「放射線教育」別冊

新技術振興渡辺記念会

報告書

２０１１年９月

ＮＰＯ放射線教育フォーラム

新技術振興渡辺記念会調査研究報告書

目　　次

1．はじめに―この研究がめざしたこと ----------1

２．予備的調査資料

2-1　中学校教員へのアンケート調査とその結果 ----------7

2-2　高等学校教員へのアンケート調査とその結果 ----------15

３．研究成果

3-1　放射線の人体への影響－1　（酒井一夫）----------23

3-2　放射線の人体への影響－2　（松浦辰男）----------27

3-3　放射線利用学習と社会的合意形成　（田中隆一）----------31

3-4　放射線教育の実践と課題　（大島　浩）----------43

3-5　社会的合意形成に向けた問題解決能力を育成する中学校理科の教育実践
（原田忠則）----------49

3-6　学校における放射線教育の実践と課題　（松浦辰男）----------59

3-7　放射性廃棄物処分を正しく理解するために（湯佐泰久）----------69

3-8　福島原子力発電所の事故をどのようにとらえ、学校でどのように
指導したらよいか　（黒杭清治）----------75

3-9 実践事例―「みんなのくらしと放射線展」による教員、一般市民、
子どもに対する知識普及　（古田雅一）----------89

3-10 生徒は放射線・放射能の何が分からないのか　（畠山正恒）----------96

3-11 放射線利用を題材とした学習活動」　（中山知恵子）----------102

3-12 教育実践に関する報告　（井上浩義）----------107

４．参考資料

4-1　放射線学習の資料　（田中隆一）----------123

4-2 学校における放射線教育資料（授業案、ワークシート）
（中学用：大島　浩、高校用：渡部智博）----------129

4-3 放射線作用を理解するための演習問題（５題）（大野新一）--------144

4-4 放射線の人体影響についてのＱ＆Ａ　（岩崎民子）----------149

4-5 原子力事故に関連した一般社会人からの質問について　工藤溥司）------151

4-6 学会発表要旨（6 点）----------154

①「義務教育課程で教えられるべき放射線の基礎知識について」----------154

②「小中高校生に対する放射線・原子力教育におけるデイベート学習の効果」

----------155
③「電気や化学反応から始める新しい放射線教育の試み」----------156
④「学習指導要領の改訂に関わる放射線教育についての中学校教員アンケート調査結果」----------157
⑤「学習指導要領の改訂に関わる放射線教育についての高校教員アンケート調査結果」----------158
⑥「新学習指導要領に基づいた放射線等に関わる理科教科書記述の考察」
----------159
おわりに----------160

新技術振興渡辺記念会調査研究報告書

１．はじめに――この研究のめざしたこと

（１）調査研究課題名

円満な社会的合意形成を考慮した原子力・放射線の学校教育のあり方に関する調査研究

（２）調査研究の目的

社会に必要な技術でありながらその社会受容が進まないものの代表は原子力エネルギーの利用である。これは放射線・放射能を過剰に危険視する日本人の一般的感覚に基づいている。本研究は学校教育で、放射線に関する正しい科学的知識を中心とする教育のあり方を、社会的合意形成へ向けた教育として探求しようとするものである。

（３）調査研究の具体的内容と方法

学習指導要領の改訂によって、中学校の理科で放射線が 30 年ぶりに取り上げられることは慶ぶべきことである。しかし、指導要領解説によれば、その内容は「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だしていること、核燃料は放射線を出していること、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、医療や製造業などに利用されていることなどにも触れる」とあるが、社会で関心の高い放射線の人体影響については記述がなく、教師の扱いにまかされている。しかし、放射線教育の長年にわたる空白のために、放射線を学校で学んでこなかった教師自身の割合が 30%もあり、放射線の人体影響などが学校で適切に教えられる可能性は少ない。原子力・放射線に関する知識普及のための印刷物なども多種あるが、社会的合意形成に役立つように放射線の人体影響が適切に解説された教育資料は見当たらない。

本調査研究では、この状況を改善したいと考える NPO 法人放射線教育フォーラムの有志が中心となって、次の活動を行なう。

(1) 学校における放射線教育を効率的に行うために、学校における現状を調査するために、全国の中学校、高等学校の理科教員にアンケート調査を行う。

(2) 2010 年度末に教員向けに制作した指導資料「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－」（改訂版 2010 年 3 月、62 ページ、現在放射線教育フォーラムのホームページで公開中）の内容を改訂する作業を行い、資料のさらなる普及を図る。

(3) 教員の希望が多かった「授業ですぐに利用可能なパワーポイント教材」を作成する。（これに関しては、2011 年 3 月末までに作成された中学校用 2 種、高等学校用 3 種、中学・高校共通用 4 種、小学校用 1 種合計 10 種については、放射線教育フォーラムのホームページで公開中）。本年 4 月以降に作成したものをこの報告書に収録した。

(4) 本研究の中心的協力者はすべて当フォーラムの役員（理事、監事）であるが、上記の教育教材を基本として、放射線・原子力の社会受容を念頭において独自の発想で検討を加えた具体的な教育案を教員が実際に教室で実践して、その報告書をフォーラム本部に提出する。

(5) 次に教育実践の実施者からの報告をフォーラムの勉強会（2010 年 11 月、2011 年 2 月、2011 年 6 月）で発表する。

(6) 現行の教科書（理科・社会科）の中に「デイベート」と称して、「原子力は是か非か」などのテーマで 2 ページ（あるいは 4 ページ）にわたり賛成・反対の立場からの意見が記載されているのがあるが、授業実践でどのように活用するかが課題である。この問題を含めて、学習指導要領改訂による放射線・原子力の扱いが来年度からの教科書にどのように反映されているかの調査も行い、教科書の改善を目指す。

(7) 2011 年 3 月の福島原子力発電所の事故によって大量の放射性物質が環境に放出される事態となり、放射性物質による汚染が大きな社会問題となった。大量であれば危険な放射線でもそれが少量の場合の危険性はどの程度であるかについて、正しい知識を普及させる必要があるので、我々は一般社会人向けのテキストを作成することした。最近は一般社会人向けの放射線講義をする機会が少なくないので、その経験を生かしたい。

(8) 将来計画として、2 年後に「第 5 回放射線教育に関する国際シンポジウム」を開催する計画があるので、それに向けて国際的にも通用するような学校及び社会教育の基礎となるべき「放射線の人体影響」に関する標準的資料（国際版）を作成したい。この資料は「本当に放射線は少量でも危険なのだろうか、どの位までならば心配ないといえるのか」という疑問に対する正しい答え、あるいは理解し易い解説資料となるであろう。

（4）調査研究の具体的実施内容

放射線教育、特に教育実践に関わる次の 4 項目を中心として調査研究を行う。

① 学習指導要領で扱われていない放射線影響、（特に低レベルの人体影響）をいかに学校で教えるか、②食品照射を含めて放射線の有効な利用をいかに教えるか、③社会的要請の大きい高レベルの放射性廃棄物処分場の立地の基礎となる放射性廃棄物処理方法の説明と技術的・社会的な問題点、④理科授業における科学技術の問題及び「原子力は是か非か」という、デイベート論議を含む教科書の記述について検討する。

（5）期待される効果

本年 3 月の原子力発電所事故によって、国民の放射線影響への関心が非常に高まっているが、低レベル放射線の人体影響の問題についてわかりやすく解説した資料がこの機会に完成すれば、それは学校教育のための基本テキストとなり、結果として広く社会にとってプラスの経済的効果も期待できて、社会的要請に応えることになる。

（６）．担当者

総括：　松浦辰男（実行責任者）、井上浩義（副実行責任者）、田中隆一（副実行責任者）

教育実践責任者：

（大学）井上浩義、古田雅一、湯佐泰久、黒杭清治、（高等学校）大島　浩、（中学校）原田忠則、渡部智博

助言者：

①　放射線の人体影響：　金子正人、岩崎民子、酒井一夫、ほか

②　放射線利用：　田中隆一、古田雅一、緒方良至、ほか

③　放射性廃棄物処理：　湯佐泰久、ほか

④　教科書調査及び改善計画：　渡部智博、松浦辰男、田中隆一、黒杭清治、ほか

（７）実行実績

この 1 年の間に以下の様にたびたび打合せ会を行い、また、この調査研究の成果を勉強会及び学会等で発表した。その発表実績を以下に示す。

７－１　過去１年間における勉強会の開催について

（2010 年度第 2 回） 11 月 20 日（土）13 時～17 時　場所：科学技術館　第２回勉強会出席者 30 名　講演題目、講演者は

①「フォーラムの現状と活動報告及び社会の合意形成と放射線教育について」（放射線教育フォーラム）松浦辰男、

②「第２回中学校アンケート調査とその中間報告」（放射線教育フォーラム）黒杭清治、

③「医療被ばくの現状と課題」（名古屋大学医学部）緒方良至、

④「放射線教育と道徳教育」（鹿児島研鹿屋市立第一鹿屋中学校教諭）原口栄一、

⑤「ディベートによる放射線教育」（神戸大学付属明石中学校教諭）宮嶋昭伸

（2010 年度第 3 回）　2011 年 2 月 19 日（土）13 時～17 時 15 分　場所：科学技術館、出席者 33 名　講演題目、講演者は

①「新学習指導要領と放射線教育――中学校理科を中心として」（国立教育政策研究所名誉所員・首都大学東京客員教授〕鳩貝太郎、

②「低レベル放射線の人体への影響」（元原子力安全委員会委員長代理）松原純子、

③「初等教育における放射線理解のための学習会企画について」（日本女子大学リカレント教育課程受講生）秋津裕、

④「理科総合 A におけるエネルギー形態の分類と放射線理解について」（静岡県立浜松大平台高等学校）原口博之、

⑤「すぐに授業で使える放射線教育教材の紹介」（放射線教育フォーラム）黒杭清治

（2011 年度第 1 回勉強会）　2011 年 6 月 18 日（土）14 時～17 時 10 分　場所：科学技術館、出席者 47 名　講演題目、講演者は

①「緊急時の被ばく線量基準の設定について」（原子力学会ＳＮW運営委員）斎藤　修、

②「一般人向けの放射線教育テキスト作成に向けて――日本原子力学会への投稿論文の説明」（放射線医学総合研究所名誉研究員）岩崎民子、
③「事故に関連した一般社会人からの質問について」（東北大学名誉教授）工藤博司、
④「総合的な放射線教育の必要性について」（静岡県立科学技術高等学校）谷口裕美恵、
⑤「福島の原発事故を踏まえてのフォーラムの活動の在り方について」（自由討論）（元日本原子力研究所高崎研究所長）田中隆一

７－２　本研究に関する学会等における主な発表

１．2010年９月、日本原子力学会秋の大会、北海道大学、発表者：松浦辰男、発表題目：「義務教育課程で教えられるべき放射線の基礎知識について」
２．2011年７月、第48回アイソトープ・放射線研究発表会、日本科学未来館、発表者：菊池憧子、井上浩義、発表題目：「小中高校生に対する放射線・原子力教育におけるデイベート学習の効果」
３．2011年７月、第48回アイソトープ・放射線研究発表会、日本科学未来館、発表者：大野新一、発表題目:「電気や化学反応から始める新しい放射線教育の試み」
４．2011年７月、第48回アイソトープ・放射線研究発表会、日本科学未来館、発表者：松浦辰男、黒杭清治、辻　萬亀雄、田中隆一、発表題目：「学習指導要領の改訂に関わる放射線教育についての中学校教員アンケート調査結果」
５．2011年７月、第48回アイソトープ・放射線研究発表会、日本科学未来館、発表者：田中隆一、黒杭清治、辻　萬亀雄、松浦辰男、発表題目：「学習指導要領の改訂に関わる放射線教育についての高校教員アンケート調査結果」
６．2011年９月、日本原子力学会「2011年秋の大会」、北九州国際会議場、発表者：田中隆一、松浦辰男、発表題目:「新学習指導要領に基づいた放射線等に関わる理科教科書記述の考察」

７－３　打ち合わせ会開催の記録

1. 2010年10月22日（金）　渡辺記念会研究打合せ幹事会　場所：フォーラム事務局、出席者４名
２．2010年10月27日（水）第１回渡辺記念会研究打合せ会、場所：尚友会館１号室、出席者13名
３．2010年11月20日（土）、　第２回渡辺記念会研究打合せ会、場所：科学技術館第３会議室　出席者：11名
４．2011年２月19日　（土）、　第４回理事会、出席者14名
５．2011年５月11日（水）、2011年度第１回理事会、場所：尚友会館１号室、出席者12名
６．2011年６月18日（土）、第２回理事会、場所：科学技術館第一会議室、出席者13名

7．2011年9月14日（水）第3回理事会　場所：尚友会館3号室、出席者11名

（8）今後への提言

中学校の学習指導要領が改訂されて、理科で放射線が取り上げられるようになったが、果たしてわれわれが期待する通りの教育がおこなわれるかどうか、疑問である。その理由は、放射線に関する教科書での記述が、理科（第1分野）の第3学年の最後にあり、理科で教えるべき内容が大幅に増えたこともあって、授業時間が足りなかった、という理由で放射線に関しては全く授業が行われない、という可能性があり得るからである。

自然環境に自然放射線が存在するなどの基本的な事実は、小学校の段階で学修指導要領の改訂が必要ならば改定して教えられるべきであり、中学校、高等学校ではそれぞれの段階に応じて進んだ知識をえるべきである。

しかし、小学校の教員で理科を正しく教えることができる割合が少ない現状では、放射線の基礎的な知識をすべての学校でもれなく教えることは困難であろう。そこで、教員の補助者として放射線を理科で教えることができる民間人に適切な検定に基づいて臨時の教員資格をあたえることを検討する価値があるのではないだろうか。

中学校で放射線を教えることになったこの機会に、教員の方々がエネルギー・環境問題をはじめ科学技術の社会への応用の基礎となる知識や正しい考え方を学び、子供たちが持続的に学習しようという意欲を持つような教育の実践に当たっていただくことを期待する。そのために、学校における教育資材の充実をはじめ、教員研修の機会を増やすこと、教員養成機関における理科の授業でエネルギー・放射線の教育の内容を充実させること、「総合的な学習の時間」のテーマとして放射線・エネルギー問題を積極的に取り上げることが望まれる。更に上で述べたように、民間人で放射線・エネルギーについて勉強され、小・中学校で授業ができる能力のある方に「放射線・エネルギー教育の有資格者」としての認定を与える制度を設けることなどは有効であろう。

２０１０年８月２０日

全国中学校校長各位

NPO 法人放射線教育フォーラム
理事長　立教大学名誉教授　松浦辰男
〒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
Email: mt01-ref@kt.rim.or.jp

放射線教育に関するアンケートの回答のお願い

拝啓　時下ますますご清祥のこととお喜び申し上げます。

私ども NPO 法人放射線教育フォーラムは、放射線の研究者や理科教員有志によるボランテイア組織で、放射線やエネルギー問題についての正しい知識の普及活動を行なっています。私どもは 16 年前に設立以来、活動の重点を学校における放射線教育の充実におき、文部科学省に要望書を提出するなどの努力を払い、このたび改定された学習指導要領では、30 年ぶりに放射線が中学校の理科第一分野で取り上げられることとなりました。

本フォーラムでは、放射線の指導に少しでもお役に立つことを念願して、2 年前から、先生方のための「放射線に関する指導の手引」の作成に着手し、2008 年度末にその試作版を、2009 年度末には改定版を作成し、私どものホームページ（http://www.ref.or.jp）にて公開してあります。

この度のご連絡とお願いは、放射線に関する教育の現状を把握し、少しでも学校の先生方との連携を深めてご要望にお答えできるように、同封のアンケートのご回答をお願いするとともに、上記の放射線に関する指導資料ができていることを皆様にお知らせするものです。この指導資料をご一読を賜り、ご感想やご意見（どのページの記述が興味深かった、あるいは分かりにくかった）などをお聞かせいただければ大変有難く存じます。また、今年度の計画として、教育指導の手引とは別に、先生方が教室で直ぐに利用できるような形式のテキスト（中学校用としては年間約 3～4 時間分に相当するもの）の制作を始めています。これに関してもご意見をお聞かせいただければと存じます。

何卒私どもの意図することをご理解賜り、貴校の理科・技術科の先生方に同封のアンケート用紙をお渡しいただき、回答を本フォーラムに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。中学校の数は全国で 1 万校を超えますが、これまでに約半数の 5,000 校については既にアンケート調査を終わり、その集計結果は本フォーラムのホームページに公開してあります。今回は残りの約 4,800 校にお送りしています。なお、本来ならばアンケートの返信のための封筒を同封すべきですが、資金が十分でありませんので FAX にてご回答をお願いしています。

なお、本フォーラムは、このテキストを使って、実際に授業実践を行いその結果をご報告下さる方を募集しております。

今後とも、放射線やエネルギー教育をはじめ理科教育全般を通じて、日本の教育水準向上のために努力を続けますので、どうぞよろしくお願い申し上げます。　　敬具

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．貴方はこれまでに授業で放射線や放射能について教えたことがありますか？

a　ある　　　　b　ない

１－１．（「ある」と答えた方に）教えた内容について簡単に書いてください。

１－２．（「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

１－３．（「した」と答えた方に）放射線の実習ではどのタイプの測定器あるいは検知器を使いましたか？

a　GM計数管　　b　電離箱　　c　霧箱　　d　「はかるくん」　e　どのタイプかわからない
f　その他（　　　　　　　　　）

２．貴方が所属する学校の理科教材の中に放射線の測定器あるいは検知器がありますか？

a　ある　　　　b　ない

３．貴方ご自身は学校で放射線について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

３－１．「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　小中学校で　　b　高等学校で　　c　それ以上（大学等）　　d　覚えていない

４．(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

５．学習指導要領の改訂によって、理科第一分野のエネルギー資源にかかわる項目の中で放射線が「放射線の性質と利用」という新しい学習内容が指導されることになっています。このことをご存知ですか？

a．知っている　　　　b．知らない

6．（前問で知っていると答えた方に）「放射線の性質と利用」の授業について、現在のところどのように対応しているかをお聞きします。次のうち該当する項目に○をつけてください。複数つけてもかまいません。

a. まだ、何も考えていない。
b. 学習計画のなかに位置づけて検討している。
c. 授業で使用する教材等についても検討あるいは準備を進めている。
d. 新学習指導要領に準拠した教科書を入手してから授業計画を立てる。
e. その他（　　）

7．新学習指導要領理科の年間学習計画中に、「放射線の性質と利用」を何時間くらい割り当てることができると思いますか？

a．4時間以上　　b．2～3時間　　c．1時間程度　　d．0時間　　e．わからない

8．「放射線の性質と利用」の授業で教科書以外に利用したいと思っている教材などは次のどれですか？使いたいと思う教材すべてを選んでください。

a．副読本　　b．ビデオ教材　　c．放射線検出器（はかるくんの借用を含む）　　d．霧箱
e．外部講師派遣事業の利用　　f．その他（　　）

9．当フォーラムでは、授業ですぐ使える「放射線パワーポイント教材」（解説付き）を制作中です。そこでお尋ねします。年間を通じて理科の授業でパワーポイントをどの程度使うことができますか。次の中から選んでください。

a．いつでも使うことができる。
b．（視聴覚教室・パソコン室などの）割り当て時間しか使うことができない。
c．クラス全員に一斉に見せることのできるパワーポイント投影（閲覧）設備がない（授業でパワーポイントが使えない）。
d．設備はあるが、理科の授業で使うつもりはない。
e．その他（　　）

10．「パワーポイント教材」を使うことについてどう思いますか？

a．使ってみたい　　b．内容によって考える　　c．使う必要がない
d．その他（　　）

＊　パワーポイント教材は詳細なデータ等を提示することは不向きですが、画面順序の入れ替え、削除などが容易なため、教えるクラスの実情に応じた教材に編集しなおして使える利点があります。

11．「放射線の性質と利用」の授業について検討を進めている方にお尋ねします。現在のところどのような学習内容（学習項目でもよい）を扱うことを考えておられるか、具体的にお書き下さい。

１２．現在当ＮＰＯ放射線教育フォーラムはホームページ上で先生方のための解説書「放射線学習指導資料ー中学校・高等学校における放射線に関する学習指導の手引きー（改訂版）」を公開しています。これについてご意見をお聞かせ下さい。

「放射線学習指導資料」はインターネットの http://www.ref.or.jp/ を立ち上げて、「放射線教育フォーラム」のホームページ「学習指導テキスト」をクリックするとテキストが検索できます。

１３．上記の設問及びそれ以外のことも含めて、ご意見、ご感想などがありましたら、ご自由に下欄にお書き下さい。

お忙しいところご協力をありがとうございました。

われわれＮＰＯ法人放射線教育フォーラムは今後とも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資料を提供したいと考えております。必要に応じてご連絡を申し上げたいので、ご回答を下さった先生は差し支えない限り、ご氏名を書いていただきたくお願い申し上げます。（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。）

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＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

中学校へのアンケート集計結果

（調査時期:2010年8月　発送数：4,737通　回収数:623通　回収率:13.2%）

1．貴方はこれまでに授業で放射線や放射能について教えたことがありますか？

a　ある：　４５％　　b　ない：　５４％　　無回答:１％

1－1．（「ある」と答えた方に）教えた内容について簡単に書いてください。

実習授業2%、科学的問題６％、原発のしくみ8%、エネルギー5%、性質と利用4%、自然放射線2%、正のイメージで10%、有用性とリスク3%、危険5%、原爆2%、事故2%、平和学習1%

1－2．（「ある」と答えた方に）そのときに放射線の実習をしましたか？

a　実習した：9.5%　b　しない：45.9%、　無回答：44.6%

1－3．（「した」と答えた方に）放射線の実習ではどのタイプの測定器あるいは検知器を使いましたか？

aGM計数管:12.1%，b電離箱:1.1%，c霧箱:33.0%，d「はかるくん」:46.2%

eどのタイプかわからない:7.7%、　無回答：０％

2．貴方が所属する学校の理科教材の中に放射線の測定器あるいは検知器がありますか？

a　ある：24%、　b　ない：75%、　無回答：　１％

3．貴方ご自身は学校で放射線について習った覚えがありますか？

a　習った覚えがある:48.3%　b　習った覚えがない:36.9%、c　覚えていない：0.5%

3－1．「習った覚えがある」と答えた方に学校のどの段階ですか？

a　小中学校:11.4%、　b　高等学校：50.0%、　c　それ以上（大学等）:36.0%

d　覚えていない：2.6%

4．(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。そのような利用システムがあることをご存知ですか？また、これを利用したことがありますか？

a　利用したことがある:9.5%、　b　利用したことはないが知っている:32.6%、

c　知らない:：57.9%

5．学習指導要領の改訂で、理科第一分野のエネルギー資源にかかわる項目で「放射線の性質と利用」という新しい学習内容が指導されることになったことをご存知ですか？

a　知っている:87.3%　b　知らない:12.4%、　無回答：　0.3%

6．（前問で知っていると答えた方に）「放射線の性質と利用」の授業について、現在のところどのように対応しているかをお聞きします。次のうち該当する項目に○をつけてください。複数つけてもかまいません。

a　まだ、何も考えていない。	27.3%
b　学習計画のなかに位置づけて検討している。	29.1%
c　授業で使用する教材等についても検討あるいは準備を進めている。	20.1%

d　新学習指導要領に準拠した教科書を入手してから学習計画を立てる。　16.9%
e　その他　1.8%
f　無回答　11.4%

7．新学習指導要領理科の年間学習計画中に、「放射線の性質と利用」を何時間くらい割り当てることができると思いますか？

a 4時間以上:1.6%　b 2~3時間:31.6%, c　1時間程度:45.6%,　d　0時間:0%,
e　わからない: 20.4%,　　無回答:0.8%

8．「放射線の性質と利用」の授業で教科書以外に利用したいと思っている教材などは次のどれですか？　使いたいと思う教材すべてに○を付けてください。

a　副読本:19.0%,　b ビデオ教材: 71.5%, c 放射線測定器(はかるくんの借用を含む):45.3%, d　霧箱: 26.9%, e 外部講師派遣の利用:7.8%　f その他：3.8%、無回答:2.5%　　)

9．当フォーラムでは、授業ですぐ使える「放射線パワーポイント教材」（解説付き）を制作中です。

そこでお尋ねします。年間を通じて理科の授業でパワーポイントをどの程度使うことができますか。次の中から該当する項目に○を付けてください。

a　いつでも使うことができる。　69.0%
b　（視聴覚教室･パソコン室などの）割り当て時間しか使うことができない。　15.9%
c　クラス全員に一斉に見せることのできるパワーポイント投影（閲覧）設備がない（授業でパワーポイントが使えない）。　2.6%
d　設備はあるが、理科の授業で使う予定はない。　9.8%
e　その他　1.2%
　無回答　0.3%

１０．「パワーポイント教材」を使うことについてどう思いますか？

a　使ってみたい:　35.6%　　b　内容によって考える: 59.9%
c　使う必要がない:　2.6%　　d　その他：　1.3%　　無回答　0.6%

１１．「放射線の性質と利用」の授業について検討を進めている方にお尋ねします。現在のところどのような学習内容（学習項目でもよい）を扱うことを考えておられるか、具体的にお書き下さい。

１２．現在当ＮＰＯ放射線教育フォーラムはホームページ上で先生方のための解説書「放射線学習指導資料－中学校・高等学校における放射線に関する学習指導の手引き－（改訂版）」を公開しています。これについてご意見をお聞かせ下さい。

１３．上記の設問及びそれ以外のことも含めて、ご意見、ご感想などがありましたら、ご自由にお書き下さい。

アンケートに添えられた中学校教員の意見

１．放射線教育に対しての教員研修の必要性

○教員の研修会等で放射線が取り上げられていない。
○教員を対象とした研修会（無料）をどんどん開催してほしい。
○教材研究をしっかりしておく必要がある。今後各種教材を活用していきたい。
○研修会等があれば参加したい。中東なども化石エネルギーから原子力等のエネルギーへ国を挙げてシフトしていると聞きます。実際に自らの目で見てみたい。
○放射線に関する実験を行う催しを様々な場所で開いてください。
○今後も私たちに研修機会を設けてください。エネルギー事情は変わってきますので、ホームページ等で最新の情報をいつも提供していただけるとありがたいです。
○自分の専門外の教科については勉強しなおさなくてはならないので、そういうときに各専門分野の企業や団体の方々にいろいろ教えていただけると助かります。宣伝して下さい。
○広く教師、学級職員の研修の機会を増やすこと。原子力に対する不安や無理解がまだまだ強く、諸外国の取り組みなどを含め広く啓発する必要がある。
○フランスのエネルギー教育は、原子力教育があると聞いたことがあります。そこではどのような教育や、安全策、対応策がとれているのか、知りたい。

２．指導書の必要性

○中学校の教員すべてが、放射線について、一定レベルの知識があるわけではありません。私のように、殆ど具体的なことを知らない方もいると思います。　見やすく分かりやすい資料やリーフレットが欲しいです。
○授業の工夫という点で，展開例（モデル）をいくつかネット上で示していただけると参考になります。
○授業や総合学習、特別活動等でどう実践するかの例がどこかにデーターベース化されるとよいと思うが、そのような情報があるとありがたい。
○生徒用に配布してもかまわない資料を作っていただけたら直ぐに使えると思います。中学校の環境としては，毎年移行に追われていて、とにかく、もれなく確実に行うことが第一です。
○手引きを学校に１冊配布していただけると嬉しいです。
○放射性物質の負の部分をどのように扱ってゆくのか正確な情報（客観的な）が欲しい。
○放射線は目に見えないので、身近で大切なもの（色々利用されているもの）ということは理解できるが実感するのが難しい教材なので、色々工夫や指導案を提供いただけると嬉しいです。
○漫画的な手法をもっと利用した方がよいのでは？　特に中学生対象には、この方が判りやすいと思う。

３．視聴覚教材

○５～６分のビデオ等がみられると有難い。プロジェクター拡大しても良い画質になるようにお願いしたい。
○ＩＣＴ機器の購入も、中途半端。理振教材費の国庫補助もいろいろ紐付き条件が厳しく、本体ほしいものが許可されにくい。予算執行が遅く、教材が遅れてきたことも。
○写真や動画なの資料があると有り難い。（ＤＶＤの無料貸し出し等でも良いが・・・
○パワーポイントは毎時間授業で活用していますので，良い教材等があれば利用させていただきたいと思います。
○目に見えないものなので、放射線を実感できるもの（教材、ビデオ、デジタル画像など・・・）があるとよいと考えている。

４．エネルギー教育との関連

○将来、日本のエネルギーについて考えさせたい。原子力、火力、水力のメリット・デメリットについて知ることも大切であるが、将来の日本のエネルギー問題についてどう解決するか、考えさせたい。

５．実習授業

○「はかるくん」を借りるときに台数がなく授業で使えないことがありました。今後学習指導要領で放射線教育が入ったので借用が同じ時期に増えるはずです。日本科学振興財団がもっている「はかるくん」を増やしていただけるよう、ご協力いただければと思います。

６．有用性とリスク

○原子力の有用性を伝えるだけの内容では公教育としてふさわしくないと思います。

○これをきっかけに原発の行き過ぎた推進、核兵器の拡散につながらないようお願いします。

○自然放射線のみを大きく取り上げ「放射線は安全だ」という意識を育てようというとしている事例を見かけることがあります。放射線の有用性と危険性をバランス良く取り上げるよう心掛けたいと思っています。

○放射線はこれからの人類にとって必要なものであると同時に危険なものでもある。人類の倫理と技術の進歩によりよりよく生かされると考える。決して捨ててはいけない技術である。

７．感想

○簡易霧箱の作成の過程でマントル線源などがないとなかなか見られない。自然界にも身近な形であることを生徒に伝えるためにはどうすればよいか悩む。

○放射能に対する知識は、今後必要になってくると思われるが、教育課程に対する位置づけがまだまだ明確でないことが、授業をきちんと行えない要因になっていると考えられる。今の授業時数と内容を鑑みると、机上だけの時数カウントで余裕を持って学習しているところが少ないのではないか。新しいことなので授業を行いたいところではあるが，教員の研究・実践・授業となると難しいと言わざるを得ない。対策として、講師派遣を考えられているようであるが、学校現場が講師の派遣を依頼することは，時間的制約、教具の制約、生徒の事前指導など、受入体制を確立した上での依頼なので、教員が授業する以上に時間や手間がかかることをお知りおき願いたい。

○「放射線は危険なもの」というイメージが先行し、有益性、利活用されていることが、あまり認識されていない。教育の場で、正しく理解させていくことても重要と考えます。

○「放射線・放射能に関する正しい知識を持つこと」「放射線の利用状況を知ること」は必要であり、有意義なことと考えます。それがイコール原子力発電の有効性、安全性を証明するものではないかと考えますが、いかがなものでしょうか。　新学習指導要領において、「放射線の性質と利用」は「原子力発電推進のため宣伝」ではないはずですが。

○現時点では、ムリに放射線についての学習時間を増やそうとするのではなく、短時間〔1 時間程度〕であっても確実に当てを得た学習が生かされるよう策を練る事の方が「大切と考える。

○実際に始まってみないとなかなか具体的になってこない部分があります。また、開始直後はとりあえず移行教科に書いてあることを説明するところから始まり、教材や教具の工夫はそれ以降だと思います。

2010年10月15日

全国高等学校校長各位

NPO法人放射線教育フォーラム
理事長　立教大学名誉教授　松浦辰男
〒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
Email: mt01-ref@kt.rim.or.jp

放射線教育に関するアンケートの回答のお願い

拝啓　時下ますますご清祥のこととお喜び申し上げます。

NPO法人放射線教育フォーラムは、放射線の研究者や学校教員有志によるボランテイア組織で、16年前に設立以来、活動の重点を学校における放射線・エネルギー教育の充実におき、文部科学省に要望書を提出するなどの努力を払って参りました。お蔭をもちまして、このたび改定された中学校学習指導要領では、30年ぶりに放射線が中学校の理科第一分野で取り上げられることとなり、昨年公示された高等学校理科の学習指導要領においても、中学校での学習の内容に継続して放射線に関して従来よりも充実した取扱いとなりました。

本フォーラムでは先生方が放射線に関する指導を行うとき少しでもお役に立つことを念願して、2年前から全国の中学校の理科教員にアンケート調査を実施する一方で、先生方のための「放射線に関する指導の手引」の作成に着手し、2008年度末に中学校向きの試作版を、2009年度末にその改定版（中学校・高等学校共通）を作成し、ホームページで公開しています（ホームページ http://www.ref.or.jp）。

本アンケートご回答のお願いは、高等学校学習指導要領改定に伴う放射線教育の現状を把握し、上記「指導の手引き」に反映させることを目的にしています。何卒この意図にご理解を賜り、同封のアンケート用紙を貴校理科ご担当先生にお渡しくだいますようお願い致します。本来ならばアンケート回答のための封筒を同封すべきですが、資金が十分でありませんので大変恐縮ですがFAXにてご回答くださるよう重ねてお願い致します。

なお、本フォーラムでは、「放射線に関する指導の手引」を使って授業実践を行い、その結果をご報告くださる方を募集しています。ご関心をおもちの先生は標記事務所に電話またはFAXでお問い合わせください。

今後とも、放射線やエネルギー教育をはじめ理科教育全般を通じて、日本の教育水準向上のために努力を続けますので、どうぞよろしくお願い申し上げます。

敬具

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：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿高等学校
ファクス番号：

