技術の進歩の歴史でもある。19 世紀の動力機械や化学技術に続いて、20 世紀におい

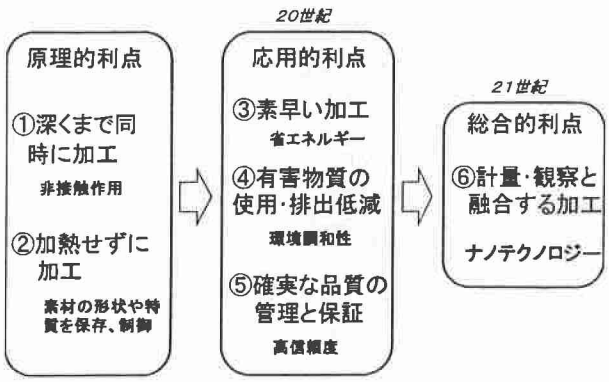


図５　製造業での放射線加工利用の共通的利点

ては放射線が人類にとって新しい加工手段として登場した。ここでは、照射加工の製造業について、加工

への様々な放射線利用に共通する基本的な利点及び欠点について述べる。他の多くの加工手段と対比したとき、放射線による照射加工にはどのような共通的な利点があるのかを図５に示す。

原理的利点が誘導する応用面での主な利点として、③省エネルギーに結びつく素早い加工能力、④有害な化学物質の使用や排出を低減できるという環境調和性、及び⑤確実に品質を管理し保証できるという高信頼性が挙げられる。有機物質の製造において添加される化学物質は有害である場合が多く、それが製品内に残留し、使用後に廃棄することで環境負荷の原因となっている。また、化学処理や加熱によって排出される排ガス、廃液、悪臭も環境負荷の原因となる。放射線照射は有害な化学物質の使用を抑制する手段と言える。また、加熱処理、化学処理などとは違って、高い精度で容易に測定できる放射線量のみを信頼して、放射線照射の効果を精密に制御できる。

もう一つは⑥総合的な利点であり、「放射線でみ(観)ながら放射線でつくる」ことで象徴されるように、計量･観察と照射加工の２つの利用形態を機能的に融合できることである。これは特にナノテクノロジーを支える基盤技術として開発されつつあり、こうした微視的な放射線技術によって高度な微細加工技術が実現し、情報、素材、医療、加工などの諸分野で 21 世紀の革新的な技術に発展することが期待されている。

そういうわけで、放射線がなぜ役に立つのかについての科学技術的な知識は、リスクが強調されがちの放射線の「はたらき」についてバランスのとれた認識へ導く。

利点だけでなく欠点にも言及するのが望ましい。放射線の利用が日常生活に深く浸透している実態は市場競争の結果を表しており、競争に不利な要因を放射線利用の欠点と見なすことができる。放射線利用に共通する欠点としては、放射線源の設備コスト（初期投資）が一般に大きいことや放射線施設の設置や運用に関わる法規制が厳しいことが挙げられる。放射線・放射能に対する社会の強い不安感や恐怖感も普及を抑制する大きな要因となっている。

4.5 放射線の利用事例の学習について

放射線利用に関して最も行きわたっている知識内容は、放射線が実際にどのように利用されているかを具体的な示す実例の数々であり、主要な利用事例を知ることは放射線利用に関する学習内容のコアとなる部分である。診断や治療などの医療分野、工業及び農業の産業分野、様々な学術分野など、放射線の利用分野は多岐にわたっているが、これらの基本知識については、4.1 で述べたように様々な情報源から容易に入手できる。

放射線の主な利用事例を分野別および利用形態別に示した一覧表を表１に示す。利用事例の詳細な内容については数多くの参考資料に記載されているのでここでは扱わない。

最も広く認知されている放射線の利用分野は医療、特に診断利用としてのＸ線検査であり、身近にある体験話を「放射線の性質と利用」の基本学習に活かせる最適な利用事例である。放射線を利用するがんの診断・治療技術は近年目覚ましく発展し、その普及が急速に進みつつあり、いまや国民のＱＯＬを向上させる技術として広く認識されつつある。医療利用は放射線による人体影響の学習とも関係づけて扱うことができる。とくに、放射線診断のメリットと診断に伴う被曝リスクは多くの人々が関心をもつ内容であり、被曝リスクを正しく認識し適切に対応する考え方を学ぶことも含めて、発展的な探究学習に適した内容である。

経済規模（斎藤 2008，田中 2008）が最も大きい製造業を中心とする産業分野での放射線利用は、空港での手荷物検査や非破壊検査を除いて、その認知度が極めて低い。クルマ、パソコンなどの製造に放射線が使われ、放射線が日常生活に深くかかわっているという事実(図６参照)はほとんど知られていない。これは，生産者が生活用品の製造に放射線を利用している事実の公表について消極的な傾向があるとともに、完成品を構成する部品の製造工程がブラックボックス化しており、消費者も製造手段に関心が薄いという背景があるからである。

製造業における利用のうちで特に注意を払う必要があるのは経済規模の大きな半導体製造である（町 2008)。半導体製品はいまでは日常生活に最も深く浸透しているありふれた道具であるが、その製造や品質

管理には放射線利用が欠かせない役割を担っている。シリコンなどの素材に微細な加工を施した集積回路の製造における様々な工程で放射線が使われている。集積回路の製造技術は写真製版と比較されるが、その品質を決定づける高い解像度を実現するために、10億分の1メートルのビーム寸法をもつ電子線の利用が欠かせない役割を担っている。こうした先端技術がナノテクノロジーの基盤として21世紀の将来に向けてさらに発展しつつある。

製造業におけるもう一つの特徴的な利用は食品照射である。衛生的な食糧の安定供給が将来的に不安視

表1　放射線の主な利用事例一覧

利用形態 ＼ 利用分野		計量・観察・診断（みる）	加工・治療（つくる・なおす）
医療		X線検査 CT検査 核医学検査（PET、ガンマカメラ）	がん治療：X線・電子線治療（加速器） ガンマナイフ 陽子線・重粒子線治療 小線源治療 輸血用血液の滅菌
産業・製造業	工業	工程・品質管理計測（製鉄、製紙等） 非破壊検査・分析（技術の安全性等） 空港手荷物検査 耐放射線試験（宇宙開発事業、原子力施設）	半導体の製造（エレクトロニクス） 医療用具滅菌 高分子加工（タイヤ、耐熱電線、表面処理） 排煙処理（環境保全）
	農業		食品照射（保存、殺虫、殺菌） 品種改良（放射線育種） 害虫防除（不妊虫放飼法）
学術		考古学試料、文化財等の年代測定 トレーサー利用分析 放射光利用分析（蛋白質の構造等） 中性子利用分析	

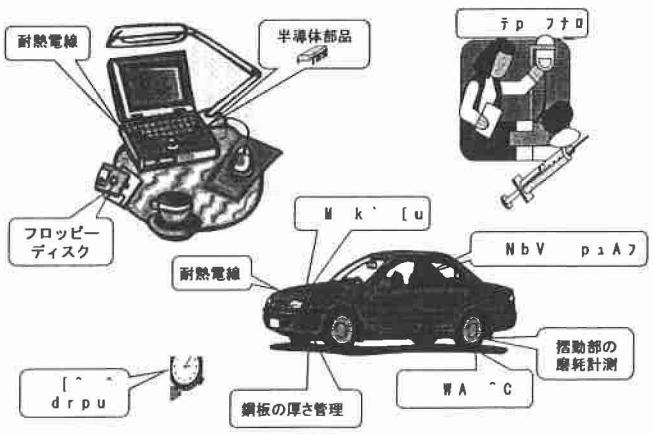


図6　放射線が役立っている身近な生活用品例

されるなかで、食品の安全と損耗防止対策として放射線による殺菌、検疫のための殺虫などを推進するため、WHO やFAO などの国際機関は、食品安全のため膨大な試験データをもとに、照射食品の普及と流通を世界的に推進しており、多くの国で食品照射が実施されるようになってきた。しかし、わが国では少なからぬ消費者が安全性を疑問視している現状に、国も今後の食品照射の許可に慎重な対応を取っている。

こうした科学技術と社会の間の問題に対しては、原子力エネルギー問題などにも見られるように、正しい科学的知識の普及に加えて、個人の価値判断にも依存する社会的な意思決定が必要である。改正された教育基本法では社会的な意思決定に参加できるような国民の資質を義務教育の段階から養うことが謳われている。放射線の利用の学習は社会的な合意形成に向けての総合的な判断力の育成にも寄与できる可能性も併せ持っている。

このように、日常生活から最先端のナノテクノロジーまで広いスコープをもつ放射線利用の学習を通して、この新しい科学技術は、ＱＯＬの向上、安全・安心、社会的合意形成等の視点で、人間生活や社会に深くかかわることの認識を促す。

4.6　放射線利用の安全性について

放射線は五感で感じることができない危険なものと認知されており、科学的な事実を踏まえない過剰な不安、恐怖、忌避感が強い。一方、アルコール、食塩、くすりなどの日常生活で摂取する物質は怖くないかと言えば、通常の生活のなかで摂取している量の 10 倍程度を一時に取ると、人は死ぬことさえある。しかし、放射線については、1 年間に受ける自然放射線の 1000 倍程度を一時に受けないと、死ぬことはない。もちろん、だからといって、放射線を怖がる必要はないということにはならない。要は、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、正しく放射線を怖がることが大切である。ほかのものと違って、幸いに、放射線がどんなに微量でも測ることができる。

放射線の利用は、原子力エネルギーの場合と同様に、その利便性と引き換えに安全上のリスクを負っている。放射線利用には３つの特徴的なリスク（危険の可能性）があると考えられる。第１は放射線の利用事業に伴う職業的な放射線業務従事者と住民の放射線被曝であり、第２は放射線で加工された製品及び放射性物質が使用されている製品等に関わるリスクである。第３は、医療や製造業に使用されている放射性物質の厳しい防護システムを破って悪用するテロ発生の可能性という新しい潜在的なリスクである。

第１のリスクについては、自然放射線の被曝や医療のための被曝を除く人工放射線による被曝線量の上限値が職業人と一般の人々に分けて法令で定められている。医療被曝を除く理由は医療行為を受けた個人はそれによって直接に便益を受けることになるので、その便益と被曝のリスクはバランスすると判断されるからである。

医療現場、放射線を利用する産業施設等においては、医者、看護婦、放射線技術者等の職業人の被曝線量は法令による上限値より低くなるように管理されている。放射線利用施設については、周辺住民の安全のために、敷地境界での放射線、放射能の漏れが法令で定める一定値以下になるように管理されている。実態としては、こうした漏れの影響はほとんどなく、周辺の住民が受ける被曝線量はその周辺に居住しない一般人が受ける自然放射線による被曝線量と変わりない。

放射線施設における被曝事故は諸外国で近年いくつかの事例が報告されている。いずれも安全管理上のミスによる業務従事者や立ち入り作業者の被曝である。わが国では開発や実用化の初期段階を除いて、それ以後の約３０年間以上被曝事故は起きていない。

第２の放射線加工製品及び放射性物質が使用されている製品のリスクとしては、食品照射及び夜光時計や煙感知器が挙げられる。食品照射においては、人為的に放射線を照射した食品を摂取することは人類がそれまで経験しなかったので、その安全性については、毒性、発ガン性、生殖器官への影響、遺伝的障害の危険性、栄養成分への影響などのたくさんの項目にわたる試験が動物を対象に繰り返し行われ、これまで膨大なデータが国際機関等で解析されてきた。その結果、悪影響を示唆する証拠はこれまで見出されていない。

照射によって食品中に放射性物質が生成するのではないかという疑問がある。放射線のエネルギーが非常に高い場合、食品中に含まれている物質の一部を放射性物質に変える反応が起きる可能性がある。しかし、照射に用いるガンマ線とX線のエネルギーの上限値を規定することによってその安全性が確保されている。夜光時計や煙感知器に使用される放射性物質は微量なので法令による規制の対象外とされている。

第3の放射性物質を悪用するテロ発生のリスクについては、未然防止のための防護対策はとられているが、緊急時対策についての周知や教育訓練などの課題が残されている。

5．放射線源としての加速器について

放射線利用に供される人工放射線源には、放射性同位体、原子炉、加速器、X線発生装置などがある。放射性同位体は原子炉や加速器を用いて製造されている。X線発生装置は高電圧装置を用いて加速した電子線を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、原理的には加速器の範疇に含めてもよい。放射線という言葉から想像すると、放射線を四方八方に放出する放射性同位体が放射線源であって、放射線を一方向に放出するような加速器は対象外と理解される可能性があるが、電離する能力をもつ電磁波や粒子線をすべて放射線と見なしているので、「放射」という言葉に囚われるべきではない。

加速器という名称は、電子や原子核などの荷電粒子を加速して原子核に衝突させ、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。むしろ、レントゲンがX線の発見を導いた高電圧装置付きの陰極線管を加速器の原型と見なすべきである。陰極線管という実質的な加速器の使用がX線の発見を導いたと言ってもよい。

加速器のイメージとしては、ノーベル賞を狙うような物質の究極を解明する素粒子の研究に使用される巨大な装置を思い浮かべる人も多いが、卓上の超小型のものまで含めて、加速器には多種多様で大小様々なものがある。普及度の高い加速器は医療及び産業用として使われている比較的小型の加速器であり、X線発生装置も含めたこれらの加速器による放射線利用の経済規模の大部分を占めている。加速器を用いた放射線利用は、従来の荷電粒子やX線の利用から、近年では、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世紀の革新的な科学技術が医療、産業及び学術の分野で開拓されることが期待されている。

放射線がエネルギーの一形態（粒子の場合、運動エネルギー）であることを考えると、加速器は電気エネルギーを放射線エネルギーに変換する装置であると見なせる。一部の産業用加速器の場合このエネルギー変換効率は50%以上である。新学習指導要領で重視されているエネルギー変換の学習においては、運動、位置、電気、化学等の様々なエネルギーに加えて、放射線エネルギーまで含めて発展的に理解させるのが望ましいと考える。加速器は20世紀の科学技術の発展をリードしてきた象徴的な道具の一つでもあるので、探究活動にふさわしいテーマとなり得る。

6．放射線の利用に関する探究活動について

放射線学習に関わる探究活動のなかで、放射線の利用に関しては観察や実験を取り入れにくいので、授業で習得した基礎知識の活用として、放射線の有用性等に関して課題を設定し、個々の利用事例を、情報通信ネットワーク、参考資料、デジタル教材で調べる発展的な学習が格好のテーマとなり得る。放射線のリスクに加えてその有用性を具体的に認識することによって、放射線や原子力にかかわる科学的な思考力や総合的な判断力を育成できるだけでなく、科学技術の発展が人間生活や社会にどのようにかかわるかを認識することができる。調べ学習に止まらず、探究活動の一環として放射線を使用する事業施設や研究施設の見学も推奨される。

探究活動において参考になるであろうと考えられる視点を以下に示す。

① 放射線は日常生活にどのように役立っているか
② 身の回りにどんな放射線利用製品があるか
③ 放射線による診断は健康を守るためにどのように役立っているか

④ がん医療に放射線はどのように役立っているか
⑤ 製造業ではどんな目的に放射線を利用しているか
⑥ 食品の安全に放射線照射はどのようにかかわっているか
⑦ 放射線の利用は人間生活にどのように変えてきたか
⑧ 利用に供されている人工放射線源にはどんなものがあるか
⑨ 個々の利用事例において放射線を用いることの利点と欠点は何か
⑩ 個々の利用事例において放射線に対する安全性はどのように確保されているか

7．放射線学習全体のなかでの位置づけ

放射線の利用の学習を放射線学習全体のなかでの位置づける考え方の一例を図5に示す。放射線の性質については、前に述べたように、放射線の利用事例を学習する過程においても学べるが、自然放射線・放射能及び放射線計器等の実験教材を活かすことによっても効果的に学べる。

放射線の性質についての理解をベースに、放射線が人体に及ぼす影響や放射線の防護について学び、それを原子力エネルギーに関わる安全性の学習に結びつけることによって、放射線にかかわる知識をエネルギー資源の学習のなかに位置づけることができる。人体への影響については、特に、自然放射線も含めた低いレベルの放射線量を受けたときの影響についての正しい理解が重要である。自然放射能、GMカウンタ、線量計（「はかるくん」など）等は放射線の防護についての学習にも活用できる。放射線量についても最小限の理解が大切であり、放射線量と放射線が人体に及ぼす影響との関係についての客観認識が、安全にかかわる学習だけではなく、望ましくない個人的及び社会的事象を起こす可能性を表す「リスク」の学習へ発展することが期待される。

図5の右側は習得した左側の知識内容の活用と探究につながる発展的な学習内容を示す。放射線教育は科学的合理性の基盤となる正しい知識の啓蒙に加えて、個人の価値観にも依存する社会的合理性に立った判断を促す方向を目指すべきである（大島、2004）。新学習指導要領が強調する思考力、判断力、表現力等の育成のためには、こうした発展的な学習も合わせもつことが望まれる。そのためには、小中高における原子力問題及び原爆・核問題についてのバランスとれた知識内容の学習が求められるが、放射線についての客観的な認識は重要な位置づけにあると考える。

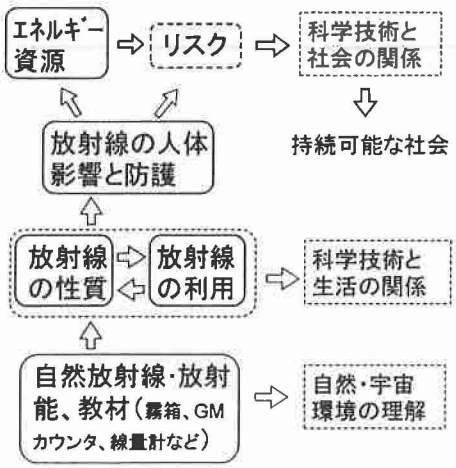


図5　「放射線の利用」学習の連関と発展

8．あとがき

以上、中学校理科の新しい学習指導要領に基づいて、放射線の利用を中心に放射線に関わる学習指導について述べた。これらの知識内容は高校での放射線の学習指導とも重なり合う。取扱いが高度な放射線の知識について、中学校のレベルを超えない範囲で理解させるには若干の工夫が必要であろう。これまで述べた放射線利用の学習における重要なポイントは次のとおりである。

① 放射線の学習には原子力エネルギーと科学技術の発展という２つの視点があること、

② 放射線の利用や影響を学ぶための基礎となる放射線の「はたらき」を中学生にどのように理解させるかについては選択肢があること、

③ 医療や産業(製造業)における利用における放射線発生源には、放射性同位体と加速器(X線発生装置を含む)があること、

ポイント①に関連して、個別的な放射線利用についての知識だけではなく、利用の形態、発展の大筋、なぜ、放射線が有用なのか、放射線利用の安全性など、放射線利用という科学技術の理解が大切である。

ポイント③では、内容が高校レベルと見られるので、その学習には工夫を要するが、科学技術文明の貴重な所産でもある加速器を学校教育でいかに扱うかを今後の課題として捉えたいと考える。これについては後述の参考資料のなかでさらに詳しく述べる。

発展的な探究学習の可能性として、科学技術と社会の関係という立場から、個人の価値判断に依存する社会的合意形成にとって問題となる科学技術に関わるリスクという視点があるが、リスクというキイワードはまだ馴染みが薄く新学習指導要領で取り扱うに至っていない。しかし、今回の学習指導要領改訂において強調されている総合的判断力の育成や持続可能な社会の構築という新しい目標を視野に入れた学校教育にとって重要な課題であると考える（田中　2008)。

参考文献

(1) 飯利雄一、廣瀬正美、伊藤武、橋本健夫 (1991)、「理科教育 理論と実践」、36-58、東京図書

(2) 岩崎民子 (2003)、「知っていますか? 放射線の利用」、丸善

(3) 大島　浩 (2004)、「社会技術としての放射線教育」、放射線教育、Vol.8 No.1、 25-30

(4) 斎藤伸三、田中隆一、久米民和(2008)、「放射線利用の最新経済評価」、原子力 eye、Vol.54　No.5, 34-41

(5) 清水誠、熊野善介 編 (2009)、「新中学校理科・重点指導事項の実践開発」明治図書

(6) 田中隆一 (2006)、「21 世紀の放射線利用」、放射線教育、Vol.10 No.1、 59-68

(7) 田中隆一 (2007)、「放射線利用の共通基礎の理解を向上させるための考察」、放射線教育、Vol.11 No.1、67-72

(8) 田中隆一 (2008)、「リスクに関する学校教育を考える」、広領域教育、 No.68、20-27

(9) 田中隆一 (2008)、「最新調査による放射線利用の経済規模　I 工業利用」、放射線と産業、Vol.120、35-39

(10) 田中隆一 (2009)、「学習指導要領に基づいた放射線等の取り扱いに関する考察 ― 主に放射線の性質と利用について ―」、エネルギー環境教育研究、Vol.3 No.2, 印刷中

(11) 日本原子力学会 編 (2004)、「原子力がひらく世紀」(改訂版)、日本原子力学会

(12) 松浦辰男 (2000)、「学校での放射線教育のあるべき姿」、放射線と産業、No.105, 28-32

(13) Matsuura T, (2008), Radiation Education — the Importance of Proliferating the Correct Knowledge about Radiation, Radioactivity, and Nuclear-Related Matters, Proceedings of 4th International Symposium on Radiation Education, 2-7, Hsinchu, Taiwan

(14) 文部科学省 (2008)、中学校学習指導要領

(15) 文部科学省 (2008)、過去の学習指導要領 (教育情報ナショナルセンター)

(16) 文部科学省 (2008)、中学校学習指導要領解説

(17) 町末男、佐々木康人 監修 (2008)、「放射線の世界」、日本原子力文化振興財団

(18) 山際隆 編 (2009)、「中学校新学習指導要領の展開 理科編」、明治図書

本冊子の制作は、平成20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」（研究者代表：北海道大学大学院杉山憲一郎教授）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・中学校用学習プログラム開発」のなかで実施されたものである。

冊子作成にあたっては、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学校における放射線教育指導資料作成グループが作業に当たった（副責任者はフィーラム理事田中隆一）。本冊子の執筆と編集については、第1部は松浦が、第2分は田中が担当した。

放射線・放射能の基礎
―― 学校における放射線に関する学習指導の手引き ――
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　　２００９年3月１６日

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

中学校理科で
放射線をどう取り扱うか
ーヒロシマからの提案ー

放射線教育フォーラム勉強会
平成21年2月21日(土)

広島市立江波中学校　教諭　　原田　忠則

広島市のめざす子ども像

- ヒロシマを受け継ぎ、地球的視野で考え、相互の基本的人権を尊重し、よりよい人間社会の創造のために貢献し、国際社会に通用する広島人になるとともに、地域で平和のために汗を流せる人

理科の改善点:
科学を学ぶことの意義や有用性の実感及び科学への関心を高める観点から、日常生活や社会との関連を重視し改善

課題(ヒロシマの継承)

被爆から63年　語り部から学んだことを、未体験の私たちが未来にどうつなげるか。

「放射線・原子力」の知識を扱わないで、被爆者が体験された放射線による人体への影響等の理解がはかれるのか。

○ 世界から "ヒロシマ"を尋ねられたとき、「こんな思いは誰にもさせたくない」という被爆者の哲学を、科学的に説明できるようにしたい。

授業実践(1999～)から

- エネルギー問題・環境問題の一環として選択教科で授業実践を始め、総合的な学習の時間でも扱った。科学的知識が伴うに従って原子力に対する議論が促進される。
- 「放射線・原子力」の内容は、理科以外の先生には扱えない。理科の先生であっても扱えない(扱ったことがない)。

放射線教育が始まるにあたって

- 感覚的にわかっていることを、
「危ない」「被曝すると大変なことになる」
↓
- 理性的に扱いたい。
「何が」「どの程度であれば」 危ないのか

参考資料 : NPO法人 放射線教育フォーラム 平成18年10月31日
「義務教育課程において学ばせたい「放射線教育」の内容についての提案」
要望書「エネルギー・環境教育の充実のための学習指導要領の改善について」
(平成17年6月15日提出) に関する補足資料

新指導要領の趣旨

平成24年度　中学校学習指導要領解説　理科編から

- 教育課程全領域において「習得と活用」「探究」を意識してカリキュラム化する必要がある。
- 第1分野(7)科学技術と人間
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、自然環境の保全と科学技術の利用の在り方について科学的に考察し判断する態度を養う。

この単元の主なねらい

- エネルギー資源を有効に利用することが重要であることを認識させるとともに、科学技術の発展の過程や科学技術が人間生活に貢献してきたことについての認識を深め、自然環境の保全と科学技術の利用の在り方について多面的、総合的にとらえ、科学的に考察し、適切に判断する態度を養うこと
- 自然環境の保全と科学技術の利用の在り方について科学的に考えさせ、持続可能な社会をつくっていくことが重要であることを認識させる。

放射線の位置づけ

- ア エネルギー
  (ア)様々なエネルギーとその変換
  (イ)エネルギー資源
  ・・・その際、原子力発電ではウランなどの
  核燃料から ①エネルギーを取り出していること、
  核燃料は ②放射線を出していることや
  放射線は ③自然界にも存在すること、
  放射線は ④透過性をもち、医療や製造業などで利用されていることにも触れる。
- イ 科学技術の発展
- ウ 自然環境の保全と科学技術の利用
  テーマ学習 例: 原子力の利用とその課題

テーマ学習の場合

- 調査を行わせ、調査結果を分析して解釈させ、レポートにまとめさせたり、発表や討論をさせたりする。
- 調査の際には、テーマに関する情報を適宜記録して整理させたり、図書室、博物館、情報通信ネットワークなどを活用して調べさせたりする。
- 分析して解釈させる際には、科学的な根拠をもって推論し、判断させるようにする。
- そうした学習の過程で、理科の学習で習得してきた知識や技能を活用し、論理的な思考力、判断力、表現力などを育成する。
- 指導に当たっては、設定したテーマに関する科学技術の利用の長所や短所を整理させ、
- 同時には成立しにくい事柄について科学的な根拠に基づいて意思決定を行わせるような場面を意識的につくることが大切である。

本カリキュラムについて

- 文科省の教育特区「ひろしま型カリキュラム」の
  教科(習得)と総合的な学習の時間(探究)をつなげる
  新教科「言語数理運用科(C領域=A+B)」として作成
- 「A言語運用能力」と「B数理運用能力」を育成する。

A 国語を適切に表現し正確に理解する能力を育成し、伝え合う力を高める事や思考力・判断力・表現力や想像力を育てる。
B 日常の事象について見通しを持ち筋道を立てて考える能力を育てる事や数学的な見方や考え方の良さを知り、進んで活用する態度を育てる。

- 日常生活に見られる様々な事象について示されたテキストから課題を発見し、目的に応じて必要な情報を取り出し、これを各教科等で身に付けた知識・技能と関連付けて思考・判断し、自らの考えを適切に表現する力を育成する。

「活用」を重視

- 課題と教材は準備するが、体験活動(観察実験)はない。授業展開のスタイルは決まっている。

1 テキストの内容〔を大きくとらえて → の中心を的確に →を的確に〕理解し、目的や意図に応じて必要な情報を取り出すことができるようにする。

2 取り出した〔情報を、自らの知識・技能や体験に関連・意味付けて → 複数の情報を、相互に関連付けて → 情報を批判的に〕考え、判断することができるようにする。

3 自らの考えや意見を〔構成や展開を考えて → 論理的に〕表現することができるようにする。

注〔 〕内の、明朝体は小3から中1まで、ゴシック体が中2、3年生の目標

何がわかればよいのか

- 第1段階(全ての生徒のために)
  「ヒロシマの心を未来へ」
  修学旅行事前学習ハンドブック 広島市

http://www.city.hiroshima.jp/www/contents/0000000000000/1130293383435/index.html

- 第2段階(専門家になる生徒のために)
  「核兵器攻撃被害想定専門部会報告書」
  広島市の国民保護への取組み 広島市

http://www.city.hiroshima.jp/www/contents/0000000000000/1141957716995/index.html

具体的に理解してほしいこと

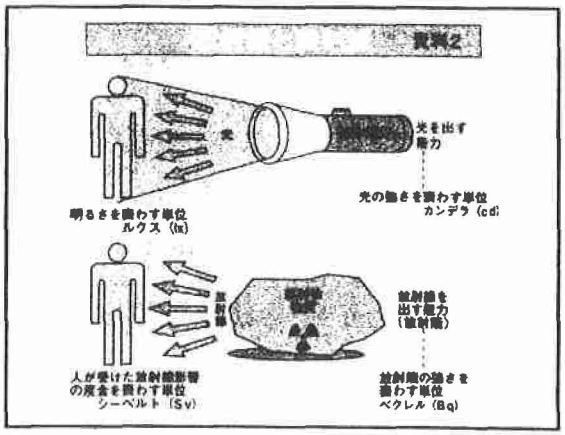
- 「戦後70年は草木が生えないと言われながら、どうして復興できたのか」
- 「放射線を受けるとどうしてガンになるのか、どの程度でガンになるのか、それは後世まで遺伝するのか」
- 「放射線、原子力の平和利用の在り方」

指導案「放射線って、何だろう！」

- 放射線の性質を光と対比して理解する
- 日常生活に放射線があり、それを量として捉えることができる
- 放射線発生のメカニズムを理解し、活用の場面を想定する
- 放射線の生物に影響を与えるメカニズムを理解し、放射線利用の実態を幅広く知る
- エネルギーの平和的な利用の在り方を考える

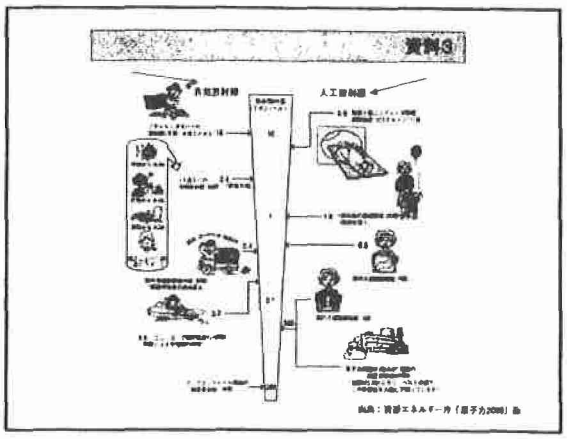
第1時

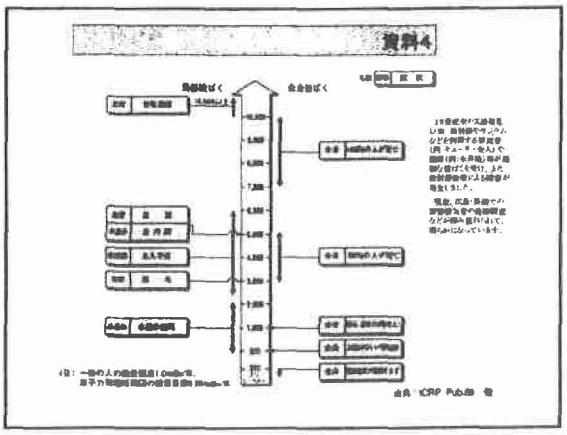
- 放射線と放射能の違いを理解する。
  放射線を光と関連づける活動を通して、放射線の性質を理解することができる。
- 放射線の性質を発見する。
  放射線の性質の理解を通して、放射線に対する基本的な対応の仕方を考えることができる。
- 資料1「サダコと折り鶴」－映像教材
  資料2「放射能と放射線」