〜〜〜

高校の理科教員へのアンケート（記入式以外は、該当する答えを○で囲んでください。）

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

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

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

a　ある　　　b　ない

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

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

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

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

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

ⅰ．学校の備品　　ⅱ．公的機関から借用　　ⅲ．自作　　ⅳ．その他

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

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

a　知っている　　　b　知らない

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

a　知っている　　b　知らない

5．新しい学習指導要領での理科授業で放射線を扱うことを予定していますか。

a　予定している　　b　予定していない　　c　教科書を見てから考える
d　その他（　　）

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

a　放射線を原子力エネルギーの内容に含めて扱う。
b　科学技術の発展と生活とのかかわりを学ぶために放射線の利用を扱う。
c　放射線もエネルギーの一形態であるので、広く「エネルギーとその利用」に関わる内容として扱う。
d　その他（　　）

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

a　放射性同位体　　b　X線発生装置　　c　加速器　　d　その他（　　）

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

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

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

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

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	J	k	l	m
物理基礎													
化学基礎													

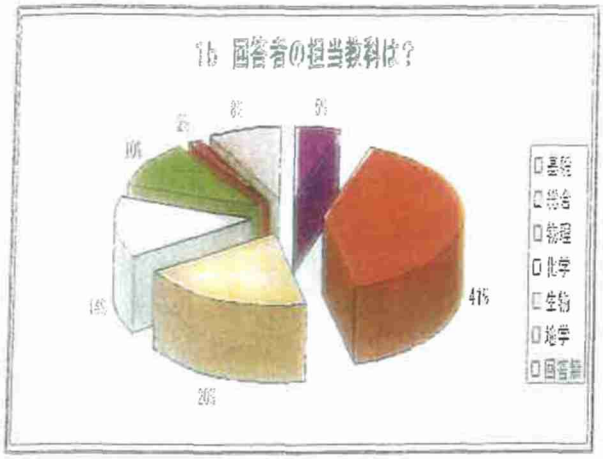
9．原子力・放射線の学習で外部からの協力･支援（講師派遣を含む）を受けたいと思いますか。

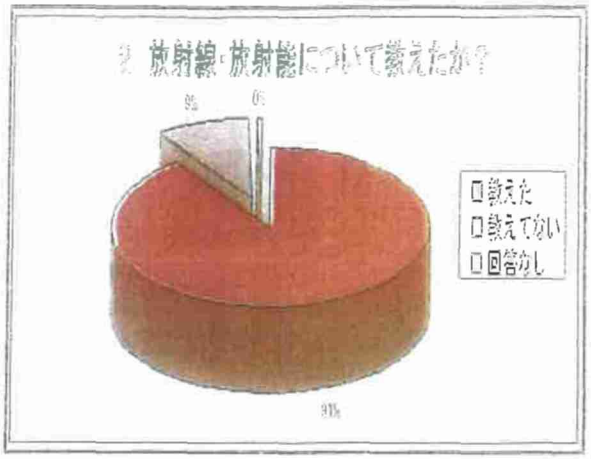
a　ある　　　　b　ない

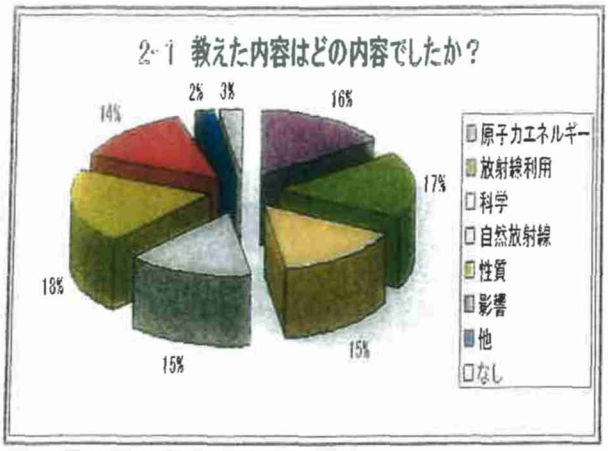
9－1．上記の理由についてあなたのお考えをお聞かせください。

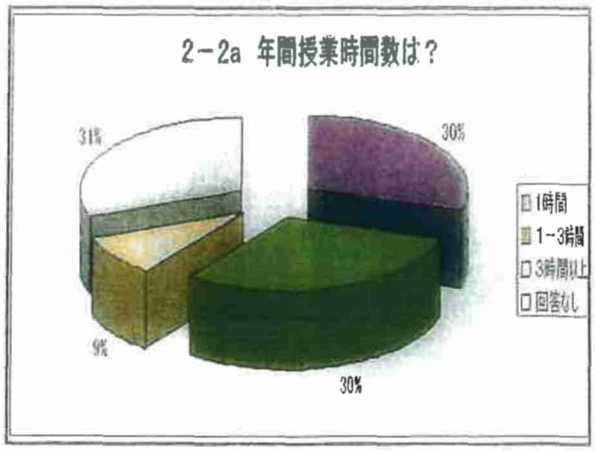
10．放射線・原子力のような新しい科学技術は、科学の原理や体系を学ぶことに主目標をおく理科では扱いにくいと言われていますが、このことも含めて、放射線に関する教育についてあなたのご意見を以下にご自由にお書き下さい。また、このアンケートに関連して、なにかご質問、ご意見、ご要望があればお聞かせ下さい。

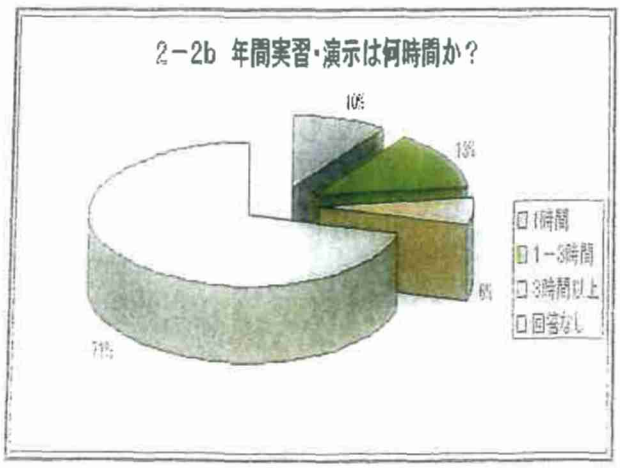
回答者所属：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿高等学校　　都道府県名：＿＿＿＿＿＿＿
ご氏名：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿　ご担当教科：＿＿＿＿＿＿
学校の住所：〒＿＿＿＿＿＿　＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿
＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿
電話番号：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿　FAX:＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿
メールアドレス：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

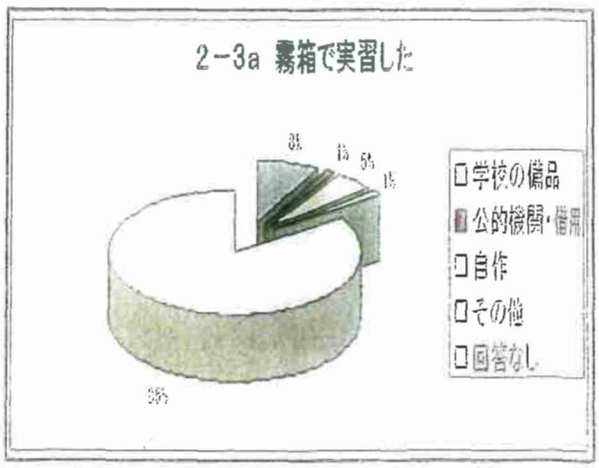

1b 回答者の担当教科は？
5%
41%
20%
14%
10%
2%
8%
基礎
総合
物理
化学
生物
地学
回答無

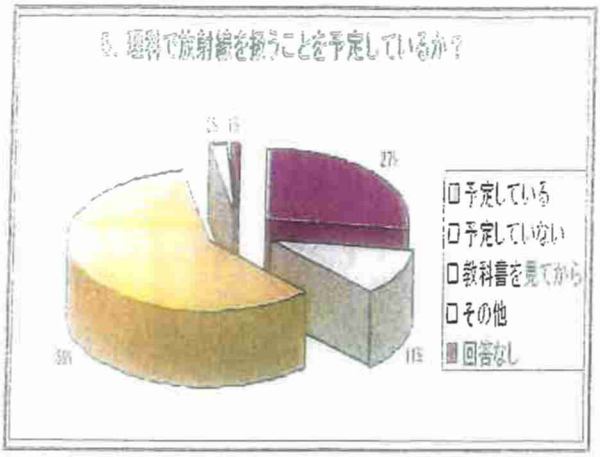

2 放射線・放射能について教えたか？
9%
0%
91%
教えた
教えてない
回答なし

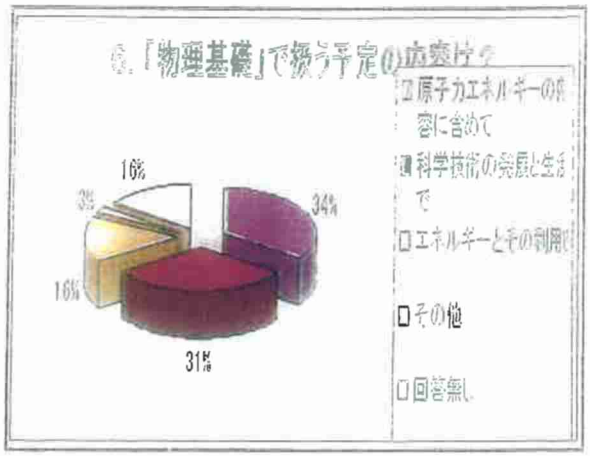

2-1 教えた内容はどの内容でしたか？
16%
17%
15%
15%
18%
14%
2%
3%
原子力エネルギー
放射線利用
科学
自然放射線
性質
影響
他
なし

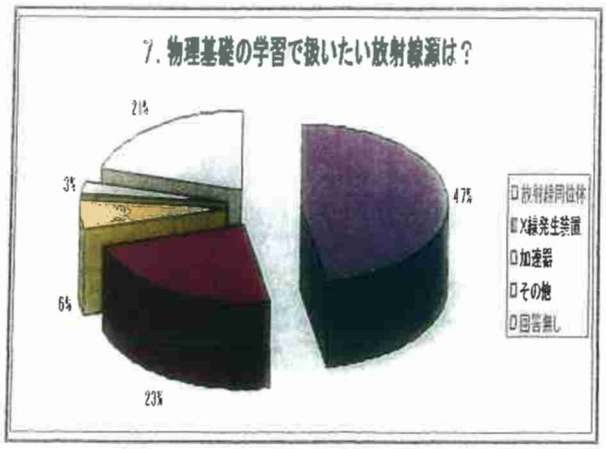

2-2a 年間授業時間数は？
30%
30%
9%
31%
1時間
1-3時間
3時間以上
回答なし

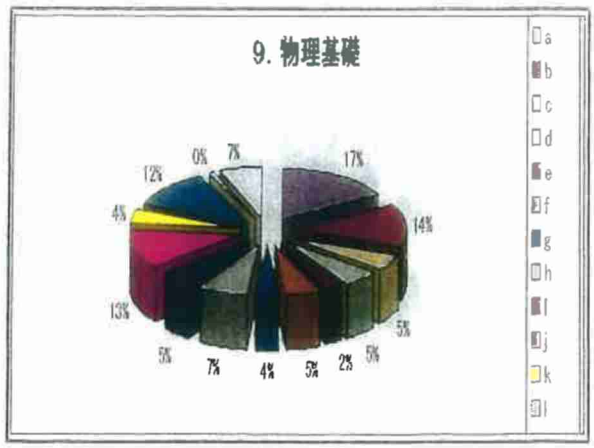

2-2b 年間実習・演示は何時間か？
10%
13%
6%
71%
1時間
1-3時間
3時間以上
回答なし

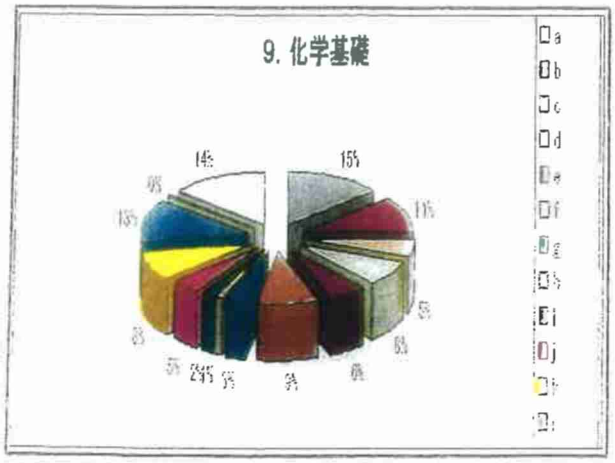

2-3a 霧箱で実習した
8%
1%
5%
1%
35%
学校の備品
公的機関・備用
自作
その他
回答なし

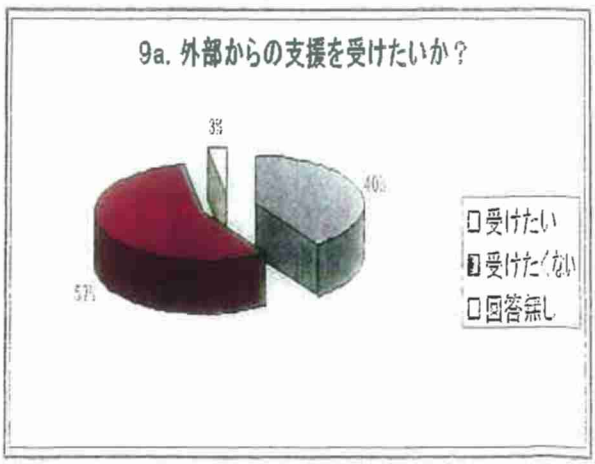












a　安全（防災、防犯）　b　食育　c　健康　d　情報　e　理科実験
f　金融　g　環境・エネルギー　h　消費者　i　その他（　　）

（第２回）高校アンケート回答（自由意見）より

○ 新学習指導要領には、放射線の安全性について触れることとあるが、これまで学校に届いた資料には、ほとんど触れられていない。デメリットをも含めた資料を作成してもらいたい。
○ 放射線・原子力分野は非常に重要であることは認識しているが、扱えないのは、大学入試の影響が大きい。
○ 線源の取り扱いや、管理の面で、生徒実験ではなく演示や動画で間に合わせることが多くなっています。
○ 基礎より遠い分野なので、教材研究が必要と思う。
○ 放射線・原子力は身近なものであるが、それを生徒は身近に感じていない。多くの生徒は、教科書に載っている知識からしか情報が入っていない。
○ 教科書一冊を標準単位数で終わらせる事にも無理がある現状では、教科書の後のほうに出てくる原子力・放射線は扱われないことが懸念される。
○ 実生活に多く利用されている科学技術については生徒たちにも知っておいてほしいので扱うべきだと考える。
○ 基本的な学力があれば扱えると思うが、当校の現状では少し無理がある。
○ 理科としてはその性質、原理を中心として、社会的な利用の是非は現代社会のような科目が適当と思う。
○ 教員の研修の機会を設けていただきたい。
○ 放射線は重要な分野だと思う。生徒に実感として理解させるには実習を行う必要があるが、適切な実習内容がなかなか見つからずにいる。そのための用具などがないのでサポートしてほしい。
○ 放射線は農業、医療、科学の分野ではますます重要になってくる技術だと思うが、原子力発電についてはすごく不安を持っている。
○ 現在の物理 II では第 4 編の「原子と原子核」が選択となっており、以前に比べて扱う機会が減っている。エネルギー問題において原子力の役割は大きく、せめて物理選択者には基礎知識は教えておきたい。
○ 授業でよく使うのは画像集です。原子力発電所、原子炉、照射したジャガイモの実物、プルトニウムの現物等の写真集がほしいです。
○ 科学と人間生活とのかかわりについて、放射線・原子力について学ぶことは必要であると思う。生徒の中には、悪いイメージしかもっていない子もいるので、（教師が）正しい知識を持つ必要がある。
○ 基本的な理論は物理で取扱い、利用・応用については、生・化・地で必要に応じて指導すればよい。
○ トピックスとして、新元素の発見のニュースや今後の発見の可能性、素粒子や反粒子の話、天然原子炉の話などが教科書に載っていると面白いと思います。
○ 進学のためというよりは、生活上、必要な知識ともいえるので、中学の学習指導要領に入ったことはとてもよい傾向である。全国民へと考えると、風評被害にならない正しい知識を高校レベルには与えたい。
○ 原子力発電の受容が高まることが予想される中、原子力・放射線に関してより正確な知識が必要とされるので、理科の授業の中で積極的に扱っていきたい。
○ この日本で原子力のことを授業で扱うのはとても気を使います。又、海外では日本の技術は高く評価されており、そのようなことも子供に伝えていかなければならないと思います。どのような導入を行なえばよいか、適例を教えてほしい。
○ 原理や体系を学ぶとともに、社会人としての常識的な教養も必要。身近な生活での放射線との関わりは多いので、すべての生徒に教えたい。
○ 放射線や原子力に対する否定的な意見が多いが、必ずしも科学的に正しい知識を背景にした反対でもないようだ。原子力をよく知らないことからくる恐れで、原子力利用に消極的になっている人も多いかもしれない。賛成にしろ反対にしろ正しい知識と認識に基づいて判断できるようになるために、原子力や放射線についての教育は必要と考える。
○ 生物が専門であるので、突然変異や品種改良、病気の治療などの分野で説明している。
○ 原子力の安全性と問題点を理解することは現代と未来の社会を考える上でとても重要なことですが、現在のカリキュラムの中ではなかなか十分な時間を割くことができないのが残念です。
○ 放射線について教員が学べる機会が激減しました。セミナーや実習をしていただける団体機関がなくなっています。「理科では扱いにくい」とありますが、理科の教師が社会的な影響などを学ぶほうが社会の教師が放射線を学ぶよりも簡単だと思います。
○ 現行教科書の章立てを一新し、イギリスの「アドバンシング物理」のような教科書内容と章立てを組めば、もっと現代科学についての内容が取り込められるかと思います。
○ 「原子核と素粒子」の単元で、放射線・原子力の観点から一節を再構築されれば教える側も扱いやすいと思います。
○ 放射線について入門すると、学習範囲が狭く、少し学習すると急に難易度が上がる。そこで学習内容が理解できなくなり、理解させられない実態がある。

○ 石油などのエネルギー源がなくなってしまうといわれている中で、放射線・原子力について理解することは必要不可欠。
○ 過去に放射能もれをともなう事故があった。放射線についての安全教育は必要。放射線について、むやみに怖がるのではなく理解して安全に利用できるように学習できればよい。
○ 放射線に対する漠然とした日本人の恐怖心を少なくするためにも教育が必要。
○ 教員自身が学んだことがない、ほとんど知らない、という状況で、どう教えたらよいか全くわかりません。
○ 放射線に関する教育はもっとしてもよいと考えます。（放射線のエネルギー計算や反応など）教員による管理が難しいので専門家が学校にきて授業をしていただけると良いと考えます。
○ 教える幅が狭くなっているので、急に放射線を伝えるのは生徒がなかなか理解できないと思う。
○ 原爆開発にアインシュタイン等の物理学者が関わったことは教科「物理基礎」で取り上げたい。またチェルノブイリ、スリーマイル島、ＪＣＯ等の事故についても、事実は伝えてゆく必要がある。
○ 理科では、物質の成り立ちの中で原子の構造や核から発せられる放射線（α、β、γ線）について性質面、量的関係についてどこまで扱うか内容を精選してきた。原子核のエネルギーや新しい技術の内容について受け止めるだけの準備性（レディネス）がある生徒は限られている。
○ 放射線が中学で教えるべき内容として位置づけられたことを評価する。しかし中学では実験で扱うなどの学習が十分にされない恐れがあるので、高校で実験(実体験)を含めてしっかりと学習する必要があると思う。
○ 興味関心が薄いという生徒の実態を理解している講師に協力してもらいたい。
○ 無知からくる恐怖心、無知から生じる危険性についての無知はともになくすことが教育に課せられた義務と思う。
○ 放射線は今や基礎科学といえるポピュラーなものであり、物理、化学、地学、生物学すべての分野において必須のものである。十分な教育が必要。
○ 新しい科学技術の光と影を教えるためにも必要だと思う。
○ 年代決定や品種改良など人間生活に利用されていることが教科書に取り上げられているのはよい。しかし感覚的に解りにくい分野なので、何か実感の持てるもの（視聴覚教材でも）があれば、と思う。
○ 「理科では扱いにくい」とのことだが、誰がそんなことを言っているのか。理科でもきちんとした知識を教えることが重要と思う。
○ 放射線や原子力を利用する内容は、理論的に積み上げていくことが難しい。このような「科学」的な内容は、小学校・中学校で教えておくべき。高校では、半減期やエネルギーの内容があるのでここで補足的に教えることは良い。入試で多く出題されない現状では、授業で多く教えることはない。
○ 原発・プルサーマルなどの原理・問題点を授業でぜひ取り上げたい。
○ これからは、「判断、決断の力」を生徒につけさせてゆきたいと考える。原子力や放射線の話は、良い面と悪い面の両方を含むものです。　20年後の自分たち主体の時代に、生徒たちに、原子力を使うかどうかを考えさせたい。
○ 放射線・原子力は私たちの生活に欠かせないものになっている現在、理科でその内容を扱うのは必要であると考えます。我々も勉強しなくてはと思う。
○ 決して扱にくいとは思いません。多種の学習内容とリンクしており、体系を支える技術として、生徒も非常に興味をもって学習します。
○ これからのエネルギー問題に直面する生徒にできる限りの情報を与え、対応・判断が的確にできるようにしてやりたい。ただし時間の制約で、放課後の部活動で関心のある生徒への対応にとどまっている。
○ エネルギー利用と、医療などへの利用を分けて扱ったほうが判りやすいと思います。前者は主に物理で、後者は主に化学が担当するのが良いのでは。
○ 教科書を超えた内容については、教師の力量に大きく左右されるので、扱いに悔い。教科書の充実が必要。受験との関係もあり、放射線・原子力の内容をたくさんの時間を使って授業を行うのは難しい。
○ 平成25年度から、「科学と人間生活」は科学の原理や体系を学べるようにしなければならないようです。放射線や原子力がその中に入ったとしても違和感はないのでは。
○ 原理・体系を学ぶ上では扱い原子力発電を始め生活には密接名関係があるため、かならず話題に上げる。性とも実際に利用されている例などには関心をもっている。
○ 生徒たちが日常生活で耳にする内容は、一方的に負のイメージのものなので、放射線・原子力に関する教育は非常に大切である。負のイメージが先行しているので、学習したい生徒が減ってしまうのではと心配している。できるだけ初期の段階で、実験や実習を含まなくても放射線・原子力について学ぶべきである。

放射線の人体への影響（その1）

Effects of Ionizing Radiation to Human Body

放射線医学総合研究所　酒井一夫

Kazuo Sakai

放射線はどんなに微量であっても有害であると言われることがあるが、ここでは人体への影響が線量や線量率（単位時間あたりに与えられる線量）に大きく依存することにつき検討を加えたい。

1. 影響の分類

放射線防護の分野では、放射線の生体への影響を線量との関係の観点から２種類に分類する。

(1) 確定的影響：細胞が失われることによって起こる影響

人間の体はさまざまな組織・臓器から構成されている。さらに、それぞれの組織・臓器は数多くの細胞で構成されている。放射線を受けると組織・臓器を構成している細胞がダメージを受け、失われることがあるが、失われる細胞がわずかなうちは周囲の細胞がこれを補うので、障害として現れることはない。しかしながら、線量が高くなり、失われた細胞を補うことができなくなったときに、障害が生じる（図１）。

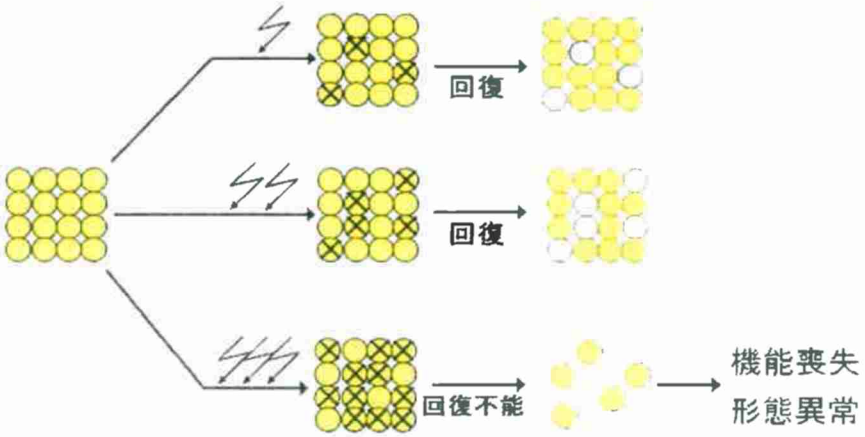


図１：組織の回復力のために「しきい値」が生じる仕組み

組織の回復能力を越えて障害が現れはじめる線量を「しきい線量」あるいは「しきい値」と呼ぶ。

(2) 確率的影響：細胞が変異することによって起こる影響（確率的影響）

遺伝的影響と発がんが確率的影響に分類される。遺伝的影響とは、被ばくした人の生殖細胞の遺伝子に変化が生じた結果としてその子供にあらわれる影響のことを指す。また、がんは体を構成する細胞に変異が生じ、本来の秩序を超えて増殖する能力を獲得することによって生ずると考えられている。いずれにしても、単一の細胞の変異が遺伝的影響やがんの発生につながりうるとの観点から、しきい値は無いものと仮定されている。

2．放射線の影響と線量

確定的影響の中で、胎児期の被ばくによる奇形は感受性が高い（低い線量で起こる）ものの一つであるが、最も感受性が高い時期におけるしきい値は 100～200 ミリグレイとされている。また、神経細胞が盛んに発達する 8 週間から 25 週間にかけて精神遅滞が見られることがあるが、そのしきい値は 120～200 ミリグレイとされている。しきい値が 120～200 ミリグレイということは、これよりも低い線量では精神遅滞は認められないということである。これに対し、1,000 ミリグレイになると、発生確率は約 40％に上昇するとされる。放射線の影響が線量に大きく依存することを示す例と言えよう。

確率的影響のうち遺伝的影響については、これまで人間の場合に放射線によって生じた例は認められていない。がんについては、原爆の影響、医療被ばく、放射線作業に伴う職業被ばくなどについて疫学的な調査研究が進められてきているが、急性被ばくの場合 100 ミリグレイよりも低い線量では統計学的に有意なリスクの増加は認められないというのが専門家の間でのコンセンサスである。放射線によらないがんの発生率が 4 割に達し、放射線によるリスクは（あったとしても）統計学的な不確かさの中に埋もれてしまう程度であるという言い方もできよう。

3．放射線の影響と線量率

われわれは宇宙線、大地放射線、空気中のラドン、あるいは食品とともに体内に取り込まれた放射性物質などから日常的に放射線を受けている。地球上には自然放射線のレベルが世界平均よりも数倍高い地域が存在し、中国やインドの高自然放射線地域の住民の健康影響調査が行われてきている。長年にわたって高いレベルの放射線を受け続けた総線量が 100 ミリグレイを超える場合でも、放射線に起因すると考えられる影響は認められていない。その他の要因についても考慮する必要はあるが、このことは、同じ線量であっても、短時間のうちに受けるか、長期間にわたって受けるかによってその影響が大きく異なること（線量率効果）を示す一例と考えられる。

また、医療の分野でも同じ線量を何回にも分割して受けた場合には、一挙に受けた場合

に比べてその影響が小さいことが知られている。

4. 生体防御機能—線量・線量率効果の背後にある仕組み

生体には放射線に限らず、さまざまな「ストレス」に対応するための防御機能が備わっている。1) 体内に生じた反応性の高い物質を除去するための「抗酸化機能」、2) DNA の上に生じた損傷を修復する仕組み、3) DNA 損傷が蓄積した細胞を除去するアポトーシスと呼ばれる機構、4) がん化した細胞を除去する免疫機能などである。

このような何重もの防御機能が放射線による障害の発生に抑制的にはたらいており、この能力で対応できなかった部分がリスクの増加につながるとすると、線量が低い場合の障害の現れ方は、単純に線量に比例したものではないと考えられる（図２左図)。また、一挙に受けた場合に防御能力を越える損傷を与える線量であっても、何回か（図２中図では４回）に分けて与えられた場合には、その時点、その時点で対処することができる分だけリスクの増加の程度は小さくなる。さらに、長期間にわたる低線量率の場合にも、各時点で防御能力が機能するためにリスクの増加が一層小さくなることも考えられる（図２右図)。

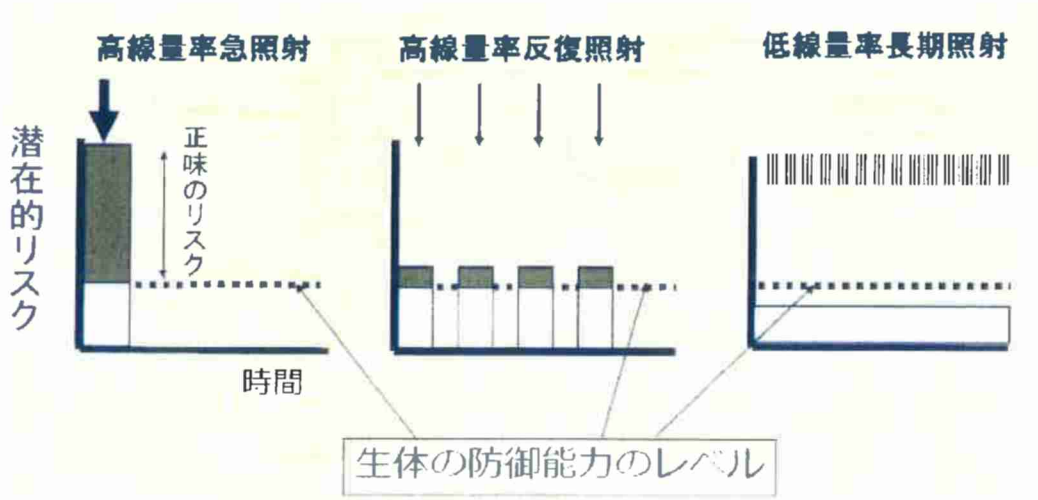


図２：時間的線量配分とリスクの増加

5. 放射線防護と放射線生物作用

放射線防護の分野では、確定的影響の発生を防止することと確率的影響の発生を容認できるレベルまで低減することが目標とされる。この中で確率的影響の発生に関しては、「その発生にはしきい値はなく、リスクは線量に対して直線的に増加する」との考え方（直線しきい値なしモデル　Linear No-Threshold Model）が採用されている。これは、放射線

防護あるいは管理の目的で設定されている考え方であり、必ずしも現実の影響を反映したものではない。LNT の考え方によれば、どんなに微量の放射線であっても、線量に応じたリスクの増加があることになるので、微量の放射線によるリスクを多人数に適用すればがん死亡数が算定されることになる。チェルノブイリ事故の影響を評価するにあたり、対象を全世界に拡大して、事故による被ばくに起因する死者が数万人に達するという議論があったが、この一例といえよう。いまだにこのような例が後を絶たないが、国際放射線防護委員会（ICRP）では 2007 年に発表した勧告の中で、微量の放射線による計算上のリスクを多人数に適用して、死亡数などを算定することは適切ではないと注意喚起している。

6. まとめ

放射線の影響が線量と線量率に大きく依存することを理解することが重要である。放射線との関わりの中では、このことを認識しつつ、放射線を侮らず、一方で怖がりすぎない姿勢が必要であろう。

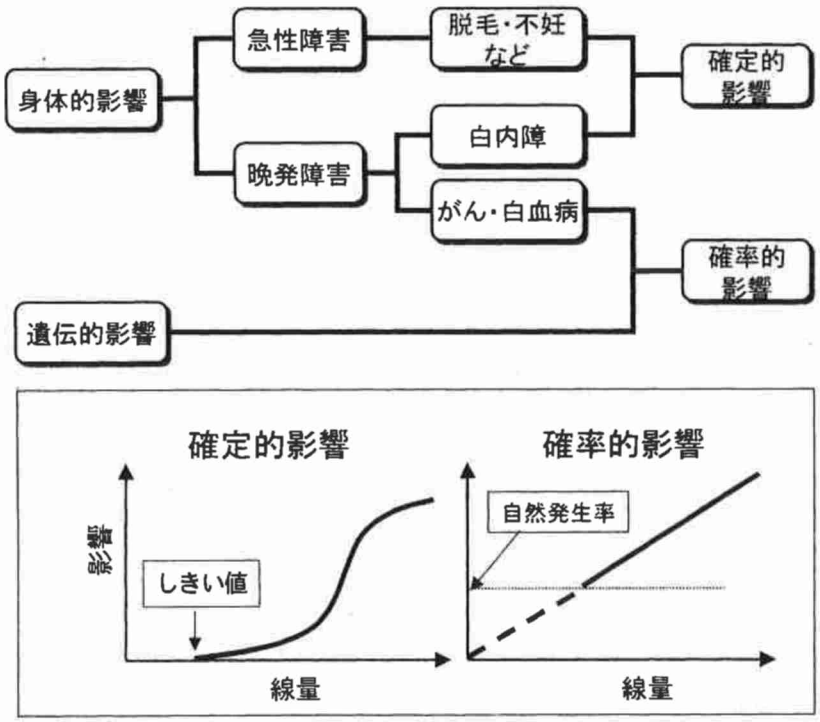


図 1．放射線影響の分類

放射線の人体への影響（その２）

松浦辰男

１．放射線に関して学校で、それもできるだけ義務教育の段階で学ぶべきことは、

（１）身の回りに自然放射線、天然放射性物質が存在すること。そしてこの量は世界平均で、年間 2.4 ミリシーベルトであること（本報告書別冊、「放射線学習指導資料 22 ページ」）。

（２）人間の体の中にも、また日常のあらゆる食べ物の中にも放射性物質が含まれていること。このうち最もありふれた天然の放射性物質はカリウム 40 であって、人間の体重１キログラム当たり約 70 ベクレル含まれていること（指導資料 23 ページ）。

（３）放射線は光のようなものであるが、それは放射性物質から放出されているものであること（指導資料 21 ページ）。シーベルト、ベクレルなどの、それぞれ放射線と放射性物質の基本的な単位についても理解すること（指導資料 21 ページ）。