第2時

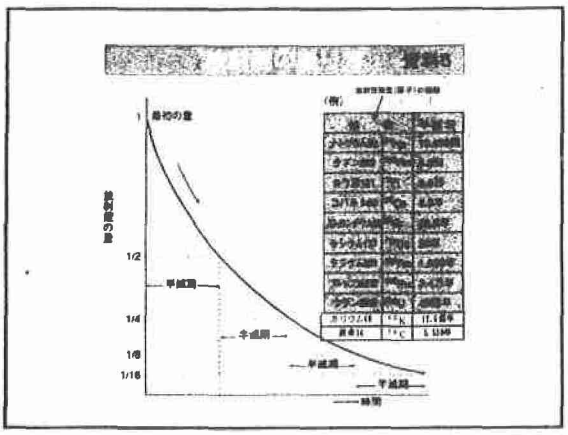
- 日常生活に放射線があることがわかる
  自然界に存在する放射線の理解を通して、放射線を量として考えることができる。
- 放射線を量として捉えることができる
- 放射線防護の基本となる考え方を発見する
  低線量と高線量の比較を通して、放射線に対する基本的な対応の仕方を考えることができる。
- 資料3「日常生活と放射線」
  資料4「急性の放射線影響」

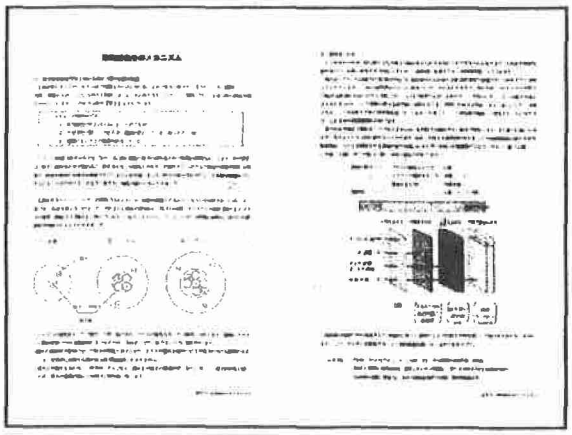




第3時

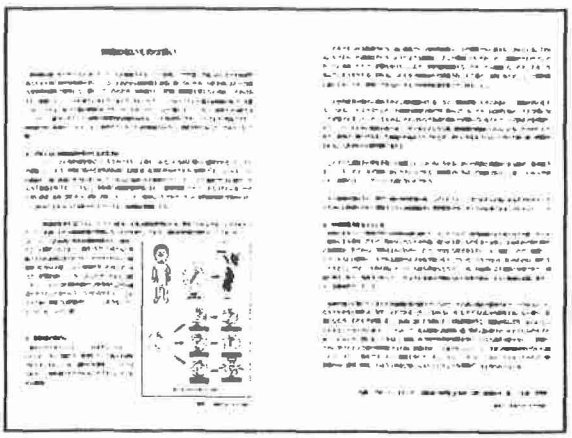
- 放射線の減り方を数学的に理解する
  グラフと表の比較を通して、放射線の減り方を理解することができる。
- 放射線を微視的な見方・考え方で捉える
  原子内部の微視的な見方・考え方を通して、放射線が発生するメカニズムを理解することができる。
- 資料5「放射能の減り方」
  資料6「放射線発生のメカニズム」





第4時

- 放射線の人体影響を理解する
  放射線が与える生物への影響を微視的な見方・考え方を通して、理解することができる。
- 放射線の有効利用について考える
  医療や暮らしに利用されている事例の理解を通して、放射線の有効利用を考えることができる。
- 資料7「実感のないものは恐い」
  資料8「暮らしと放射線」ー映像教材



第5時

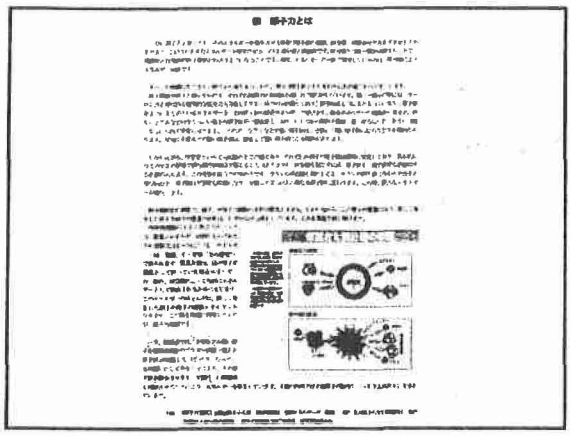
- 原子力発電と原子爆弾の違いを理解し、エネルギーの平和利用の在り方を考える
  原子爆弾と原子力発電所の比較を通して、放射線の平和利用に対する姿勢を理解することができる。

- 資料9「アインシュタインからのメッセージ」 ー映像教材

第6時

- 核兵器廃絶の意味を考える
- 放射線や原子力に対する自分の考えを持つ
  学習全体を通して、放射線に対する姿勢を科学的な知識に基づいて考えることができる。

- 資料10「原子力とは」



理科で行う場合の改善点

観察実験を取り入れる。

- 簡易霧箱による放射線の観察
- 放射線測定を取り入れた実験

ひろしま型カリキュラム　「放射線って、何だろう！」

広島市立江波中学校　原田忠則

本単元作成にあたっての動機

広島で育った子どもたちが将来において他地域の人と交流する際に、自己紹介や質問の中に「ヒロシマ」の内容が必ず必要となる。これまでの平和学習は、原爆の実相（被害の状況や被爆者がたどられた体験）を基盤に学習を進めてきた。特に語り部から聞く話は、直接心情に訴え自らの課題として捉えなおす機会となっている。しかし戦後60数年が経過し直接的な経験が難しくなってきた。新たな施策が必要となる。

ひろしま型カリキュラムの最終段階で、「平和宣言」の原稿が書ける段階の思考力・表現力を育てたいと考えているが、その根拠や理由となる事柄は教科学習の中で本来学ぶべきものである。しかし、現状を見ると歴史学習で「現代」の扱い、特に戦後の平和に関する歴史学習は十分であろうか。また、「放射線」といった中学校の指導要領に書かれていない内容の扱いはどうだろうか。ヒロシマの立場で、核保有国に対して、あるいは核保有を検討している国に対して『核兵器廃絶』を発信させるためには、原爆を原点にしたこれまでの心でわかる（納得のある）学習に加え、科学的な知識を用いて理性的に捉える頭でわかる（理解する）学習が欠かせない。

前回の夏休み後に提出した「ヒロシマの心を継承していこう！」はそのようなイメージで大単元のアウトラインを作った。今回の「放射線って、何だろう！」は、その小単元にあたる。（社会科的な内容の、日本の原子力利用三原則、非核三原則、パグウォッシュ会議などの平和に関する取り組みの歴史、非核保有国で唯一の濃縮工場と再処理工場を持てる国となった日本の世界からの評価　等もカリキュラム化したい。「ヒロシマだから、できること！」）

本カリキュラムのねらいは、何となく怖いと感じる放射線を量として捉え、生物に与える影響の仕組みを理解しながら実生活との関係や社会とのつながりを発見させたい。内容は、放射線の性質、放射線による人体影響、放射線の活用事例の理解を通して、扱う人間に放射線の理解があれば安全にコントロールできるエネルギー源であることを知らせ、原子力には否定的な面と肯定的な面の二面性があることを検討させる。「戦後70年は草木が生えないと言われながら、どうして復興できたのか」「放射線を受けるとどうしてガンになるのか、どの程度でガンになるのか、それは後世まで遺伝するのか」といった疑問に答えられるような知識をつけたい。その上で放射線や原子力に対する見方や考え方をつくりたい。

新指導要領の理科で「放射線」の扱いが検討されているようだが、ここではＮＰＯ法人放射線教育フォーラムの情報を検討材料に利用した。基本的な授業の流れは以下の通りとするが、現段階では、言語・数理運用の目標と内容に合うような教材提示の仕方、発問の仕方になっていない。

第１時　光と対比して放射線の性質を理解する。
第２時　日常生活に放射線があり、それを量として捉えることができる。
第３時　放射線発生のメカニズムを理解し、活用の場面を想定する。
第４時　放射線の生物に影響を与えるメカニズムを理解し、有効利用を考える。
第５時　原子力発電と原子爆弾の違いを理解し、放射線利用の実態を幅広く知る。
第６時　エネルギーの平和的な利用の在り方を考える。

○　単元計画

単元名：「放射線って、何だろう！」　　対象学年（中学校第３学年）　　時間数（６時間）

◇単元の目標

「放射線の科学的な理解を通して、核兵器の廃絶をめざす広島市の子どもとして表現する能力と態度を育てる。」

【関連する教科の目標】

＜理科（第１分野）＞　(7)　科学技術と人間

エネルギー資源の利用と環境保全との関連や科学技術の利用と人間生活とのかかわりについて認識を深めるとともに，日常生活と関連付けて科学的に考える態度を養う。

＜社会（公民）＞　(3)　現代の民主政治とこれからの社会

世界平和の実現と人類の福祉の増大のためには，国家間の相互の主権の尊重と協力，各国民の相互理解と協力が大切であることを認識させる。その際，日本国憲法の平和主義について理解を深め，我が国の安全と防衛の問題について考えさせるとともに，核兵器の脅威に着目させ，戦争を防止し，世界平和を確立するための熱意と協力の態度を育てる。また，人類の福祉の増大を図り，よりよい社会を築いていくために解決すべき課題として，地球環境，資源・エネルギー問題などについて考えさせる。

◇指導のねらい

「グラフや図、文字テキストの読み取りを通して、

（ア）課題を発見する力

○放射線について、正しい科学的な知識がないまま感覚的に思考・判断していたことに気づく。

○放射線や原子力の利用について、安全性を確保し信頼性を高めるのは人間活動の中にあることを発見する。

（イ）情報を取り出す力

○グラフや図、表の読み取りを通して、質的に、量的に捉えられるようにする。

○用語や数字・数式に着目して理解する態度を身につける。

（ウ）思考・判断する力

○放射線の利用や人体影響を、科学的な知識や数量的に捉えることで思考・判断に役立つことができる。

○複数の事象を批判的に読み取って、再構成して自分の考えを持つことができる。

（エ）表現する力

○要約や小論文の作成を通して、根拠を挙げて論理的に説明することができる。

○平和教育で学ぶ原爆の実相に関連づけて、自らの考えを論理的に表現することができる。

放射線に対する資質能力の育成と科学的、数学的に応用して思考力・判断力　の向上を図る。」

◇単元の指導計画

○第１時

・放射線と放射能の違いを理解する。

・放射線の性質を発見する。

○第２時

・日常生活に放射線があることがわかる。

・放射線を量として捉えることができる。

・放射線防護の基本となる考え方を発見する。

○第３時

・放射線の減り方を数学的に理解する。

・放射線を微視的な見方・考え方で捉える。

○第４時

・放射線の人体影響を理解する。

・放射線の有効利用について考える。

○第５、６時

・原子力発電と原子爆弾の違いを理解し、エネルギーの平和的な利用の在り方を考える。

・核兵器廃絶の意味を考える。

・放射線や原子力に対する自分の考えを持つ。

◇取り上げる事象　「放射線の科学的な理解と数学的な捉え方」

◇テキスト

○ 【資料１】「第２回　サダコと折り鶴」『21 世紀サダコストーリー』　Flash Player 5.0
広島平和記念資料館 Web　SITE　http://www.pcf.city.hiroshima.jp/

○ 【資料２】「放射能と放射線」　＊

○ 【資料３】「日常生活と放射線」　＊

○ 【資料４】「急性の放射線影響」　＊

○ 【資料５】「放射能と減り方」　＊

○ 【資料６】「放射線発生のメカニズム」　自作教材　＊
（引用文献　中学校理科用教科書『未来にひろがるサイエンス１分野下』　啓林館
『原子力 2007』　経済産業省資源エネルギー庁編集　日本原子力文化振興財団発行）

○ 【資料７】「実感のないものは怖い」　『知っていますか？放射線の利用』
岩崎民子（放射線医学総合研究所　名誉研究員）　丸善　平成 15 年

○ 【資料８】「暮らしと放射線」原子力体験セミナー用ＤＶＤ教材Ⅲ　放射線利用振興協会

○ 【資料９】『アインシュタインからのメッセージ　～原子力発電と原子爆弾の違い～』
企画　中国電力　　作製　毎日ＥＶＲシステム

○ 【資料１０】「原子力とは」　＊
『原子力 2007』　経済産業省資源エネルギー庁編集　日本原子力文化振興財団発行

＊　資料の 1～4、5 の図、9 の図の出典は　「原子力図面集 2007 年度版」　電気事業連合会

【レポート等、生徒の成果物に対する主な評価規準】

◎ 既習事項との比較を通して、新しい概念を構築することができる。
◎ 多様な観点で情報を取り出すことができる。
（第１時）

◎ 資料から数量を読み取り、日常生活と関連づけて考えることができる。
（第２時）

◎ テキストの内容の中心を的確に読み取り、理解することができる。
◎ 複数の事象をつなぎ合わせて、新しい情報を生み出そうとする。
（第３，４時）

◎ 学習内容を振り返るために小論文の形をで表現することができる。
（第５，６時）

○　単元名「放射線って、何だろう！」　　対象学年（中学校第３学年）　　時間数（６時間）

＜第１時＞

【本時のねらい】　◇　放射線を光と関連づける活動を通して、放射線の性質を理解することができる。
◇　放射線の性質の理解を通して、放射線に対する基本的な対応の仕方を考えることができる。

	資　料	学習活動　◆発問（指示）　□生徒の反応	○教師の指導と支援　◎評価（見取り）	●他教科との関連
導入	〔資料１〕 「サダコと折り鶴」 ウェブページ　６分３０秒	（１）映像を見て、最初の放射線のイメージを表現する。 ◆「21 世紀サダコストーリーの第２回を見て、放射線ってどんなものだと思いましたか。放射線のイメージをワークシートに書き出してみましょう。」 （第１次感想文として記述する。）	○導入でよくわからない放射線のイメージを表現しておく。６時間の授業後と比較することで科学的な知識に基づいて考えることが判断に欠かせないことに気づかせる。	
展開１	〔資料２〕 「放射能と放射線」	（２）光と対比する。＜資料２から単語を読み取る＞ ◆「放射線は私たちの生活のどこにでもあるものですが、色やにおいもなく五官に感じないのでなじみがありません。放射線の基礎を学習するにあたって資料２から光と対比できることをワークシートに書き出してみましょう。」 （放射線の性質を光の性質と対比して記述する。）	○光の性質と対比させながら放射線のイメージをつくりかえる段階なので、見えない放射線の性質を発見的に捉えさせるために、図にかいてある言葉を一語ずつ光の性質と比較させる。	

	資　料	学習活動　◆発問　□生徒の反応	○教師の指導と支援　◎評価（見取り）	●他教科との関連
展開2	〔資料2〕 「放射能と放射線」	（3）放射線の性質を考える。＜資料2から性質を読み取る＞ ◆「図には放射線の性質としてどんなことが読み取れますか。見つけたことをワークシートに書き出してみましょう。」 （発見したことを発表する。） □光には強さがあり、強いほど暖かいので、放射線にも強さがあると思う。→ 放射線の及ぼすさまざまな影響に気づく。 □光は電池がつくり出しているが、放射線は放射線を出す物質（放射性物質）が出している。→ 放射性物質の存在に気づく。 □電池がなくなったら光も弱くなるように、放射性物質も時間とともになくなる。→ 半減期につなげる。 □光の強さや明るさを表す単位があるのがわかった。同じように放射線にも単位がある。→ 放射線は見えないが測定できるものであることに気づく。	○光と同じ性質なら距離や浴びる時間によって影響が異なる、記号や量を表す単位の説明がある、放射線は発生場所がある、といった点が発見できるように文字や記号、性質に着目させる。 ○具体的に出された意見を板書してまとめる。 ◎放射線の性質を光の性質と対比しながら記述している。 ◎「放射線」「放射能」「放射性物質」の言葉の違いに気付く。	光：小学3年理科 （B　物質とエネルギー） (1)　鏡などを使い，光の進み方や物に光が当たったときの明るさや暖かさを調べ，光の性質についての考えをもつようにする。 物に日光を当てると，物の明るさや暖かさが変わること。
まとめ	〔ワークシート1〕	（4）本時の学習内容をまとめる。 ◆「今日の学習を通して放射能と放射線の関係を説明してみましょう。」 □放射性物質から出てくる光のようなものを放射線という。放射性物質には放射線を出す力がある。これを放射能という。	○用語の意味をとらえ、その関係を文字で説明することができるように促す。 ◎3つの用語の関連づけができた。 評価規準 ◎　既習事項との比較を通して、新しい概念を構築することができる。 ◎　多様な観点で情報を取り出すことができる。	

○ 単元名「放射線って、何だろう！」　　対象学年（中学校第３学年）　　時間数（６時間）

＜第２時＞

【本時のねらい】 ◇ 自然界に存在する放射線の理解を通して、放射線を量として考えることができる。
◇ 低線量と高線量の比較を通して、放射線に対する基本的な対応の仕方を考えることができる。

	資　料	学習活動　◆発問（指示）　□生徒の反応	○教師の指導と支援　◎評価（見取り）	●他教科との関連
導入	〔資料３〕 「日常生活と放射線」	（１）自然環境には放射線が存在し、その程度なら身体に影響がないことを捉える。 ◆「今日は、放射線がどこにあるのでしょうか。資料３を見てどんなことが書かれているか読み取ってみましょう。」 □放射線は身近なところにある。 □放射線には「自然のもの」と「人工的なもの」がある。 □自然放射線は「年間」で、人工放射線は「１回」で記述しているものが多い。 □放射線の量の単位はミリシーベルトでかいてある。 □１人あたりの自然放射線は２．４ミリシーベルトで、宇宙や大地、食物にも放射線がある。 □放射線はレントゲンだけではなく、食物などの中にもある。 □岐阜と神奈川のように県によって差がある。 □ＣＴスキャンもレントゲンと同じ種類のものだ。	○放射線には自然界に存在するものと、人工的に作られたものがある。いずれも放射線を量として同じように扱うことができる点を発見させたい。また自然界に存在する量がひとつの基準になっていることに気づかせる。 ○ミリシーベルトが単位の基準になっている。ミリは1/1,000である。 ○１人あたりの自然放射線（年間／世界平均）が2.4ミリシーベルトであり、その内訳にも着目させる。 ○縦軸の放射線量は対数で記述されている。程度の比較に用いるが、ここでは詳しく扱わない。 ○上空（飛行機）やトンネル（地下街、新幹線）の中など線量が高い場所によって差がある。回数が重なれば加算して考えなければならない。 ◎さまざまな違いを、数量で比較している。 ◎放射線がどこから発生しているかを記述している。 ◎自然環境には当り前に放射線があることがわかり、低線量（10ミリシーベルト程度）ならば大丈夫であることがわかる。	

	資　料	学習活動　◆発問（指示）　□生徒の反応	○教師の指導と支援　◎評価（見取り）	●他教科との関連
展開1	〔資料４〕 「急性の放射線影響」	（２）資料を対比させながら、高線量が危険であることを捉える。 ◆「資料４からどんなことがわかりますか。」 □局部に受ける場合と全身に受ける場合で分けて書いてある。 □局部の場合、皮膚や水晶体など部位によって線量に差があると影響が違ってくる。 □全身の場合、7,000 ミリシーベルト以上は 100％死亡で 3,000～5,000 ミリシーベルトでは 50％が死亡する。線量によって死亡率があがっている。 □全身の場合、200 ミリシーベルト以下は影響が確認できない。ということは、この数値以上が危険なレベルということになる	○症状の重さは、受けた放射線の量に依存することを捉えさせる。 ○影響を評価する場合、「局部」「全身」という見方があることを発見させる。 ○広島・長崎のデータが活用されていることを知らせる。 ◎影響を数値で捉えている。	
展開2		（３）放射線を不必要に受けないようにするためにどうしたらいいか考える。 ◆「放射線は病院だけでなく、さまざまな場面で利用されていますが、不必要に放射線を受けないようにするためにどのような工夫ができますか。」 □あるところに近寄らない。 □放射性物質から離れて必要な量だけ使う。 □扱う場合は、時間を短くする。 □レントゲンなど利用する場合は、範囲を限定して、何回も受けない。	○放射線利用と原子力エネルギー利用を合わせたわが国の原子力利用の経済規模は約 16 兆円ある。利用する立場だけでなく活用する立場も想定して、放射線の扱いについて考えさせる。 ○具体的に出された意見を板書してまとめる。 ◎放射線の性質から放射線防護の基本となる「距離をとる」「時間を短くする」「遮蔽（しゃへい）物を利用する」の考え方が表現できている。	
まとめ		（４）聞いた意見から気づいたことをワークシートにまとめる。 ◆「仲間の意見を聞いて気づいたことや考えさせられたことをワークシートの４番に記述してください。」	◎他者の意見を聞いて自分の考えと比較することができる。 評価規準 ◎　資料から数量を読み取り、日常生活と関連づけて考えることができる。	

○ 単元名「放射線って、何だろう！」　対象学年（中学校第３学年）　時間数（６時間）

＜第３時＞

【本時のねらい】 ◇ グラフと表の比較を通して、放射能の減り方を理解することができる。
◇ 原子内部の微視的な見方・考え方を通して、放射線が発生するメカニズムを理解することができる。

	資　料	学習活動　◆発問（指示）　□生徒の反応	○教師の指導と支援　◎評価（見取り）	●他教科との関連
導入	〔資料５〕 「放射能の減り方」	（１）放射能の減り方を理解する。 ◆「懐中電灯の電池に寿命があるのと同じで、放射性物質も見た目が変わることはありませんが、原子がこわれるにしたがって放射能も減っていきます。資料５は放射能の減り方を表したグラフと表ですが、どんなことがわかりますか。」 （読み取れる情報を箇条書きにワークシートに記述させる。） （読み取れた情報を発表する。） グラフから □縦軸が「放射能の量」、横軸が「時間」になっている。 □グラフは、反比例のグラフに似ているが違う。原点を通っていない（最初の量が「１」になっている）。 □縦軸の量が半分になるときの時間を「半減期」と書いてある。 □一定の時間間隔で放射能の量が 1/2 → 1/4 → 1/8 → 1/16 … $1/2^n$ と減っているので、最初の量は多くても、時間とともに急速に放射能が弱まっていく。 表から □原子の種類によって半減期が大きく違っている。ナトリウムはすぐに弱まるが、ウランはほとんど弱まることはない。 グラフと表の比較から □原子の種類が異なっても、原子のこわれ方には一定のルール（放射線の量が半分になる時間）が存在している。 □残留放射線が急激に減っていることからウラン以外は半減期の短い物質だったと考えられる。	○資料５は「グラフ」と「表」の２つの情報が表現されていることを読み取らせる。その上で「グラフ」から読み取れる点と「表」から読み取れる点を比較させる。 ○グラフの特徴を捉え「半減期」の意味を考えさせる。縦軸は横軸に対する変化率（微分）を表しているので式としては扱わない。 ○原子の構造は学習していないので、表の核種に書いてある数字（例えばナトリウム 24 の２４）は説明しない。 ◎それぞれの情報から的確にポイントを抜き出すことができる。 ◎グラフと表を比較し、半減期という共通性や原子の種類によって相違点があることを発見している。	数量関係：中学１年数学 (1)　具体的な事象の中にある二つの数量の変化や対応を調べることを通して，比例，反比例の関係を見いだし表現し考察する能力を伸ばす。 ア　比例，反比例の意味を理解すること。 イ　座標の意味を理解すること。 ウ　比例，反比例を表，式，グラフなどで表し，それらの特徴を理解すること。 エ　比例，反比例の見方や考え方を活用できること。

	資　料	学習活動　◆発問（指示）　□生徒の反応	○教師の指導と支援　◎評価（見取り）	●他教科との関連
展開1	〔資料6〕 「放射線発生のメカニズム」	（2）放射能が減っていく仕組み（メカニズム）を理解する。 ◆「放射線は半減期にそって急激に減っていきますが、どうして放射能は減っていくのでしょうか。資料6を読みながらその仕組みを理解しましょう。」 （説明文を解説する。）	○原子と原子の結びつきが変わることを化学変化と習っているが、その原子の内部構造は学習していない。ただし電流の単元で物質の中にはプラスの粒子、マイナスの粒子の概念は扱っている。また、音や地震の単元で波動の概念は扱っている。 ○発展的な内容ではあるが、テレビ等のメディアではあたり前のように扱われているものである。ここでは原爆の資料には中性子線やガンマ線の説明があることからヒロシマ学習の基礎的な知識として扱う。 ◎説明を聞いて不明な点が質問できる。	原子：中学2年理科（第1分野） 化学変化と原子，分子 ア　物質の成り立ち 物質は原子や分子からできていることを理解し，原子は記号で表されることを知ること。 ・原子は質量をもった粒子として取り扱うが、その構造まではふれない。 ・原子は次のように説明している 「化学変化でそれ以上分けることはできない」「化学変化で新しくできたり、種類が変わったり、なくなったりしない」「種類によってその質量が決まっている」
まとめ	〔資料6〕 「放射線発生のメカニズム」	（3）放射線の利用について考える。 ◆「放射線の種類が4つあげられていますが、この図を見て、何が分かりますか。また、放射線をどんなことに利用できると考えられますか。」 □4種類の放射線があり、透過力の違いがある。レントゲンは透過する力を使っているので物質内をこわさないで調べることができる。 □どんな物質を使えば放射線が止まるかわかる（一番透過力の強い中性子線は水やコンクリートで止められている）ので原子力発電所の作り方が想像できる。 □レントゲン室の扉が重たい理由が分かった（X線を止める重い物だから）。 □透過する粒子を使ってガン治療に使えるのではないか。 □粒子にしても波にしてもぶつかると（放射線が止まるとき）エネルギーが発生する。これを利用する。	○いずれも「止める方法がある」という点に着目して、4種類の放射線の相違点を比較させる。 ◎放射線はコントロールできるものである。α線、β線、γ線、中性子線があり、透過力の違いを使って利用することができる。 評価規準 ◎　テキストの内容の中心を的確に読み取り、理解することができる。 ◎　複数の事象をつなぎ合わせて、新しい情報を生み出そうとする。	エネルギー：中学校3年生（第1分野） ア　運動の規則性 エネルギーに関する実験や体験を通して，エネルギーには運動エネルギー，位置エネルギー，電気，熱や光など様々なものがあることを知るとともに，エネルギーが相互に変換されること及びエネルギーが保存されることを知ること。

○　単元名「放射線って、何だろう！」　　対象学年（中学校第３学年）　　時間数（６時間）

＜第４時＞

【本時のねらい】　◇　放射線が与える生物への影響を微視的な見方・考え方を通して、理解することができる。
◇　医療や暮らしに利用されている事例の理解を通して、放射線の有効利用を考えることができる

	資　料	学習活動　◆発問（指示）　□生徒の反応	○教師の指導と支援　◎評価（見取り）	●他教科との関連
導入		（1）放射線がどうして危ないのか学んだ知識を振り返える。 ◆「放射線は怖いものです。何となく怖いのですが、何が怖いのか考えたことがありますか。物理学者で随筆家でもある寺田寅彦は『ものを怖がらな過ぎたり、怖がり過ぎたりするのはやさしいが、正当に怖がることはなかなかむつかしい』と述べています。放射線は何が怖いのでしょうか。」 □粒子や電磁波が人間にあたるから。 □あたると何がおきるのだろうか。どうなるのだろうか。どうして危ないのだろうか。	○放射線の理解が深まっているので、これまであたり前に恐いと感じていたことが何かを考えさせる。 ◎課題があることに気づく。	
展開1	〔資料7〕 「実感のないものは恐い」	（2）放射線がＤＮＡに影響を与えることを理解する。 ◆「寺田寅彦は、『正当にこわがるには、そのものをよく知るしかない』といっています。放射線が生物にあたるとどうなるのか研究の結果かなりのことがわかるようになりました。資料７を読みながらその仕組みを理解しましょう。」 □放射線は遺伝子にキズをつける。 □キズがついた遺伝子は、死んだり、修復されてもと通り正常になったり、突然変異を起こしたりする。 □突然変異やがんになるまでには長い時間がかかる。 □がんになる原因は放射線だけではない。 □ある程度の放射線ならキズは修復される。	○遺伝子は学んでいるが、突然変異やガンになるまでには死・修復・突然変異といったさまざまな選択があり、それが出現するまでにはいくつかの段階があることを発見させたい（原爆の後障害から見つかったものである）。 ◎人体に影響を及ぼすものの一つが放射線である。しかも部位や受け方によって、段階を経て出現する。	遺伝子：中学３年理科（第２分野） 生物の細胞と生殖 ア　生物と細胞 身近な生物についての観察，実験を通して，細胞のレベルで見た生物の体のつくりと生殖について理解させるとともに，親の形質が子に伝わる現象について認識させる。 ・有性生殖の仕組みを減数分裂と関連付けて簡単に扱うこと。その際，遺伝の規則性は扱わないこと。

	資　料	学習活動　◆発問（指示）　□生徒の反応	○教師の指導と支援　◎評価（見取り）	●他教科との関連
展開2		（3）放射線の利用について考える。 ◆「放射線は透過力のある粒子や電磁波です。ここでは放射線が遺伝子（DNA）にあたったとき突然変異がおきる場合があることを知りましたが、これまでの学習から放射線の性質を有効利用する方法がないか再度、考えてみましょう。」 □放射線の透過する力をつかってX線撮影をする。 □植物の品種改良に用いる。	○レントゲンは透過する放射線を写真に撮る方法であることを示して考えさせる（非破壊検査、厚みの測定、放射線の反射を利用した化学分析）。 ○DNAにキズをつけることで品種改良に応用できることを示して考えさせる（分子結合させて耐熱を強めたタイヤ、防虫防除、半導体の加工）。 ○答えを見つける内容ではないので、授業の内容を振り返るように促す。 ◎既習事項を用いて考えようとする。	新素材：中学3年理科（第1分野） 科学技術と人間 イ　科学技術と人間 科学技術の進歩による成果として新素材などの利用が行われ、日常生活が豊かで便利になったことを知るとともに、環境との調和を図りながら科学技術を発展させていく必要があることを認識すること。
まとめ	〔資料8〕 「暮らしと放射線」 DVD映像　9分間	（5）放射線利用の現状を視聴する。 ◆「放射線の性質を産業に応用した例を見てまとめます。映像内容の文字テキストを配布するので、重要だと思える部分に印をつけながら視聴してください。」	◎重要だと思う部分に印をつけている。 評価規準 ◎　テキストの内容の中心を的確に読み取り、理解することができる。 ◎　複数の事象をつなぎ合わせて、新しい情報を生み出そうとする。	

○　単元名「放射線って、何だろう！」　　対象学年（中学校第３学年）　　時間数（６時間）

＜第５、６時＞

【本時のねらい】　◇　原子爆弾と原子力発電所の比較を通して、放射線の平和利用に対する姿勢を理解することができる。
◇　学習全体を通して、放射線に対する姿勢を科学的な知識に基づいて考えることができる

	資　料	学習活動　◆発問（指示）　□生徒の反応	○教師の指導と支援　◎評価（見取り）	●他教科との関連
導入		（1）原子力のエネルギー利用の問題点を考える。 ◆「これまで放射線の利用について考えてきましたが、同じくらいの規模で原子力発電としてエネルギーの利用も行われています。原子力発電は危ないと言われますが、何が危ないのでしょうか。具体的に考えてみましょう。」 □原子力発電所の事故。 □原子力発電所が地震や攻撃で壊されて放射性物質が散らばること。 ◆「原子力発電所で危険と思えるものを安全に使うためにどんな工夫ができそうですか。」 □安全装置を取り付ける。 □仕組みをよく理解する。 □戦争がおきないように世界と仲よくする。 □地震や津波に強い構造にする。	○原子力利用のうち、放射線利用は 54%、エネルギー利用は46%ある（平成９年度のデータより）。これまで放射線の観点で考えてきたが、本時では、それを扱う人間の智恵について検討する。 ○危ないと思えることをどのように回避すればよいかを考える。 ◎発表することができる。	エネルギー：中学３年理科（第１分野） 科学技術と人間 ア　エネルギー資源 人間が利用しているエネルギーには水力，火力，原子力など様々なものがあることを知るとともに，エネルギーの有効な利用が大切であることを認識すること。