（４）放射線にはアルファ、ベータ、ガンマなどの種類があり、それらはエネルギーをもっているが、物質中を透過する、作用するなどの基本的性質があり、医療をはじめ種々の分野に利用されていること（指導資料 24、25 ページ）。

（５）あらゆる物質を構成している原子が原子核と外殻電子からなることや、原子核が陽子と中性子の組み合わせでできていること、その組み合わせの割合が悪いものが原子核の安定性に影響し、その原子が放射性物質となるかどうかがきまること。そして放射性物質には「半減期」があること（指導資料 6、7、8 ページ）。

（６）近くに放射線の線源があっても、距離を置く、遮蔽物を置く、時間を短くする、という「3 原則」で防ぐことが出来ること（指導資料 35 ページ）。

（７）放射線の人体への影響については、放射性物質が天然のものであろうと、原子炉で人工的に生産されたものであろうと、また外部被ばくか、内部被ばくか異なっていても、その人体影響に区別はないこと。

（８）一般に放射線は少しでも浴びると危険であると恐れられているが、人間は常時少量の放射線を環境から受け続けてきたので、この程度〔年間数ミリシーベルト〕の少量の放射線については全く恐れることはない。

しかし、大量の放射線は、とくに原子爆弾の場合のように大量の放射線を短時間に被ばくした時は確かに危険である。本章では、最近いろいろわかってきた比較的低レベルの放射線による人体への影響について今後の常識と思える基本的事項を説明する。

２．放射線障害の区別

放射線の人体影響に関しては、一般に線量が大きくなると重い症状の障害が発生する。短時間に多量の放射線を受けた場合の障害を指導資料の 31 ページに示す。全身に 4000 ミリシーベルトを被ばくすると半数の人が、8,000 ミリシーベルト受けると１００％の人が死亡する。（ＪＣＯ事故ではこのレベルに達し、３人が死亡した。）なお、放射線を全身でなく

体の一部に受けたとき（局部被ばく）は、放射線障害の度合は小さくなる。

放射線障害の種類の分類　　**身体的影響**と**遺伝的影響**にわけられ、比較的被ばく直後に現れやすい**急性障害**（出血や脱毛など）と、被ばくの数年後に徐々に現れる（潜伏期がある）**晩発障害**（がんや白血病など）に区別される。（指導資料 30 ページ）　出血や脱毛などの急性障害と晩発障害のうちの白内障については、「**しきい値**」があって、ある線量以下であれば被ばくを受けても症状が現れない。（これを「**確定的影響**」という。）一方、がんや白血病については、放射線防護の立場からは「しきい値」がないと考えて、どんなに線量がわずかでもその線量に比例した確率で発病する可能性があると仮定して、（これを「しきい値なしの直線的モデル」というが）、これに従うとされる影響を「**確率的影響**」という。ここでは放射線をできるだけ浴びないようにしようというのが従来の考え方であった。これを「ＡＬＡＲＡの原則」（as low as reasonably achievable）といい、この考え方で従来の放射線防護体系ができているといってよい。

放射線影響と放射線規制

実際に放射線被ばくを受けた場合には、人間の体には少量の被ばくによる初期的な影響を元通りに修復する機能があるために、放射線に対する現在の規制は科学的事実以上に厳しくなっている。（指導資料 30 ページ）

大量の放射線は確かに危険であるが、確率的影響に関しても、同じ量の放射線でも分割して被ばくした時とか、単位時間当たりの線量（これを線量率という）が低いときは影響は小さくなり、100～200 ミリシーベルト程度の少量ならば障害が認められない事実がわかってきた。（指導資料、36 ページ）

そしてこの程度の少量の放射線被ばくに関しては、**逆に身体の健康に良い影響を及ぼす場合があること**が少なくないことがわかってきた。この現象を「**放射線ホルミシス**」というが、これに関する種々の実例を－以下に説明する。（文献：近藤宗平、「放射線は年間 50mSv 以下なら浴びても安全」、FBNews, No.401(2010,5 月)、NPO 法人放射線教育フォーラム 2010 年度活動報告書、p.48, 2011 年 3 月；近藤宗平、「低線量放射線の健康影響」、紀伊国屋書店、2005 年；中村仁信、「低量放射線は怖くない」、遊タイム出版、2011 年 6 月；服部禎男、「[放射線は恐い] のウソ」、ランダムハウスジャパン、2011 年 8 月；　Ｔ．Ｄ．ラッキー、茂木弘道訳、「放射能を怖がるな！」、日新報道、2011 年 8 月；T.D.Luckey 著、松平寛通監訳「放射線ホルミシス―微量放射線の生物刺激効果」、ソフトサイエンス社、1990 年 1 月）

３．放射線ホルミシスの種々の事例

〔１〕「高自然放射線地区のがん死亡率が普通地区のがん死亡率より低い」

中国広東省陽江県に、自然放射線量率が高い地区がある。この地区の自然放射線量率が高い地区が、近くの普通の地区を対照地区に選んで、両地区の住民のがん死亡率の比較調査が 1970 年から 16 年間行われ、その総数はそれぞれ 100 万人・年に達した。線量率は、

高線量地区が 5.5mSv／年、対象地区は 2.1mSv／年であった。その結果、両地区の住民の 40～70 才の人に関して、高自然放射線地区のがん死亡率が対照地区より 14.6%低くて、自然放射線をふつうより年間約 3mSv 多く浴び続けるとがん死亡率の低下という有益効果が起こるという結論になった。

同様の事象が日本でも鳥取県の三朝温泉地区で、三朝の市内で常時ラドンによる放射線を被ばくしている市民のほうが、周辺の対照地区の住民よりも、がんによる死亡率が低いということが岡山大学の研究者により報告されている。

〔2〕「英国の放射線科医師の死亡率が、一般の臨床医師の死亡率より低いこと」

イギリスの放射線科医師の 100 年間（1897～1997）の死亡率の調査結果が発表されていて、それによれば、1955 年以降に登録した放射線科医師(年間平均約 5 mSv を 20 年間被ばくしたと推定)と、X線を使用しない一般臨床医師とがん死亡率を比較すると、被ばくした医師のほうが、がん死亡率が 29%低いとのことである。

〔3〕「航空パイロットと一般人のがん死亡率の比較」

定期航空便のパイロットは、年間 2～5 mSv を地上にいるときより余分に被ばくする。この余剰被ばく線量とガン死亡率の関係が、欧州の 7 か国の 19,184 人の男性定期便パイロットについて 1960～1997 年にわたり調査された。そして、一般人より累積線量 25mSv 以上浴びた航空パイロットは、余分の被ばくのおかげでガン死亡率が 40%低下する有益効果を得た。

〔4〕「米国の原子力船修理造船工と対照造船工のがん死亡率の比較」

米国では、原子力船のオーバーホールその他のために多くの造船工が従事し、原子炉周辺鋼材内の放射性 60Co からのガンマ線を、年間約 3mSv ずつ 10 数年間浴び続けた。対照集団として、原子力船の修理をしない造船工が選ばれた。そして被ばく造船工と対象造船工の間で、全がん死亡率の比較調査がなされた。これは稀に見る大規模で厳密な疫学的調査であったが、その結果、原子力船修理造船工のがん死亡率は対象造船工より 15%低いことが分かった。

〔5〕「台湾のコバルト 60 汚染の鉄筋アパートの住民の疫学調査」

1983 年に建てられた、台北市及びその周辺の 180 もの鉄筋アパートのビルに鉄筋にコバルト 60 が混入され、住民約 1 万人が被ばくした事件がありました。1992 年にこのことがわかり、一時は大騒ぎであったが、台湾の疫学者が住民のガン死亡率と被ばく放射線量との関係を事件後の 20 年間にわたり調査したところ、一般人のがん死亡率が年々増加しているにも関わらず、被ばく住民のがん死亡率は年々減っていることがわかった。住民の被ばく線量は年平均 20 ミリシーベルト、平均累積線量は 400 ミリシーベルトであった。

〔6〕「原爆の被爆者に関して、被爆者の方が生存率が高くなっているとのデータ」

長崎大学の三根氏らの研究で、原爆生存者の方が、被ばく者でない同年輩の人よりがんによる死亡率が高いにも関わらず、死亡率全体で比較すると被爆者の方が長生きしているという結果を報告している（1998 年の「第 1 回放射線教育に関する国際シンポジウム」で

報告)。これは、被爆者に対する国家の健康管理が行き届いている理由も大きいが、少量の放射線被ばくがプラスになっている可能性もある。

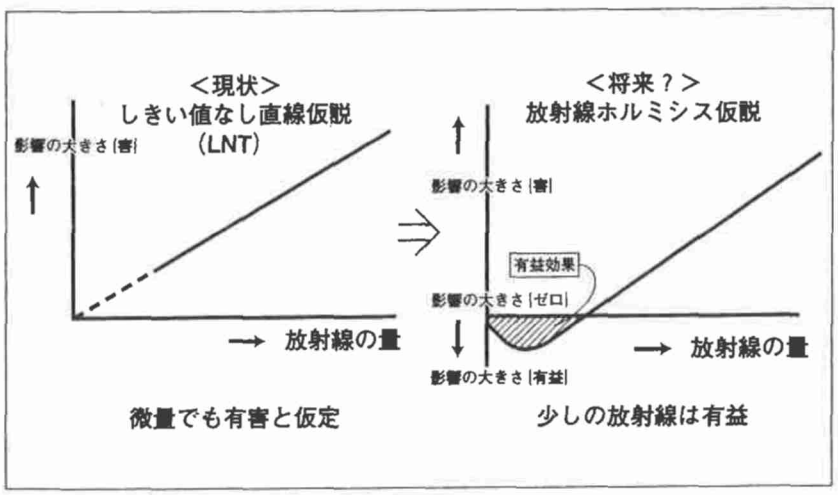
〔6〕対象は人間でなくて、原生動物の一種であるゾウリムシであるが、自然放射線を鉛れんがで遮断した環境ではその増殖が阻害されたが、その環境に放射線源を持ち込むことによって、元通りの機能が復活した。マウスやサルなどの動物に対しても、適度の低レベル放射線の照射が生命力を高めるのに役立っているという多くのデータがある。この様に、環境に存在する程度の（ラッキーらの意見では約 200 ミリシーベルト）放射線は、紫外線同様に、生命に維持に必須なのであろうとの説を唱えている。

〔7〕初期の研究で、も類や種々の植物に対しても、低線量の放射線照射がその成長を促進することが報告されている。

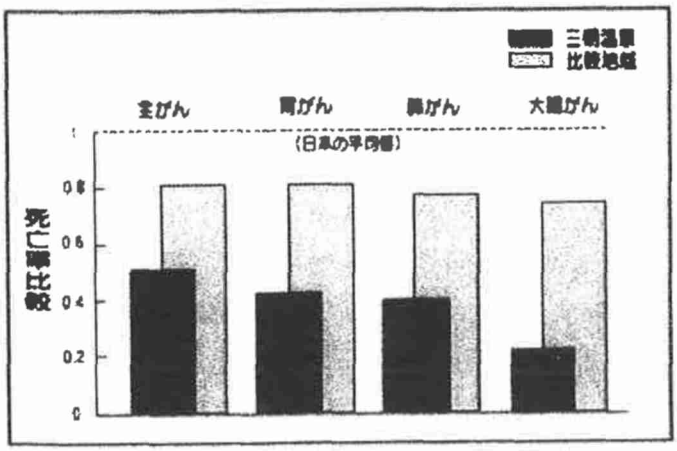
〔8〕適度の低レベル放射線の照射は、有害ではなくて、生体に対して有益な刺激として働くことが少なくないという多くの実例がある。これを適応応答という。

〔9〕ラドン温泉での保養が、健康に役立つことは昔から知られているが、日本では三朝温泉、ヨーロッパではオーストリアのバドガスタインというところで、昔鉱山であった坑道のラドン濃度の高い場所で、変形性関節炎の患者が医師の指導により「ラドン浴」という方法の一種の放射線治療が行われて効果があがっているとのことである。

〔１０〕放射線をがん患者に照射して、がん治療の実績を上げている例が、東北のある病院で行われた。



放射線リスク仮説の概念



ラドン濃泉周辺住民の癌リスク
(御船ら. 1992より)

(3) 放射線利用学習と社会的合意形成

田中隆一

1．はじめに

放射線の利用については、利用事業の大部分が自由な市場競争下にあり、現状では利用に関わる社会的な合意性が問題となる状況ではない。この点では、原子力エネルギー利用の場合とは異なる状況にある。ただし、多様な目的をもつ放射線利用のうち、食品照射、すなわち、放射線照射による食品加工については、じゃがいもの芽止め照射のみは例外的に許可されて、すでに４０年近く事業の実績があるが、食品照射についての安全性に関して国民の間で賛否が分かれており、原子力エネルギー利用の場合と同様に、社会的な合意形成を要する課題の一つとなっている。

原子力エネルギー利用については、核分裂に伴って生成される放射性物質が放出する放射線に対する人々のリスク認知が社会的な合意形成に関わる重要な要因と見なされている。このリスク認知の背景として、広く社会一般に抱かれている放射線・放射能に対する不安感、恐怖感などが指摘されてきたが、今回の福島原発事故においては、それらが様々な風評被害を伴って顕著に現れている。このように放射線に関わるリスク認知が社会的な合意形成に大きな影響を与えると認識されるようになったのは初めてのことである。

人々のリスク認知の形成は、人体への放射線影響に関する様々な情報だけでなく、放射線に関わる科学や技術についての認知度にも依存する。とくに、放射線利用についての理解によって放射線と人間生活とのかかわりを知ることは、科学技術を通して放射線の便益性の認知へ導くという側面があり、放射線に関わるリスク認知の側面とも合せて、原子力エネルギー利用についての社会的な合意形成のために、放射線利用についての理解が重要な役割をもつことを示している。

しかし、放射線についての科学技術的な理解のためのる学校教育は義務教育のなかで、実質的には半世紀にわたってほとんど実施されてこなかったという背景がある。中学校における放射線教育は学習指導要領の完全実施に先立つ移行措置として、本年度から「放射線の性質と利用」というキーワードのもとで実施されている。このうち、放射線の利用については、科学技術と人間生活のかかかわりを学ぶことであり、放射線利用のメリット・デメリット、安全性などを含めて、放射線に関わる科学技術的な認識を促すと考えられる。こうした放射線利用の教育が原子力エネルギー利用についての合意形成のための知識基盤としても重要な役割を担うと考えられる。放射線の利用は、日常生活の視点から科学を身近なものとして、興味・関心を引き付ける内容が豊富にあり、単に放射線への忌避感だけでなく、理科離れや科学嫌いへの対策としても効果的であると考えられる。

以上から、放射線利用そのものが社会的な合意形成を要する食品照射のような利用事例を含めて、放射線利用の教育は原子力に関わる社会的な合意形成に欠かせない知識基盤としての役割をもつと考えられる。

放射線教育フォーラムでは、学習指導要領改訂に伴う放射線教育の現状を把握するために、2008 年度から 3 年間にわたって、全国の中学校及び高等学校理科教員を対象に放射線教育に関するアンケート調査を実施した。このうち、中学校については放射線に

ついての授業経験がある理科教員が少ないためか、放射線利用の学習に関する具体的な意見はあまり得られなかった。一方、高校については、改訂された学習指導要領に基づいた放射線について授業計画に焦点を合わせた第2回のアンケート調査（2010年10月実施、全国の高校2520校を対象、回答率16.0%）の結果、放射線利用と関連する科学技術の学習に関しても少なからずの意見が得られている[1]。そういうわけで、机上での教育議論に加え、すでに放射線についての授業を実施している高校理科の現場からの意見も踏まえて、放射線利用に関わる学校教育について検討する必要がある。

ここでは、主に、原子力についての社会的な合意形成のための科学技術的な知識基盤という視点から、学校における放射線利用の教育を捉え、放射線利用に関わる認知度、学習指導要領及び原子力学習における位置づけ、放射線の性質の知識に基づいた放射線利用の学習、利用事例及び放射線利用のメリット・デメリットの学習並びに放射線利用における安全確保などの学習の意義について述べるとともに、高校理科教員を対象としたアンケート調査の結果を踏まえた考察を加えたい。食品照射については、放射線利用それ自体が社会的な受容が問題とされているという特異な位置づけにあるので、別項目を設けて論じることとする。

2．学習指導要領と放射線利用学習

中学校理科では、2008年の学習指導要領改訂によって、第1分野の7番目の単元「科学技術と人間」のなかの「エネルギー」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」という記述が加わり、３０年ぶりで義務教育に放射線学習が復活した[2]。「触れる」という表現は弱い指導であるが、今回の原発事故を受けて、文部科学省は強い指導に方針に改めている。

放射線の学校教育における現状を適切に認識し今後の展開を考えるには、中学校理科の学習指導要領で放射線がどのように取扱われてきたのかを、30年間の空白を含めて歴史的にたどる必要がある。

学習指導要領における放射線の取扱いの変遷の大きな流れを図1に示す。放射線が最初に扱われたのは学習指導要領（試案）の1951年改訂である[3,4]。「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線の性質と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線検査を経験として話し合うことなどを通して、放射線の透過性や作用などの性質を学習することが敗戦後間もない時期から指導された。放射線の利用は科学技術の発展の顕著な具体例として取り上げられ、それを科学的に理解するための基本概念がこの時期にすでに揃っていた。

この改訂では、当時わが国が原子力平和利用に着手したことを背景に、原子の構造や原子核の分裂を学ぶ課程で、放射性同位体が放出するものとして放射線が付随的に扱われるようになった。原子力教育の登場によって放射性同位体の学習は指導されたが、科学技術発展の手段としての放射線に関する学習は指導内容から外され、放射線の扱いは原爆に関する小学校での歴史教育とも結びついて、中学校では原子力学習の中の暗いエピソードに転落したとも言える。

一方、科学技術の手段としての放射線について中学校で学習指導されなかった半世紀

間(1958～2008)、皮肉なことに、放射線の利用、すなわち、放射線と人間生活の関わりは原子力登場時とは比較にならないほど深まっていった。

1958 年改訂の指導内容は続く 1969 年改訂において踏襲されたが、授業時数の削減など、ゆとり教育の導入となった 1977 年の大幅改訂において、「放射線」は、取扱いが高度になりがちな内容として、「原子の構造」や「イオン」とともに削除された。

こうして 30 年間の空白期に移行したが、近年のゆとり教育見直しの流れに乗って、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。その復活のキーワードが「放射線の性質と利用」であり、放射線の利用に関わる学習が半世紀ぶりに義務教育において復活した。

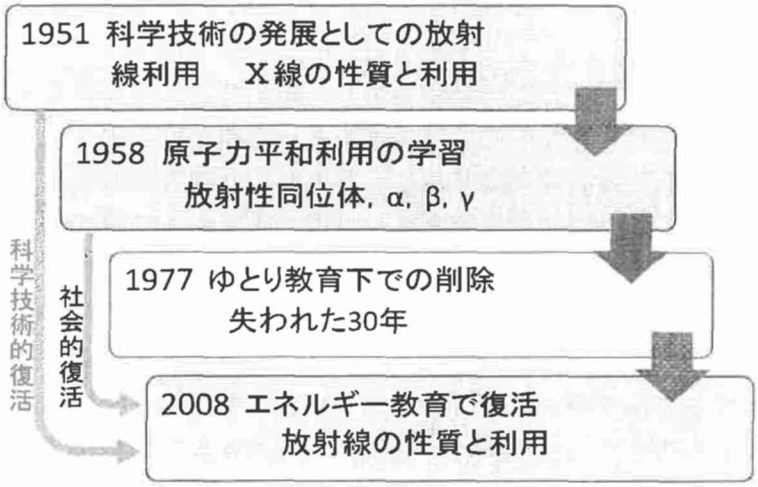


図 1　中学校理科の学習指導要領における放射線の扱いの変遷

今回の放射線復活には二つの意味合いがあると思う。一つは原子力教育あるいはエネルギー・環境教育の一環としての、言わば社会的な復活、もう一つは 1951 年改訂における科学技術と人間生活のかかわりを重視する、言わば科学技術教育的な復活である。今回の改訂で放射線が「エネルギー資源」の項目で扱われることになったのは、「原子力」学習のなかに「放射線」が再び位置づけられたことには違いないが、「原子力」と「放射線」のつなぎ役であっ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。

過剰な不安や怖れによって色づけられる人々の放射線認知を科学知識に基づかせることが原子力エネルギーについての正確な理解に必要であるという見方からすれば、放射線教育はエネルギー教育の構成要素である。一方、放射線の利用がX線発見以来の科学技術の発展を牽引した歴史をもつことにおいて、放射線教育はエネルギー教育とは独立した科学技術教育としての性格をもつ。このような両面からの認識が必要と考える。

原子力エネルギーとは直接的に関係のない科学技術教育ではあっても、それを通して放射線についての理解を深めることによって、原子力に関わる社会的合意形成に欠かせない役割を担っている

３．原子力学習における放射線利用の位置付け

「放射線の性質と利用」は中学校の新指導要領ではエネルギー資源の項目のなかで学習することになっているが、一般的に放射線は原子力発電にかかわるリスク要因として扱われるので、バランスのとれた放射線に関する認識をもたせるために、リスク面だけでなく便益面として放射線利用の学習が強調された。その結果、放射線にかかわる学習内容が社会科に傾き、理科的要素が希薄化しているという実態がある。原子力・放射線の専門家でさえも放射線の基礎知識に疎くなりがちなのは、人々の偏ったリスク認知への対応を重視するあまり、放射線への教育的な関心が社会的な視点に偏り過ぎているからであると考える。「性質と利用」というキーワードによる学習指導は理科学習における取り扱いの基本であり、光、力、電気、水溶液などの学習指導に広く適用されている。放射線の性質の学習を抜きにして放射線が役立っている事実を学ぶだけならば、社会科の学習になってしまう。

エネルギー資源の学習を含む「科学技術と人間」という単元が中学校３年の後半におかれている。放射線利用の学習内容はエネルギー資源とは一応独立しているので、エネルギー資源学習の前に放射線利用を取り上げるという選択があり得る。Ｘ線発見に始まる２０世紀における放射線を用いた技術や科学の発展が人間生活や科学の認識に大きなインパクトを与えたという事実は、エネルギー資源学習に先立って学ばせるのにふさわしいと考える。

そういうわけで、原子力との関連で、エネルギー・環境教育の一環として放射線を取り扱うことになるのが標準的のようではあるが、大きな括りである「科学技術と人間生活のかかわり」の視点だけからでも、放射線利用の学習を取り扱える。

今回の高等学校理科の学習指導要領改訂によって、「理科総合Ａ」に代わって高校理科に登場する新科目のうち、「物理基礎」ではエネルギーと関連する物理的な事物・現象を理解することを目標に、放射線の利用が原子力エネルギーの利用と並べで取り扱われ、「化学基礎」では物質構造の学習のなかで放射性同位体の利用が扱われている。履修率が高く設定されたこれらの基礎科目によって「放射線の性質と利用」の学習を中学校から接続し、さらに発展させる指導が期待される。

４．放射線利用の学習について

4.1 基盤としての「放射線の性質」学習

放射線の利用については内容が明白であり、身近な利用例に触れるだけでも、生徒の興味・関心を引く授業が可能であるが、放射線のどの性質をどのように利用しているかを学ぶのが理科教育であり、科学的な基礎知識を利用の学習に結び付けていくことによって放射線についての理解が深まる。

原子力・放射線事業に携わる者が放射線の利用を説明するとき、放射線の性質については放射線の種類による透過能力の違いを説明する程度で済ませてしまう。しかし、放射線について全く知らない生徒には、我々が当たり前と思って素通りすることについても基礎的に理解させたうえで、なぜ、放射線が役に立つのかを学ばせる必要がある。

「理科総合Ａ」の複数の教科書には、放射線の性質に関する知識をもとに放射線の利用の学習へとつなぐ記述として、「Ｘ線診断は放射線の透過という性質を利用し、放射線

治療は放射線の作用という性質を利用している」という風に書かれている。透過と作用という放射線の基本性質が診断や治療に役立っていることを学ばせる典型的な例であり、記述それ自体は間違いではないが、放射線利用の基本原理を適切に説明していない。

診断は確かに透過の利用であるが、診断を可能にしているX線写真はX線フィルム等への作用の結果であり、X線写真のコントラストも身体中での作用の結果であることに触れていない。また、治療は確かに病変部への作用を利用しているが、身体内部の病変部まで放射線が透過するので治療が可能となることが見過されている。つまり、どちらの利用でも透過と作用の両性質を利用していると教えるべきである。診断や治療に限らず、このことはどんな放射線利用について当てはまる。透過、作用のどちらか一方に着目するだけでは、放射線利用という科学技術の基本を理解することにならない。荷電放射線が原子内の軌道電子を弾き飛ばす電離のような複雑な物理事象まで理解させなくとも、透過と作用という2つのキーワードだけでX線診断の原理を説明できる。

人体への放射線影響の視点からの放射線量の理解は福島原発事故によって特に重視されるようになったが、放射線利用の視点からも欠かせない。放射線量の教育については、福島原発事故によって特に重視されているが、基本的な問題は、放射線量が字義どおり放射線の量であると誤って教えられ、それが放射線の作用の大きさの尺度であることが教えられていないことである。つまり、放射線の性質についての基礎学習が線量単位についての理解に繋がっていないことである。こうした社会科的な暗記教育から正しい理科教育に戻すことから始めていく必要がある。

4.2 放射線利用事例の学習について[5)]

放射線の利用にはX線発見以来の科学技術の発展を示す豊富な事例があるが、利用にかかわる科学技術の内容が多様に分散し、原子力エネルギー利用のような集中性を欠くため、理科的な学習として掘り下げるのが難しく、とかく社会科的な捉える傾向に偏りやすい。その意味では、科学技術と人間生活の多様なかかわりという視点からの発展学習にふさわしいテーマと言える。クルマ、パソコン・ケイタイ、X線検査などに特徴的な日常生活の視点、がん治療、品種改良などにおけるライフサイエンスの視点、食品照射、病気の感染防止、非破壊検査、空港手荷物検査などの生活インフラにおける安全・安心の視点、放射線の高度な制御性を活かしたナノテクノロジーの視点、放射性炭素を用いた年代測定などの学術への応用という視点など、利用事例学習には多面的な視点からの扱いが必要である。

X線検査は放射線利用についての導入学習だけでなく、放射線の性質も同時に学べる教材として最適である。医療被ばく問題や科学史の視点からの発展学習も可能である。クルマ、パソコン・ケイタイへの利用事例は放射線利用が生活に深く浸透していることを学ぶチャンスではあるが、利用に関わる様々な工業技術は自然科学に重点をおく理科の学習範囲から外され易いという問題や工業製品の要素技術のブラックボックス化という問題もある。放射線の工業利用分野の認知度は放射線利用のなかで最も認知度が低いので、工業利用事業のコミュニティが学校教育の支援に積極的にかかわっていく姿勢が望まれる。工業利用に比べれば、放射線診断・治療の先端技術や品種改良のように身近な農業利用の方が理科の授業で扱い易く、発展学習への授業展開もし易い分野であろう。

放射線利用の学習では、自然放射線を用いる実習と違って観察や実験を取り入れにくいという問題がある。しかし、様々な参考資料、情報通信ネットワーク、デジタル教材などを活用する探究的な学習が格好のテーマとなり得る。探究活動を含む発展学習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。

4.3 放射線利用に共通するメリット・デメリット

メリット・デメリットへの関心は原子力発電などのエネルギー源によく向けられるが、放射線利用についても同様の関心が理科の先生方から示される。放射線が役に立っていることが放射線のメリットだと答えると、それでは答えになっていないと言われる。

メリット・デメリットは、エネルギー源の選択のような社会的な合意形成という目標があって議論が盛り上がるが、食品照射を除けば放射線利用は自由な市場競争下にあり、利用事例毎に市場でのメリット・デメリットは異なるので、議論が業界的で狭くなる。だからといって、共通するメリット・デメリットを中高生にわかり易く説明できないと弁解しても、情報公開を避けている、何か隠そうとしているのではないかと疑われる。

そこで、難しいと言われるのを覚悟のうえで、放射線利用に共通する一般的なメリット及びデメリット一覧を試作してみた（図1及び2）。例えば、がんの放射線治療がなぜ技術的に高い信頼を得ているかが表1からわかる。これらのメリットは放射線の基本性質から導かれるので、理科の学習範囲に収まる。一方、デメリットはすべて社会的な要因であり、理科の学習範囲を超えているが、総合的な学習としては面白いかもしれない。

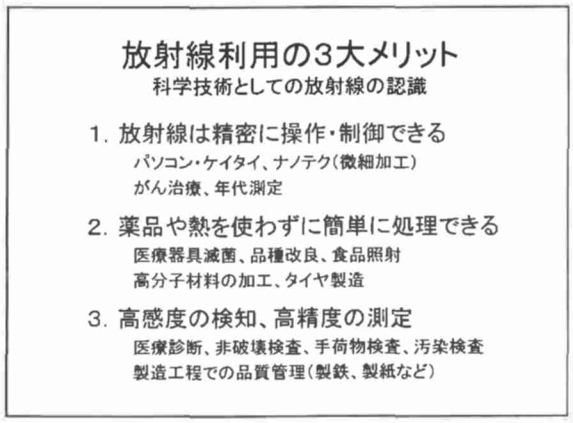


図1　放射線利用の3大メリット

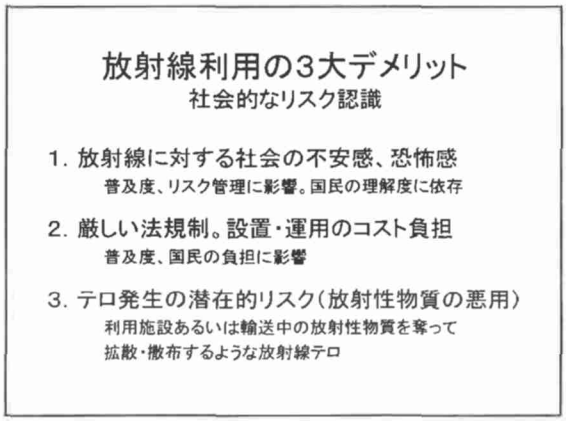


図2　放射線利用の3大デメリット

放射線利用の事例は分散的で、原子力エネルギー利用のような求心性に欠くため、理科的な掘り下げが難しく、社会科的な扱いにならざるを得ないという側面がある。放射線利用のメリット・デメリットも利用事例毎に扱えばその業界についての社会科学習になってしまう。一方、どの放射線利用にも共通する最大のメリットは、空間を隔てた物体の深くまで放射線が直ちに作用することであり、放射線の基本性質から直ちに導かれる。それが広く普及し得た最大の鍵は、放射性同位体を発生源としない荷電放射線が電界や磁界の作用を受ける、つまり、電界や磁界によって精密に加速・制御できるというもう一つの基本性質を放射線がもっているからである。放射線の作用は極めて高い精度で検知・測定できるというメリットまで含めて、放射線利用に共通するメリットはすべ

て理科学習の範囲に収まる。それゆえメリットは理科的知識なしには容易に理解されにくい。一方、放射線利用に共通するデメリットは社会の不安感情、設備コスト負担、厳しい法規制、テロ発生の潜在リスクなど、すべて社会科学習との境界領域にあるので理解され易い。

4.4 放射線利用学習における加速器の位置づけについて[5)]

放射線利用では原子炉、加速器、X線発生装置などの人工放射線源が使用されている。しかし、これまでの原子力の学習では放射性同位体(放射性物質)だけが放射線源として扱われてきたので、原子力エネルギーに匹敵する経済規模をもつ放射線利用の大部分が加速器やX線発生装置の使用の結果であるという事実は学校教育には全く反映されていない。放射線が放射性同位体とは切り離して中学校理科で復活する機会に、こうした人工放射線源についても科学技術の発展と結び付けて学ばせる必要がある。

加速器という名称は人工原子核反応を初めて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く、むしろ、レントゲンによるX線の発見を導いた高電圧発生装置付きのクルックス管（陰極線管）を加速器の原型と見なすべきである。物質の究極を解明する研究に使用する巨大な装置を加速器のイメージとして思い浮かべる生徒も多いが、加速器は多種多様、大小様々である。半導体の微細加工への利用も含めて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小型の加速器である。加速器による放射線利用は、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、加速器に関する理科教育は21世紀の先端科学技術を担う人材育成のためにも欠かせない。学習指導要領の改訂でクルックス管が中学校2年で扱われるようになったことは、放射線利用を学校教育に定着させる絶好の機会である。

5．放射線利用の安全確保についての学習について

放射線利用の安全性についての学習指導は、高校の新科目「物理基礎」の学習指導要領解説の内容の取扱いのなかで、原子力エネルギー利用と並べで明記されている。

放射線利用には図3に示すように3つの特徴的なリスク(危険の可能性)がある。それらがいかに厳しく管理され、安全が確保されていることを学ぶことが望まれる。

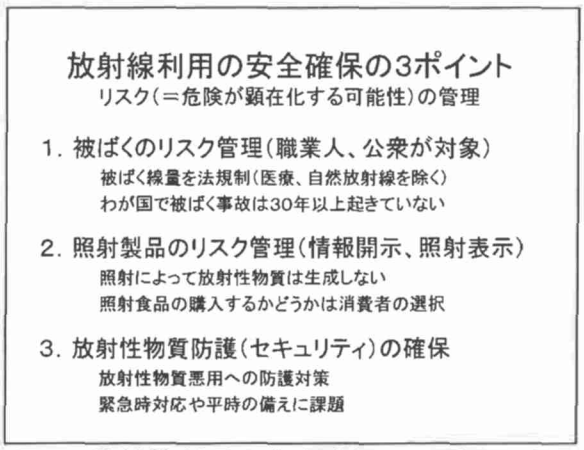


図3　放射線利用の安全確保の3ポイント

第１のリスクは利用事業に伴う職業的な従事者と一般公衆の放射線被ばくである。自然放射線や医療による被ばくを除く被ばく線量の管理目標を法令で定めている。学習のポイントは、①法令は注意を喚起するための指導が主目的であって、法令で定める上限値を超えると直ちに健康に影響が表れるわけではないこと、②放射線利用施設の作業従事者に対しては、原子力発電所と同じように年間の被曝線量が一定値以下になるように管理されている。また、施設周辺住民の安全のために利用施設の敷地境界での放射線、放射能の漏れが一定値以下になるように管理されており、実態としては住民の被ばく線量に施設からの放射線漏れの影響は現れていないこと、③わが国では放射線利用の開発や実用化の初期段階を除いて、利用施設での被ばく事故はこの３０数年間起きていないこと、などである。