	資　料	学習活動　◆発問（指示）　□生徒の反応	○教師の指導と支援　◎評価（見取り）	●他教科との関連
展開1	〔資料9〕 「アインシュタインからのメッセージ～原子力発電と原子爆弾の違い～」 ビデオ映像　１９分間	（3）〔資料9〕を視聴して、核エネルギーを取り出す点で類似する原子力発電と原子爆弾の相違点を明らかにする。 ◆「原子力発電は放射線を扱い、しかも大きなエネルギーを取り出す装置なので扱いは慎重でなければなりません。原子爆弾との違いを比較しながら視聴しましょう。」	○エネルギーを有効利用するためには安全性の確保が欠かせず、科学的な知識を基盤にして組み立てなければならないことを指摘する。 ◎集中して視聴することができる。	科学技術と人間： 中学３年理科（第１分野） 科学技術と人間 エネルギー資源の利用と環境保全との関連や科学技術の利用と人間生活とのかかわりについて認識を深めるとともに，日常生活と関連付けて科学的に考える態度を養う。
展開2	〔資料１０〕 「原子力とは」	（4）原子力エネルギーを利用する際の問題点を整理する。 ◆「資料９と資料１０を参考に、原子力を利用する時の、個人の在り方と社会の在り方を考えてみましょう。」	○安全性に信頼をおくためには、危険物を扱っている認識の上にたって、それを取り扱う人間が仕組みを理解しておくこと、彼らを支える社会の在り方を考えさせたい。	
展開3		（5）単元を通して学んだことを整理する。 ◆「この単元を学習して心に残っているものを１点選んでください。また、どうして心に残ったのかその理由も述べなさい。」	○学習全体を通してのまとめになるので、自由記述させるが、その理由が学習内容と関連づけさせるようにこれまでの資料を用いるように促す。	
まとめ		（6）整理したものを用いて小論文としてまとめる。 ◆「この単元を学習して心に残っているものを、結論先行型の小論文として原稿用紙２枚（800字）にまとめましょう。」	○放射線の利用を前提に、個人として社会としてどのような態度で立ち向かうべきかを書かせる。 ◎主語と述語につながりがある。 評価規準 ◎　学習内容を振り返るために小論文の形をで表現することができる。	

「放射線って、何だろう？」　ワークシート１

1．原爆が落ちて 10 年もたってから、佐々木禎子さんの体に放射線の影響があらわれました。放射線ってどんなものだと思いますか。

2．放射線について光と対比して図からわかることを表にしてみましょう。

光	放射線
懐中電灯	*放射性物質*
光を出す能力	*放射線を出す能力（放射能）*
光の強さを表す単位 カンデラ（ｃｄ）	*放射能の強さを表す単位* *ベクレル（Ｂｑ）*
明るさを表す単位 ルクス（ｌｘ）	*人が受けた放射線影響の度合いを表す単位* *シーベルト（Ｓｖ）*

3．図から、放射線の性質としてどんなことが読み取れますか。

・光には「(出す時の) 強さ」と「(光を受けた時の) 明るさ」がある。放射線にも「強さ」と「人が受けた放射線影響の度合い」がある。

・強さや明るさに単位があるということは、測定できる。測定する装置がある。放射線も測定できる。

・放射性物質の下にあるマークを病院で見たことがある。

・放射線も光と同じように直進するのか。遠くなると弱くなるのか。電池がなくなると光らなくなるのと同じで放射性物質もなくなるのか。(疑問)

3年　組　番　名前

「放射線って、何だろう？」　ワークシート２

1．資料２「日常生活と放射線」にはどんなことが書かれていますか。

2．資料３「急性の放射線影響」からどんなことがわかりますか。

3．不必要に放射線を受けないようにするためにどのような工夫ができますか。

恐いことは、放射性物質がどこに、どれだけあるかのかわからない場合である。一番いいのは、
・放射性物質（マークのあるところ）に近寄らない。

レントゲンなどを受診する場合は、
・放射線が光と同じなら、範囲以外はブロック（遮蔽）すればよい。

レントゲン技師のように放射性物質を仕事で扱う場合は、
・放射線が紫外線と同じなら、たくさん浴びないよう時間を短くする。
・光は離れると暗くなるので、放射線も離れるといい。

4．他者の意見を聞いて考えたり、思ったりしたことをまとめてみましょう。

3年　　組　　番　名前

「放射線って、何だろう？」　ワークシート３

１．資料５「放射能の減り方」から、どんなことがわかりますか。

２．資料６「放射線発生のメカニズム」の図から何が分かりますか。また、放射線をどんなことに利用できると考えられますか。

3年　　組　　番　名前

（この報文は、著者が 2008 年 12 月 18-19 日に台湾清華大学で開催された「第 4 回放射線教育における国際シンポジウム」（ISRE08）において招待講演を行ったものの翻訳である。）

放射線教育――放射線・放射能・原子力関連問題の正しい知識を広めることの重要性

松浦辰男（NPO 法人放射線教育フォーラム事務局長）

１．はじめに

「持続的発展」という言葉が「エネルギー環境問題の克服」の同義語として最近のはやり言葉となっている。これは実際的には石油や石炭などの化石燃料の消費をできるだけ節約してそれに代わるものとして太陽や風力などの自然エネルギーや原子力エネルギーを主とする新エネルギーを大いに利用しようとするものである。

種々の非化石エネルギーの中でも、その容量や安定性、経済性において最も頼りになるのは原子力であり、日本では、現在電力の３２％は原子力で供給されている。しかし、原子力は放射線や放射能と切り離せない関係があり、日本においては放射線に対しては「放射線恐怖症」といえるほど危険なものであるとの考え方が一般大衆にあり、これが原子力の社会的受容に大きな障害となっている。

この現状を改善させたいとの願望のもとに、われわれは 1994 年に「放射線教育フォーラム」を設立し、放射線や原子力に関連する正確な知識を一般社会に、特に学校に普及させるために、中でも学校教育における状況改善に努力を重ねてきた。本論文では、われわれの活動をご紹介するが、この際、このような努力を今後国際的規模に拡大させることを提案する。それは、現在のようにすべての経済的活動が自由放任されている状況では世界のエネルギー環境問題の将来はこのままでは決して楽観を許さないからである。

２．なぜ日本人が「放射線恐怖症」的な感情をもっているか

日本人が一般になぜ放射線を怖がっているかには大きく分けて３つの理由がある。

2.1　広島・長崎の原子爆弾の後遺症として

核分裂の発見という、戦時中でさえなければ当然ノーベル賞の対象となるような純粋に学問的な発見が直ちに非人道的な目的に利用されて、多くの無辜の市民を殺戮し繁栄していた都市を破壊するのに使われたことは誠に不幸なことであった。幸い直後の死亡を免れた「被爆者」と呼ばれる原爆の生残者たちも、原爆落下瞬間に受けた比較的少量の放射線の後遺症によって寿命は短くなるであろうと聞かされ、一生涯放射線による病気が何時起こるかも知れないという不安とともに生きることになった。それ以来、すべての日本人は放射線の危険性についてマスメデイアから繰り返し聞かされてきた。その結果、「放射能」という言葉を聞くのさえも好まない日本人が少なくないことは事実である。

2.2　マスメデイアの態度及び学校教育の影響

日本の原子力の平和利用は、1950 年代に始まったが、1954 年のビキニ事件は、日本人にまた核兵器の脅威を呼び起こすことになった。その後に起こった原子力発電所の２つの大きな事故、1979 年の TMI 事故及び 1986 年のチェルノブイリ事故はいずれもマスメデイアにより大きく取り上げられ、原子力の危険性が強調された。マスメデイアは、その一般的傾向として放射線や原子力関連事項について、そのメリットはほとんど伝えずに、デメリットのみを誇張して報道する傾向がある。放射線の有用性、特に医療における大きな役割などは、もっと広く広

報されるべきである。学校教育においても、日本政府は、原子力エネルギーの平和利用を進めるという国策に反して、初等・中等教育において、放射線や原子力に関する教育に消極的であった。それゆえ、義務教育段階の若い生徒はこれらの分野に関する正しい知識を学ぶ機会が乏しく、この分野に進もうとする少数の学生のみが高等学校以降において勉強できたのである。

2.3　放射線防護の基本的考え方（しきい値なしの直線的仮説）の影響

もう一つの理由は、放射線防護の分野において、放射線は小量でも悪影響がある（可能性がある）ので、できるだけ被ばくしないようにしようという考え方（「しきい値なしの直線的仮説（LNT 仮説）」）で現在、放射線に関する規制ができていることである。この考え方はあくまでも仮設に過ぎないのであるが、一般の人々には法律は科学的事実に基づいてつくられていると考えられて放射線が怖がられ、またマスコミ論調を支配する大きな原因となっている。

われわれがここで銘記すべきことは、最近の放射線影響に関する多くのデータ（疫学的及び動物実験的）によれば、低線量及び低線量率領域では、いわゆる「確率的影響」とされているがんや遺伝的影響においても「しきい値」が認められ、場合によってはラドン療法のように悪影響とは逆の「ホルミシス効果」が認められる場合がしばしばあることである。われわれは、国際放射線防護委員会（ICRP)が、近い将来現在の考え方を真実に近い方向に改訂されることを切に希望する。また、著者らは、原爆の生存者の疫学的データを詳細に検討する、すなわち被災者の残留放射線による付加的な被ばく線量をより正確に見積もることにより、LNT 仮説はこの場合においても科学的に正しくないという信頼すべき証拠を持っていることを付け加えたい（松浦ら、2002 年)。

3．放射線教育フォーラムがこの状況を改善すべく行ったこと

われわれの「放射線教育フォーラム」は 1994 年に設立されたが、これまで 15 年にわたり、現状を改善すべく、すなわち放射線や原子力関連問題に関する科学的事実と一般人の考え方のギャップを埋めるべく種々の努力をしてきた。フォーラムの会員は主に放射線や原子力の分野における大学や研究機関の研究者あるいは学校の教員であり、その会員数は約２５０である。活動の基本的な考え方は、正確な科学的事実を先入観を排除して伝達することである。われわれが非専門家に話しかけるときは、できるだけわかり易い言葉を使うことにしている。現在以下に述べるような種々の活動を行っている。

3.1　セミナーやシンポジウムの開催

○会員を対象とするセミナーは定期的に 1 年に 3 回東京で開催している。

○放射線教育に関する国際シンポジウム（ISRE）は 3 回開催された：第 1 回は 1998 年 12 月に神奈川県湘南国際村で、フォーラムが主催；第 2 回は 2002 年 8 月にハンガリー、デブレッセンで、故 Marx 教授らが組織；第 3 回は 2004 年 8 月に長崎でフォーラムが主催で；第 4 回が今回、2008 年 12 月台湾新竹市で、清華大学主催

○学校教員向けの「エネルギー・環境・放射線セミナー」が 2001 年より毎年、日本全国 10 地区で開催されている。参加者は毎年約 500 名。

3.2　専門委員会の開催

放射線教育に関連した種々のテーマで専門家による委員会を開催して、その検討成果は年度末の報告書に記載されている。それらは、「学校での放射線教育課程の検討」、「放射線教育のための実験教材」、「教科書記述調査」、「リスク問題に関する教育」、「低レベル放射線影響の理解」、「放射線ビームを主とする放射線利用」、「マスコミ報道調査」である。

3.3　定期刊行物の発行

○「ニュースレター」が 1 年に 3 回発行され、セミナーの案内やフォーラム会員相互の意見交換に利用されている。2008 年 11 月現在で 42 号まで発行された。
○「放射線教育」が 1 年に 1 度発行され、2008 年 4 月現在で 11 巻刊行された。また、2000 年 3 月からは、これの別冊として、年度ごとにフォーラムの活動に関する報告書として刊行されている。これまですでに 9 巻発行され、学校教員向けのセミナー参加者への付加的なテキストとなっている。

3.4　政府への要望書の提出と教員のための放射線指導資料の作成

学校における放射線教育を充実させるために、学習指導要領の改善を求めて、これまでに数回にわたり（1995 年、1996 年、2005 年、及び 2006 年）文部科学省に対して要望省を提出してきた。そのほか原子力委員会等からの指名に応じて教科書の記述改善などに関する意見具申を行ってきた。最近の 2 度の文部科学省への要望書の提出の結果、平成 24 年度から全面実施となる中学校の新しい学習指導要領において、30 年ぶりに放射線が中学校の理科で正式に取り上げられることとなった。また、この学習指導要領改訂に対応して、主にこれまで放射線を教えた経験のなかった中学校の教員を対象に、どのような内容のことをどのように教えるのが良いかという指導資料を作成する作業を開始した。

3.5　社会への放射線教育特に「核テロ対処」の活動

社会への放射線教育として、学会での放射線関連のパネル討論会の企画・提案を行っている。また、最近関心が高まっている「核・放射線テロ」に関連して、アメリカの NCRP 資料の訳出や資料の収集のほか、消防庁、警察庁等からの要請に答えてこれらの官庁の教育機関への出張講義を行っている。

4．中学校・高等学校の段階で教えられるべき放射線に関する基本的知識

ここでは、学校教育において教育されていてしかるべき放射線・原子力に関連した基礎的知識を列挙する。このようなことは今日、一般市民の常識と考えられる。

4.1　環境における自然放射線・天然放射性物質の存在

我々の身の回りの環境に、種々の原因による自然放射線や天然に存在する放射性物質が存在することを、放射線測定器を用いて実際に目で（あるいは耳で）感知しながら教えねばならない。自然放射線の原因は種々であること：大地から、宇宙線から、人間の体から、及び空気中に存在するラドンとその壊変生成物から。

大地からの自然放射線は、その土地の地質的条件により異なること。（西日本は、一般に花崗岩成分が多いので、ウランなどを多く含み、その結果線量が高くなっている。）また、地球上には、自然放射線量の高い地区が幾つかある。（有名なのは、インドのケララ、ブラジルのガラパリ、イランのラムサール、中国の陽江）宇宙線からの放射線は、その源は太陽やもっと遠いところからきている。宇宙線からの放射線は高度が高くなると強度が高くなり、海抜 10,000 メートルでは地表の約 100 倍以上となる。体内の天然の放射性物質の主な成分は K-40 である。これは、日常に摂る食品に含まれているものである。

4.2　放射線や放射能の本質は何か？

放射線はエネルギーの 1 形態である。放射線は天然に存在するが人工的にも作れる。しかし、その作用に関しては、種類とエネルギーが同じであれば、人工のものも天然のものも違いはない。天然の放射能には、α線、β線、γ線等の区別があるが、それらは何れもすべての物質を構成する基本的単位である原子の中心にある原子核の安定性に大きく依存している。すなわち、原子核を構成している陽子と中性子の割合がアンバランスであったり、原子核自体が大きすぎ

る場合はそれより安定な状態に自発的になろうとして、その際余計なエネルギーを放射線として放出するのである。

放射線と物質との相互作用はどのようなものか。

4.3　原子力エネルギーとはどういうものか

核分裂とはどういうものか。原子力発電所と原子爆弾はどこが違うのか。

4.4　放射線はどのように利用されているか

放射線の利用は放射線のどのような性質が利用されているのか。

4.5　放射線の人体への影響はどのようなものか

どのくらいまでならば放射線を受けても安全といえるのか。最近のデータでは、200 mSv くらいまでならば実質的に安全といえるであろう。放射線の人体への影響は、受けた全部の線量によるばかりでなく線量率にも依存する、すなわち同じ線量でもそれを短時間の間に受けたときに比べて線量率が小さいときは影響は小さくなる。

4.6　我々のからだを放射線源から保護するための常識とは

３つの原則がある：それらは、(a)距離を取ること、(b) 遮蔽を置くこと、(c) その場所での作業時間を最小にすること、である。

4.7　放射線を使う作業者に対しては放射線の被曝を最小にするための法規があること

放射線を使用するときは ALARA の原則に従って行うことが推奨されている：(a) 放射線を利用することのメリットがないときは使わない、(b) 注意深く放射線をとりあつかう、(c)放射線作業者及び一般公衆に対して定めれた被ばく限度にしたがうこと。

５．放射線に対する不正確な記述の種々の例

ここに挙げるのは、中学校や高等学校の教科書やその他の出版物にしばしば見られる不正確な記述の例である。その解説は省略する。

「放射線は、なぜ人体に危険なのだろうか。」

「原子力は、人体に有害な放射能を大量に発生させる。」

「放射性物質は、極めて有害なため処理が難しい。」

「放射能は、あらゆる生物にとって、その生存を脅かすような影響を与える。」

「いったん原子力発電所で事故が起こると、広大な範囲が放射能に汚染され、長時間にわたって人体や生態系に甚大な悪影響を及ぼす。」

「(海外で起きた) 大規模の事故の例にみるように、原子力発電所の安全性は完全ではない。」

「(チェルノブイリ原子力発電所の写真の説明で) 広島型原発の 500 倍の放射能汚染をひきおこした。」

「JCO 事故では、700 名の住民が放射線被ばくをした。」

「ヨーロッパ諸国やアメリカでは、高いコストと安全が考慮されて、原子力発電所の新しい建設はほとんど行われていない。」

一般的傾向として、社会の教科書では、自然エネルギーの欠点をほとんど無視してそれに味方し、一方原子力の欠点を強調する記述がしばしば見られる。

６．放射線教育の今後の展望

放射線や原子力関連の問題に関する正確な知識を広めるという活動は学校教育だけでなく、全社会に対して続けねばならない。そのために、われわれ専門家はマスメデイアや社会一般の意見を変えるのに大きな影響力のある人々ともっと接触をもらねばならない。

私は、この必要性は単に日本のみに限らず全世界にも存在すると思う。それは、多くの国々が近い将来においてもっと原子力に依存せざるをえず、多くの問題に直面するであろうからである。そのときには特に放射線のリスクの知識を広めるためのわれわれの経験やノウハウはこれらの国々の社会の意思決定に役立つであろう。これらの国は地域に対しては、この種の情報は有益な無形財産として歓迎されるであろう。

私が強く思うことは、この目的のためには、われわれ専門家が放射線のリスクの度合いに関してわれわれの意見をもっと明確にし、それらを、例えばLNTモデルの批判に関してより統一された方向にまとめることが必要であると考える。そうして、われわれ専門家がICRPにその勧告を改訂するように勧告できるようになることを希望する。

謝辞

私は、この発表をする機会を与えて下さったISRE08の組織委員会に感謝する。

文献

Matsuura, T & Sugahara, T: "On the Existence of a Threshold in the Dose - Response Relationship from the Epidemiological Data of Atomic Bomb Survivors", AOCRP-1, October 20-24, 2002, Seoul, Korea; http://www.iips/rah/spotlight/kassei/matu_1.htm (in Japanese)

本資料は、(社) 日本アイソトープ協会発行の Isotope News
2008 年 5 月号 13－16 ページより転載したものである

テユビアナ博士の
2007 年度マリーキュリー賞受賞講演
「低線量放射線のがんリスク：反 LNT の根拠」

田ノ岡　宏
Tanooka Hiroshi

フランスの国立がんセンター Gustav Roussy Institute 元所長，パリ大学名誉教授モーリス テユビアナ（Maurice Tubiana）博士のブダペストにおける受賞講演の原稿をいただいたので御紹介する。The 2007 Marie Curie Prize "The Linear No-Threshold Relationship and Advances in Our Understanding of Carcinogenesis" と題するもので，その内容は新鮮で鋭い指摘を含んでいる。

テユビアナ博士は老齢になられたが，1970 年エビアンで開催された第 4 回国際放射線研究会議（4 th ICRR）の会長を務められた時には会場で犬をつれた颯爽とした紳士であった。我が国では海外旅行がまだ不自由な時代で若手研究者が団体旅行を組み大挙して出席した楽しい思い出がある。

テユビアナ博士の最近の活動は，フランス科学アカデミーの報告書 Problems Associated with the Effects of Low Doses of Ionizing Radiation（1997）や医学アカデミーの Dose-Effect Relationships and the Estimation of the Carcinogenic Effects of Low Doses of Ionizing Radiation（2005）の中心的まとめ役としても知られる。一口に言えば，国際放射線防護委員会（ICRP）や国連科学委員会（UNSCEAR）は低線量放射線によるがんの増加はまだ発見されていないだけで確率的影響として存在するというモデル（"直線しきい値なし" モデル）を採用している。しかしながら，フランス科学アカデミーは放射線のがんリスクは現在 100 mSv 以下でみられていないことから，リスクはないとする。この講演では低線量放射線による発がんに関するフランス科学アカデミー側に立った博士の個人的見解が明確に打ち出されており，一層説得力がある。このような努力は我が国では近藤宗平大阪大学名誉教授が行ってこられていて，テユビアナ博士にも同じ方法論的アポローチが伺える。以下要点をかいつまんでみる。

写真　ダブリンの低線量シンポジウムで，2001 年 7 月

1-1. The LNT hypothesis and its biological implications

放射線防護の基準として用いられている直線しきい値なし（Linear Non-Threshold：LNT）モデルの根拠として，発がんの突然変異説と DNA 損傷（二重鎖切断）生成の直線的線量依存性をあげるが，これでは複雑な発がん過程の線量依存性を説明できない。

1–2. The role of reactive oxygen species (ROS) in initiation

空気中酸素由来のDNA損傷の生成量は1日分で，放射線量に換算すると200 mSvもの高い数値に相当する（Burkart（1999））。この程度の放射線に対してDNA修復は個体を正常に維持するために十分機能すると考えられる。

1–3. Defense mechanisms

1–3–1. DNA repair

DNA修復能は酵母には8億年前から備わっていた。哺乳動物細胞の突然変異誘発率は線量率に依存し，1～10 mGy/minでは著しく低下する。放射線抵抗性バクテリア（D. radiodurans）は7,000 Gy受けても誤りなくDNAを再構築できる。フランス科学アカデミーはDNA修復効率が状況の変化に対応するものとして次の3点をあげる。i) Low dose hyper sensitivity, ii) Hyperfast variations in radiosensitivity, iii) Adaptive responses。これらはいずれも線量と線量率に依存する。

1–3–2. Elimination by death of cells with DNA damage

損傷細胞が自爆するアポトーシスは数mSvから200 mSvの線量域で起こり，それ以上では起こらない。DNA修復を起動する損傷センサーATM/ATRは数mSv以上ではじめて活性化され，それ以下の低線量では活性化されないことから修復は起こらず損傷細胞はアポトーシスにより除去される。このRothkammとLöbrichの結果はBEIR VIIレポートでは疑問視されたが，フランス科学アカデミーはこれを支持する。

1–3–3. Senescence

損傷細胞がその影響を子孫細胞に伝えることを避け，分裂を止めた状態で死にいたるまで働き続ける機能と考えられる。

1–3–4. Microdosimetric argument

線量がいかに少なくても1 event当たり与えられるエネルギーは変わらない。さらにDNA二重鎖切断の数が多くなると誤修復が多くなる。また，アポトーシスの頻度も損傷の密度に依存する。Microdosimetric argument（Brenner and Sacks（2006））には線量率に依存するこれらの生物学的要素の考慮に欠けている。

1–3–5. Cell defense strategy

生物進化の上で低線量では損傷細胞を集団から排除するのが効率的であったのであろう。2 mGy程度の線量で多数遺伝子の転写が誘導されるが，これは細胞に有害に働くのではなく防護的に働くものとみられる。しかし，200 mGy以上になると組織の破壊を防ぐために誤りを冒しても修復を急ぐ必要があったのであろう。

1–3–6. Bystander effects

隣接細胞に照射細胞の影響が伝わるのは，細胞間のシグナルのためとみられる。このシグナルのしきい値線量は3 mGyとされる。Bystander effectはadaptive responseを誘導するので，むしろ防護的に働くと考えられる。一方，低線量放射線がGenomic instabityを誘導し，がんを誘発するという可能性は支持するデータに乏しい。

1–3–7. Several broad types of mechanisms can contribute to the accumulation of genomic damages possibly leading to cancer

ホルモン，アルコール，栄養過剰，喫煙，刺激の連続など細胞増殖を刺激するものはヒトのがんに関係があるとされる。細胞分裂1回当たり50個のDNA二重鎖切断が生じ，細胞分裂回転が早くなるとがんリスクも上がる。一方，p53遺伝子の変異や欠落などによってアポトーシスが抑制されると損傷細胞が排除されなくなり，がんリスクが上昇すると考えられる。

1–3–8. Summary

1～3 mSvの低線量ではDNA損傷を持つ細胞は集団から除外される。10～100 mSvの線量域では，アポトーシスとDNA repairが効果的に働く。誤り修復は50～60 mSvで徐々に増大し100 mSv以上で大きくなる。500 mSv以上では致死効果が顕著になり，ホメオスタシス

機構が残存細胞の増殖を促すので，DNA 修復の時間的余裕が少なくなり突然変異リスクが上昇する。

1–4. Promotion

発がんのイニシエーションの変化を受けた細胞は周囲の正常細胞を含む微小環境によって増殖が抑制される。しかし，内在性ホルモンや刺激物（アルコール，炎症，アスベストなど）によってがん化へと促進される。

1–5. Defense mechanisms at the microenvironment, the tissue and body level

正常組織では隣接し合う細胞がサイトカインを通じて増殖を制御し合っている。この機能は個体の発生や損傷組織の再構築においても活性化されている。がん細胞はこのバリアーを越えなければ増殖できない。300 mSv 以上を受けた組織では，細胞死による組織損傷でこの制御機構のバランスが崩れてがん化細胞の増殖が容易になるらしい。肝硬変などもその例である。プロモーション効果は紫外線などの連続反復照射でも起こる。

1–6. Progression

発がんの最後の段階で新しい突然変異が生じて悪性のサブクローンができ，このサブクローン同志でダーウィン的生存競争が起こって勝ったクローンが生き残ると考えられる。

2. Consistency of biological, experimental and epidemiological data

2–1. Experimental data

2–1–1. Experimental studies *in vivo*

Low LET 放射線の線量–発がん関係曲線はほとんどの場合直線（L）でなく linear–quadratic（直線–二次曲線；LQ）か quadratic（二次曲線；Q）で 100 mGy 以下ではどの系においても発がんは認められていない。線量率が低くなると発がんリスクは減少し，さらに全身被ばくが部分被ばくになるとがんリスクは低くなる。低線量では生体の防護機構が活性化されるので，発がんリスクの線量依存性が直線型でないことの理由になる。山本ら（広島大学（1998））の，種々の濃度のトリチウム水をマウスに与えた実験は線量率効果をみるために大変重要なもので，1 mSv/day を超えた時に初めて胸腺リンパ腫の発生がみられ，それ以下ではみられない。この線量率は 1 日 1 回マウスのすべての細胞が電子で 1 回ヒットされたことに相当する。

2–1–2. Experimental studies *in vitro*

組織の微小環境や免疫抑制のない試験管内環境でも細胞のがん化は 200 ～ 300 mGy 以下の線量ではみられていない（J–shaped dose response curve）。*In vitro* の細胞がん化のデータも LNT モデルを支持しない。

2–2. Epidemiological data

原爆生存者のがんリスク線量効果関係は直線型ではない。さらに白血病ではしきい値がみられる。また 100 mSv 以下では原爆，チェルノブイリ，フランスの医用放射線作業従事者のいずれの場合にも，がんリスクは認められていない。サルでは 250 mSv 以下の全身照射による白血病のリスクは 12 年後でも認められない（Suit *et al.* (2007)）。この結論は，100 mSv 以下でも原爆生存者や職業被ばく者にがんリスクがあるとする Brenner らの報告（2003）と矛盾するが，Brenner らの方法自体が発がん機構が線量に依存することを無視しているので無理がある。これらの報告（Brenner (2003)，Darby *et al.* (2005)，Cardis *et al.* (2005, 2007)）はこれまでの LNT モデルを支持する結果であり，いずれにおいても，100 mSv 以下にしぼり込めば，がんリスクがあるとは言えない。むしろ，LNT モデルを誤って適用したという指摘がある（Breckow (2006)）。チェルノブイリ小児白血病も 200 mSv にしきい値がある可能性を支持する。

米国の原子力作業従事者 410,000 人について，被ばく群にわずかにがんリスクの増加がみられたと報告されたが，これはカナダとオークリッジの戦時中の作業者群に限られており，当時の線量測定に問題があったと考えられる。さ

らに戦後のカナダ原子力作業従事者には被ばくによるがんリスクの増加はみられていない。以上から 150 mSv 以下ではがんリスクの増加はないと判断される。

人体内部被ばくのデータは調査対象数と追跡期間で原爆生存者のデータに匹敵する。ラジウム塗布作業者に発生した骨肉腫で 10 Gy，トロトラスト被験者に発生した肝がんで 2 Gy という高い線量で α 線にもしきい値がみられている。フランス科学アカデミーはこの事実を，がん化細胞が周辺正常細胞によって抑制を受けたためと解釈する。

2–3. In utero irradiation

ICRP（2004）や BEIR VII（2006）では妊娠中被ばくのがんリスクを重要視する。これは Doll and Wakeford（1997）の調査に基づいているが，後のスウェーデンの調査（Naumberg *et al.*（2001））では胎児被ばくと白血病との関係はみられていない。双生児は単胎児と比較し骨盤計測の必要性から，放射線診断をより多く受けることによりがんリスクもより増加しそうであるが，コネティカットの 32,000 例ではリスクの増加が報告されているものの，スウェーデンの 86,316 例では増加していない。

2–4. There is no excess of cancer and of congenital malformations in regions of high radiation background

高自然放射能地域住民（インド，ケララ地方，70 mSv/year；中国，Yangdjang 地方，6.4 mSv/year）ではがん発生率，がん死亡率は対照地域に比べて差がない。ケララ地方では奇形発生率にも増加がみられていない。

2–5. Some evidence of threshold or hormesis

カナダ原子力発電所従業員 45,468 例について，固形がんは 1 ～ 49 mSv 被ばく群に有意なリスクの低下がみられた（Relative risk 0.699, 95% CI：0.548–0.892, Zablotska *et al.*（2004））。

2–6. The incidence of second cancers after radiotherapy

放射線治療では通常分割照射が行われる。このときの 2 次発がんリスクの線量効果関係は直線型（L モデル）ではなく quadratic（二次曲線型）である（Rubino *et al.*（2003））。また，発がんリスクは 1 回線量 120 ～ 160 mGy で激減し，20 ～ 30 mGy では蓄積線量が 0.6 Gy に達しても有害効果は現れない。フランスでは年間 15 万人以上が放射線治療を受け生存期間中フォローアップされる。甲状腺肥大の治療のために 10 ～ 20 mCi の放射性ヨード（^{131}I）を注入された患者にはがんリスクの増加は認められていない。X 線診断を受けた患者では 0.5 Gy 以上の場合にのみがんリスクの増加が認められ，20 mGy 程度の検査では認められていない。

In conclusion

すべてのデータを照合した結果は LNT モデルを支持しない。しきい値線量のレベルについては今後の研究に待つ。

【この講演要旨（全 20 ページ，引用文献 208 件）は論文として発表される予定。】

（放射線医学総合研究所客員研究員，3 月現在）

展望 TENBO

本資料は、(社) 日本アイソトープ協会発行の Isotope News 2008 年 9 月号 2−6 ページより転載したものである

放射線生物影響研究の進展と放射線防護

酒井　一夫
Sakai Kazuo
(放射線医学総合研究所放射線防護研究センター)