第２のリスクは放射線で加工された製品及び放射性物質が使用される製品の安全性である。学習ポイントの食品照射については、これまで世界中で繰り返し実施された膨大な数の安全性試験からは悪影響を示唆する証拠は見出されていない、照射によって食品中に放射性物質が生じて安全性が損なわれることはない、などの基本知識を学ばせる必要がある。しかし、照射食品に対するリスク認知は消費者個人の価値観にも依存するので、その販売のおいては照射表示を義務付けて、購入については、消費者に選択の自由を保障するべきである。

第３のリスクは医療や製造業で使用され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潜在的なリスクである。これまでは未然防止のための防護対策に重点が置かれており、緊急時対策についての周知や教育訓練などに課題が残されている。

被ばく線量を低減するための放射線防護の基本３原則は、多くの場合、実験・実習のなかで効果的に体得できるが、火傷や感電の防護のような場合とは違って、日常生活のなかで３原則を活用する機会はまれである。したがって、防護の基本的な考え方が利用施設での放射線防護や安全管理にどのように活かされているかを知ることが重要である。医療、産業及び学術分野での放射線利用施設は、原子力発電所に比べれば見学が容易なので、放射線に対する安全確保について見学時に実際に学べる貴重な機会である。

６．高校理科教員を対象とするアンケート調査結果とその考察[1)]

それでは、放射線利用に関して学校現場の理科教員はどのように考えているのだろうか。ここでは、2010 年度に実施した２回目の高校理科教員を対象とするアンケート調査のうち、放射線利用に関わる調査結果およびその考察を述べる。

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

放射線や原子力の学習は科学技術と人間生活のかかわりを知ることに目標を置いており、原理や体系を学ぶことに主眼を置く自然科学中心の現在の理科教育よりも、むしろ技術教育としての性格をもつ。しかし、中高の技術教育は体験や観察・実験を通して習得することに重点を置いており、放射線利用のような実験しにくい内容、高度な技術内容、領域横断的内容などは理科、技術の教科(工業科を除く)のどちらでも扱いにくいという問題がある[6]。この問題を念頭においたうえで、理科教育での放射線の扱いについて意見を述べていただいた。その結果、20数名の回答者から貴重なご意見をいただいたが、それらは大きく3つの異なる意見グループに分けることができた。

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

原理や体系にこだわらない第2のグループの意見例は、①原理や体系を学ぶこともさることながら、社会人としての教養も必要であり、身近な生活の中で放射線との関わりは多いので、全ての生徒に教えておきたい、②広く社会で利用されているものを知らないではすまされないので、原理や体系のみに限らず学ぶべきである、③原理、体系重視のもとでは扱いにくいが、生活には密接な関係があるので必ず話題にする。実際の利用例に生徒も関心をもっているが、現状ではあっさりした扱いにならざるをえない、④今まで特に扱いにくいと感じたことはなく、原子核物理と絡めて放射線や原子力についての授業を進めているが、扱いにくいといわれるのは、教員の知識が不足したり、偏っていたりするからではないか、⑤扱いにくいと考えたことはない。社会科の分野と協力することで、より深く、身近に生徒たちに分かってもらえるが、中途半端に扱うと誤解を招きやすい内容であると思う、などである。

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

3つの意見グループの間には基本的な考え方の違いがあり、大雑把に分ければ、従来の体系的な理科教育を重視する第1グループ、社会や人間生活との関わりを重視する第2グループ、及び基礎科学との関わりを重視する第3のグループということになろう。

このような意見の多様性を通して、放射線が、原子力エネルギーだけでなく、放射線利用で代表される他の広い分野と関わりをもつことの認識が多くの理科教員のなかにあることがわかった。このことは、放射線の扱いを原子力エネルギーの内容に含めて扱うと答えた割合がそれほど多くなかったというアンケートの結果とも一致する。

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

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

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

7．社会的な合意形成の視点から見た放射線利用の教育についての考察

原子力エネルギー利用をはじめとする原子力技術の社会的合意形成という視点から、放射線利用に関わる教育の意義について、いろいろな側面から検討した結果を述べてきた。これまでは、原子力発電にかかわるリスク要因として放射線が扱われるので、バランスのとれた放射線に関する認識をもたせるために、リスク面だけでなく便益面として放射線利用の教育的な役割が強調されてきた。しかし、放射線が医療や製造業で役立っていることを社会科的な学習として表面的に知っても、放射線そのものについての科学的な理解がなければ、放射線は、得体の知れない存在、摩訶不思議な存在として、人びとの意識の中に依然として残るのではないかと考える。放射線が役に立つことを知ったからといって、社会的合意形成へ向けての弊害と考えられている風評被害などの根を断ち切ることにはならない。そうならないためには、学習指導要領における「放射線と人間生活とのかかわり」とは一応切り離しても、放射線に関わる理科的な基礎知識を、力、電気、光などの理科知識と同じように子供達に学習させるべきであると考える。そのためには、放射線についての学習内容の再構築が理科教育として必要である。

教科書も含めて世の中に広まっている放射線の基礎知識に押し並べて見られる欠陥は、これまで述べてきたように、放射線の性質、線量、利用、影響、安全性などが、型にはまった慣習にしたがって個々に扱われているだけでなく、相互のつながりや論理的な組み立てを欠いていることである。それぞれが独立した断片情報として社会科の教材のよ

うにばらばらに存在している。これは放射線が理科の他分野と異なり、原子力のおかれてきた社会状況に応じて教育指導されてきたためであるが、福島原発事故によってさらにそれが顕著になっている。原子力広報、研究機関、学会等のホームページに掲載されている個々の情報の再構成だけでは、学校での理科学習にふさわしいカリキュラムを編成することにはならないと考える。専門用語の使用を最小限に抑えて、放射線の性質、線量、利用、影響、安全性などについて、過去の慣習に囚われずに論理的に組み立てられた基礎学習に相応しい内容を学校教員と協力して構築していくべきであると考える。

アンケート調査の結果では、意見を寄せた少なからぬ高校理科教員が、原子力エネルギー利用とは区別して、放射線利用あるいは放射線に関わる科学技術を位置づけており、放射線の便益性以上に放射線に関わる科学的な理解の必要性を重視しているように見える。放射線の適切な理科教育で得られる科学知識もリスク認知を客観的な認識に基づかせるために欠かせない位置づけにあり、社会的な合意形成の基盤となると考える。

放射線利用のメリット・デメリットを知ることは、原子力エネルギー利用のメリット・デメリットを知ることと並列的にこれまで扱われてきたが、むしろ、メリット・デメリットの正しく認識を通して、社会の中で放射線が科学技術としてどんな役割を担っているか、あるいは社会に関わるどのような問題を抱えているかを的確に理解できることに意義があると考える。そのためには、個別的な利用事例にあまり囚われることなく、放射線利用を全体的に捉えることが大切と考える。

放射線利用の安全性ついての学習は、福島原発事故によってその重要性が増したと考える。放射線をどのように防護し安全に管理しているかは、利用施設の見学によってこそ効果的に学べる。放射性物質からの放射線の放出は止めることができないが、人工的な放射線発生装置からの放射線は電源を切れば放出が止まることも理解できる。風評被害を放射線利用にまで及ばせないためにも、施設見学を積極的に受け入れるべきである。

問題は、学校側が見学の学習目的を施設側に具体的に明示し、施設側がそれをよく理解したうえで適切に対応するという基本が守られているかどうかである。生徒が楽しく見学できればよいという安易な対応や施設側の型にはまった業務的な対応では貴重な学習機会を活かされない。

8．あとがき

放射線被ばくに関わる情報がお茶の間に氾濫し、子供達は学校での学習以前にその洗礼を浴びている。子供たちが抱く疑問に対して先生方は的確に対応することが要求されているが、放射線教育の長期間の空白も加わって、先生方は難しい立場に置かれている。当面は先生方の放射線に関わる知識量を増やすことに目標が置かれることになるが、原発事故の社会的な影響に囚われ過ぎることなく、放射線の性質をはじめとする基礎的な科学知識を正しく理解させる学校教育の基本に立ち返っていくべきであると考える。

そのためには、これまでの原子力教育のなかで社会科的に偏ってきた放射線学習を改め、理科的な基盤を強化する必要がある。放射線は「得体の知れないもの」ではない、「摩訶不思議なもの」でもないことが国民の常識となるように、小中高を通して一貫した理科教育がいま必要とされている。これこそ原子力に関する社会的な合意形成に欠かせない基盤であると考える。

原子力エネルギーのリスク認知については、放射線の影響・防護についての理解が直接的には最も重要ではあるが、人びとのリスク認知の形成には、それ以外の放射線をめぐる様々な知識が間接的に関わっており、そのなかで放射線の利用や科学・技術的な理解の寄与は決して小さいものではないと考える。客観的な科学や技術の知識に基づいた生徒の思考力、判断力、表現力を育成し、科学技術と社会とのかかわりとしてのリスク認知に向けた教育が望まれる。

福島原発事故を受けて、安全・安心だけでなく、リスクと向き合って、その回避から、受容、克服、制御まで含めたリスク教育を学校に取り入れるべきであると考える。

引用文献

(1) 田中隆一、黒杭清治、辻萬亀雄、松浦辰男　Vol.14,No.1, p7-16 (2010)
(2) 文部科学省：高等学校学習指導要領(2009)
(3) 田中隆一：エネルギー環境教育研究 Vol. 3, No. 2, 73-79 (2009)
(4) 田中隆一：学習指導要領の改訂と放射線の扱い、F B News No. 412, 2011, p2 ((株)千代田テクノル)
(5) 田中　隆一：放射線と産業　Vol.123, p.40-45 (2009)
(6) 小倉康：科学技術と社会安全の関係を考える市民講座 2009 p154-161

放射線学習の実践と課題

佐野日本大学中学校高等学校教諭　大島　浩
〒３２７－０８４３　栃木県佐野市石塚町 2,555
TEL0283-25-0111　Fax0283-25-0441　E－mail：t00006@tcr.sanonihon－u－h.ed.jp

１．はじめに

平成 20 年 3 月告示の学習指導要領、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」において、「放射線の性質と利用にも触れること」となった。

平成 20 年 7 月の学習指導要領解説では、アの（イ）エネルギー資源の取り扱いについて、

> ここでは、人間が水力、火力、原子力など多用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に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。

と示されている。

私の勤務校は中学高校の併設校であることから、高校 1 年生を対象に理科総合 A「エネルギー資源の利用」において放射線学習を実施してきた。

今次の中学校理科の改訂において、放射線の取り扱いの復活は 1977 年以来 30 年ぶりということであり、学習内容の難しさだけでなく教員自身の経験不足が懸念されている。さらに、日常生活において医療や電力資源、工業製品において身近になっている放射線の利用も、改めて問われると「危険、怖いもの」という忌避感情[1]となって返ってくる。今次の改訂が指示するように、放射線の学校教育での取り組みは、「放射線を知る」ことを最優先と捉えることができる。

２．放射線を取り扱う視点

放射線を授業で取り上げる際、「性質と利用」という 2 つの側面が掲げられている。科学技術とその社会的受容を含む課題に対しては、科学的知識の習得に加えて価値判断をも含む、受容（利用）や判断を促す教育の視点が必要である。放射線の学習は社会生活において、課題に対する社会的合意形成をなすための判断力を訓練できる場ともなる。科学リテラシーを育てるとよく言われるが、科学リテラシーとは「自然界および人間の活動によって起こる自然界の変化について理解し、意思決定するために、科学的知識を使用し、課題を明確にし、証拠に基づく結論を導き出す能力であり、かつ実行する能力」であると定義されている。

３．放射線学習の取り上げ方

（１）授業プランの作成と評価の視点

【興味・関心】　放射線・原子力発電などの視聴覚教材の利用

(1) 原子力・放射線のさまざまな利用を知る。・・分からなかったことの、分かる面白さ

(2) 資源・エネルギーの問題に関心を持つ。

【知識】

(1) 放射線と放射能について知る

(2) 身のまわりの放射線の利用、新技術・新素材（先人の知恵　道具を作る力)。

(3) エネルギーをつくる　原子力発電のしくみ・安全を守るしくみ。

(4) エネルギー資源の利用とその問題。

(5) 世界の中の日本　エネルギー問題と地球環境。

【技能】　情報の処理と活用

(1) 自然放射線を調べてみる（簡易霧箱を作成して、放射線の飛跡を調べよう）

(2) インターネットでエネルギー資源について調べてみよう。

(3) グラフ・図表を正しく読み取る。資料の調べ方を身に付ける。

(4) 疑問なことを調べてみる。多面的、客観的な見方を身に付ける。

【表現力・客観的判断】

(1) 科学的合理性に基づいて自分の考えを発表できる。

(2) プレゼンテーションソフトなどを利用して、発表に工夫ができる。

(3) 反対意見にも耳を傾け、多面的、客観的な見方ができる。

（２）学習指導案（２時間配当）

実施期日　平成 21 年 1 月 22 日（木）午後 1 時 30 分～3 時 10 分（第 1 物理室・ＣＡＩ教室）

時間	展　　開	留意点と評価
10分	（1 時限目） 放射線を調べてみよう １．身近にある放射線を挙げてみよう	放射線の利用については知られていないので、簡単な資

25 分 15 分 25 分 25 分	2．放射線を見つけてみよう 半導体検出器の操作のしかた 線源の位置を調べ、結果を発表しよう 校舎内外の放射線を計ってみよう （2時限目） 3．放射線について、インターネットを使って調べてみよう 放射線の性質について調べる 放射線の利用について調べる 4．放射線の性質について発表してみよう 放射線の性質について調べたことを発表する 生活での利用について発表する 放射線の安全性について調べたことを発表する まとめ	料を用意する。 授業では放射線利用振興協会のはかる君を利用した。 放射線の利用については、事前に課題として調べている。 放射線の性質については、透過性、核種のちがいによる半減期について理科総合の教科書で学習している。
評価	放射線の性質、日常生活での利用について発表することができる。	

(授業アンケートの結果)

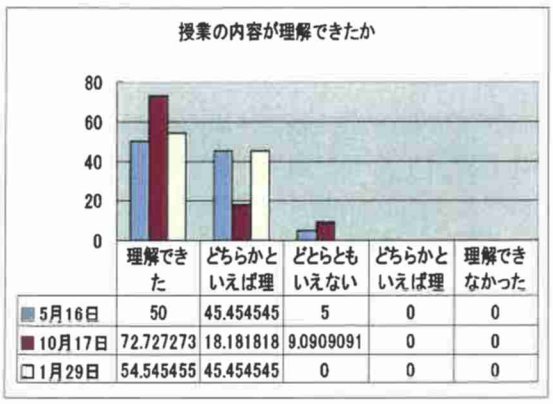
(1) 放射線が鉛のブロックでさえぎられることが分かった。

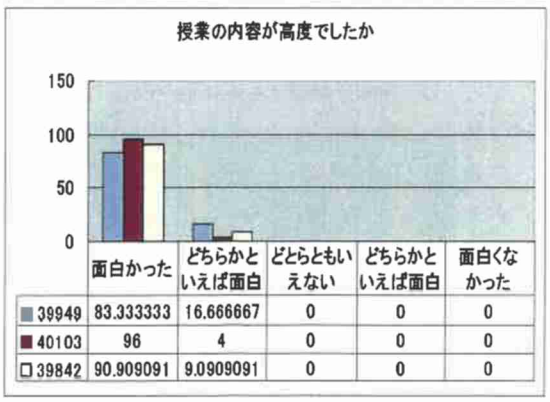
(2) 室内でも自然放射線が測定できることが分かった。

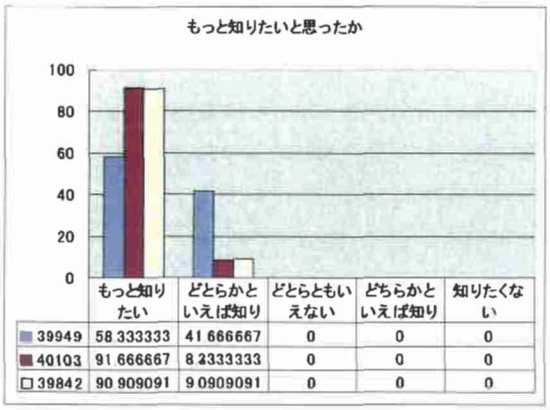
(3) 放射線が医療の現場以外にも広く使われていることが分かった。

(4) 放射線が安全に管理され、利用されていることが分かった。

(5) 地震などで原子力発電所が災害に遭うと、放射線漏れが心配だ・・など。







	もっと知りたい	どとらかといえば知り	どとらともいえない	どちらかといえば知り	知りたくない
39949	58.333333	41.666667	0	0	0
40103	91.666667	8.2333333	0	0	0
39842	90.909091	9.0909091	0	0	0

5月16日　計測実習
10月17日　情報検索授業
1月29日　放射線計測

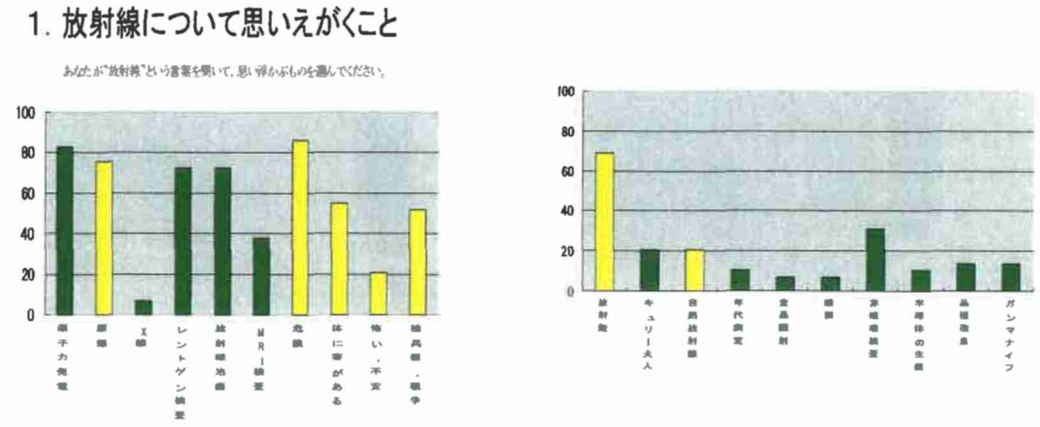
(授業の評価)

1時限目は放射線の性質と測定、2時限目は放射線の利用と課題を扱った。授業はティームティーチング（専門家との連携授業)、あるいは単独でも対応できる。

1時限目は放射線および自然放射線が身近にあることや測定可能であることを体験させる（放射線の性質）とし、2時限目は放射線が日常生活で有用なものとして、広範囲に利用されている事実を理解させること（放射線の利用）を目的とした。放射線検出器による計測、簡易霧箱による飛跡の観察など、自ら調べて発表できたことの学習効果は大きい。事後の学習アンケートにも記述されていた。ワークシートによって学習事項の定着を見る簡単なテスト組み入れている。学習結果に修了を付与するようなことを検討すれば、さらに学習者の意識づけが図られる。

4．【課題】放射線利用の安全性を理解させ、安心感を導く学習指導は、どのように展開すればよいか。

4-1　レディネステストの結果（高校1年生108名対象）



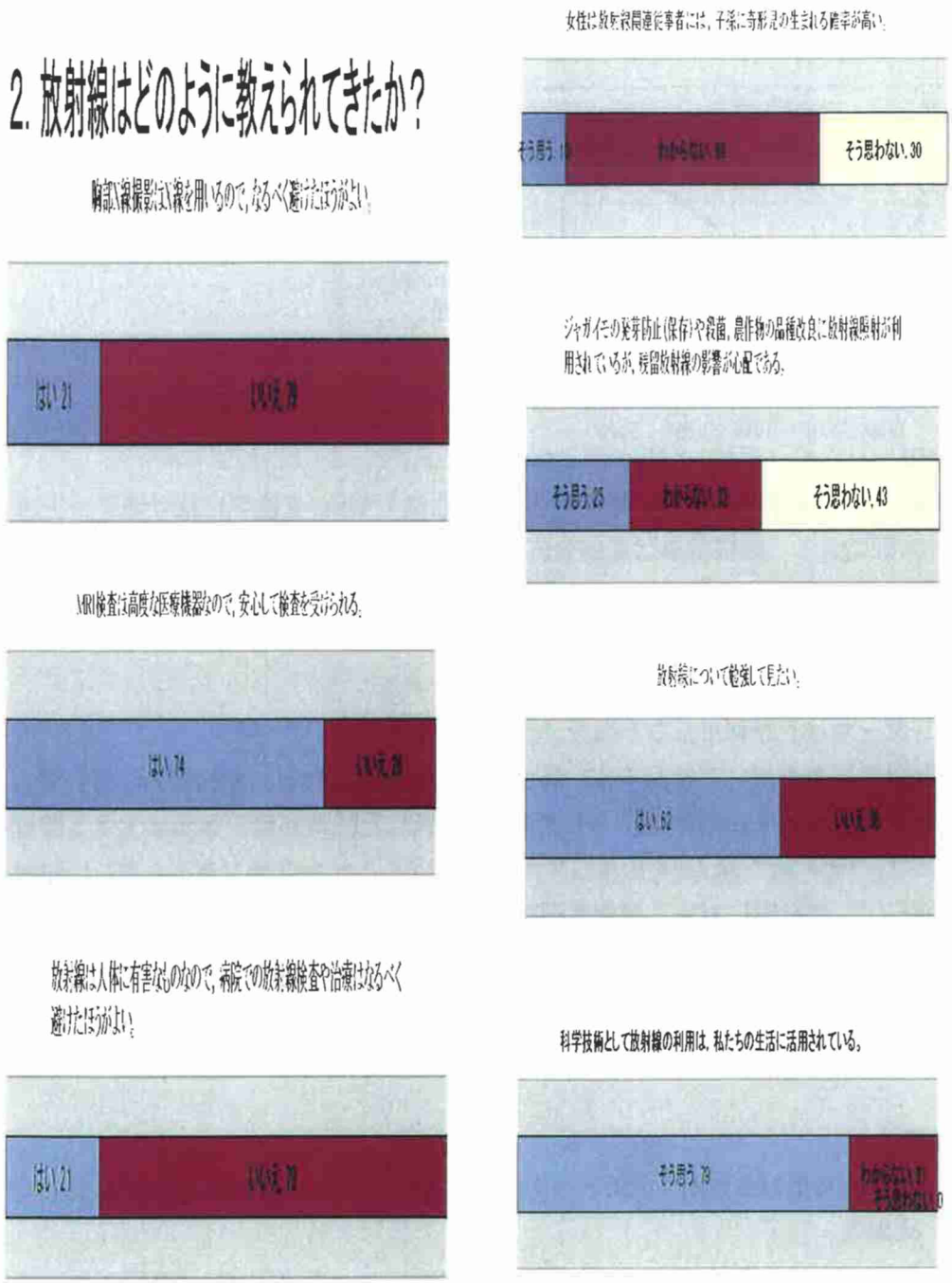
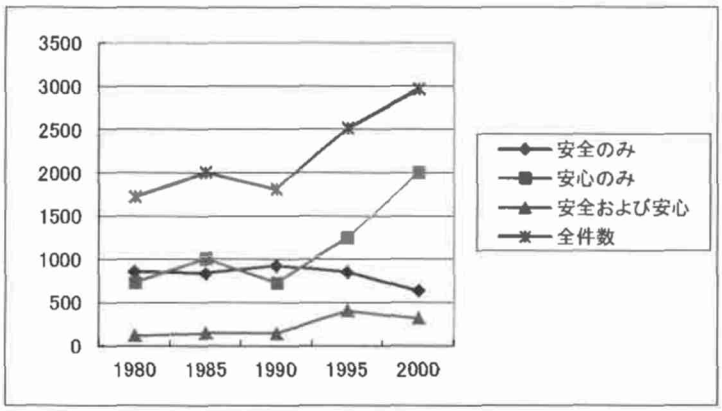


図 4-2 は、宮城学院女子大学の大橋先生が調査した「新聞広告に見る「安全」と「安心」（についての語句使用）の変遷」[2] と題した報告である。1980 年から 2000 年までの、1

年間に全国紙に掲載された新聞広告の「安全」と「安心」という言葉の使用件数を表している。90 年代以降、人々の求めるものが「安全」を所与のものとして、さらに「安心」であることが分かる。

4-2. 新聞に見る安全と安心の経年変化



放射線学習を振り返ると、２時間配当でも「性質と利用」を適切に取り扱えたとは言い難い。しかしながら、教科指導は関連分野を有機的に結びつけることで所期の目標を達成するものなので、知識の注入に終わっては却って消化不良を起こすことになる。中学理科での取り扱いは、

(1)実習体験を通して、学習内容をグループ発表する。

(2)インターネットを利用した学習を、グループ発表する。

(3)放射線従事者を招いて学習する。などの方法が考えられる。放射線の学習に限らず、施設備や実習のスキルにおいて、外部講師と連携した授業展開が容易にできる環境が整ってきた。「その道の達人」を活用して効果を上げることも可能である。正しい知識や体験を通して、放射線に対する理解を促進したい。

放射線に対する危険視は、適切な放射線管理の下、安全であることを知ることから払拭され、安心（信頼）感を導くはずである。学校教育によって科学的合理性や社会的合理性を学習することが是非とも必要である。

引用文献

(1)　原子力文化振興財団　『原子力文化振興財団 2001』　放射線と言う言葉に対する意識調査

(2)　酒井　幸美・守川伸一・大橋智樹・ハフシ　メッド（2002)『新聞広告に見る「安全」と「安心」の変遷』産業・組織心理学会第 18 回大会論文集ｐ１５０－１５３

社会的合意形成に向けた問題解決能力を育成する中学校理科の教育実践

広島市立江波中学校　原田忠則

1．はじめに

２０１１年3月１１日、本校卒業式前日の準備を終え職員室に戻るとテレビから地震のニュースが流れ、テロップにはマグニチュード８．４（以後、９．０に改定）の数値と大津波警報を示す日本地図が目に入った。仙台平野を襲う津波の映像から、地震の規模が大きいことを感じた。１９９５年1月１７日に発生した阪神・淡路大震災のときは、広島でも大きく揺れ災害の大きさを実感することができたが、今回はゆれが全くなく、２００４年のスマトラ沖地震の津波映像と重なり、遠くの国で起きている事柄のように感じた。

翌日、福島第一原子力発電所で原子力災害が発生したことを知る。素人感覚で「津波や地震のゆれで原子炉が壊れることはなく連鎖反応が停止しているので安全」と思っていたが、意外にも補助電源の脆弱性による核燃料の温度管理不能がここまで深刻な事態を引き起こすとは想像していなかった。

奇しくも２０１１年度から中学３年生の理科で放射線教育が３０年ぶりに復活する。その背景に１２年前起きた東海村臨界事故の反省がある。依然として放射線に関する正しい知識を学ぶ機会がないまま「怖い」「危ない」といった漠然とした不安が、放射性物質の拡散と相まって風評被害につながっている実態や、結論先行ですぐさま脱原発・再生可能エネルギーへの転換が可能であるかのような議論を見ると、今後の原子力・放射線教育は、科学的な知識の習得のみならず、エネルギー資源の枯渇や地球温暖化をはじめとする地球環境問題といった人類史的課題の「行き詰まり問題」に対処するために社会的合意形成を意識した教育へと転換していかなければならない。

2．原子力・放射線教育の課題

昨年度までの中学校学習指導要領解説理科編では、最終単元の「科学技術と人間」で『エネルギー資源の利用と環境保全との関連や科学技術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』ことをねらい、原子力の内容を『電気を得るために利用されているエネルギー資源について調べ、水力、火力、原子力等による発電の長所と短所について考察させる。その際、それぞれの発電の仕組みについて発電の原理の学習、エネルギーの変換・保存と関連させて理解を深めるようにする』とある。放射線の内容はない。

そこで筆者は、広島で行われている平和教育と関連付けて、放射線教育を行ってきた。簡易霧箱の作成・観察、放射線測定器「はかるくん」を用いた放射線測定、核分裂による放射線発生の仕組みや放射線による人体への影響の説明等を扱ってきた。生徒のレポートから「放射線は見えないが、身近にあり数値として捉えることができる。使い方次第で有効利用ができることがわかった」といった感想が多く、否定的・肯定的な表現はない。授業展開が、知識の伝達で終わり判断を促す内容ではなかったことがわかる。

新学習指導要領では一歩踏み込む形で『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、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こと』をねらう改訂が行われた。ここで追加された「放射線の性質と利用」は『エネルギー資源の安定な確保と有効利用が重要であることを日常生活や社会と関連付けて認識させること』とし、その学習に際して『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事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』とあり、エネルギーと環境の総合的な見方を育てる学習をめざした内容構成となっている。また「科学技術の利用の長所や短所を理解させ、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」とし、テーマ学習の例として『原子力の利用とその課題』を挙げている。しかし、ここで使われている“触れる”という表現やテーマ学習は、指導内容を教員の裁量にま

かせるということでもあり、実際に新しい教科書の記載を見ると社会科と大きく変わらない状況で、放射線に関する観察・実験の内容はなく、テーマ学習の学習方法も調べ学習の仕方にとどまっている。

筆者は、これまで原子力発電を題材に合意形成につながる探究能力を育成するカリキュラム開発を研究してきた。その授業実践では、放射線や原子力発電のしくみを全く知らない中学生が、調べ学習を通して知識を構成し、その過程で個々人が異なる価値観でものごとを判断していることを発見するとともに、対話を通してひとつの結論へと集約させていくことができた。この研究から、調べ学習や議論に多くの時間が必要で、疑問を解決し学習を深めるための指導を行う教師の成長が、授業の成果を左右することがわかった。限られた授業時数で、放射線に関する科学的な理解や原子力発電が置かれている状況の理解を徹底することは難しく、またすべてを理解することが判断能力の育成にはつながらない。３０年という空白の時間で教員の半数が放射線教育を受けていないことを前提にすると、主たる教材となる教科書を利用した理科の授業方法の工夫が望まれる。

３．判断能力の育成をめざしたカリキュラムと授業実践

（１）指導計画（全７時間）

カリキュラムを作成するにあたって、同じ情報でも一人一人の解釈が異なり、話し合いを通して様々な価値観があることが理解できることをねらいとした。その方法として、教材をしぼり、判断の主体が自分であることを自覚させるような発問と考えたことを記述するワークシートを準備し、男女４人の小グループの形態で話し合いができる十分な時間をとった。また、全体でワークシートの内容を交流する場面もつくった。授業実践は、２０１１年７月１４日から９月１２日にかけて本校第３学年の４クラスで行った。

	発問と学習内容	教材
第１次	『マイクロ水力発電が注目されている理由とその課題を６００字でまとめる。』 小論文作成を通して、エネルギー資源の現状やさまざまな発電方法があることを知る。（２時間）	教科書ｐ．９８～１０１（啓林館１分野下：未来へひろがるサイエンス）
第２次	『発電方法の長所と短所をまとめよう。』 さまざまな発電方法の比較を通して、環境への配慮や具体的な課題を整理し、ベストな発電方法がないことを知る。（２時間）	教科書 ※　第３次に向けて「放射線や原子力発電に対する生徒の意識調査」を実施
第３次	『放射線について教科書に記載されている言葉でわからないものを挙げよう。』 放射線の用語と性質を理解する。（１時間）	教科書の補助教材ｐ．５１（新指導要領の内容が追加された教科書の別冊） 企画：財団法人経済広報センター作成 DVD 「偉人たちとの授業～放射線を知る～」２３分
第４次	『電力消費の現状を生活実態と関連付けて未来の発電の在り方を考えよう。』 さまざまな発電方法の組み合わせ方の実際から、利用する人間の生活習慣を捉え、省エネルギーや新しいエネルギー開発の必要性を見出す。（２時間）	原子力図面集 「電源別発電電力量の実績および見通し」 「需要の変化に対応した電源の組み合わせ（ベストミックス）」

（2）第１次、第２次の授業展開

１時間目は、単元の導入として教科書の記述にあるマイクロ水力発電を題材に、原稿用紙を与え、課題として『教科書ｐ．９８-１０１　をよく読んで、マイクロ水力発電が注目されている理由とその課題を６００字で述べなさい。』を提示した。小論文の書き方指導と合わせて、教科書に記載されている文章だけでなく、設置場所の写真・グラフや図から読み取れる情報を解釈するよう指導した。