1　はじめに

2007 年 12 月に ICRP（国際放射線防護委員会）の「新勧告」が発表された[1)]。1990 年勧告以来の改訂である。ICRP は今回の改訂に当たって 2004 年と 2006 年の 2 回，ドラフトをウェブ上に公開し広くコメントを求めるという方法を採用した。このため，各方面で放射線防護に関わる議論が行われた。この中で「近年明らかとなってきた科学的知見が放射線防護に与えるインパクト」も大いに議論された論点の 1 つである。

このような話題の中から，2007 年勧告には反映されるに至ってはいないが，放射線防護の基本的な考え方に影響を及ぼす課題を幾つか取り上げ，今後の「科学的な根拠に基づく放射線防護」への展開を考えるきっかけとしたい。

2　非標的影響

放射線生物学の黎明期，放射線の様々な生物学的作用（現在では確定的影響と分類されている作用）の多くが放射線の細胞致死作用によることが認識された。放射線の細胞致死作用に関する線量効果関係が，比較的低い線量でも死に至るものがある一方で，高い線量でも生き残るものがいるという意味で「確率事象」的な様相を示すことと，放射線の粒子的な性質とを勘案して，放射線の致死作用は，放射線のエネルギーが平均的に与えられた結果ではなく，集中したエネルギーである放射線という「弾丸」が，細胞内の標的を射抜く（ヒットする）ことによってもたらされるというモデルが提唱された。このモデル（標的モデル）は，様々な状況における線量−生存率曲線をものの見事に説明し，放射線の影響を考える上での基本的な考え方となった。細胞内の標的の実体についても検討が進められ，様々な状況証拠から，DNA が最も重要な標的であろうということになった。

一方，確率的影響（遺伝的影響と発がん）に関しても，突然変異が DNA が担っている遺伝情報の変化によること，また，がんの原因が身体を構成している細胞の突然変異であることが明らかになり，確率的影響の原因も DNA にあるとされた。一方で DNA の損傷は線量に比例して生じることから，放射線 → 突然変異 → 発がんが直線的に結びつけられた (図 1)。このような考えに基づいて提唱されたのが，「線量がどんなに微量であっても，それに比例してリスクは増加する」とする「しきい値なし直線モ

デル（LNT：Linear Non-Threshold モデル）」である。なお標的モデルでは，当然のことながら，放射線に当たった（ヒットした）細胞のみが影響を受ける，ヒットしていない細胞には影響は現れないということが暗黙の大前提であった。

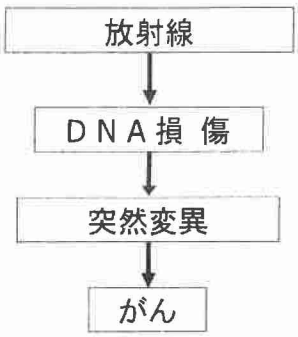


図1　LNT モデルの根拠

前置きが長くなったが，1992 年になって標的説では説明できない現象が報告された[2]。α線照射装置を用いた巧妙な実験で，「α粒子が当たったはずの細胞数」をはるかに超える数の細胞の染色体に異常が認められたのである。

この現象は，ヒットした細胞の近傍に存在する細胞（bystander）に影響が現れることから，「バイスタンダー効果」と呼ばれている。バイスタンダー効果は，多かれ少なかれすべての細胞が放射線を受けるような高い線量域よりも，ヒットされた細胞とされていない細胞とが共存するような低線量域で大きな意味を持つ。その後，個別の細胞に狙いを定めて照射することのできるマイクロビーム照射装置[3]などを用いて詳細な研究が進められており，その機構に関しても，隣接した細胞間をつなぐギャップジャンクションと呼ばれる構造を介した情報伝達や，ヒットされた細胞から分泌される生理活性物質の関与などが明らかになりつつある。

さて，放射線防護の観点からはバイスタンダー効果が放射線によるリスクを高めるのかどうかが問題となる。初期に報告されていた指標が染色体異常や突然変異など，リスクを高めると考えられるものであったために，その方向での議論が進められたが，周囲の細胞の抵抗性を高めるというような報告や，細胞死を引き起こして返って発がんリスクを低下させるなどの議論もあり，健康リスクへの影響についてはいまだ議論が続いている[4]。

3　適応応答

LNT モデルに従えば，どんなに微量の放射線であっても，その影響は加算的に現れるはずである。ところが 1984 年になって，あらかじめ微量の放射線を受けることによってその後の放射線に対する抵抗性が誘導される現象が明らかとなった。最初の報告は，低レベルの ^{3}H-チミジンで処理したヒトリンパ球に高線量（1.5 Gy）の X 線を照射したところ，チミジン処理をしなかったものに比べて染色体異常の頻度が低かったというものである[5]。その後もヒト末梢血リンパ球を材料とし，染色体異常を指標とした報告が続いたが，様々な培養細胞において，細胞の生存率や突然変異の誘発，悪性形質転換頻度などを指標とした報告もある。また，個体レベルにおいても，急性死や発がんを指標とする結果が報告されている。

LNT モデルの背景となったのは**図 1** にあるような発がんモデルであるが，その後の研究によって発がんに至るまでには多くのステップがあることと，各ステップで発がんを抑制するような仕組みが備わっていることが明らかとなった（**図 2**）。放射線を含む細胞内外の要因によって生じた活性酸素種を除去する抗酸化機能，DNA に生じた損傷を修復する機能，直しきれなかった損傷や修復過程で誤って修復されて生じた遺伝子変異を持つ細胞を死に至らしめるアポトーシス，がん化してしまった細胞を除去する免疫機能などである。これらの機能は低線量放射線という刺激を受けて増強される場合のあることが知られており，これが適応応答の背景にあるものと考えられる。

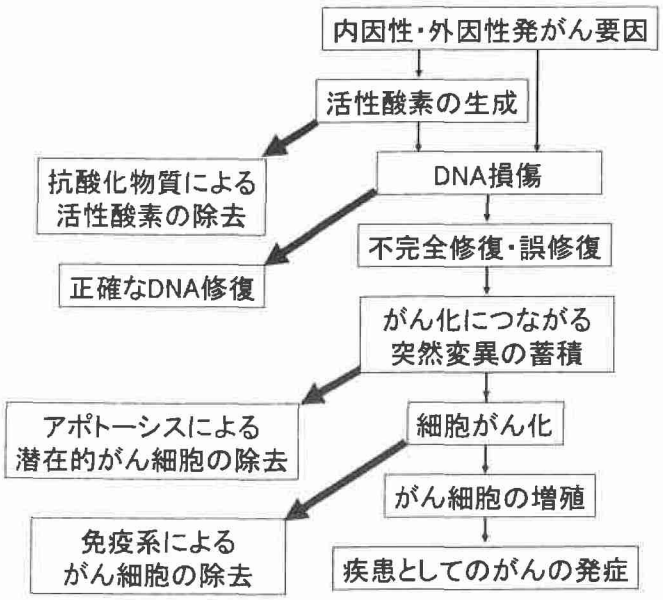


図2　発がんにいたる多くのステップと生体防御機能

放射線防護の立場からは，適応応答は低線量域における健康リスクを低減する現象としてとらえることができる。しかしながら，(1) 数十 mGy から数百 mGy 程度の比較的狭い範囲で観察されることが多く，これよりも線量が低くても高くても効果は小さいことや，(2) 当初より，リンパ球で見られる適応応答の発現に個人差のあることから知られていたように，対象の遺伝的な背景に大きく依存しているなどの特徴も明らかとなり，一般化を指向する放射線防護体系に取り入れるには至っていない状況である。ちなみに，適応応答をもたらす遺伝子の探索も試みられているが，適応応答を司る単一の遺伝子は見出されていない。時と状況によって様々な因子が関与している可能性が高い。

4　非がん影響

低線量放射線の影響については確率的影響（がんと遺伝的影響）に関心が寄せられてきた。現実問題として人では遺伝的な影響が認められないため，発がんがもっぱら検討の対象となってきた。がん以外の疾患については，高い線量域にしきい値がある確定的影響として扱われてきたわけであるが，広島・長崎の調査研究が進むにつれ，がん以外の疾患のしきい値が従来考えられていたよりも低いことが示され[6]，改めて健康リスクを考える上で重要な課題となってきている。特に，死亡率に占める割合の大きさなどから，心臓血管系疾患が注目されている。現時点で疫学的に示されているのは，1～2 Gy を超える線量であるが，もしも高い線量で観察されているリスクが低線量域に直線的に外挿できるとすると，放射線の健康リスクは大幅に上方修正しなければならないという議論もある。

低い線量でのリスクを評価するためには，機構の解明が求められる。これまで発がんに比較して，心臓血管系疾患の場合には機構の面からの裏付けが弱いとされてきたが，最近では，炎症性反応との関連で機構が論じられつつある。もしも，非がん疾患の背景に，照射による活性酸素を関した炎症性反応が関わっているとすると，「非特異的加齢促進」の観点からも検討が必要となるかもしれない。被ばく後，長い年月を経過してからの白内障の増加もこのような考え方でとらえることができるかもしれない。

また，心臓疾患系疾患は，生活習慣や遺伝的要因の影響が大きく，また，放射線被ばくがない場合でも加齢とともに増加する疾患であるため，放射線がどれほどの寄与をしているのかについても見極める必要がある。

5　放射線感受性の個人差

現在の放射線防護体系の中では，性差，人種差，個人差は最終的には反映されておらず，防護基準等は同一の値が与えられている。

高い線量の影響に関しては，放射線治療などの経験から，放射線の感受性に個人差のあることが認識されている。放射線がん治療の成績向上と副作用軽減の観点から，がんや正常組織の

放射線感受性をDNA配列を指標として予測し，治療法の選択などに役立てようという試みが進められている[7]。また，放射線治療や診断の後の乳がんの発症のリスクを高める遺伝子の解析なども進められている[8]。

一方で，医療の局面を離れて，放射線防護の対象となる低線量・低線量率の場合にも個人差があるのかどうか，またそれを予測できるのかどうかについてはデータがほとんどないのが現状である。先に述べた，非標的影響，適応応答，非がん疾患については，遺伝的なバックグラウンドが大きく寄与していることから，被ばく後の健康リスクに関しても個人差があるものと想定されるが，これを裏付ける証拠は乏しい。したがって，放射線防護の観点からは，そもそも低線量・低線量率の場合に放射線感受性の個人差が存在することの検証から始める必要がある。また，感受性の違いを示すマーカーの探索も必要となろう。

低線量・低線量率放射線に対する健康リスクに関する個人差が予測できるようになったとすると，放射線防護の面でのインパクトは大きい。感受性に応じて線量基準などを調整することにより，個人ごとの「オーダーメード防護」が実現する可能性があるからである。しかしながら，防護体系の中に個人差を反映させようとすると，個人ごとに異なった基準を設定するか，あるいは実効線量の算定に当たって「(個人) 感受性荷重係数」とでも呼ぶべき係数を導入して重み付けを行う必要があると思われる。いずれにしても，放射線管理は現状よりも煩雑にならざるを得ないと考えられる。また，社会的な影響も大きい。放射線健康リスクを受けやすい個人に放射線を取り扱う職種から外す，あるいはそのようは職種には抵抗性の高い個人を充てるというようなことを考えると，職業選択の自由や差別という観点からの議論も必要となろう。

6 まとめ—放射線生物学と放射線防護

現状の放射線防護体系は，古典的な放射線生物学の土台の上に構築されている。放射線生物学，特に低い線量の影響に関する研究が進むにつれて，古典的な放射線生物学の枠組みに見直しを迫る現象が次々と明らかになっている。しかし，それらの情報を直ちに取り入れる状況にないことは先に述べた通りであり，逆に放射線防護の観点から新たな問題が提起されている。放射線生物学は，個別の現象の詳細に踏込み，機構を明らかにしようとする。一方で放射線防護の立場からは，様々な差異は認識しつつも，リスクをなるべく少ないパラメータで取り扱うために，一般化して平均値として扱おうとする方向性が見られる（図3）。

放射線防護の対象が集団から個人へとシフトする中で，かつ感受性の個人差の予測までもが視野に入って来つつある中で，放射線生物学が提供する情報をどのような形で防護体系に組み込んでいくかが今後の課題である。

ICRPの2007年勧告は発表されたが，議論はまだまだ続いている。2008年1月にはOECD/NEA（経済協力開発機構原子力機関）主催の，科学的新知見と放射線防護に関する国際ワークショップが開催され，非標的影響，心血管系疾患，感受性の個人差がテーマに取上げられた（内容については参考文献9）参照）。また，4月には米国NCRP（放射線防護測定審議会）の年会において低線量・低線量率放射線の影響がテーマとして取上げられた。生物学と防護の接点が求められていることの現れと言えよう。

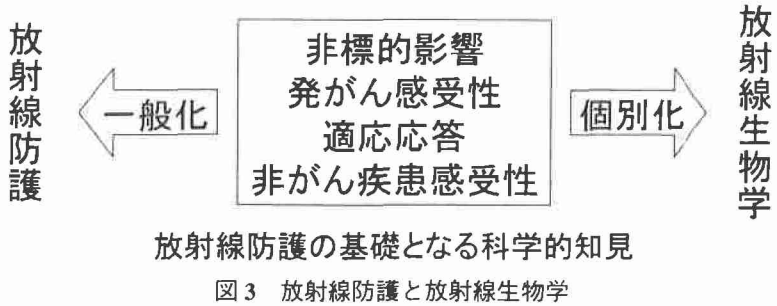


図3 放射線防護と放射線生物学

放射線防護の基礎を支える放射線生物学と，放射線生物学のアウトプットの1つとしての放射線防護とを互いに連携させつつ展開していくことが，これまで以上に期待されている。

参考文献

1) International Commission on Radiological Protection, Annals of the ICRP Volume 37/2–4 (2007)
2) H. Nagasawa and J. B. Little, *Cancer Res.*, **52**, 6394–6396 (1992)
3) 小西輝昭，他，*Isotope News*, **647**, 8–12 (2008)
4) W.F. Morgan, *Radiat. Res.*, **152**, 567–580 (2003)
5) G. Olivieri, *et al.*, *Science.*, **223**, 594–597 (1984)
6) D. Preston, *et al.*, *Radiat. Res.*, **160**, 381–407 (2003)
7) C. M. West, *et al.*, *Int J Radiat Oncol Biol Phys.*, **62**, 1254–1273 (2005)
8) M. Bennett, *Mol Carcinog.*, **26**, 143–149 (1999)
9) Expert Group on the Implications of Radiological Protection Science, OECD/NEA, http://www.nea.fr/html/rp/reports/2007/nea6167-egis.pdf (2007)

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、２００８年度中に開催した会合や国際集会の記録、いくつかの専門委員会の報告書又は関連する資料、２００８年度に開催した教員を対象とした「エネルギー・環境・放射線 セミナー」の実施報告書、２００８年度から始まった「北大プロジェクト」関連のアンケートを含む各種資料、及び勉強会やセミナーの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、フォーラム理事田中隆一、フォーラム幹事黒杭清治、及び会員関本順子の各氏らのご協力により編集作業を行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、セミナー開催責任者、勉強会及びセミナー講師、並びにアンケートの発送と集計に格別のご協力を賜った会員の辻萬亀雄氏や多くのフォーラム役員各位のご努力とご協力に感謝する。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とりお役に立つことを希望するものである。

（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　２００９年３月３１日

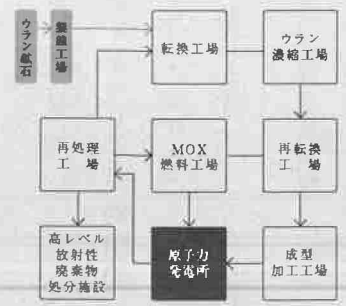
大豆5%、エネルギー4%。なくてはならない、このふたつ。自給率は、意外と低い。

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。

※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

［原子燃料サイクルの工程］



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。

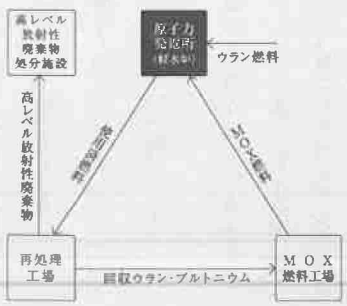
全国10の電力会社でつくる **電気事業連合会** http://www.fepc.or.jp