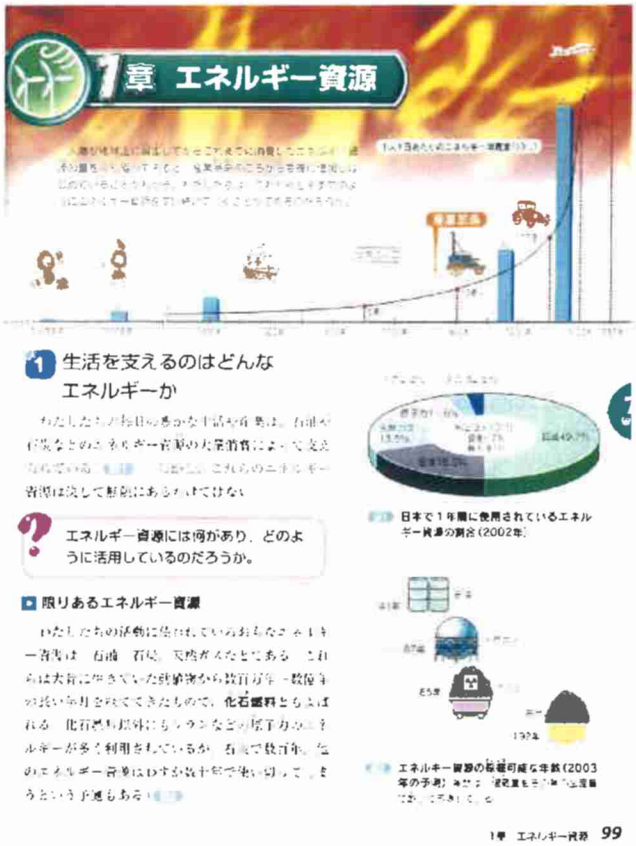


図１　教科書 p. 98　課題の提示

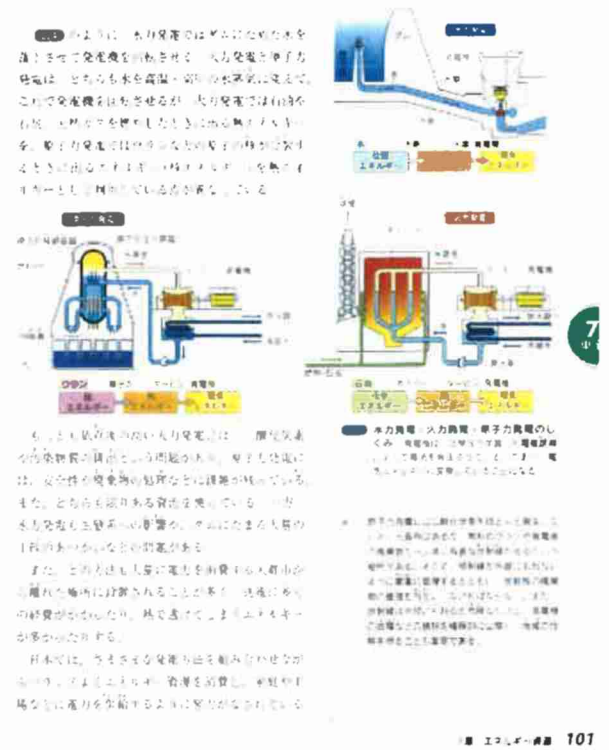


図２　教科書 p. 99～101　検討材料

生徒の感想文

マイクロ水力発電が注目されている理由は３点ある。１点目は、落差２ｍもあれば実用化することができるということだ。日本では世界　周以上の長さのある農業用水路や、水道の送水管で有効活用することができるからだ。２点目は、現在発電などに使われているエネルギー資源の割合で化石燃料が８０％を占めており、そのほとんどはわずか数十年で使い切るということだ。また、化石燃料は、プラスチックや合成ゴム、合成繊維の原料としても貴重で、これらは節約して大切に使わなければならないからだ。３点目は、環境汚染などの問題だ。もっとも依存度の高い火力発電では、二酸化炭素や汚染物質の排出という問題があり、原子力発電には福島の事故のように安全性や廃棄物の問題があり、水力発電には生態系への影響やダムにたまる土砂のあつかいなどの問題がある。このような理由で、マイクロ水力発電が注目されている。

課題は２点ある。１点目の課題は、落差２ｍあれば発電することができるが、大都市から離れた場所でないと発電できないので、送電時のロスが多いことだ。２点目の課題は、公園に設置されたマイクロ水力発電機で１２６．０ｋｗしか発電することができず、化石燃料の代替として使うには多くの発電機を作らなければならないので、これを設置する事業者や個人の負担が大きく、あまり設置できないことが課題だ。

２時間目は、小論文の交流し『マイクロ水力発電が注目される理由は教科書のどこに書かれているのか』を確認させた。人口が爆発的に増加していることや資源の枯渇の問題が背景にあることを整理する。

３時間目は、さまざまな発電方法の具体的な理解を深めるために電気エネルギーを取り出す方法の長所と短所を記述させるワークシートを与え、発電方法のしくみを男女４人の小グループで検討し、結果を黒板に整理した。

４時間目は、前時にまとめた表を『どういった観点から整理できるか』を検討させた。資源を必要とする石油・石炭・天然ガス・原子力は、いずれ枯渇し排出物や廃棄物を出すこと、資源を必要としない風力・太陽光は安定した発電が難しく、地熱発電と同様地域が限定されること、再生可能な水力発電が見直されていること等の意見が出た。学習後個人の感想は短文で書かせ、下記のような考え方

電気エネルギーを作り出す方法（発電方法）の長所と短所をまとめよう

方法		長所	短所
火力	石油	発電方法が簡単。	燃料に限りがあり、あとわずか数十年で使い切ってしまうかもしれない。 二酸化炭素を排出する。
	石炭	燃料がまだ多い。 日本の場合、排気ガスを回収している。	無限にあるわけではなく、あと百数十年で使い切ってしまうという予測がある。二酸化炭素が出る。
	天然ガス	排気ガスが出ない。 石炭とかに比べたら軽いので発電効率がよい。	限りがありあと数十年で使い切ってしまうかもしれない。 二酸化炭素が出る。
原子力		二酸化炭素が発生しない。	燃料のウランや発電後の廃棄物から人体に有害な放射線が出ること。
水力		二酸化炭素が発生しない。 資源に限りがない。	もう日本につくるところがない。 生態系への影響やダムにたまる大量の土砂の扱いなどの問題がある。 送電に経費がかかる。
風力		二酸化炭素を発生しない。	発電量が少ない。 天気次第である。
太陽光		エネルギー源が無限で発電時に排出する物質がない。 屋根の上に置くから場所をとらない。	光電池が高価で大量の電力が作れず、発電量が天候に左右される。
地熱		二酸化炭素を出さない。	場所による（火山がある場所）

図３　生徒作成のワークシート

が出ている。

・火力発電は発電方法が簡単だけど、結局はいつか資源がつきるのがわかった。
・長所と短所には大きな差があると思った。
・どんなに便利でも何個かはデメリットがあるんだと初めて知った。
・この表を見ると全部、良いところも悪いところもあるけど、全体的に短所のほうが多いと思った。
・環境汚染を問題とした発電が多いと思った。人間にとって都合のよいものは環境に悪い。
・短所は環境や人間などに大きく関わっていると思いました。
・全部人と自然との共存ができていない。
・自然エネルギーは金がかかり、人も多くいる。つまりは、金を犠牲にして電気を作るか、環境を犠牲にして電気をつくるか、人体を犠牲にして電気をつくるか、ようするに、何かを犠牲にしないと電気はつくれないと思った。
・どれが一番良いなんてない事に気づいた。
・限りある資源、きちんと計画的に使わなければならない。
・短所のない完璧な発電方法はない。
・長所を活かしていくのがいいけど、短所の問題をどうやって解決するのかというのを考えなければならない。
・使い方を考慮しなければならない、考えて取り出さなければならない。
・日本は火山が多いので日本なら地熱が利用できるけど世界的には無理なことだなと思いました。だから全ての世界にできて環境に良い発電方法を考えていくべきだと思った。
・それぞれの発電には長所と短所があり、組み合わせることが大切。
・色々な発電の仕方で長所と短所を補いバランスを調整する。

（3）放射線や原子力発電に対する生徒の意識調査

第２次の授業で、原子力発電の短所にある「放射線」がわからない、という質問が出た。広島の生徒にとって「放射線」という言葉になじみはあるが、具体的に学ぶ経験は知らない。そこで第３次の放射線に関する授業に先立って、事前に生徒の意識調査を実施した。

実 施 日：２０１１年９月７日
対 象 者：本校生徒　中学３年生９４名
質問内容：３月１１日の東日本大震災以降　福島第一原子力発電所で起きた原子力災害の報道を見聞きしたことで、思ったことを書いてください。

Ⅰ．ニュースを見て、聞いて、わからないこと（疑問に思ったこと）は何ですか。
○　放射線に関する内容
・放射線って何？　放射線量って何？　どのくらいあるの。
・放射性セシウムってなんですか。
・ミリシーベルト、ベクレルなどと言われても、いまいちよく分からない。
・放射線の単位の意味、それが多くてやばいのか、まだ大丈夫なのかとか
・放射線の単位がバラバラだから、どれくらい危険なのかわかりにくい
・高さが違うだけで放射線の濃度がなぜ違うのか。
・何回も放射線量が変えられたから、結局本当の量が分からない。
・よくニュースで「この程度の線量で、直ちに健康に影響が出ることはない」などとよく聞くが

「直ちに」という表現を聞くと、いずれは影響が出るのかと思って、とても恐怖感がある。

・放射線は何故出るのか、どうやって作られるのか

・放射線は目に見えないのに、どうやって避ければいいのか

○　原子力発電に関する内容

・原子力って何？　難しい言葉を使いすぎて、そもそもの意味がわからない。

・なぜ事故がおこったのか

・メルトダウンって何　ウランの燃料が溶け出したのはなぜか

・津波が２倍だったとしても、いろいろなケースを想定していなかったのか、あらゆることを考えていなかったのか

・元々、どうして海に近い福島に原子力発電所を作ったのか

・被爆した人には広島と同じように被爆手当てのようなものは支給されるのか

Ⅱ．ニュースを見て、聞いて、本当に知りたいことは何ですか。

○　放射線に関する内容

・危ない数値は何？　どこにどれだけの量があるかより、それが危険かどうか

・放射線によっての人体への影響はどのくらいか

・この事故でばらまかれた放射線は減っていかないのか。それならどんどん濃くなるのか。

・どのくらいの時間が経ったら放射線は消えるのか

○　原子力発電に関する内容

・原子力発電をなくしても大丈夫なのか。脱原発をするとしたら、その電力を補えるほどの電力を発電できる発電方法はあるのか。

・原子力発電を止めるとして、かわりの発電方法はどうするのか、また、続けるとしても、今回のようなことが起こらないようにするためにはどうするのか、起こった後の対処はどうするのか

・これからの日本が、どのような発電をしていくのかはっきり知らせて欲しいです。

・誰が解決してくれるのか。

・なぜ、これまで原子力発電所の事故がなかったのか。

第２次までに、エネルギー資源の現状やさまざまな発電方法の長所と短所を比較していることから、今回の事故に対して冷静に判断しようとする姿勢と、放射線の正しい知識と判断材料となる社会状況の知識を必要としていることが読み取れる。

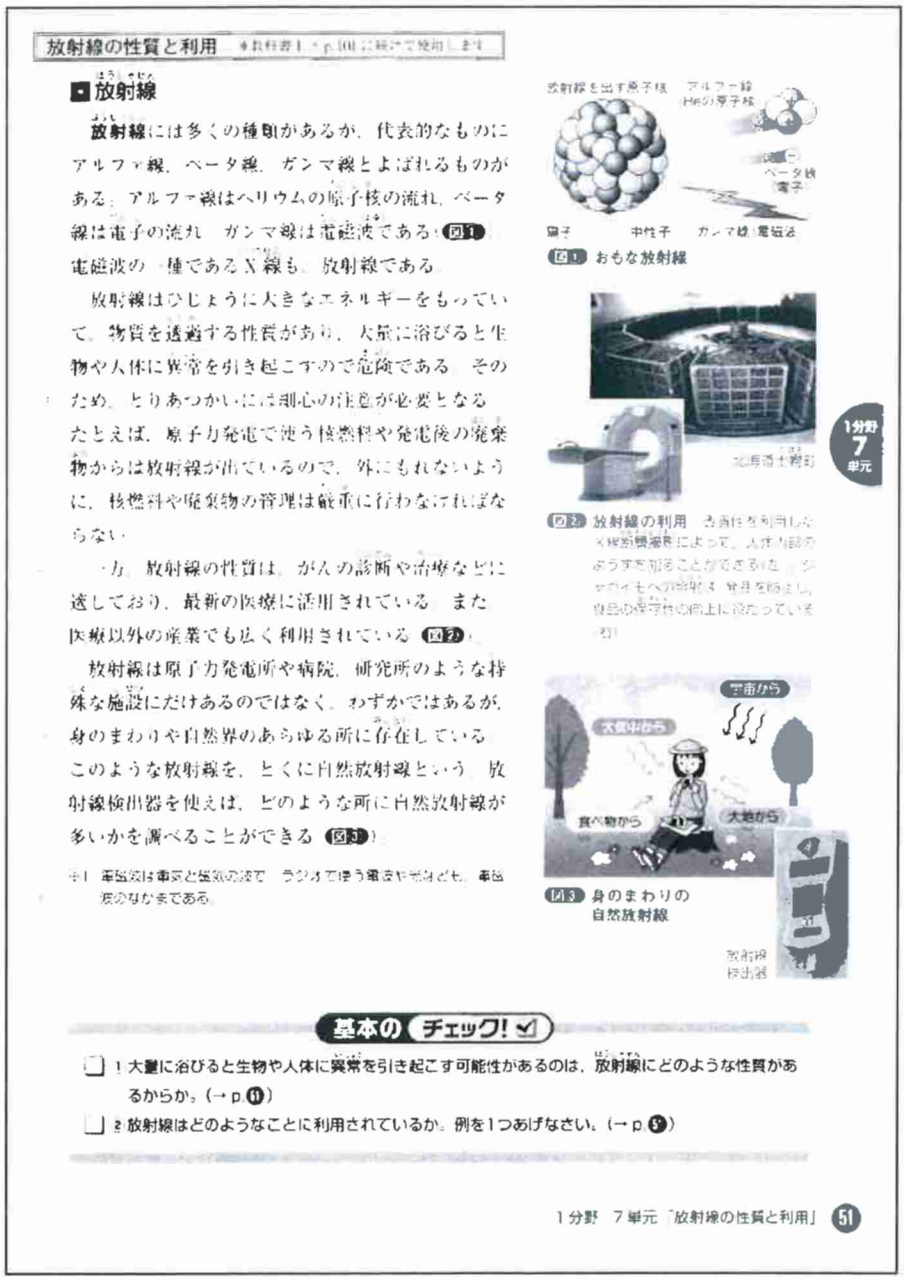
（４）第３次の授業展開

新指導要領に即した教科書は来年度からの配布となるため、今年から始まる放射線の内容は現行の教科書に記載はなく、追加事項は補助教材として配布された冊子を使うことになっている。

５時間目は、放射線の性質を理解させるために『補助教材ｐ．５１を読んで、わからない言葉に下線を引きなさい』と指示し、質問事項を挙げさせた。

どのクラスも「透過」と「自然放射線」が挙がり、小さい粒子や電磁波であるがゆえに物質を透き通っていくと説明した。また、放射線測定器を紹介し、μＳｖ／ｈやＢｑといった単位を説明し、後半の、映像教材につなげた。自然放射線は、映像の中で測定される放射線量の数値と教室内の数値を比較し、地域ごとに異なることを理解したようである。この映像の中には原子力発電の構造やしくみ、霧箱の観察も入っているため、生徒にとってわかりやすかったようである。

生徒の意識調査にあった人体への影響に関する疑問は、後日実施した単元「生命の連続性」で学習する遺伝子・DNAと合わせて、DNAの破壊や修復について「知っていますか？放射線の利用　p. 149－159」を教材に説明をした。



放射線の性質と利用

■放射線

放射線には多くの種類があるが、代表的なものにアルファ線、ベータ線、ガンマ線とよばれるものがある。アルファ線はヘリウムの原子核の流れ、ベータ線は電子の流れ、ガンマ線は電磁波である（図1）。電磁波の一種であるX線も、放射線である。

放射線はひじょうに大きなエネルギーをもっていて、物質を透過する性質があり、大量に浴びると生物や人体に異常を引き起こすので危険である。そのため、とりあつかいには細心の注意が必要となる。たとえば、原子力発電で使う核燃料や発電後の廃棄物からは放射線が出ているので、外にもれないように、核燃料や廃棄物の管理は厳重に行わなければならない。

一方、放射線の性質は、がんの診断や治療などに usedしており、最新の医療に活用されている。また医療以外の産業でも広く利用されている（図2）。

放射線は原子力発電所や病院、研究所のような特殊な施設にだけあるのではなく、わずかではあるが、身のまわりや自然界のあらゆる所に存在している。このような放射線を、とくに自然放射線という。放射線検出器を使えば、どのような所に自然放射線が多いかを調べることができる（図3）。

†1 電磁波は電気と磁気の波で、ラジオで使う電波や光なども、電磁波のなかまである。

図1 おもな放射線

図2 放射線の利用

図3 身のまわりの自然放射線

基本のチェック!

1 大量に浴びると生物や人体に異常を引き起こす可能性があるのは、放射線にどのような性質があるからか。（→p.11）

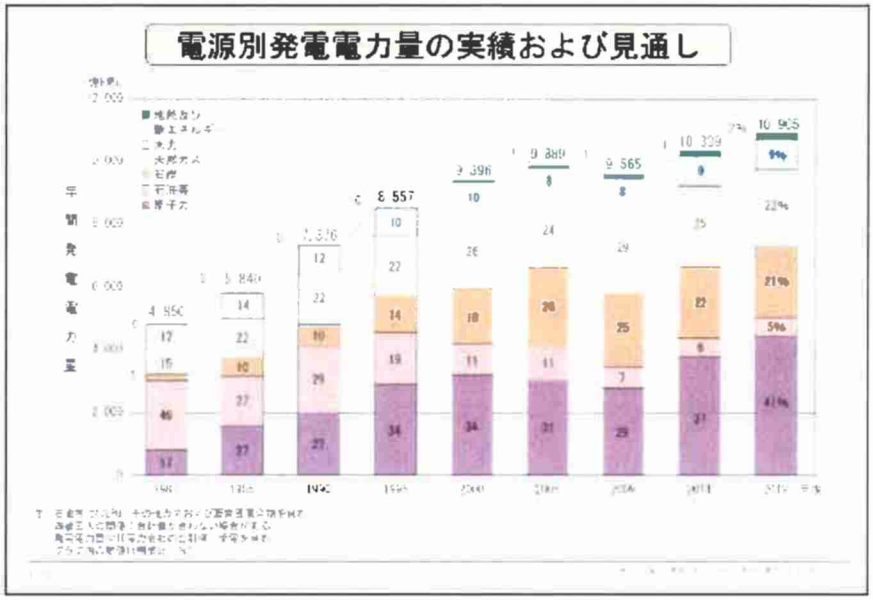
2 放射線はどのようなことに利用されているか。例を1つあげなさい。（→p.5）

1分野 7単元「放射線の性質と利用」 51

1分野 7単元

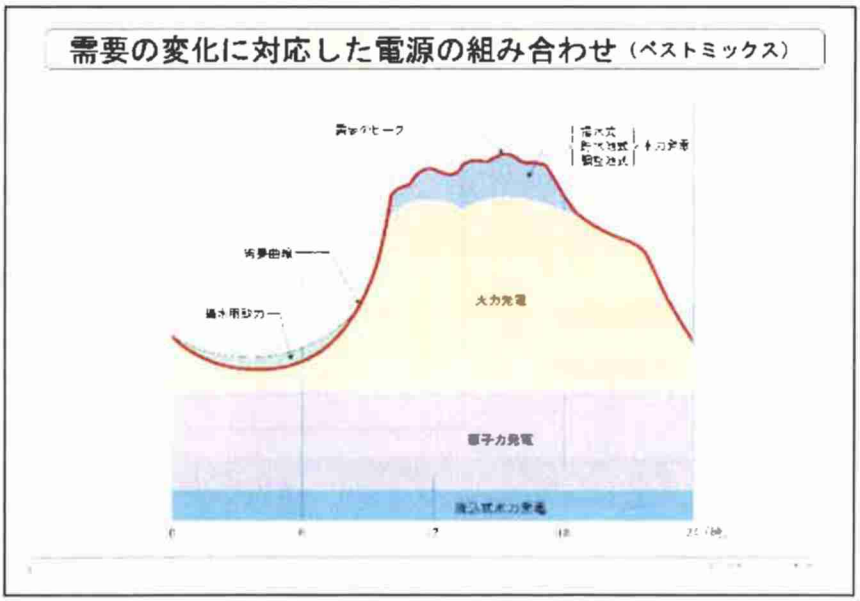
図4　教科書の補助教材と映像教材

（5）第４次の授業展開



６時間目は、電力消費の現状を理解するために原子力図面集２０１１から抜粋し『「電源別発電電力量の実績および見通し」のグラフから読み取れる情報を書き出そう。』と指示した。

生徒は、２００９年度の減少はリーマンショックにより経済の停滞で電力消費量が減少したが、１９８０年から比べると２倍に増えており、２００９年度を除くと全体として電力消費が年々上昇していることを発見する。また、その増加分が原子力でまかなおうとしている理由を資源の枯渇と関連付けて説明している。しかし、真夜中もテレビ番組が流れ、コンビニが普及し、多様な電気製品があふれている時代に生まれた生徒にとって、生活の変化が電力量の増加に関係していることを説明しなければわからないようであった。



７時間目は、生活の実態に合わせた発電方法の組み合わせを「需要の変化に対応した電源の組み合わせ（ベストミックス）」のグラフで示し、原子力図面集２０１１のデジタル版にある映像教材（１分３０秒）と合わせて、発電方法の課題は資源や環境への負荷だけでなく、発電量の調節のしやすさや安定供給の視点も考慮しなければならないことを説明した。

現状で約９０％を占める火力発電と原子力発電の燃料はいずれなくなる。最後の課題として『電力消費の現状を生活実態と関連付けて未来の発電の在り方を考えよう。』を示し、生徒は下記のような意見を述べている。

・やっぱり省エネしかないと思う。まず、日本中の自動販売機をなくして、そこにマイクロ水力発電をおいたらいいと思う。コンビニやスーパーはあるわけだし、ジュースの売り上げは落ちるかもしれないけど、水力発電会社にも派遣してあげればいいと思う。とにかく、これは例えばの話で、他にもできることがたくさんあるから政府の人たちがもっと、そっちに力をかけてくれればいいと思う。その人たちが何か制限すると決めれば、みんな仕方なくでも動いてくれると思う。今、いい機会だと思うから早くやってほしい。あと、自分たちももっとする。

・昼間の間はテレビ以外全部消したらいい。原子力をいきなり無くせと言われても無理だから少しずつ減らしていけばいい。昼間に電気を上手に使うことが大切だと思う。難しいことだと思うけど、東京電力がやっていたように少しずつ制限しながら減らしていくことがいいと思う。電力量を。理由は電気を使う量を減らせば、少しは原子力発電とかおさえると思ったから。

・まず一番最初にすべきことは節電です。今まで電気に頼りすぎていた生活を見直していくべきだと思います。でも呼びかけだけではする人は少ないと思うので、一定以上の節電をしたら何か特典があるようにします。また一家族における電気の量を制限するとか。でもそれだけでは火力、原子力を補うことは不可能です。新たな発電方法を開発する。何かを燃やすような施設があったらそれも利用します。そしていろいろな発電を効率よく行う。

・火力発電と原子力発電のよい点だけを使いたいと思うけど、それは無理なことなので、これからどうしなくてはならないかということを考えるのは難しい。だけど克服しなければならないので新しい発電方法を見つけなければいけないと思う。

・自分は、新エネルギーを新しく見つけるか、このまま継続していきながら、新エネルギーとかを作るか、リスクを考えながら原子力を多く使うか、どちらかだと思う。なぜなら、メタンハイドレートという燃える水とかも言われている。新しいエネルギー資源を研究して、新しいエネルギーができると思われるからです。

・昼間の電力使用ピーク時に絶対に必要な所だけに電力供給できる新しいケーブルを接いだらいいと思う。必要な所は国が決めていけばいい。都会の生活排水などで下水道管まで流される。そこの一つ一つの水道管に発電機を付けていく。

・本気でやっていなかったことを本気でやる。化石燃料のかわりに、地熱などの新エネルギーというこの国に合った発電方法を研究して、新エネルギーを主に使っていけばいい。

・これから建つもの全てに太陽光発電をつけていったらいいと思う。水力発電を高性能にしていったらいいと思う。振動で発電していくことはできないか。化石燃料は人工的につくっていければいいと思う。ごみを燃やす火力発電だめなのか。

・石油とかを使った火力発電は、燃やせば燃やすほど電力を得ることができるけど、いつかはなくなってしまう資源だから勿体ないと思う。それよりは、全くなくなることの無い別の発電をやったほうがいいと思う。地熱および新エネルギーと水力発電は燃料とかなくならないので、この２つを主に使っていけばいい。燃料がなくなるものは節約して使っていく。

・限りある資源はもっと大事な使い場があるのならそっちに使ったほうがいい。石油はやっぱり燃やすのではなく、他のものをつくり、それを捨てる時にリサイクルに出すと何回も使える。石油が使えないからといって石炭を使いすぎず、地熱などでそれを増やすべきだと思う。もっと消費電力の少ない電化製品を産みだす。

・福島の人々には少し申し訳ない気がするが僕は原子力をそのままがいいと思います。原子力の問題は、中のものが外に出たら危ないということだ。今回の原発事故を見直して、問題点を改善していく。

４．今後の課題

判断能力を育成する授業実践として、既存の考え方を材料に賛成派・反対派に分かれて討議するディベート学習がある。しかし、日本国内での大事故が現実のものとなった今、「想定外」という言葉通り、既存の考え方が不十分であり、問題が整理されていない現状で結論を導き出すことが簡単にはできない。基本に立ち返って現状を把握するために様々な課題を教師から説明する形態の授業もある。原子力図面集にはその題材になるものがたくさん収録されている。

授業実践においてさまざまな形態は想定されるが、課題を解決する主体が生徒自身であることを意識させる授業を実

践することは難しい。本カリキュラムは、これまでの研究の中から主体的に生徒が取り組んだ教材を用いて「自分ならどうするか」と考えさせる発問をした。結論は、未来に持ち越すことになるが、６年前に同様な授業を受けた卒業生から「先生の授業を受けて大学では発電に関する勉強をしています」と連絡をもらうことがあった。

２００２年、日本学術会議がまとめた「日本の計画」で、「人類史的課題を人類全体で共有するためには、事実に関する認識の共有と、納得性の高い予測の共有が出発点」とし、多様性を尊重し受容することで相互理解・相互承認・相互調整を経て、一定範囲での合意形成が成立し、さらに統合による新たな情報空間が形成されることで、行き詰っている問題解決のアイデアが創出される、と述べている。これを受けるように２００６年に教育基本法が改正され、２００７年に改正された学校教育法では「基礎的な知識及び技能を習得させるとともに、これらを活用して課題を解決するために必要な思考力、判断力、表現力その他の能力をはぐくみ、主体的に学習に取り組む態度を養う」とし、新指導要領では、教育内容の主な改善事項として「言語活動の充実」を挙げている。

これまでの教育は知識の伝達による一斉指導が中心であった。社会的合意形成につながる思考力、判断力、表現力を育成するためには、生徒が主体的に学習するための発問や教材の準備、話し合い（対話）を中心とした授業形態に移行していくことになる。今後の課題は、教師が一斉指導から脱却し、生徒が話し合いを通して学び合う授業の創造である。本報告書は、その一助になればと思う。

引用・参考文献

中学校学習指導要領解説　理科編　平成11年9月、平成16年5月　一部補訂　　文部科学省

中学校学習指導要領解説　理科編　平成20年9月　　文部科学省

日本の計画　Japan Perspective　平成14年9月　　日本学術会議　運営審議会附置日本の計画委員会

教科書　　未来へひろがるサイエンス１分野下　p.98～101　啓林館

未来へひろがるサイエンス３年（１・２分野）　平成23年度用　補助教材　p.51　啓林館

原子力図面集２０１１年版（デジタル版）　　第１章　世界および日本のエネルギー情勢　電気事業連合会

19　電源別発電電力量の実績および見通し

23　需要の変化に対応した電源の組み合わせ（ベストミックス）

http://www.fepc.or.jp/library/publication/pamphlet/nuclear/zumenshu/digital/index.html

ＤＶＤ「偉人たちとの授業　～放射線を知る～」新学習指導要領対応　中学校理科第１分野服教材（23分）

企画：財団法人経済広報センター

原田忠則（2000）　イシューズアプローチによる「原子力エネルギー」に関するカリキュラム開発研究－多元的価値社会における合意形成に向けた問題解決能力の育成－　鳴門教育大学大学院　修士論文

原田忠則（2005）　合意形成に向けた問題解決能力の育成　－エネルギー問題の中核となる「原子力発電」の授業実践－　　広領域教育　No.59　　広領域教育研究会

岩崎民子（2003）　知っていますか？　放射線の利用　p.149－159　　丸善

学校における放射線教育の現状と課題

松浦辰男　（立教大学名誉教授・NPO 法人放射線教育フォーラム理事長）

1．はじめに――放射線についての正しい教育の必要性

日本人は一一般に放射線によるわずかな被曝を重大なものとして考える。しかし人類は太古の昔から宇宙線や、地殻に存在する天然放射性同位体から放出されている自然放射線を被曝している。さらに X 線診断のような人工的な放射線や放射性同位体の利用による被曝も受けている。

日本人にとって「放射線」、「放射能」を強烈に印象付けたのは、第二次大戦の終結時に広島と長崎の市民が悲惨な経験をさせられた原爆である。その後には、水爆実験の影響を受けたマグロ漁船の第 5 福竜丸の被曝であった。近年では、1986 年のチェルノブイリ原発事故や 1999 年のＪＣＯ事故、さらに 2011 年 3 月には東日本大震災に伴って、福島第一原子力発電所で炉心溶融という重大な事故が発生し周辺区域に放射性汚染が広がり、住民の放射線に対する大きな関心を関心を呼び起こしている。

放射線・放射能は、X 線をはじめとする現代の医療利用において、さまざまな疾患の診断や治療には欠くことのできない技術となっている（1)。また、1997 年度における日本での放射線利用による経済的規模の総額は、8 兆 6 千億円（ＧＤＰの 1.7%）となっており、このうち工業利用が 7 兆 3 千億円で大半を占め、医療利用は約 1 兆円である。工業利用の 73%は半導体加工で群を抜いている (2)。ＩＴ時代を支えている半導体の加工には放射線が利用されているのであるが、関係者の広報不足もあってこのことは一般の人々は殆ど知らない。一般の人々は、原爆の悲惨な経験から、放射線・放射能は危険で恐ろしいもので、少量でも後になってがんの発生や遺伝的な影響を引き起こす、という思い込みを根強く持っている。

ここで特に言及すべきこととして、放射線の影響として、少量でも人体に影響があるとして怖がられていた二つの「晩発的影響」、すなわち白血病やがん、と遺伝的影響のうち、遺伝的影響については、人間に関しては事実として全く心配する必要がないということが、多くの専門家により確立されており、今ではこれが ICRP などの国際的な考え方となっていることである (3,4,5)。

日本のエネルギー問題の解決には好むと好まざるにかかわらず原子力の役割を重視せねばならないが、この原子力の円満な社会受容のためには、もっと「エネルギー教育」を進めるとともに(6,7)、日本人一般が持っている、放射線・放射能に対する科学的事実に基づかない不安や恐怖心を取り除かねばならない、そのためには、義務教育のときから放射線・放射能に対する正しい教育を行う必要がある。

われわれは過去 10 年以上にわたり、現行の高等学校や中学校の教科書の中でのエネルギーや原子力、放射線に関する事項に関する記述について調査してきた (8, 9, 10, 11)。調査を始めた当初は、理科の教科書でさえ科学的な誤りが少なくなかったが、最近は大きく改善された。「一般社会」や「政治経済」などの科目では、当初は専門家から見て不適切と思える記述が多

かったが、最近は大分改善されている。しかし、これらの文系の教科書ではいまだに一般的傾向として原子力に対するリスクが誇張されていて、読者に誤解を与える可能性が大きいものが少なくない。本稿では、教科書においてしばしば見られるところの、特に原子力の事故や放射線の影響に関するいくつかの不正確な記述の実例を示し、それらが本当はどうかということを、科学的事実にもとづいて解説をする。また、国民に放射線に対する過剰の不安感をもたせている原因のひとつに低レベルの放射線に関する「しきい値なしの直線的仮説」という安全側に偏りすぎる考え方があり、この考えを支持するものと考えられていた原爆の生存者の疫学的解析を正しく行うことにより(12)、この考え方が誤っていることを説明するとともに、原爆というものをいかに学校教育において取り上げるべきかに関する筆者の考え方を提示する。

2．教科書にしばしば見られる、不適切と考えられる記述の例

2－A　理科の教科書（「理科総合A」について

(1)（T書籍、「理科総合A—システムとしてみる自然」）p. 99, 図 18 の核分裂を示す図に、中心から 2 個の核分裂生成物と 2 個の中性子が飛び散っている外に 3 本の（熱と書いてある）矢印があり、核分裂と同時に熱エネルギーが中心から放出されているように表されているが、この熱エネルギーははじめに核分裂生成物の運動エネルギーとして生まれて、ほかの原子や分子との衝突で最終的に熱となるものである。従ってこの矢印は不要で、ここで核分裂で生成した原子核の運動エネルギーが熱エネルギーに変わることを教えるべきである。

(2)（K 館、「理科総合A」）「放射線とその利用」などの説明は適切であるが、「研究テーマの例」「放射線の研究」で「*放射線は、なぜ人体に危険なのだろうか*」は適切ではない。「放射線は、なぜ場合によっては危険であることがあるのか」という質問とし、大量はたしかに危険であるが少量では危険度は高くないことを教えねばならない。少量（低レベル）の放射線の影響については、決して心配する必要がないという一つの根拠をあとで解説する。

2－B　理科以外の教科書（公民、地理など）

(3)（T 書籍、「現代社会」）「*原子力は人体に有害な放射能を大量に発生させる。*」

(コメント)原子炉の中で放射能が大量に生じていることは事実であるが、放射能が人体に有害かどうかは放射能が原因である放射線が人体にあたったときの量が多いか少ないかによるのであって、その量が常時人体が自然に受けている程度の小量であれば、何も害はないのである。従って、放射能に「人体に有害な」という形容詞を一般的な形でつけることは正しくない。

(4)（T 書院、「地理 B」）「*放射性物質は極めて有毒なため処理が難しい。*」

(コメント)　放射性物質が有毒かどうかは、前項で述べたのと同様にその量によるので、このような一般的な記述は正しくない。また、「処理が難しい」のは必ずしもその有害性とは関係がない。処理のために十分の経費をかけることができるかどうかなどに大きく支配される。

(5)（K 出版、中学「地理」）「*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。*」（S 書院、「新現代社会」）「*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、長期間にわたって人体や生態系に甚大な悪影響をおよぼす。*」

(コメント)そもそも環境には常時天然の放射性物質が存在していて、人類はその影響に順応し

ており、それに少し人工の放射性物質が加わっても実質的に問題はない。

(6)（J出版、「現代社会」）「*(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。*」

（コメント）チェルノブイリの炉は原子力発電所を代表するものでない。また、全ての技術にリスクはつきものであって、専門家は現在の軽水炉の技術は、配慮を怠らなければ十分に安全であると考えている。

(7)（T書籍、「現代社会」）（J出版「現代社会」）「(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。*」

（コメント）これは明らかにオーバーであって、原爆とチェルノブイリ事故での放射能の放出量の比較については以下第3章で説明する。

(6)（T書籍、「現代社会」）「*ＪＣＯ事故で周辺住民など700名が被曝した。*」

（コメント）「被曝」の定義にもよる。一般人の許容レベルとして法規で定められた１ミリシーベルト以上の放射線を受けた人の数であろうが、実際上は何も影響がなく、心配するに当たらない線量である。

(7)（Ｓ研、「政治・経済」）「*原子力発電所の建設　欧米ではコスト高や安全性を重視して新設はほとんど行われていない。スエーデンやドイツでは脱原子力政策を目指している。日本でも原子力開発長期計画（1994年）の見直しが行われている。*」

（コメント）原子力に関する最近の国外及び国内の事情を考慮していなくて、読者に誤解を与える表現である。

３．原爆の被害と原子炉の事故の比較

広島の原爆ではＴＮＴ火薬に換算して約１５キロトン、長崎の原爆では２１キロトンに相当するエネルギーが放出された。その爆発により発生したエネルギーのうち、約 15%が放射線（初期放射線５%、残留放射線 10%）である。ここで、キロトン（kt）と放出放射能量の関係については、文献(13)によれば、1945年から1985年までの40年に全世界で1,570回の核実験が行われ、この核爆発の総量はTNT火薬で75万ktに相当し、そして 7.70×10^{13} キュリー以上の放射性同位体が環境に放出されたとのことである。これから１キロトンあたりの放出放射能量は 1.027×10^{8} キュリー、すなわち約１億キュリーとなる。したがって広島原爆では約15億キュリーである。［１キュリーは 3.7×10^{10} ベクレル］

一方、チェルノブイリでの放出放射能量は希ガスが50メガキュリー、それ以外の核分裂生成物が約50メガキュリーと報告されており(9)、合わせて約100メガキュリー、すなわち約１億キュリーである。また、チェルノブイリで放出された放射能に関する最近のデータでは(15)、ヨード131が1,760PBq（ペタベクレル）、キセノン133が6,500PBqなど6種の放射性同位体で合計 841×10^{18} ベクレル、すなわち2.5億キュリーといわれている。

したがって、チェルノブイリで放出された放射能量は広島原爆の約15分の１か６分の１に過ぎないという計算となるので、500倍というのは明らかにあやまりである。

なお、現在地球上に存在している放射能の総量はどのくらいかというと、矢張り同じ文献

（13）によれば、天然には岩石圏すなわち地球表面外部の地殻（硬い岩石の固まりの上にある厚さ数 km の部分）に 3.8×10^{14} キュリー、水圏（全ての水を含む地殻の水の部分）に 4.5×10^{11} キュリー、これに対して人工放射能は 1987 年現在全ての原子力発電所に含まれている量として 4.5×10^{12} キュリーという数値が示されている。

4．学校教育における放射線関係の知識を形成する上での問題点

わが国における現代の若者たちが放射線・放射能（以下放射線等とする）を初めて知る機会は、小学校 6 年生及び中学校の社会（歴史）教科書に記載されている原爆の被爆に関する記述が最も大きい。そして、その後の中学校での教科書の記述でも、漠然と放射線等は人体に有害なものだとの観念を植え付けるだけで、その本質や・利用、人体への影響に関する授業が殆どされていない。高等学校になると、「理科総合 A」や 3 年生の後期の物理で教科書では放射線等に関して比較的に正しくとりあげられているが、理科総合 A はせっかく良い教科書ができているのに実際にはこの科目の代わりに入試目当ての授業がされていることが多いと聞いている。また物理は生徒に敬遠されがちで履修率 20%以下となっているので、国民すべてに放射線等の正しい知識を与えることができるのは小・中の義務教育課程でしかない。ところが現在の教育システムでは、子供たちの知識が形成される過程で放射線等に対する最初のマイナスのインパクトが強烈であり、またその後、正しい知識の注入がほとんどされないので、小学校・中学校での既成概念によってマイナスのイメージが強く持たれる結果になっている(16)。

高等学校になるとエネルギーの問題が重要なものとして取り上げられておりデイベート形式の授業も盛んであるようだが、原子力の価値判断に対して重要な関連を有する放射線等の知識が小・中学校において不十分である現状は改善する必要がある。とくに、身の回りに少量の自然放射線が存在する事実を義務教育課程において常識として知ることは極めて必要である。

5．今回の提案——義務教育（小学校・中学校）において取り扱うべき放射線関係の内容(17)

（小学校では）

放射線に関するごく基本的な知識は、「理科」において、光や音、あるいは電波について教えるときに、「目には見えない実体の一つとして」紫外線や赤外線と同時に自然放射線が存在することを教えるべきである。さらに、できれば児童自身がその存在を観察するような実習がおこなわれることが望ましい。「理科」、あるいは「家庭科」において、あるいは「総合的な学習の時間」において積極的に実施しようとする教員があれば、そのような目的に添う適切な教材が用意されている。(18,19)

（中学校理科）

（教室での授業で）放射線に関する多くの項目のうち基礎的・基本的なもの、放射線・放射能の本質（その理解にはまず原子の構造の理解が必要）、放射線の種類、ウラン、放射能の半減期、原子核分裂、自然放射線がこの環境に昔から存在すること、それがどこから来ているか、どのくらいの量であるか、放射線はエネルギーの一種であること、放射線の性質はどのようなものであるか、放射線を人体が受けるとどのような影響があるか、（それを大量に受けたとき

と少量受けたときとの違い)、放射線は現在どのように利用されているか(医療、産業、農業)、また、そこに放射線があるとわかった時、それを防ぐにはどうすればよいか、など。これらに関して、種々の良い教育資料が出版されている(20,21,22)。

(理科の実習で)身の回りに自然放射線が存在していることを実感する経験を積むこと。それには、①「はかるくん」、②「霧箱」、③「GM 計数管」という3つの計測方法がある。放射線の実習に関しても、良い指導書があり、方々で教育実績が積まれている (23,24,25)。

もしこの提案(義務教育課程において放射線実習をおこなわせること)が採用されれば、小・中学校のすべての学校に放射線計測器を備えることを義務付ける必要があるであろう。

6.「原爆」に関する教育について——小学校社会科、中学校社会科等において、原爆について児童・生徒に教えるときに、教師に知っておいてもらいたい事実

(1)原爆投下直後の惨状について、教科書で、例えば「*原子爆弾(原爆)が投下され、いっしゅんにして数万人もの人々がなくなりました。・・・*」(M 図書、社会6年上巻)(T 書籍、同)の記述があるが、これは正確ではない。「*両市とも、数千度の高熱と猛烈な爆風を受けて一瞬のうちに壊滅し、大量の放射線をあびました。犠牲者は、数週間のうちに、広島で 14 万人、長崎で7万人に達しましたが、・・・この残虐な兵器により、被爆者は・・・*」(大阪書籍、中学社会歴史的分野)のほうが正しい。被爆者は、文字通り筆舌に絶するような、「*それは生きながらの「地獄」といったらよいのだろうか、・・・*」(S 書院、新中学歴史、長田新「原爆の子」からの引用)という、非戦闘員である大勢の一般市民が、戦争とはいえ、世界の歴史で始めて、非人道的な兵器の犠牲になった、という事実を、生存者の口述で始めて知るのではなく、充分に認識すべきである。

(2)その半面において、原爆の被害を大きく伝えたいとの意図は理解できなくもないが、「*原爆の被爆者は放射線の後遺症により犠牲者は被爆後何十年も経過した現在も増え続けている。*」という記述が教科書によくみられる。(これはチェルノブイリ事故に対する報道についても全く同様である。)被爆者が、幸い死亡を免れても、長いあいだ身体的にも心理的にも、また社会的にもいろいろ苦労をされたことは事実であり、同情に値するものである。しかし、被爆者と一般の方との健康状態を統計的に比較すると、現在ではその生存率において、被曝者もそうでない人も、殆ど差がなく、むしろ被曝者のほうが長命であるようだということが長崎大学の学問的研究で明らかになっている (26)。問題は、一度健康に悪影響がある、と思い込むと、そのことによる心理的効果が実際に健康に悪影響を与えることである。このことは、チェルノブイリ事故の後始末に従事した人々について報告されている。真に「被曝者の救済」をいうのならば、放射線の影響に関して間違った情報を一般の人が信じ、また被爆者に信じさせることは被爆者を無用に苦しめることになるので、この現状は、特にマスコミ関係者の報道の態度は改善する必要がある。

(3) 原子力の軍事利用と平和利用について。同じく原子核分裂の連鎖反応であるのにどこがちがうのかというと、原爆では臨界条件以下のウラン(またはプルトニウム)を合体させて連鎖反応を短時間の間に爆発的に起こさせるのに対し、原子力発電では(通常熱中性子にした中

性子を用いて）連鎖反応を制御してエネルギーの発生を少しずつ行っていること、など。

（4）原爆で放出されたエネルギーのうち、爆風と熱線によるものがそれぞれ５０%、３５%であり、残りの１５%が放射線のエネルギーであること。

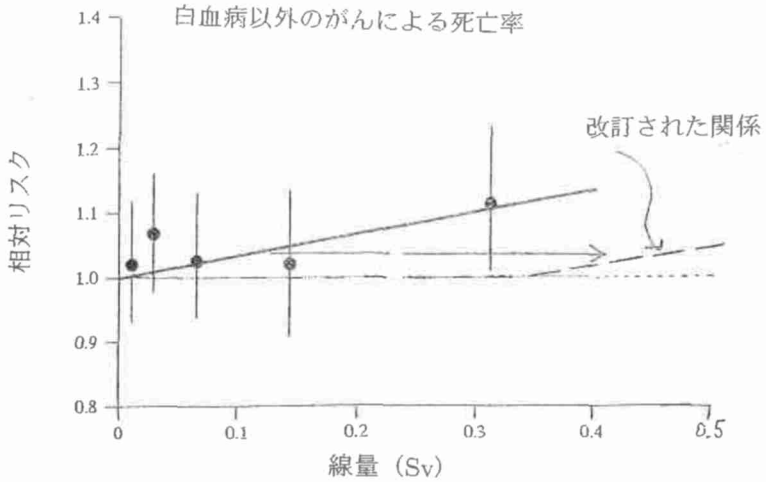
(5)戦後 60 年経過したのに、また日本からの「核廃絶」への願いも空しく、地球上のどこかで戦争が起こっており、原爆を持とうとする国が後を絶たない。このことをどのように生徒に説明するか、教師は自分の考えを持たねばならない。上記の「原爆の子」の手記でも（清水書院、中学校社会）も「・・・*最後にいいたいと思うことは、「戦争とは何か」「平和とは何か」「平和を守るのに、なぜあの恐ろしい原子爆弾がいるのか。*」と問いかけている。

（6）放射線・放射能について、言葉についての一方的イメージをできるだけ排除して、できるだけ客観的・科学的事実を知るべきである。万一、自分の国に、あるいは自分の近くに、ミサイルを打ち込まれて、そして、そのときに放射性物質が撒き散らされるようなことがあったとしても、その場合はどうすればよいか、という知識を持っていることがこれからの人には必要ではないかと思う。少なくとも知識でもって防衛しておく必要があると思う。

(7) 一般に放射線・放射能について、またそれの人体への影響について、すでにいくつか紹介したが、わかりやすく書かれた著書が出版されているので、一部をここに記載する(27,28,29)。

７．低レベルの放射線影響に関する事実―放射線の被ばくの影響にはしきい値があること(11)

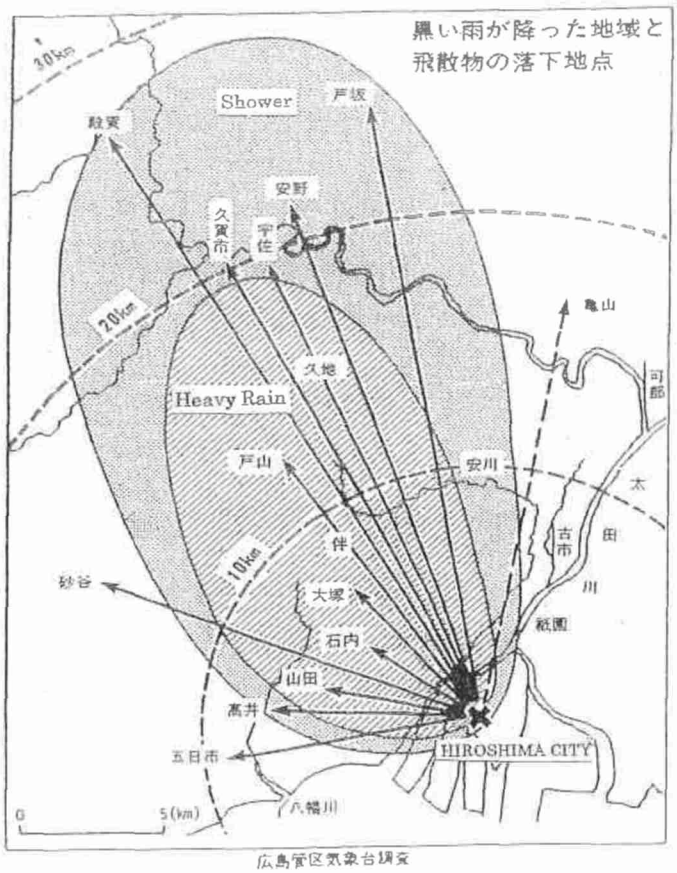
現在の放射線・放射能に関する規制は、「放射線の影響は少量のときでも大量のときと同じ割合でリスクがある」とする、いわゆる「しきい値なしの直線的仮説」(Linear Non-Threshold, (LNT)仮説）に基づいている。この考え方を国際放射線防護委員会（ICRP）が放射線防護の基本的原則としており、日本の放射線法規もこれに準拠している。しかし、少量の放射線は、われわれの環境に自然放射線として存在していて人間の身体はそれにある程度順応できており、放射線はある量以下では実際的には全く無害であり、少量の放射線は生命の維持にとり必須になっているとの考え方もある。放射線は少量でも有害であるとする LNT の考え方は多くの人々に仮説でなく科学的事実であると思われていて、人々が「放射線恐怖症」になっている大きな原因でもある。LNT 仮説を唯一実験的に支持していると考えられているのが、広島・長崎の原爆の被爆者が癌で死亡する割合の疫学的データである。しかし、われわれは最近、この事実に関するこれまでのデータ解釈法に誤りがあり、厳密に考察してみると、被爆者のデータから、放射線の人体影響については、ある程度の低い線量まで



第１図　ＲＥＲＦ（放影研）による線量－反応曲線(実線)としきい値のある改訂された曲線(点線)

は、全く影響がなく、いわゆる
「しきい値」があることがわかった。これについて説明する。

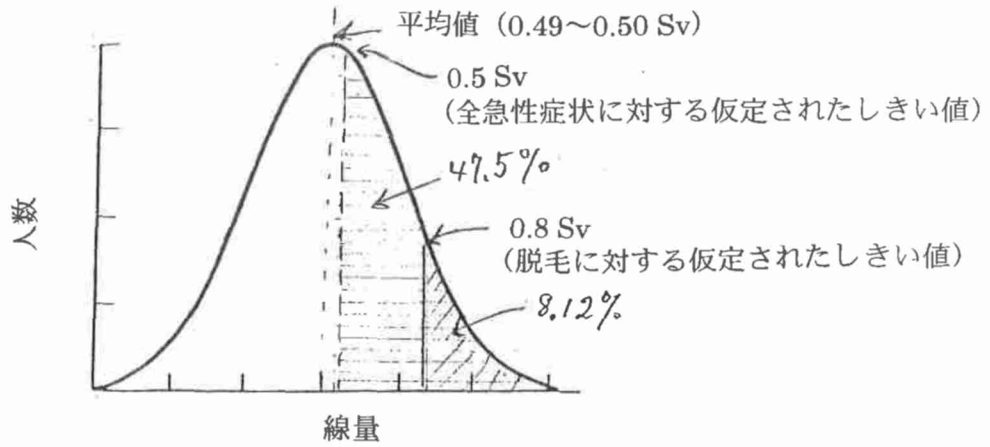
ここでは、第１図のように「線量―影響関係」という図表を作り、横軸にいくつかのグループに分けた被爆者の受けた放射線の量(線量)をとり、縦軸に影響として、被爆者で癌になって死亡する人の数が被爆しなかった人に比べてどのくらい違うかとかという割合をとり、その関係を調べている。その曲線の傾斜から、横軸の被ばく線量に応じて、どのくらい有害な効果が現れるかを見積もるのである。現在、その関係は図の左端の線量ゼロ、相対リスク１から一定の傾斜を持った直線で立ち上がるとみなされている。



第２図　　”黒い雨”の降った地域

ところが、これまでの解析では、横軸にプロットした被爆者の線量の見積もりに誤りがあったのである。すなわち、原爆を直接被ばくした人は、いろいろな原因による放射線を受けている。それらは、「急性(外部)被ばく」として原爆炸裂時のγ線と中性子線、これらは身体外部からの瞬間的な「外部被ばく」である。そのほか、「慢性外部被ばく」として、①「黒い雨」などのフォールアウトから、②地面の中性子照射による誘導放射能から、③これらの原因による汚染地域への立入りによる被ばく、また「慢性内部被ばく」として、④体内(例えば血液中)での中性子誘導放射性核種の生成による被ばく、⑤汚染した水・食物などの体内への摂取による被ばく、がある。ところが、これまでの線量評価では、原爆投下時の瞬間的な被ばく線量だけしか考慮されてこなかったのである。当然考慮すべきものについて、①のフォールアウトについては、第２図に示すように、原爆投下直後に、(広島では西北部に向けて、長崎では東の方向に)かなり長時間、濃度の高い放射性核種を含んだ「黒い雨」が降った。これについて多くの記録がある。有名なエピソードとして、当時の気象技師宇田道隆氏の子息の例がある。この小学６年生は山奥の学童疎開から戦後広島に帰宅したが、黒い雨に含まれていた放射性残留物の付着していた雨戸のそばで寝ていたので髪の毛が脱毛し始め、調査により、黒い雨の放射性の泥分のためであることが判明した。

③については、被爆者が、爆心地に近い高汚染地区に何等かの目的(親戚や友人の見舞い、救護など)で比較的長時間立ち入ったことによる追加的被ばくである。この量をすべての被爆者について見積もるのは困難であるが、参考になるのは、直接原爆を被災しなかったが、直後に救援などの目的で市内に立ち入って被ばくした「入市被ばく者」のデータである。これらの人の中でも原爆炸裂後数日のうちに立ち入った「早期入市被爆者」の中に、直接被爆者同様に、



第３図　　正規分布を仮定した直接被爆者の全被ばく線量の見積り

放射線障害の症状（脱毛、貧血、下痢、皮膚に斑点など）を発症した人が大勢いることで、中には死亡に至った例すら少なくないことである。この事実は、公式報告書や被ばく者の手記のほか、関係者の証言に基づく文学作品（例えば井伏鱒二「黒い雨」など）に多くの記録がある。直接被爆者も、かなりの割合の方々が入市被爆者と類似の行動をしたであろうと想像できる。問題は、このような原因による慢性被ばく線量をどのようにすれば見積もることができるかである。

われわれは、被爆者が被爆後約半年の間に発症した脱毛などの急性障害の発症の割合が、全被ばく線量を推定する上で重要な指標になるということを見出した。広島の於保源作という医師は「原爆残留放射線障碍の統計的観察」という論文で、爆心地からの距離、被爆が屋内か屋外かなどによって、脱毛などの放射線障害の発症の割合がどう異なるかのデータを発表している。われわれは、このようなデータを使って、直接被爆者の線量の分布が正規分布を取ると仮定し、平均的な全被ばく線量を推定することができたのである。

すなわち、第３図に示すように、脱毛の症状の出る「しきい値」を 0.8 シーベルトと仮定し、発症の割合として 8.12%（８グループの報告で 117,914 人の被験者中 9,579 人が発症）の数値を用いて、正規分布の平均値を求めると 0.50 シーベルトとなる。また、脱毛を含む下痢、嘔吐などの各種の急性放射線症状の発症の割合のデータ 47.5%をもちい、発症のしきい値を 0.5 シーベルトと仮定すると、正規分布の平均値は 0.49 シーベルトとなる。これらの値の平均値 0.495 シーベルトから、放射線影響研究所のデータを使って計算した瞬間的被ばく線量のみの平均値 0.123 シーベルトを差し引くと、慢性的被ばく線量は 0.372 シーベルトであると計算することができる。

結論として、原爆生存者の全被ばく線量のうち、これまで考慮されていなかった慢性的被ばく線量を約 0.37 シーベルトと見積もることができる、すなわち、低レベルの放射線によるがんの発症については約 0.37 シーベルトのしきい値が存在するということができる。

8．おわりに

学校におけるエネルギー教育、原子力・放射線教育は、その重要性が認識されている割には、従来はその取り上げ方が不十分であった。日本の将来を考えるとき、この現状はぜひとも改善されねばならない。われわれ放射線教育フォーラムは、2005 年 8 月に文部科学省に「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」という要望書を提出した。その後、子供の発達段階に応じて教えられるべき具体的な内容を検討して要望書補足資料として提出した。いる。この問題は純粋な理科の科目のみの問題でなく、公民や地理・歴史など種々の科目に関連したものであり、「総合的な学習の時間」で学ぶのに相応しいものである。

学校教員の方々におかれては、まず正確な科学的知識と公正な倫理感覚・価値観に立脚して、その上でわが国や私たちの暮らしの将来はいかにあるべきかという、現実的であって同時に進歩的・前向きに社会全体を向上させようという理想をもった考え方にたって生徒の指導に当たっていただきたいと希望する。そのためには、いつも新しい知識・情報を吸収する努力を怠らず、教室での指導内容を、そして教育効果をさらに高めていただきたいと考える。指導内容を高める、ということは、単に専門的に難しいことを教えるのではなく、難しいことをわりやすく説明するにはどうすればよいかとつねに考えること、教員自身がより正確な情報を探求する意欲をもつことである。さらに言えば、一見困難そうな、あるいは人が嫌がる仕事だが社会には必要な仕事というものが必ず存在し、それに積極的に身を投じて挑戦しようとする資質を持った人材を社会は求めているのであるが、このような方向で先生自らが範を示すことが人間的に信頼を得ることになり、結果として教育効果を上げることに繋がると思う。社会は人の集まりであり、信頼こそは人と人とのコミュニケーションの基本である。

9．文献

(1)「知っていますか? 放射線の利用」、岩崎民子著、丸善、平成 15 年 7 月

(2)「放射線利用の経済的規模」、http://mext-atm.jst.go.jp/atomica/08010406_1.html

(3)「放射線はどこまで危険か」、菅原　努監修、マグブロス出版、昭和 57 年 6 月

(4)「人は放射線になぜ弱いか―少しの放射線は心配無用」、近藤宗平著、講談社、1998 年

(5)「放射線と健康」、舘野之男著、岩波新書、2001 年

(6) 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 8 月 15 日、NPO 法人放射線教育フォーラム

(7) (6)松浦辰男、「放射線・原子力教育――根拠のない不安を取り除く」、エネルギーレビュー、2004 年 12 月号, 22－25

(8) 松浦辰男・飯利雄一著、「放射線・原子力教育と教科書」研成社、pp.156、1998 年 2 月

(9)「過去 2, 3 年の高等学校教科書における原子力・放射線関係の記述の傾向」、日本原子

力学会誌、Vol.43, N0.5, 487-402 (2002)
(10)「中学校社会科地理・公民・理科の教科書における原子力関係の記述について」、関本順子、高木伸司、松浦辰男、「学校における放射線教育放射線教育－－放射線教育フォーラム2001年度成果報告書」、2002年3月
(11)「日本の中学・高等学校教科書における放射線関係の記述に見られた傾向」、松浦辰男・関本順子・高木伸司・飯利雄一、放射線教育に関する第 3 回国際シンポジウム報文集、JAERI- Conf 2005-001, 319-328
(12) 松浦辰男・菅原　努、「原爆生存者の疫学的データから導いた線量-反応関係のしきい値の存在について」、http://www.iips.co.jp/rah/spotlight/kassei/matu_1.htm
(13) 松浦辰男・田中隆一、日本原子力学会2006年秋の大会での発表
(14) 松浦辰男・今村　昌・長谷川圀彦・橋本哲夫・朝野武美・小高正敬共訳、「放射線と放射能――宇宙・地球環境におけるその存在と働き」、(I. G. Draganic ほか著、"Radiation and Radioactivity on the Earth and Beyond"、学会出版センター、1996年
(15) 松原純子、日本原子力学会2006年秋の大会での発表
(16)「放射線に対する意識と学校教育の影響」、西谷源展、日本放射線技術学会雑誌、第60巻、第11号、1555－1563　(2004年11月)
(17) 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」に関する補足文書、平成18年10月、NPO法人放射線教育フォーラム
(18)「小学生のための原子力ブック」、茨城県、平成13年3月
(19)「わたしたちのくらしを支える原子力」、原子力ポスターコンクール　授業テキスト、対象学年：小学3年以上、2006年6月20日、エネルギー教育全国協議会
(20)「中学生のための原子力ブック」、茨城県、平成13年3月
(21)「わたしたちのくらしを支える原子力」、原子力ポスターコンクール　授業テキスト、対象学年：中学生以上、2006年6月20日、エネルギー教育全国協議会
(22)「わたしたちのくらしと放射線」、WEN「くらしと放射線」プロジェクト、平成15年(第3版)
(23)「紙筒ガイガー計数管を用いた放射線の測定」、三門正吾、Isotope News, 2006年9月、31－34
(24) 高等学校　新しい理科教育　－理科教育現代化講座指導資料－、1974年、文部省
(25)「エネルギー・環境教育　教師用ガイドブック」(データ解説・ワークシート) 高等学校用、NEDO,ICEE,　平成10年3月
(26)「長崎の原爆生存者の死亡率について」、三根真理子ら、「放射線教育に関する国際シンポジウム報文集、1998年、85ページ
(27) 松浦辰男著、井上勝也監修、「放射線元素物語」、研成社、pp. 154 (1992年3月)
(28)「放射線の影響がわかる本」、(財)放射線影響協会、2000年11月
(29)「みんなで考えよう、身近な放射線利用と、人への影響とリスク」、松原純子著、エネルギー情報研究会議、2005年3月

放射性廃棄物処分を正しく理解するために

－自然から学ぶ、地層処分の安全確保のしくみ－

富士常葉大学　環境防災学部　湯佐　泰久

1．はじめに

原子力発電が『トイレ無きマンション』と言われたり、それから生じる高レベル放射性廃棄物について、『数万年という超長期の間、処分の安全性を確保できるような技術はない』、と言われることがあります。

実は、高レベル放射性廃棄物をいかに安全に処分するのか、という問題については数十年以上前から、様々な永久隔離の方法が、世界各国の、しかも、様々な分野の研究・技術者により検討され、その結果、その最有力候補として地層処分が選ばれたという経緯があります。一方、『地層処分』というと『地下にポイ捨て？』、というイメージを持つかもしれません。この大きな違いは地層処分の安全確保の考え方を正しく理解して頂くことによって、少なくなると思います。

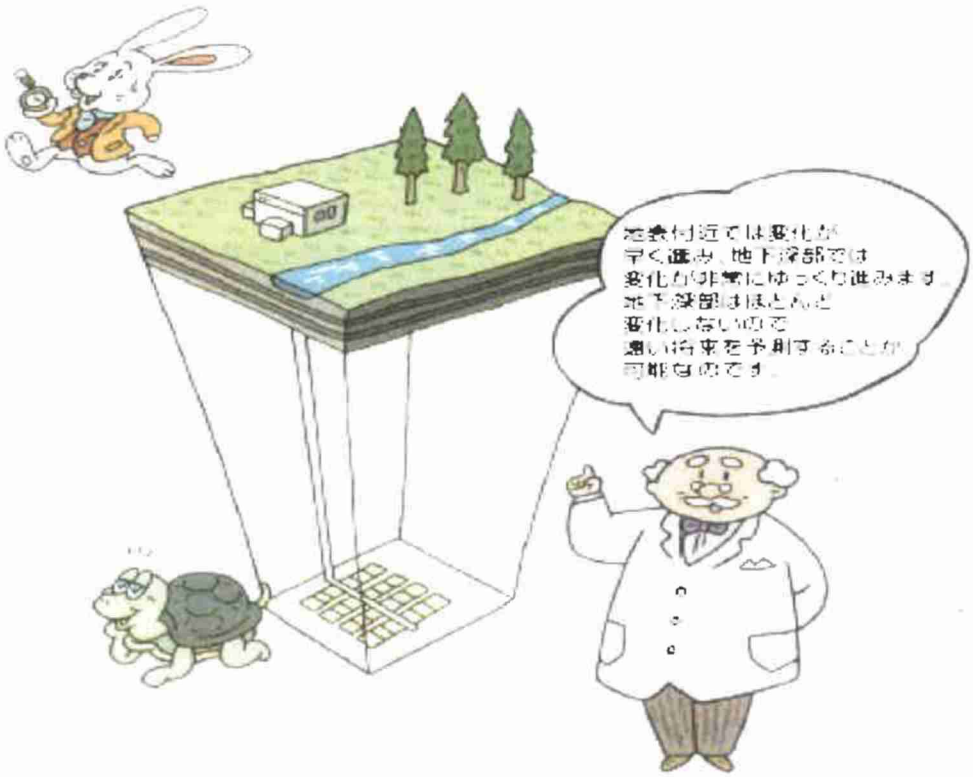


図　1　地表と地下深部の違い（原子力発電環境整備機構 2003 地層処分 その安定性）

人間の寿命程度の短期間であれば、人間が安全に管理することは可能かもしれません。しかし、数万年以上の超長期については、他の方法を考える必要があります。そこで注目されたのが地下資源の保存例です。

石炭・石油や金属鉱物が地下深部に数億年以上にわたって保存されている例が多くあるように、地表に比べて、ほとんどの地下深部は超長期にわたり変化しません。この性質に着目して、廃棄物を地下深部に配置し、長期にわたって人間の生活環境から隔離することが考えられたのです。（さらに、安全性をより確実にするために、人工的な複数のバリア（障壁）材料を廃棄物の近くに配置することも加わったのが、今の多重バリアという考え方の地層処分の考え方になりました。）すなわち、この考え方は『人間の管理技術によって安全を保つ』というこれまでの考え方とは全く異なります。それで、なかなか、理解されにくいのです。

私は約 25 年間以上も前から、高レベル放射性廃棄物の地層処分についての（高レベル放射性廃液のガラス固化試験から人工バリア材料の耐久性研究、および、地下深部の調査研究やその長期安定性の研究まで）ほとんどの研究開発に関係してきました。そして、地層処分という方法が日本でも最も有望で実現可能な方法であると確信するようになりました。今回、その安全確保の考え方について、自分の研究体験や国内外の研究者との意見交換を通して分かったことをできるだけ分かりやすく説明したいと思います。この問題に関心を持って頂けるとうれしいです。

（参考にさせて頂いた文献等は割愛させて頂きます。資源エネルギー庁、原子力発電環境整備機構、日本原子力研究開発機構、原子力環境整備促進・資金管理センターなどのホームページを参考にしてください。）