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。

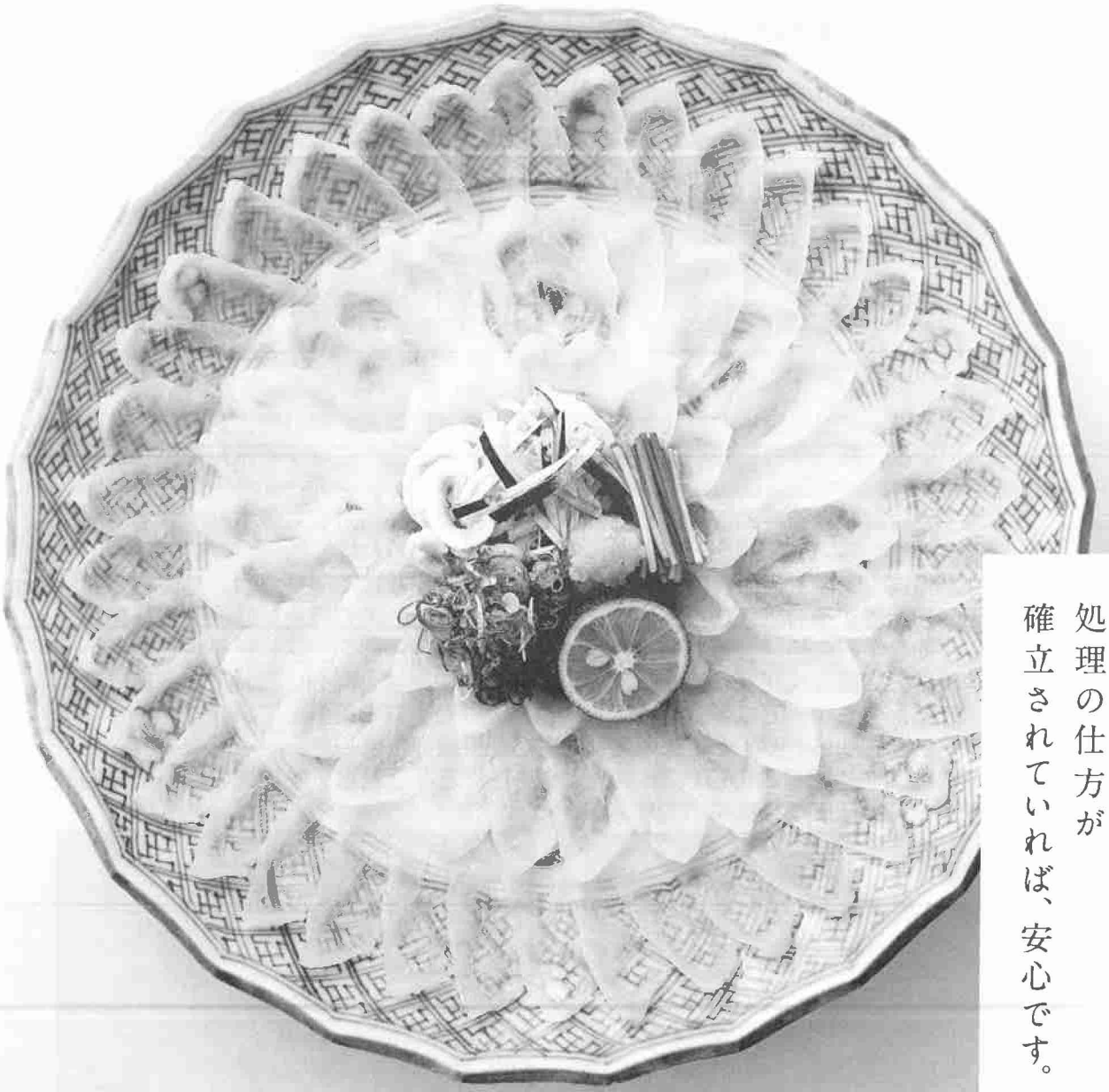
大根の葉は普段は捨ててしまいがちですが、炒めものや味噌汁などに利用できます。同じように、原子力発電の使用済燃料も、貴重な資源として再利用できるのです。使用済燃料に含まれる燃え残りのウランと生成されたプルトニウムを混ぜ合わせたMOX燃料を使うことを「プルサーマル」といいます。このようなウラン資源のリサイクルは、エネルギー自給率の向上という点でとても重要なことなのです。

［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

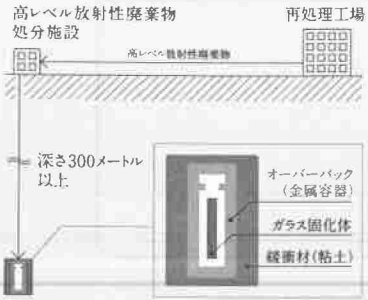


処理の仕方が
確立されていれば、安心です。

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

原子力・放射線をテーマに

資源・エネルギー教育、環境教育の題材を提供・・・
～見て、聞いて、触れて、考える、教員のための研修～

原子力体験セミナー

主催　文部科学省

企画・運営　(財)放射線利用振興協会

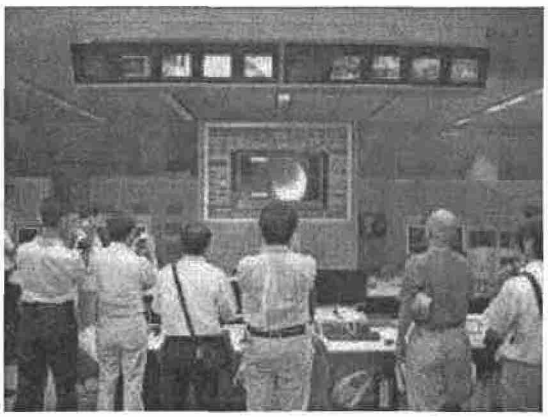
本セミナーは、文部科学省の委託事業として財団法人放射線利用振興協会が実施する、小学校、中学校、高等学校、特別支援学校等の教職員及びこれに準ずる教育関係者を対象とした研修です。

日本原子力研究開発機構の各拠点を主会場として全国の先生方を対象に開催するコースと、全国各地に出向いて１～２日間で開催するコースがあります。

内容は、講義、実験・実習、施設見学、ワークショップなどで構成され、基礎的知識や科学的知識を習得するコースから、資源・エネルギー問題、地球環境問題、防災教育といった「総合的な学習の時間」等へも役立てていただける内容のコース、原子炉を運転しての実習や授業の実践を検討するコースまで、担当教科や興味・関心に応じてご参加いただけます。また、セミナーでは学校で活用していただける教材も提供しています。

これまでに全国から15,000名を超える先生方が受講されました。

ここでの体験や専門家とのふれあいから、21世紀を担う児童・生徒達にとって魅力ある教育を探っていただければ幸いです。



- 参加資格：小・中・高・特別支援学校等の教職員及びこれに準ずる教育関係者
- 参加費用：セミナーの参加に要する交通費、宿泊費は当財団の規定により支給します。
- セミナーの予定やカリキュラムの詳細については下記にお問い合わせください。

RADA
RADIATION APPLICATION DEVELOPMENT ASSOCIATION

財団法人　放射線利用振興協会
国際原子力技術協力センター　国内研修部
〒319-1106　茨城県那珂郡東海村白方白根２－４
ホームページ：http://www.rada.or.jp/taiken/
E-mail：taiken@rada.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!

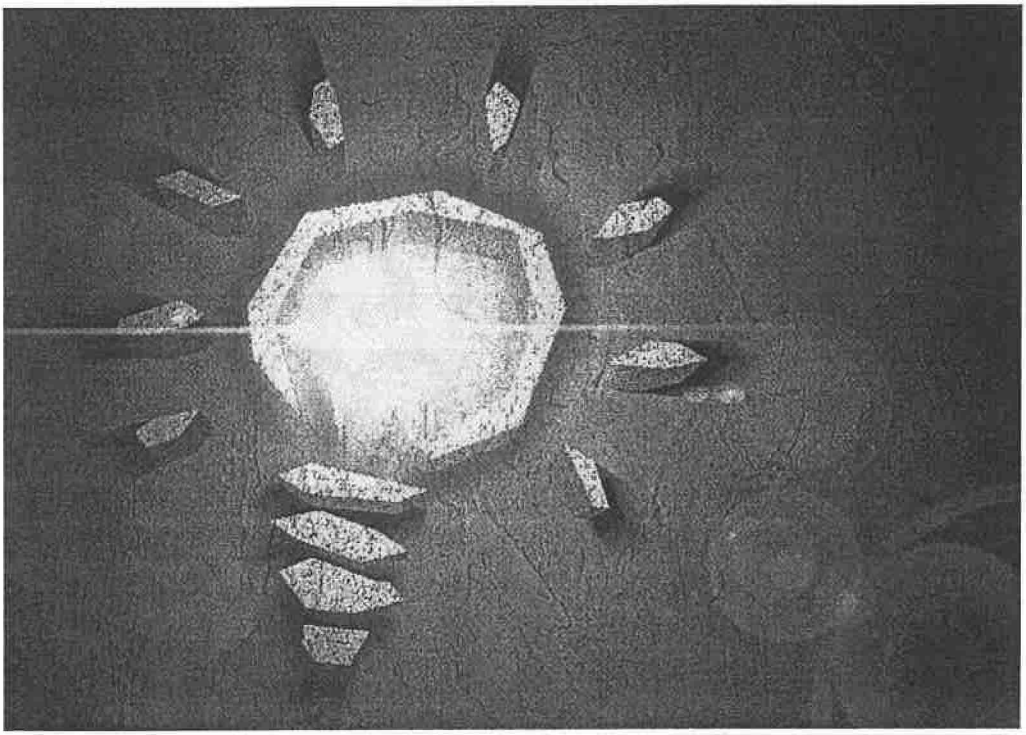
自然界にも放射線があることを知ろう!

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/

資源・エネルギー・原子力・環境について知りたいこと、疑問に思うことはありませんか？



日本原子力文化振興財団では、
中・高校生や先生方に対して
様々な協力活動を行なっています。

❶10月26日の「原子力の日」を記念して、
作文・論文の募集と表彰

❷**放射線実習セミナーの開催**

❸先生方を対象とした
「エネルギーと環境」講座の開催

❹エネルギーや原子力などの
ビデオや写真の貸し出し

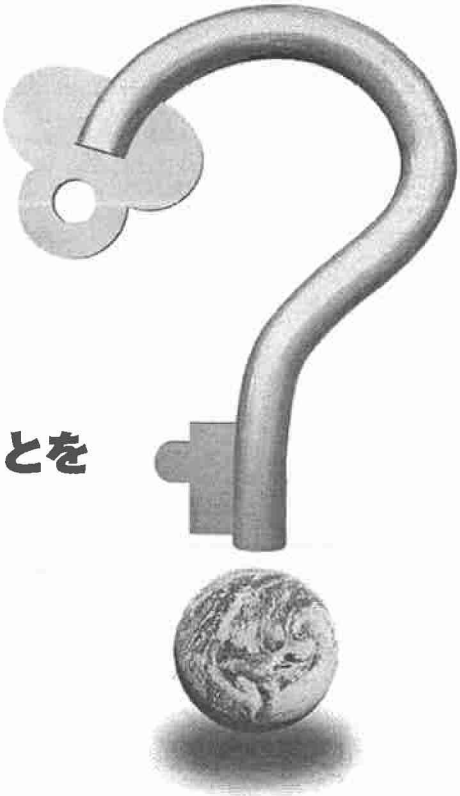
●放射線実習セミナーの経費は無料です
●お問い合わせは電話、FAX、URLなどからお願いいたします

財団法人 日本原子力文化振興財団

〒108-0023　東京都港区芝浦2-3-31　第2高取ビル5階

TEL 03-6891-1572　　FAX 03-6891-1575　　URL http://www.jaero.or.jp/

この星に、たしかな未来を。
Dramatic Technologies
三菱重工



未来が未来で
なくなる前に、
私たちにできることを
考えたい。

私たちの生活にとって
欠くことのできない電気。
今、その電気を生み出す
貴重なエネルギー資源が、
確実になくなりつつあります。
原子力発電所の使用済み燃料を
リサイクル利用するプルサーマル。
それは、豊かな未来をひらく
テクノロジーです。
未来を閉ざさないために――。
三菱重工は、プルサーマルの実現を
サポートしています。

三菱PWR原子力発電プラント

豊かな未来をひらく、プルサーマル

三菱重工業株式会社
本社　原子力事業本部　〒108-8215 東京都港区港南2-16-5 TEL.(03)6716-3111
支社　関西/中部/九州/北海道/中国/東北/北陸/四国

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

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

ウチダ パソコン計測システム
Science Mate® SL-4（データロガー付き）

」3つの使い方（単体計測・PC接続計測・データロガー解析）
」屋外での環境測定に最適（データロガー解析）
」グループ実験もできる、充実したアプリケーション!!

ラボセンサーセット

UCHIDA

8-100-2001 SL-4 ラボセンサーセット
・・・・・・・・**¥48,000（税込¥50,400）**

●セット内容：本体（サイエンスキャプチャ）、ソフトウェアCD、USBケーブル、ACアダプター、ストラップ、気温センサー（1個）＋液温センサー（1個）＋光センサー（1個）

◆計測端末（サイエンスキャプチャ）と理科実験用センサーのセットです。
気温・液温・光のON/OFFが計測でき、温度変化や振り子の周期などが測定できます。

◆オプションセンサーを組合わせて、電流・電圧の計測や気象の計測もできます。

内田洋行
教育システム事業部

ウチダホームページアドレス
▶http://school.uchide.co.jp/

■東　京 〒135-8730 東京都江東区潮見2-9-15
東日本機器営業部 ☎03(5634)6280　ICT東日本第1営業部 ☎03(5634)6402
施設設備営業部 ☎03(5634)6318　ICT東日本第2営業部 ☎03(5634)6406
■大　阪 〒540-8520 大阪市中央区和泉町2-2-2
西日本機器営業部 ☎06(6920)2480　ICT西日本営業部 ☎06(6920)2641
施設設備営業部 ☎06(6920)2481
■名古屋 〒460-0002 名古屋市中区丸の内1-17-19 キリックス丸の内ビル2階
中部営業部 ☎052(222)7255
■北海道支社 〒060-0041 札幌市中央区大通り東3-1 ☎011(214)8811
■九州支社 〒812-8692 福岡市博多区博多駅南1-14-14 ☎092(482)5850

各省庁研究費公募及び配分、内容等も紹介

我が国唯一の基礎科学専門紙

研究助成団体の募集及び結果
文部科学省等の情報
教授人事、国際会議派遣、大学ニュース、研究成果など
海外科学ニュース
海外雑誌を航空便で取り寄せ翻訳速報
その他の主な内容
人物紹介、海外出張者、国内科学ニュースダイジェスト、学協会行事、科学雑誌・学協会誌目次総覧、外国雑誌、新刊案内、書評、新製品紹介、研究所紹介、科学読物、教授・准教授等募集、科学者が語る自伝

科学新聞
週刊（金曜日発行）

1カ月　2,100円
6カ月　11,340円（前納）
1カ年　21,000円（前納）
（送料・消費税込）

科研費の第一人者・飯田益雄先生の書き下ろしによる待望の新刊。
科研費の史的変遷を語る上で欠かせない一冊！

科研費ヒストリー
科学政策にみる科研費の制度と運営の実際
飯田益雄 著（元 文部省主任学術調査官）／四六判並製本230ページ／定価（本体2,200円＋税）

株式会社 科学新聞社
東京都港区浜松町1－8－1（〒105-0013）
TEL 03-3434-3741(代)　FAX 03-3434-3745
http://www.sci-news.co.jp