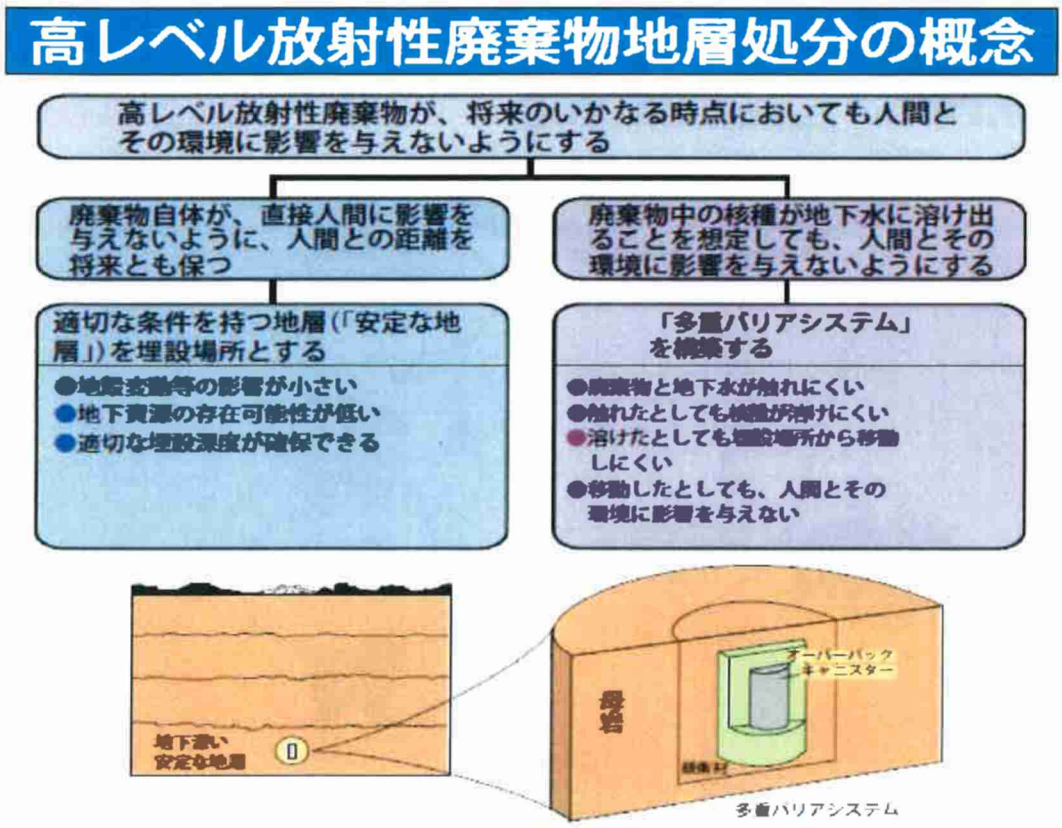


図 2 高レベル放射性廃棄物地層処分の概念（電気事業連合会 2003-2004 原子力図面集）

2．高レベル放射性廃棄物とその処分方法とは

2－1．高レベル放射性廃棄物はどのような特徴を持っているのでしょうか。

原子力発電で生じた使用済燃料は再処理して、その 95～97％は再利用されますが、残りは高レベル放射性廃棄物になります。その放射能レベルは千年経てばずっと低くなりますが、自然界のウラン鉱石と同じレベルまで下がるには数万年かかります。そのため、10 万年程度の長期にわたる安全な処分方法が求められています。

なお、一般廃棄物や産業廃棄物と比べると、その発生量はケタ違いに少なく、仮に日本人一人が一生に使う電気の半分を原子力で賄ったとしても、発生量はゴルフボール３個分ほどで、しかも、その性質や量も正確に把握されています。また、厳重に管理されています。

2－2．処分方法についてはどのように考えればよいのでしょうか。

遠くにいるライオンや檻の中にいるライオンが怖くないように、高レベル放射性廃棄物を閉じ込めて、人間の生活範囲から離しておけば恐れる必要はありません。

地表の貯蔵施設を建設しても人間が管理できる期間は数百年です。その後は人間の管理によらない方法が必要になります。宇宙空間へ放出する方法はロケットの打ち上げ失敗が心配で、現在はほとんど検討されていません。氷床や海洋底へ処分する方法も国際的な同意が得られません。そこで、ほとんどの国が地上よりははるかに安定な環境が保たれている深い地下に、半永久的に埋設する方法、地層処分することを最優先して、その研究が進められています。

2－3．その地層処分方法はどのような手順で行なわれるのでしょうか。

まず、高レベル放射性廃液をガラス原料と混ぜ合わせて、ステンレス製のキャニスターという容器の中で安定な形に固めます。これは放射線と熱を出すので、30～50 年間、冷却のため専用施設で貯蔵します。その後、オーバーパックという厚い炭素鋼の容器に密閉し、外側をベントナイトという粘土で覆って深地層に埋設します。廃棄物ガラス・オーバーパックおよびベントナイトから構成する『人工バリア』に加え、物質を隔離･保存する力を本来持っている地層という『天然バリア』を組み合わせた『多重バリアシステム』で放射性物質の動きを封じ込めるわけです。

3．自然界の類似現象から学んだ知恵

3－1．廃棄物ガラス、オーバーパックやベントナイトにはどんな性質があるのでしょうか

ガラスは不規則な網目構造を持っているため、さまざまな元素をその中に保持できます。色ガラスが割れても色だけが出てこないように、割れても放射性物質が漏れることはありません。

オーバーパックは厚い炭素鋼の容器であり、ガラスと地下水の接触を防ぎます。酸素のない地下では酸素と反応する腐食は起こりません。ベントナイトは粘土の一種であり、水の通り道となる割れ目ができたとしても、水を吸い込んで膨張し水を通しません。また、放射性物質を吸着して、動きにくくする性質があります。『人工バリア』と呼ばれるこれらの材料は、自然界にある類似現象に学んで採用されたのです。

3－2．類似現象とは具体的にどのようなものですか

ガラスについては、富士山や伊豆大島の火山ガラスが地下水でどのように変化するかを調べた

結果、千年経ってもほとんど変質しないことがわかりました。ベントナイトは新潟県の粘土鉱山を調査しましたが、ここにはベントナイトにマグマが入り込んでいる所があり、粘土層が 100～160℃の温度になっていても二百万年間変質しないことを確認しました。鉄や銅が粘土に包まれている場合にはほとんど腐食しなかった研究成果も得られています。千葉県に、火山ガラスの粒が粘土に囲まれている地層があり、これは廃棄物ガラスがベントナイトに包まれた状態の類似例です。この場合、ガラスは百万年間、まったく変質していませんでした。

これらの自然界の類似現象の研究結果から、地層処分に想定される条件では人工バリアはその性能を長期にわたって保持されることが分かりました。

４．天然の原子炉からどんなことがわかりましたか

1972 年、アフリカ・ガボンのオクロ・ウラン鉱床で『天然の原子炉』が発見され、20 億年前にウランが自発的に核分裂連鎖反応を起こしていたことがわかりました。その間、1000 トン以上のウランが核分裂連鎖反応に関係し、100 万キロワット級の原子力発電所５基が１年間に発生する量に相当する熱を出しました。すなわち、約１０トンの高レベル放射性廃棄物ができた、ということです。しかし、発生したプルトニウムなどの放射性元素の多くは、発生した場所から２０億年間、ほとんど動いていないことも分かりました。『オクロの天然原子炉』は『高レベル放射性廃棄物が地層の中に安全に処分された証拠の化石』でもあるのです。

図 3 アフリカ ガボン共和国 オクロ天然原子炉（藤井 勲,1991,地質ニュース 439）

５．地質環境の性質を知り、自然の仕組みに学ぶ

５－１．地下の環境についてはどのような研究がおこなわれていますか。

地表から地下深部までの地層（岩盤）とそこに含まれる地下水などの『地質環境』を解明するための研究がおこなわれています。また、地質環境が今までどう変化してきたか、そして、今後、どうなっていくのかという長期安定性についての研究も進められています。なお、これらの研究では放射性物質を用いることはありませんし、その調査研究地域を処分場とするための研究ではありません。自然の仕組みを理解しないで地層処分を議論するのは無意味なので、その土台となるよう、研究成果は学会誌などで公表されています。

５－２．どのような成果があがっていますか

岐阜県の東濃ウラン鉱床は、約二千万年前にでき、その後、隆起・沈降や地震・断層活動にもかかわらず今まで保存されていて、天然の地層にはウランを長期保存する能力があることが確認されています。これはウランが溶けるために必要な酸素が深い地下には無いからです。酸素が水に溶けて地下にしみ込んでも、岩石中の鉄や有機物と反応して地下水には酸素は残りません。そのために、ウランやそれに良く似たプルトニウムなどの超ウラン元素なども半永久的に地層に保存されると考えられます。

東濃では地下 150mの場所で地下水が流れる速度は 1 年間、約３㎜ です。地下水は深くなるほどゆっくり流れます。物質の移動も遅くなることが分かっています。

５－３．地層による放射性物質の閉じ込めは大丈夫なのですか

長い年月を経て、仮に放射性物質が容器から漏れた場合を想定してみましょう。深い地下の水流は非常に遅いため、地表の場合より広がる速度やその範囲ははるかに小さいと言えます。岩盤自体も亀裂に放射性物質を吸着させる性質があり、亀裂の中で時間が経過するうちに放射能は弱まっていきます。岩盤は、人間が生活する地表と放射性廃棄物を遮断する有効な壁になっているのです。

５－４．日本に多い地震や断層などの影響は心配ないのですか

地震については地下ほど揺れが小さいことが実証されています。コップに水を入れて揺らすと、表面は波立つのに、下の方の水ほど動きにくくなるのと同じ原理です。断層は新しくできることはほとんど無く、過去数十万年間、断層活動は既存の断層地帯で起こっています。また、場所を限定して地下を詳しく調査をすれば、地表では分からなかった小さな断層も詳しく分かります。火山活動については、過去、数百万年間、火山活動が見られない場所が存在していて、こうした場所を選ぶことは可能です。

５－５．日本は地下水も多いと言われてますが、その点は大丈夫なのですか

東濃ウラン鉱床のウランの多い部分の地下水を調べた結果、ウランはまったくと言ってよいほど、含まれていませんでした。このことは５－２．で書いた通りです。よく、ヨーロッパやアメリカのような海外の国に比べて日本の地下の岩盤は地下水が多いと言われますが、大事な点は地下水量ではなく、その化学的な性質で、地下深部の地下水には溶けている酸素がないため、そのような水質の地下水にはウランは溶けないことなのです。このような化学的な性質はその地層が地表に露出しない限り、永遠に保たれると考えることができます。問題は水の量や流速ではなく、水の（化学的）性質なのです。

５－６．日本の地下の岩盤には水道となる割れ目が多いと言われますが、この点はどうですか

岩手県の釜石鉱山の地下の岩盤とそこに見られる割れ目を調べてみました。その結果、割れ目

や割れ目近くの岩石には変質鉱物も含まれていることがわかりました。変質鉱物はウランや長寿命の放射性核種を吸着して動かなくする能力があることが実験や釜石の岩石の調査で、確かめられています。

５－７．今後はどのような研究がおこなわれるのですか

現在、日本原子力研究開発機構などが処分概念やそのバリア材料の研究や安全評価の手法開発などを実施しています。また、原子力発電環境整備機構がその処分場選定やそれに関する研究を行っています。

また、地下の環境などについては、日本原子力研究開発機構が、北海道の幌延深地層研究センターや岐阜県の瑞浪超深地層研究所において、地下坑道を掘削し、『どのような調査をすると、どこまでわかるか』調査研究しています。このような施設を地下研究施設といいます。なお、この研究では放射性廃棄物を持ち込むことはありませんし、この地域を処分場とするための研究ではありません。今後も自然から多くを学びとり、科学技術に活かしていくことが大切だと思います。

６．おわりに

高レベル放射性廃棄物は、長期にわたって毒性が続きます。そのため、長期的に人間が管理するのは不可能で、人間の生活圏から隔離することが検討されました。そして、何十年にもわたって世界中で様々な分野の研究者が考えて最善の策として選ばれたのが、（多重バリアシステムとしたうえで、）地下深部へ処分するという選択です。オクロ天然原子炉の研究などの結果、地下深部は安定で隔離に好ましいと分かったからです。

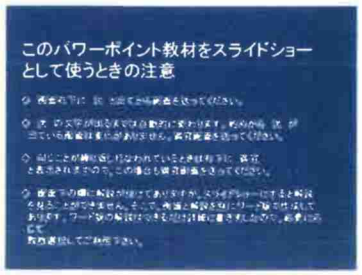
アメリカやヨーロッパ各国など世界中の国で、地層処分の安全性についての様々な研究が精力的に行われ、国際会議などで議論されています。また、最終処分場の選定についてもさまざまな調査研究や地元への説明が実施され、その結果、フィンランドやスウェーデンでは、すでに最終処分場の予定地が決定されています。

スペインの著名な建築家、アントニオ・ガウディは『人間のやることはすべて神が書いた書物、「自然」の中に述べられている。人間はそれ（自然）から学ばなければならない』と言っています。『学ぶ』の古語は『真似ぶ』だそうです。環境問題のひとつである『廃棄物を安全に処分する』という課題についても、自然での仕組みや現象を良く学び、地層処分をどのようにすれば安全なのかを謙虚に教えてもらうことが大切だと思います。

福島原子力発電事故をどのようにとらえ、学校でどのように指導したらよいか

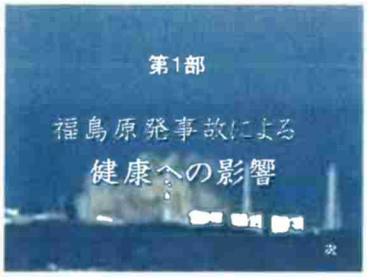
第１部　福島原発事故による健康への影響

放射線教育フォーラム



1

2



3

この PPT 教材作成の意図

中学校理科でエネルギー資源の１つとして原子力発電を扱うことになったが、福島原発事故の影響を受けて、学習指導要領の範囲※では原子力発電をどのように指導すべきかが明確でないため、中学校の教育現場では戸惑いを見せている。

現在出回っている原子力副読本等の記載内容は、福島原発事故以前に作成されたものであり、事故によって明らかにされた原子力発電の安全性への疑問に応えていない。たとえば五重の壁、非常用炉心冷却装置は電源が確保できていないと役立たないことなどに触れていない。

そこで、原子力発電についての科学的に正しい知識を与えると同時に、福島原発事故原因については理科の範囲を越えた広範囲な社会的・経済的見方・考え方ができるようにすることを目的に、「総合的な学習の時間」の指導にも使える教材になるよう、報道された情報を広範囲に収集し、パワーポイントとして構成した。

福島原発事故はまだ収束していない。原因究明も進行中で結論は出されていない。しかし、この教材は結論を出すことではなく、事故を通じて科学技術、文明、生き方、リスクなど様々なことを考え、討論するめの教材として提供することを意図した。

単位について

ベクレル：放射性物質の量を表す単位　（単位記号[Bq]）。
１ｓ(秒)間に１つの原子核が崩壊して放射線を放つ放射性物質の量が１ﾍﾞｸﾚﾙ[Bq]。
例えば、毎秒 100 個の原子核が崩壊して放射線を出している場合、100 Bq。

シーベルト：放射線は種類（α線、β線、γ線など）によって生体へ及ぼす影響が異なる。そこで放射線の種類に関係なく生体に与える影響を１つの尺度にまとめて表すように考えられたのがシーベルトという単位（単位記号：ｼｰﾍﾞﾙﾄ[Sv]）である（ただし、これは厳密・正確な解説ではない。厳密な定義をするためには**放射線の**吸収線量（放射線から受けるエネルギー　単位はグレイ）の解説を必要とするため省略。）。
千分の１ｼｰﾍﾞﾙﾄ＝１ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄ[mSv]　千分の１ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄ＝１ﾏｲｸﾛｼｰﾍﾞﾙﾄ[μSv]
被ばく時間（放射線を受けている時間）を、１時間あたり　/h、１年あたり　/y　などで表す。
生物は自然界から自然放射線を毎年 2.4 ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄ/y（世界平均）（日本の平均は 1.4 ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄ/y）受けている。国際放射線防護委員会（ICRP）は　一般公衆が１年間に放射線を受けてもよいとする基準量を１ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄ（mＳｖ）（自然放射線　医療によって受ける量を除く）以下にするよう勧告し、日本の法律でも１ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄ/ｙを管理目標値に定めている。この値を基準と考えて、シーベルトの単位で示された放射線の量が多いか少ないかを相対的に比較すればよい。詳細数値は本文中に記載。

食品のベクレルをシーベルトに換算する方法：放射線の種類によって生体が受ける影響が異なるのであるから厳密な換算は簡単ではない。以下の計算式によって得られる値はﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄ/ｙのおおよその概算値である。
（食品のベクレル）×（１日に食べる量 kg）×0.0073
例えば肉などの食品の暫定基準値は 500 ﾍﾞｸﾚﾙであるから、500 ﾍﾞｸﾚﾙの肉を毎日 100g 食べ続けると、（おそらくそのような人はいないと思うが）１年間に体内で受ける放射線の量は
500bq　×　0.1kg　×　0.0073　＝　0.365　ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄ/y
１年あたり約 0.4 ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄであるから、肉だけでは直ちに健康に与える影響はないと言えるが、放射性物質汚染地域の人はその他さまざまな地元食品を食べているのであるから、それぞれから受ける放射線の量を合計しなければならないので、１ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄ/ｙを超えることもあり得る。つまり、１つの食品のみの放射線量を単独に評価することはできない。

本教材の解説（指導資料）の情報はテレビ・新聞の報道から取ったものが多いが、可能な限りそのニュースソースを調べて確認し、さらに専門家の校正を受けた。　写真の多くは web から引用し、出典の明らかなものは記載したが、孫引き、ひ孫引きなどの写真で原典の不明のものは記載していない。

（編集責任者　NPO 法人放射線教育フォーラム　黒杭　清治）

水素爆発した福島第一原発

4

5

4．安全・安心を信じていた原子力発電でしたが、わが国では絶対起こらないと言われていた原子炉のメルトダウン（炉心溶融）が福島第１原子力発電所で起きました。

核燃料を入れた容器（圧力容器と格納容器）が壊れ、建屋内での水素爆発によって大量※の放射性物質が大気中に放出され、当初の政府発表よりはるかに深刻で広範囲にわたり放射性物質が飛散しました。事故のレベルはチェルノブイリ原発と同じ最高段階の７（深刻な事故）と評価されています。

5　福島第一原子力発電所の事故は 2011 年 3 月 11 日午後２時 46 分ごろ、三陸沖を震源とするマグニチュード９（M9）の地震と大津波に襲われ全電源が喪失したために原子炉を冷却することができなくなったことが原因ですが、未経験の出来事であったことと、訓練不足による事故対応の手順の悪さが事故を拡大させ、大量の放射性物質を広範囲に飛散させる結果になりました。

集団避難

6

無人になった双葉町

7

6．政府は福島第１原発から半径 20ｋｍ以内に避難指示を出しました。福島第１原発の地元双葉町は３月 19 日、1,000 人以上をさいたま市のスーパーアリーナに集団避難させ役場機能も同アリーナに移転しました。その後 30ｋｍ以上離れた飯舘村までが計画避難をさせられることになりました。

7．放射線被ばくを回避するため「念のため」という避難指示でしたが、放射線の強いところはチェルノブイリ原発事故の強制移住地域の放射線の線量を超え、長期にわたって立ち入り禁止区域になった光景を、誰が事前に想像できたでしょうか。

福島第１原発の水素爆発は自然現象ではありません。しかし、原子炉の建屋内で水素爆発が起こることは原子力の専門家でも想定した人は誰１人としていなかったのです。

放射性物質汚染地図

8

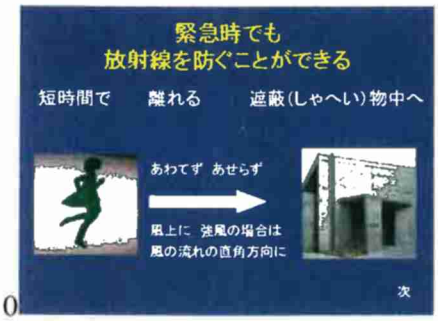
放射性雲

9

8. これは福島原発の水素爆発で放出した放射性物質が 2011 年４月５日～７日に広がった汚染地図です。放射性物質は南東の風に乗って 40ｋｍ、50ｋｍと帯状に伸び飯舘村などを計画的避難地域にした後、北東の風によって南下しました。(図：福島県の発表による 2011.4.5～4.7 の実測値)

9　大気中に飛散した放射性雲※は同心円状に拡散するのではなく、風向きによって変わります。その様子は目には見えませんが、煙突から出た煙が風に乗って帯状に流れ、次第に拡散して行く様子から想像することができるでしょう。

放射線防護の３原則



10

ホットスポット

11

10. 放射性物質が空から降り注ぐ緊急時でも、放射線被ばくを最小限に防ぐことができます。

距離：放射線源が固定されている場合、(明るい照明でも離れれば暗くなるように)、放射線源から離れれば（距離の自乗に反比例して）放射線は弱くなります。

時間：放射線の被ばく量は時間に比例して影響を受けます。

遮蔽（しゃへい）：放射線はコンクリートなどの遮蔽効で防ぐことができます。

これを放射線防護の３原則といいます。

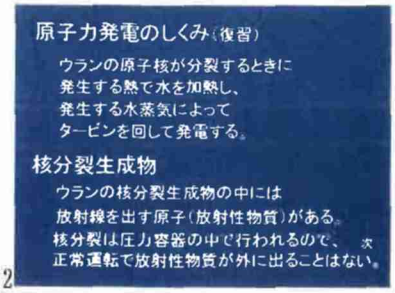
しかし、この**防護３原則だけでは不足**していることがありました。

風向き：今回の事故のように爆発によって放射性物質が空中に飛散した場合、重要なことは発生源からの距離に関係なく風向きが影響することです。今回の福島原発事故で政府は福島第１原発から半径 20ｋｍ以内に避難指示を出しましたが、風向きや避難する方向の指示を出さなかったため、放射性物質が流れて行く北西方向に逃げた人がたくさんいてこれらの人々の被ばく量を増やしてしまいました。

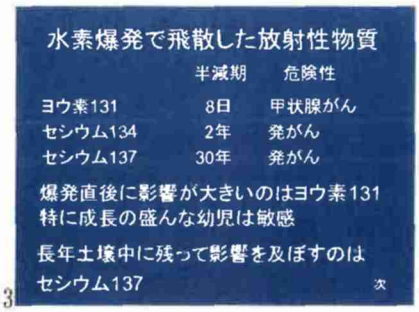
11　福島第１原発から 200㎞ 離れた柏、松戸、流山、三郷の４市で、福島第１原発から 50㎞ のいわき市と同程度の放射線が観測されました。これは放射性雲が福島から南下した気流に乗って漂い、い

わき市までは放射性物質が少しずつ地上に落下しながら流れましたが、その後放射性雲は一端海上に出てから南西に向きを変えて再上陸して飛び続けました。その結果、雨が降った４市に雨水に付着して落下しホットスポット（放射性物質が福島第一原発からの距離に関係なく飛び地になって現われた場所）になったものと推定されます。群馬県の沼田市　岩手県の一関市などにもホットスポットが見られます。一関市は宮城県を飛び越えていますが、これは一旦海上に出た放射性雲が女川を経由して内陸に入り一関市に雨とともに降ったのでしょう。（図:群馬大学早川由紀夫教授作成の地図を引用、放射能汚染地図は測定日時、作製者により異なる）

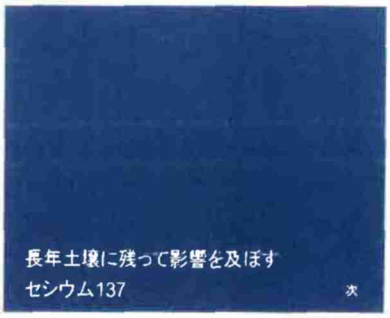
原子力発電のしくみ（復習）



12



13



14

12. ウランの原子核が分裂するときに発生する熱で水を加熱し、発生する水蒸気によってタービンを回して発電しているのが原子力発電です。水蒸気でタービンを回して発電するしくみは火力発電と同じ、タービンを回して発電する仕組みは水力発電も同じです。

核分裂生成物

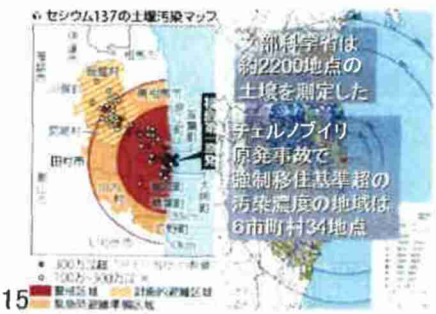
ウランの核分裂生成物の中には放射線を出す原子（放射性物質）がありますが、ウランの核分裂は圧力容器の中で行われるので、正常運転で放射性物質が外に出ることはありませんい。

13. 14. 水素爆発とともに飛散した放射性物質はヨウ素 131　セシウム 134　セシウム 137 です。[※1]

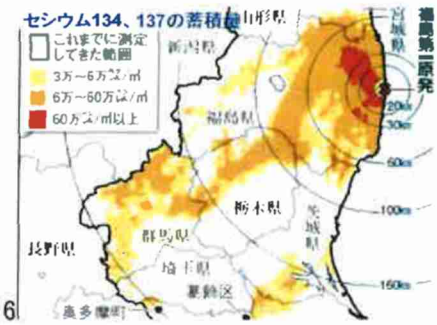
このうち爆発直後のヨウ素 131 は甲状腺に取り込まれ甲状腺がんの原因になります。特に成長の盛んな幼児は敏感なので被ばくを避けるため風上に逃げることが重要です。

セシウム 134 の半減期は 2 年　セシウム 137 の半減期は 30 年ですから長年月土壌中に残って影響を及ぼすのはセシウム 137 です。セシウムの化学的性質はカリウムに似ているので、カリウムを必要とする動植物は誤ってセシウムを吸収してしまいます。セシウムの化合物は水に溶けやすいので、ある程度洗い流すことができます。また、体内に取り込んでも、新陳代謝によってによって徐々に排泄されます。

土壌汚染地図



15



16

15. 今は空間放射線の線量より地上に降り注いだ半減期の長い放射性物質が長期にわたって問題になります。文部科学省が公表した、立ち入りが制限されている警戒区域や計画的避難区域の土壌中のセシウム 137 汚染地図によると、チェルノブイリ原発事故で旧ソ連当局が強制移住させた基準（1平方メートル当たりの放射性セシウム 137 が 148 万ベクレル）を超える汚染濃度が測定されたのは、6市町村 34 地点に上り、また、旧ソ連当局が自主的な避難を呼び掛け、農業を禁止した基準（セシウム 134 と 137 の合計が 55 万 5000 ベクレル）を超えた汚染地域は 132 地点に達しています。

16. 文部科学省が公表した放射性セシウムの蓄積量の汚染地図によると福島原発事故によって飛散した汚染地帯が 250ｋｍを超えて広がっています。汚染度の高い地域は爆発間もない頃の空中線量の大小地帯と一致していて、原発から北西へ 60ｋｍ付近まで延びた後、南西に方向を変えて栃木県を越え、群馬県まで続いていて、原発から約 180ｋｍ離れた桐生市などの山間部の一部で 1 平方メートルあたり 10 万～30 万ベクレル、250ｋｍ離れた長野県境の一部でも 3 万ベクレルを超えています。また、茨城県南部や千葉県北西部の一帯が比較的高く、福島県いわき市と変わらない値になっています。

放射線が安全か安全でないかは量で決まる

17

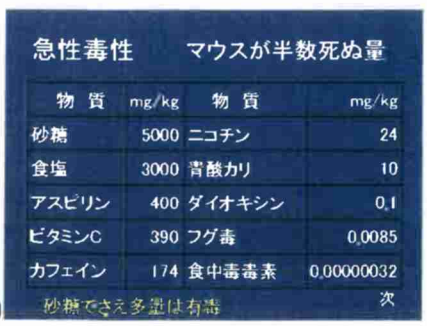
18

19

17. 放射線が安全か、安全でないかは量で決まります。

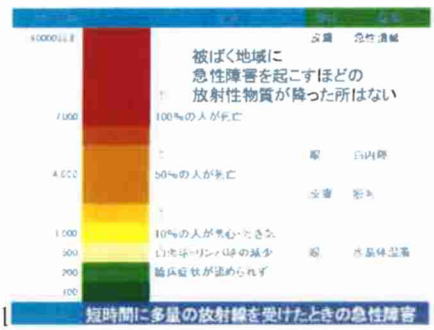
18　医薬の大部分は劇物・毒物ですが少量であればクスリになります。良く効くからと言って決められた量以上を服用するのは危険です。

19　食塩は生きていくのに必要不可欠ですが、摂りすぎると健康を害し、高血圧をはじめ様々な病気の元になります。



20

放射線の急性障害



21

21 この表はマウスが半数死ぬ量を示したもので、砂糖でさえも多量に摂取すれば有毒であることがわかります。

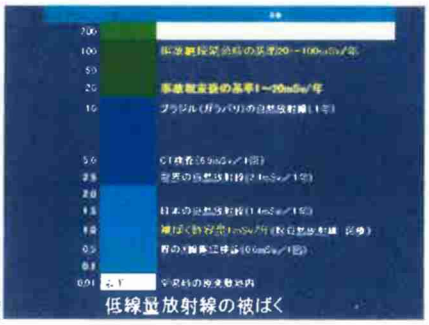
21　放射線を受けると身体にどのような影響が出るのでしょうか。

短時間に多量の放射線を受けたときの急性障害は、全身に500ミリシーベルト以上を受けると白血球やリンパ球の減少が起こります。

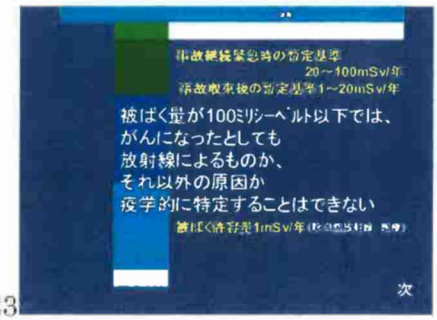
約1,000ミリシーベルト以上の放射線を受けると、吐き気がしたり、全身がだるい感じになり、脱毛が始まります。更に4,000ミリシーベルト程度を全身に受けると半数が死亡し、7,000ミリシーベルト以上ではほぼ全員が死亡します。

事故を起こした福島第一原発の敷地内の1部に原子炉圧力容器内と同レベルの1時間あたり10,000ミリシーベルト（10シーベルト）という汚染箇所がありました。この値は計測器で測定できる上限であり、もし、この付近で1時間作業をしていた人がいたら死亡事故者を出していたはずです。幸いなことに全員作業時間が短く、被ばくした作業員の放射線量は最大4ミリシーベルトであり、障害を起こしませんでした。また、原発敷地外で避難勧告に指定された地域でも急性障害を起こすほどの放射性物質が降ったところはなく、障害の出た人はいませんでした。しかし、これを政府が「直ちに健康に与える量ではない」と発表したので、返って被ばく地の人々に不安を与える結果になりました。

放射線被ばく安全量



22



23

22.国際放射線防護委員会（ICRP）は、一般公衆が1年間に放射線を受けてもよいとする基準量を1ミリシーベルト（mSv）（自然放射線、医療によって受ける量を除く）以下にするよう勧告し、日本の法律でも1ミリシーベルト/年、を管理目標値に定めています。この値は幼児、妊産婦（胎児）、病弱者など抵抗力の弱い人の区別をしていません。ということは、じゅう分に安全をみて、誰もが将来に渡って障害を起こさないと考えられる値であろうとして決めたものと思われます。ここで、よく理解しなければならないことは、この値は、ICRPの委員か決めた値であって、1ミリシーベルト/年を超えると直ちに影響が出るという意味ではありません。

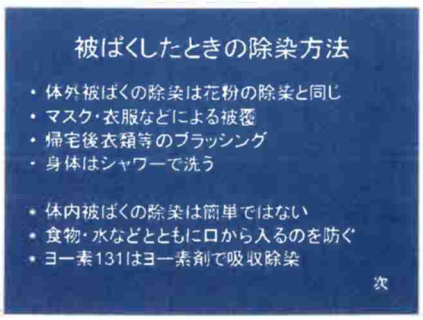
またICRPは、放射線事故を起こしてしまった場合、事故が継続している緊急時には基準値を暫定的に20～100ミリシーベルト/年、事故が収束した後の基準値を暫定的に1～20ミリシーベルト/年とし、可能な限り1ミリシーベルトに下げるように勧告しています。

23　緊急時の最大値を100ミリシーベルト/年にしたのは放射線の被ばく量が100ミリシーベルトを超えるとがんになる可能性が確率的に0.5％増加すると計算されていますが、100ミリシーベルト/年以下では、たとえが

んになったとしても原因が放射線被ばくによるものか、喫煙（受動喫煙を含む）などその他の原因かを確定することができない値だからです。100 ミリシーベルト/年以下は安全という意味ではありません。また事故収束時の基準値を暫定的に 20～100 ミリシーベルト/年としたのは、　短期間被ばくするのなら、この程度の被ばく量は我慢できる範囲と考えたのでしょう。

最も重要なことは、示された値が臨床的に検証した値なのか、相談の結果決めた管理目標値なのかを区別できる知識をもつことです。

被ばくしたときの除染方法　　**食品の放射性物質汚染**



24

25

体外被ばくの除染：放射性物質は花粉よりはるかに小さいですが、粒（粒子）ですから、花粉の除染法と同じです。水素爆発によって飛散した放射性物質の降下は終わっていますが、空から降り注いだ放射性物質によって土壌汚染が大きい地域では、風の強い日に舞い上がる泥ほこりを吸わないようマスクをし、衣服などは帰宅後ブラッシングをし　身体はシャワーで洗うことは大切です。

体内被ばくの除染：体内に取り込まれた放射性物質の除染は簡単ではないので口から食物・水などとともに入るのを防ぐしかありません。爆発直後ヨウ素 131 で汚染された食物（牛乳など）の吸収予防はヨウ素剤を服用しますが、図 13 で解説したようにヨウ素 131 は半減期が短い（８日）ので現在は服用の必要はありません。

25　放射性物質が口から体内に入るのを防ぐためには、水や食物の何がどれだけ汚染されているかを知る必要があります。

ホウレンソウなどの葉菜類やお茶の葉などが被ばく地だけでなく関東地区、静岡などで汚染されましたが、これは空から降ってきた放射性セシウムが葉に付着したものです。ヨウ素 131 が１部の牛乳から検出されましたが、これは乳牛が放射性物質で汚染された飼料を食べたためで食物連鎖によるものと考えられます。

食物連鎖

26

27

26. 食物連鎖による汚染は牛肉でも起こりました。セシウムにはカリウムに似た性質がありますから牧草地の土壌に降った放射性セシウムは牧草に吸収されるので、牛が汚染された牧草を食べると牛の肉に放射性セシウムが入ることになります。

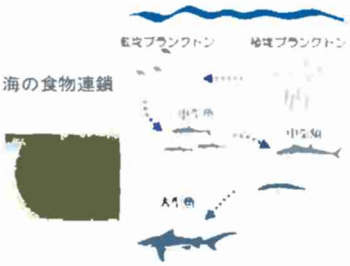
農林水産省は食物連鎖による放射能汚染を防ぐため、3月19日、いち早く県を通じて畜産農家に福島原発事故起こした以降に刈り取った牧草を飼にしないよう、また、屋内に保管した資料を与えるよう通知を出しましたが、結果的には16道県各地から出荷された2,600頭を越える肉用牛に放射線セシウムの暫定基準値500ﾍﾞｸﾚﾙ/kgを超える放射性セシウムが検出されました。

3月～4月初旬は牧草（含む被災後の干し草）が未だ生長していないはずなのになぜ・・・

27 盲点は稲わらでした。2010年秋に収穫し、屋外で乾燥し、屋外で保管してあった稲わらに高濃度の放射性セシウム（高いところは規制値の20倍）が発見されました。水素爆発直後の高濃度の放射性セシウムが降り注いだ稲わらを飼に混ぜたため牛の体内に入ったもので、農林水産省も稲わらまでは気が付かず、さらに放射性物質は想像以上に東北・関東と広範囲に飛散していたことと、汚染稲わらが広範囲に流通していたためセシウム汚染稲わらを食べたと思われる牛は沖縄県を除く46都道府県に流通してしまう結果になりました。（宮城県北部の倉庫で保存されている稲わら＝２０１１年７月１８日毎日新聞、川上晃弘撮影）

28

29



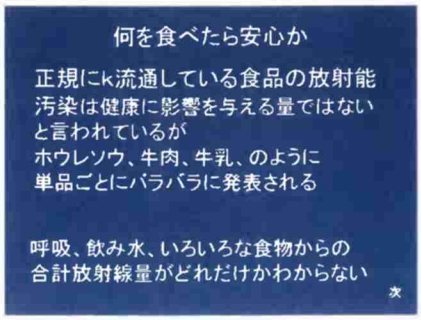
30

28. 2011年の秋は収穫物の汚染が心配されました。図26で解説したように、セシウムはカリウムと似た性質があるので、水田の土壌が放射性セシウで汚染されているとその1部が稲の葉や茎に吸収されます。コメの主成分はデンプンとタンパク質であり、カリウムやセシウムはほとんど含まれませんが、籾を通じて1部がコメに付着することがあります。福島県の二本松で収穫前に検査したコメの1部が放射性セシウムの暫定基準値を超えましたが収穫後の検査では暫定基準値を越えたコメはなく、すべて出荷が認められました。しかし、稲わらには放射性セシウが含まれている可能性が高いので、飼料や堆肥に使う場合は検査が必要です。

29. 天然のシイタケ（1部は栽培シイタケ）からも暫定基準値を超える放射性セシウム検出されています。これはシイタケはカリウムを多く吸収する性質があるので、原木の樹皮に放射性セシウムが付着していると、これをシイタケが吸収して放射性シイタケになります。このように様々な食物連鎖によって放射性セシウムが濃縮されて食品に入り、これらを食べると体内被ばくを受けることになります。

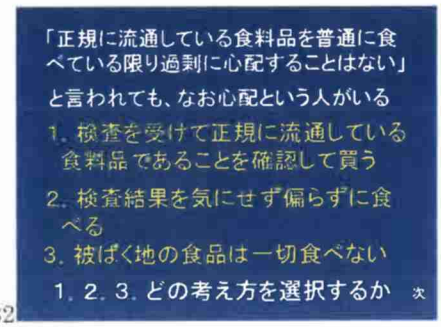
30 川や海でも 植物プランクトン → 動物プランクトン → 小型魚 → 中型魚 → 大型魚と流れる食物連鎖による放射性セシウム汚染が起こっています。

食の安全



31

食品被ばく生涯線量



32

31.. 食品のセシウム汚染についてはホウレソウ、牛肉、牛乳、のように、単品についてバラバラに発表され、それぞれ「健康に与える量ではない」と言われています。しかし、呼吸からも、飲み水からも、いろいろな食物からも放射性セシウムが検出されているのですから飲んだり食べたりしたすべての食品線量を合計した値がどれだけになるのかがわからなければなりません。

32 正規に流通している食料品を普通に食べている限り過剰に心配することはないと言われてもなお、心配している人がいるでしょう。

1．検査を受けて正規に流通している食料品であることを確認して買う

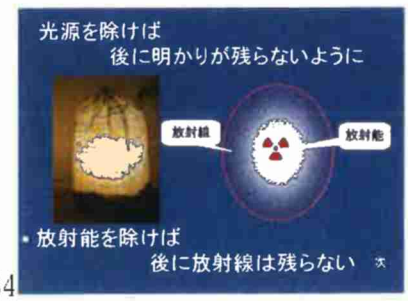
2．検査結果を気にせず偏らずに食べる

3．被ばく地の食品は一切食べない

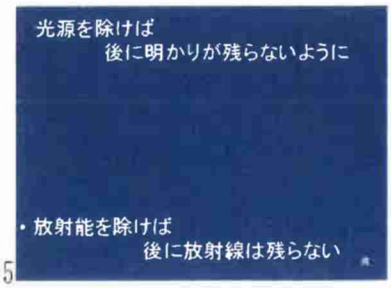
あなたは１～３のどの考え方ですか？

放射能と放射線（復習）

33



34



35

33 ここで放射線と放射能という用語の意味を復習し、はっきり区別して理解しましょう。放射線を出す性質をもった物質のことを放射性物質といいます。従来放射性物質のことを放射能と言っていましたが、放射線と区別し難いので放射能という用語は使わない方がよいでしょう。

34.35. 光源を除けば後に明かりが残らないように放射性物質を除けば後に放射線は残りません。

除染

36

37

36. 福島県は福島第１原発から20ｋｍ圏内の避難指示区域を除き、県内全ての中学校の校庭などを対象に高さ１ｍ（小学校、幼稚園、保育園は50ｃｍ）と地表面の放射線量の測定を行いました。

37 その結果をもとに、国の予算で小・中学校すべての校庭の土を入れ替えたり、表土をその下の土と入れ替えたりする作業を行ないました（栃木県那須町、那須塩原市の一部を含む）。土の上下を入れ替える方法は過渡的な対策ですが、地面付近の放射線の量を１/10程度まで下げることができます。（写真：福島県相馬市立玉野小学校校庭の土入れ替え作業）

38

39

38. 放射性物質は学校の校庭だけに降るのではないので、屋根、雨どいを洗浄し、溝の泥を除かなければなりません。これは一般家庭でも同じです。屋根や壁、道路などは高圧洗浄機※で洗浄しているのですが、瓦、アスファルト、コンクリートなどは材質や状態によって放射性セシウムが吸着したり、しみ込んだりして、あまり効果があがらない場合もあり、効果的な除染方法を実験中でです。

39 各地の下水処理施設の汚泥焼却灰から高濃度の放射性物質（主として放射性セシウム）が検出されるようになりました。

これは広範囲に渡り地上に降った放射性物質が雨に洗われ、川に流れ込めんだ汚水は海に放出されましたが、溝などから下水管に流れ込んだ汚水は下水処理場に運ばれて沈殿され、できた汚泥を焼却して濃縮するので放射性物質が高濃度になったためです。

東京都内の下水処理施設でも３月下旬に採取した汚泥焼却灰から、１ｋｇあたり17万ベクレルという高濃度の放射性物質が検出されていました（その後急減少）。福島から前橋や宇都宮より遠く離れた東京で、早くから汚泥焼却灰に高濃度の放射性物質が現れたのはなぜでしょうか。

それは東京の地面がコンクリートやアスファルトなどで覆われ、雨で洗われた汚水の大部分が下水管に流れ込んで下水処理施設に運ばれるからです。

40

41

40. 汚泥焼却灰はセメント、タイル、レンガなどに再利用されていましたが、放射能汚染汚泥焼却灰を引き取る加工工場はなく、１ｋｇあたり 10 万ベクレルを超える放射性物質を保管するためにはその場所を放射線管理区域にしなければならず、各下水処理場では対策に苦慮しています。しかし、高濃度の汚染汚泥焼却灰を早い時期に一カ所に濃縮保管できたということは、それだけ地面の放射性物質を除染できたことになるので歓迎すべきことです。

41　放射能汚染汚泥焼却灰の保管対策に較べたら、田畑、山林、原野に降った放射性物質を除染して、普通に生活できる土地に戻す対策の方が困難です。土壌に吸着したセシウムは雨や水をかけた程度では簡単に除けません。

前述のように、放射線の量が 100 ミリシーベルト以下であれば急性障害が認められないし、20 ミリシーベルト/年以下であればがんが発症しても、それが被ばくのためか否かを確認できない程度と言われていますが、安心して住める土地にするためには汚染地区の放射性物質を除染して可能な限り管理目標値の１ミリシーベルト/年以下にする努力は必要です。政府は国で責任をもって実行すると言っています、

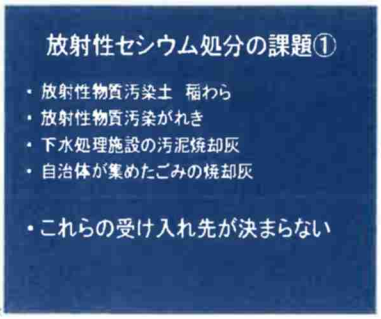
42

43

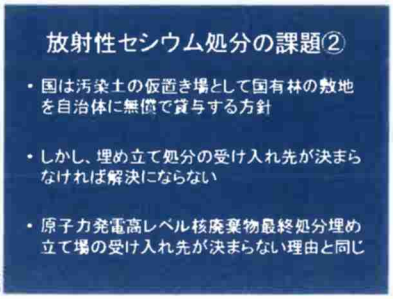
42. 樹木に降り注いだ放射性物質の多くは葉に付着しているので、急いで除染するためには枝払い、伐採しかありません。落葉樹の場合は落ち葉を集める必要があります。

43　一部の自治体では水田の土壌をどれだけの深さまで交換すれば効果があるかの実証試験が始まっています。しかし、最も肥沃な表層部の土を取り除くということは、新たに肥沃な土づくりをしなければならないということであり、農家の人々の心情を思うと、単に汚染土壌を除去すればよいというような簡単なことではありません。

放射性物質除染の課題



44

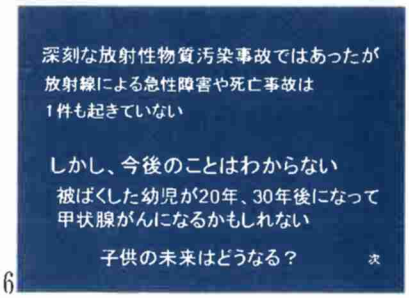


45

放射性物質汚染土　汚染稲わら　放射性物質汚染がれき　水処理施設の汚泥焼却灰　自治体が集めたごみの焼却灰などを受け入れる自治体、土地が決まりません。そこで環境省は放射性物質に汚染された福島圏内の土壌や焼却灰などを最大 30 年保管する中間貯蔵施設を整備する工程表を作成しました。

45　また、国は汚染土の仮置き場として国有林の敷地を自治体に無償で貸与する方針を決めました。しかし、最終埋め立て処分の受け入れ先が決まらなければ解決になりません。これは原子力発電によって出される高レベル核廃棄物最終処分埋め立て場の受け入れ先が決まらない理由と同じです。セシウム 137 の半減期は 30 年であり、低レベル放射性廃棄物の処分技術は確立しているのですから、処分を受け入れても周囲が健康に影響を及ぼすような放射線量にはなりません。汚染土の最終処分地を受け入れることに協力する広い心をもってもらいたいと思います。

将来への健康不安



46

47

甲状腺定期検査（福島県）

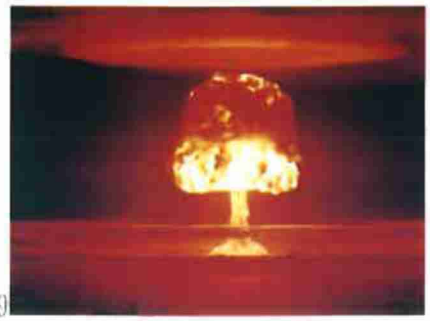
48

46. 深刻な放射性物質汚染事故ではありましたが、幸いなことに放射線による急性障害や死亡事故は 1 件も起きていません。しかし、細胞が放射線を受けて DNA に損傷を起こすと、多くの場合は修復されますが、誤った構造に修復されると細胞ががん化することがあり、がん化細胞が 5 年、10 年、30 年・・・かかって増殖してがんが発症することがあります。
細胞分裂が盛んなときは損傷を起こす DNA も多く、細胞分裂の特に盛んな時期は生まれてから 1 年間であり、それ以降も成長の盛んな思春期までは細胞分裂も盛んに起こっているので、この時期に放射線を被ばくすれば将来がんになる確率は高くなります。

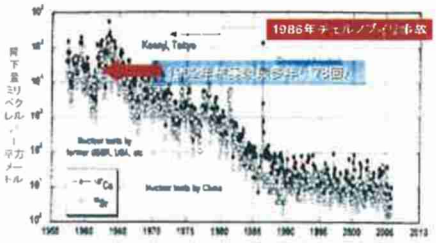
47　急性障害がなく、直ちに健康に与える影響がなくても、将来どうなるかわからないので、特に子どもの健康を心配する親の不安が広がりました。「直ちに健康に影響を与える量ではない」と言われても、親が子どもの将来を心配するのは当然です。

48. 福島県は、福島原発事故発生当時に0～18歳の子供全員を対象に甲状腺超音波検査をはじめました。この検査は2年ごとに実施し、20歳に達してからは5年ごとにチェックしていくことになっています。この検査で親の不安はかなり緩和されるのではないでしょうか。

核実験と死の灰



49



年代別セシウム137、ストロンチウム90の降下量
第48回環境放射能調査研究会資料より引用

50

49. しかし、1950年代から60年代にかけてビキニ環礁（**ミクロネシアのマーシャル諸島・ラリック列島にある環礁**）をはじめ米ソ英仏中が各地で行っていた核実験で放出された放射性物質の量は公表されていませんが、チェルノブイリ事故の100～1000倍であったと推定されています。

当時この海域で捕れるマグロは放射性物質が含まれていたため焼津港で大量に廃棄されていました。海の食物連鎖によって大型魚に放射性物質が濃縮された典型的な例と言えます。

50　米ソ英仏中が競って核実験を行っていた当時は世界中に放射性降下物が降り注がれていました。日本国内で降った雨に含まれていた放射性物質（放射能雨）は気象庁気象研究所が公表している「環境における人工放射能の研究2009」によると、平常時の1万倍～数万倍多く含まれていたことがわかります。

グラフを見ると核実験を地下で行うようになってから放射性ストロンチウム（ｽﾄﾛﾝﾁｳﾑ90）放射性セシウム（ｾｼｳﾑ137）の降下量が減少していることがわかります。

核実験の回数が最も多かった（178回）1962年には各地に放射性セシウムが0.3～1.6ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄ/年平均程度降り、最も多かった秋田県では3.36ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄ/年平均（月別最高値は1963.1.11の9.59ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄ/月）でした。また、秋田県だけでなく日本海側の方が多い傾向にありましたが、これは核分裂による放射性物質が偏西風に乗って地球を回りながら地上に降下したためです。

チェルノブイリ事故のあった1986年は一時的に多くなりましたが短期間で収束しています。

福島原発事故で水素爆発が起きた直後はデータが公表されていないのでわかりませんが、屋外に保管してあった稲わらに降り注いだ放射線セシウムが牛の肉に蓄積したことから見て福島県では一時的に核実験の頃の値になったと思われます。現在は1年間に換算して0.8ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄになっています。

アメリカの核実験が行われていたミクロネシアでは放射線障害を起こした人がたくさんいたと言われていますが、10年以上通常の数万倍の放射線を浴びながら生活していたその当時の世代の人が、通常の放射能の中で生活している世代の人との間でがんになる確率に差は見られません。動物は環境の変化に適応する力がありますから将来に対して過剰に不安を抱く必要はないのではないでしょうか。

健康な体力づくり

51

52

51. いくら子供の未来を心配をしても、福島原発事故によって被ばくした人が現実から逃れることはできません。しかし、細胞が放射線を受けてDNAが損傷を起こしても、それを修復することができます。たとえ修復できない場合でも細胞自身が死滅する力（細胞の自殺）をもっているので、すべての細胞ががん細胞になるわけではありません。

将来がんになるか否かは個人差、体力差などによっても異なり、バランスの良い食事を摂り、良く運動して健康な身体をつくっていれば修復力も強くなります。たとえ1年間に100ミリシーベルト被ばくしたとしても、がんになる確率が0.5%多くなることを心配するより、健康な体力づくりを目指して、がんにならない確率が99.5%に入る努力をすることの方が、はるかに前向きの人生だと言ってよいのではないでしょうか。

52　宇宙飛行士が受ける放射線の量は1日に1～3ミリシーベルトですから地上で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が受けた線量の積算値は400ミリシーベルトであったとのことですが、健康に異常は起こりませんでした。

官民挙げての除染作業

53

54

53. 政府は国の予算で責任を持って徹底除染をすると言っています。しかし、手をこまねいて待っているだけでは、福島県を始め広い放射性物質汚染地域の大地を元通りに除染するまでには20年、30年・・・とかかるでしょう。

福島県では自治体単位で除染作業を始めたところもあります。溝さらい、樹木の選定などでも効果があります。嘗て北海道の原野を開拓し、今の北海道に築き上げた艱難辛苦の過程を考えてみてください。いくら時間がかかると言っても、官民を挙げて知恵を絞り、汚染土壌を入れ替える効果的な方法を工夫し、コツコツと実行すれば、10年はかからないでしょう。放射性物質で汚染された土地を除染することができないはずはありません。

平成 23 年 10 月 31 日

財団法人 新技術振興渡辺記念会
平成 22 年度下期「科学技術調査研究助成」

社会的合意形成を目的とした学校教育のあり方に関する調査研究報告書

実践事例：「みんなのくらしと放射線展」による教員、一般市民、子供に対する知識普及。

大阪府立大学地域連携研究機構・放射線研究センター・教授
古田雅一

１．はじめに

3.11の東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故後は、「放射線」、「放射能」、「放射性物質」「被曝」、ベクレル、シーベルトなど放射線関連の用語が日常的に報道されるようになり、放射線、放射能が一般市民取ってより身近になった反面、正しい知識の不足からくる放射線被曝に対する不安や風評被害などが大きな社会問題としてクローズアップされている。これに対処するためには小、中、高等学校の理科教育において放射線教育を受けなかった一般市民に対し、放射線関連の用語や単位の意味など、放射線に知識を正確に伝えることがこれまで以上に喫緊な課題であると考えられる。

大阪では関西の放射線関連団体（大阪府立大学、(独) 日本原子力開発機構、(財) 電子科学研究所、(社) 大阪府立放射線技師会、(社) 日本アイソトープ協会、(社) 日本原子力学会関西支部、関西原子力懇談会）が実行委員会を作り、20年以上にわたり、親子を中心とした一般市民向けに夏休みの時期に「みんなのくらしと放射線展」を開催してきた。本イベントは不特定多数の来場者が気楽に放射線に触れ合えることを狙ったサイエンスフェスティバルの形式を踏襲してきたが、今年度は問題意識の高い層に対象を絞り、子供、小、中、高等学校の教員、一般人の中から積極的に知識を得たい人を公募することにより、より密度の濃い放射線教育を目指した。子供には専門家による講演とフィールドワーク、教員には専門家とすでに放射線教育において指導的立場にある教員，一般人には専門家による講義とパネルディスカッションを通じてより効率的な知識普及を目指すことにした。今年度は筆者が放射線展の専門部会長として企画立案に携わったため、メンバーを代表して以下にその概要を報告する。

２．第２８回「みんなのくらしと放射線」展　開催概要

・開催期間　　平成２３年８月１８日（木）から８月２０日（土）

・開催場所　　大阪科学技術センター　８階小・中ホール、ロビー
２階大阪科学技術館展示コーナー
（大阪市西区靭本町１－８－４）

・開催目的　　幅広い層に対して、放射線に関する疑問や不安に応えるとともに放射線の基礎知識、正確な知識、情報を伝える。

・対象　　事前告知による公募
①小・中学生約６９人　朝日小学生新聞
②教職員　４４人　ちらし・ＤＭ
③一般約１５３人　サンケイリビング

・開催内容

テーマ「見て 測って 知ろう ！放射線」

見る・測るなどの体験型学習を通し、子供たちにわかりやすく放射線の存在について学んでいただきました。

B1会場→うつぼ公園

14:30　(3)放射線測定器を用いたフィールドワーク(30分)
講師:白石　一乗 氏、川西　優喜 氏(大阪府立大学)
①B1倉庫にて"ちり収集"の観察(コーヒーフルターを付けた掃除機にて収集)を行い、なぜ"ちり"から放射線が出るのかを解説しました。
②放射線測定器(ガンマくん・ベータちゃん)を使って、うつぼ公園にて石や水から出る自然放射線を測定しました。

＊保護者向けの質疑応答(古田雅一氏)

場所:8階 中ホール

15:00　(4)霧箱工作(1時間)　講師:小嶋　崇夫 氏
霧箱工作にチャレンジいただき、収集した"ちり"から出る放射線の観察を行いました。

＜参加者＞
◆小中学生　39名　保護者　30名

・結果
小中学生は熱心に課題に取り組んでくれた。子供たちがフィールドワークに野外に出ている間、保護者

と車座方式でざっくばらんな質疑応答を行ったところ、放射線と放射能の違い、福島第一原子力発電所の事故による放射能汚染食品による被曝と健康影響等率直な疑問、質問が出た。通常の講義形式の知識普及では個人の持っている疑問を気楽に専門家にぶつけられないのではないか？今後は、より少人数のグループでの座談会形式の知識普及を模索してみたい。

教職員

テーマ

生徒たちの放射線への疑問にどう答えるか

～福島第一原子力発電所事故を踏まえて～

平成24年度中学校理科に放射線教育から導入されるにあたり、
教職員向けのセミナーを実施。
また福島第一原子力発電所の事故以降の放射線教育を導入部として、
教職員からの実践例発表と教育現場からの質問、実践例に対するアドバイス、
教職員と専門家の意見交換を行う形でシンポジウムを展開しました。

＜内容＞

場所：8階 中ホール

13：30　(1)セミナー(1時間)

①福島第一原子力発電所で何が起こったか(30分)　講師：山本章夫 氏(名古屋大学)
原子炉の(BWR)のしくみ／地震と津波の影響／福島第一原子力発電所事故の概要
チェルノブイリ原子力発電所事故との比較／終息に向けて

②放射線の人体影響を科学的に理解するために(30分)　講師：八木孝司氏(大阪府立大学)
放射能と放射性物質と放射線(その単位や性質と量など)
人体影響について(分類／被爆について／がんへの影響んど)
福島第一原発の影響について
内部被爆(食品によるもの・呼吸によるものなど)
チェルノブイリ事故との比較

場所：8階 中ホール

14：30　(2)シンポジウム「子供たちに放射線をいかに教えるか」(2時間)

教職員	工藤博幸 氏(奈良学園中学校・高等学校)
	兵部喜久雄氏(大阪市立汎愛高等学校)
	原田高明 氏(大阪府立箕面東高等学校)
専門家	山本章夫氏(名古屋大学)
	八木孝司 氏(大阪府立大学)
	伊佐公男 氏(仁愛大学)
司　会	遲美舜雄 氏(近畿大学)

＜参加者＞

◆大阪府下の教職員　44名

·結果

参加者にアンケートを実施したところ，参加の動機、理由については以下の通りであり、内容については約 90％の参加者が理解できたと回答した。

放射線について知りたいため	59.5%
放射線の教え方を知りたいため	54.8%
福島原子力発電所事故について知りたいため	59.5%
放射線・原子力に興味があったので	28.6%
その他	9.5%

授業現場における生徒や保護者からの質問への対応については以下のような反応があった。「あまり自信がない」との回答者の比率を減らしていくことが今後の課題である。

自信をもって教えられる	7.1%
ほぼ自信を持って教えられる	45.2%
あまり自信がない	38.1%
不安である	0.0%
記述なし	9.5%

その他、興味深い意見が多数寄せられた。

（一例）

正しく知ることは大切だと思いますが、科学的な数値や理論によって今の社会の情勢から、離れていってしまうように思います。中学の指導要領で放射能について教えていく、ということ聞きました。しかし、知識を教えて、理解を深めていくことで、どんな人間を育てていきたいか、ということが、よく分かりませんでした。教育にたずさわる者として、とても気になります。3人の先生方の実践は、身近に放射能を感じさせる授業ですが、このことで児童生徒にどう感じとらせたいのか、どんな人間に育てたいのか。放射能を「どう教えるか」だけでなく。

一般向け

テーマ

放射線と私たちのくらし～皆さまの疑問にお答えします～

放射線の健康影響に関する基調講演を実施。
次に、放射線の専門家と様々な方面で活躍される大阪在住の女性の皆さまによるパネルディスカッションを行い、一般の方が抱える放射線に関する疑問や不安にお答えしました。また来場者からの質疑応答も実施。

＜内容＞

場所：8階 中ホール

13：30　(1)シンポジウム(2時間30分)

①基調講演(1時間)「科学的データから読み解く放射線の健康影響」

講師：児玉　靖司 氏(大阪府立大学 教授／放射線生物学)

1.放射線とは何か？
2.自然放射線
3.原子力発電とは？
4.放射線によるDNA損傷
5.原爆被爆者における発がんリスク
6.チェルノブイリ原発事故による発がんリスク
7.福島第一原発事故

②パネルディスカッション(1時間30分)「放射線と私たちのくらし～皆さまの疑問におこたえします～」

1.日常にも存在する放射線とは
2.放射線が与える人体・環境への影響とは
・規制値について
・食物及び閉居上の影響について
・外部被ばく・内部被ばくの人体への影響について)
3.医療などへの放射線利用とは
来場者からの質疑応答

専門家　古田雅一 氏(大阪府立大学 教授／食品照射・殺菌応用科学)
児玉靖司 氏(大阪府立大学 教授／放射線生物学)
奥田修一 氏(大阪府立大学 教授／放射線物理)
ﾊﾟﾈﾘｽﾄ　和地真佐美 氏(エレの会／井上チイ子代表 より出演)
上田理恵子 氏((株)ﾏｻﾞｰﾈｯﾄ代表取締役社長／育児・家事代行ｹｱﾘｽﾄの派遣業)
坂口　一美 氏(元大阪府PTA協議会 会長)
進　行　神津カンナ 氏(作家)

＜参加者＞

◆一般　153名

・結果

参加者にアンケートを実施したところ，参加の動機、理由については以下の通りであり、内容については約 90％の参加者が理解できたと回答した。

放射線について知りたいため	55.8%
放射線に関する疑問があったため	16.8%
放射線の日常生活への影響を知りたいため	56.6%
放射線・原子力に興味があったので	31.9%
その他	2.7%

シンポジウムの後半、パネルディスカッションの部では時間が少なく,フロアとのやりとりが十分できなかったことが反省点であった。筆者にとって最も興味深かった質問は、「パネラーはいろいろなことを言われたが、結局これから私たちは何を食べてどのような生活していけばよいのか、一言で教えてほしい。」ということであった。今後、簡潔で分かりやすい知識普及の方法を一般向けには考えていかなければならないと強く感じている。

その他、アンケートから得られた意見の一部を挙げる。

●何度聞いても理解しにくい、放射線をもっともっとカンタンにできないものでしょうか。

●テレビで見ていて、初めはわかったように思ったが、日々がすぎるとより専門的になりさっぱりわからないと言った方がよい。ウソとホントウがみきわめ出来なくなった

●Sv、Gray、cpm、ベクレル、やはりわかりづらいです。

●放射能と放射線はどうちがうか、いつも疑問に思っていましたが、シンポジウムの中で放射物質が放射線出す理解することが出きました。

●正確な知識を皆んなが共有できるような広報をしていただきたい。

●難しいのは々ないから安全、大丈夫という説得、説明をすることは大事なのですが、そのリスクをなぜ背負わねばならないのかということに対する理解とその公平性の問題にも目を向けねばならないと思います。科学・医学の問題としての価値感と責任論だけでなく、社会・文化的価値感に通じる問題も同時に解決する必要があると思います。

●「限りなく0(ゼロ)に近く被ばくする放射線を減らすべき」という放射線アレルギー、ヒステリーの症状をいかにして解消すべきかが■■と思う。(判読不可能)

●「放射線」「放射能」＝「キケン」「ガン」というイメージがあるが、もっと正しく理解してもらえる広報が必要。

●専門家と称してマスメディアでしゃべっている先生方が本当はどの程度の放射線の知識があるのか。

●内緒にされていることはないかな―と思うことはありますが、大きな不安は日々の中ではありません。というか、ほかのことでいろいろな課題や不安があり、そういうことに日々思い及ばないのです。

●直ぐに被ばくに対する影響が体に表れてこないことに不安があります。数年～数10年先に家族やその子孫への影響が不安です。

以上

生徒は放射線・放射能の何が分からないのか

畠山正恒（聖光学院中学高等学校）

筆者は全員が大学進学を目指す中高一貫校で中学生の理科、高校生の地学（文科系志望者）を教えている。福島第一原子力発電所の事故を受け、今年の新学期に放射線に関する授業を生徒に３時間ほど行った。教材は「放射線測定要領書の検討－高校生を対象として－」(1)(2)の中の解説文を用い、内容は放射線の種類・性質、放射性核種の解説、外部被曝、内部被曝などで、メディアで見聞きする用語は一通り説明を加えた。対象の生徒は中学３年生全員（２２９名）、高校２年生（３８名）高校３年生（３８名）で高校２年生と３年生は地学選択者である。

授業での説明とプリントだけでは分からないこともあると想像したとともに、福島原発関連の情報はどんどん増えていき、放射線や放射性物質に関するメディアからの情報も増す一方であったので、５月の中間試験時に「原発や放射線などに関する疑問（授業時の疑問も含む）を述べよ」という内容で疑問点を自由に記述させた。本稿は複数の生徒が抱く疑問点を提示し解説を加えるものである。また、疑問の中には科学的誤解を含むものがあったので、それも併せて紹介する。皆様の今後の指導の一助にしていただきたい。

記述結果の分類

生徒の記述した疑問・質問を項目別に分類し、その割合を下の表に示した。ひとりで複数項目記述している生徒もおり、項目分けが必ずしも明確に分類できているとは言えないことをお含み置きいただきたい。

中学生３年生と高校生を比較すると、中学３年生の方が放射線や放射性物質に関する物理的疑問が多く寄せられた。高校生は物理的性質よりも、生体への影響に関する疑問が多く、メカニズムを考えるよりも被曝の影響そのものを知りたいという希望の表れであると考えられる。文系の生徒であるので、メカニズムを考えることは諦めたという生徒が多いのではないかと想像できる。中学３年生の疑問の中には物質の本質に絡むものもあり、簡単に説明できないものも多かった。

項目	中学3年生	高校2年生	高校3年生
放射線・崩壊	33	23	23
半減期	8	5	0
同位体	3	0	0
バックグランド	4	3	0
生体作用	17	27	42
防護	5	5	5
濃縮・拡散	2	8	0
汚染	3	9	5
処理	2	5	0
単位・用語	3	0	2
測定	3	1	0
原発	5	9	9
歴史	2	0	0
その他	10	5	14

表：　学年別、項目別の疑問・質問（%）

これらの中から、学年を問わず疑問の多かった事柄を列挙し説明を加える。
疑問・質問には「　　」を付けて表す。

【放射線・崩壊】
放射線について
「放射線と放射能と放射性物質の違いが分からない」
これは丁寧に説明したつもりであるが、どの学年でも理解できていない生徒が散見される。
「放射能というのは能力なのに「放射能汚染」というのはなぜか」
放射能という言葉が放射性物質という意味でも使われることを理解してもらうのは簡単ではない。

「電磁波がよく分からない」「電荷を持たない電磁波とはどのようなものか」
「電磁波で波打たないものはあるのか」
電磁波のことは中学３年生でこれから教えるところなので、簡単な説明しか行わなかった。中学生からの疑問は理解できるが、高校生からも同じ疑問がでていた。教え方の問題も否定できないが、基本的な科学知識の理解と定着がいかに難しいことの証明かも知れない。
「放射線は光のように曲げられないのか。」
「放射線は電磁波（光）なのか、電磁波でないのか。光の一種ならなぜ鏡で反射しないのか」粒子である放射線と電磁波である放射線の違いが理解できない生徒もいる。電磁波の波長と振動数さらに透過性についても定着は大変である。

「α、β、γ、中性子線の透過力の違いはどこから来るのか」
「放射線の飛距離はどれくらいか」
飛距離は放射線の種類とエネルギーによることを説明したいが、どのようにして発生するものかを踏まえた説明をしようとすると難しくなる。

「中性子線はどのようにしてできるのか」
「中性子とはどのようなもので、どのような影響を人間に与えるか」
「なぜ中性子は電荷を持たないでいられるのか」
中性子の本質を問われると、いきなり高度な話になりどこまで何を話すのかが極めて難しくなる。
「一度蓄積された放射能はそのまま蓄積されたままなのか、消滅しないのか」
このような疑問が一般的なものではないかと想像する。

崩壊について
「He の原子核でないものが、大きな原子核から放出されないのか」
「α崩壊は具体的にどのようにして起こっているのか」
「なぜ原子核が大きいとα崩壊をするのか」
原子核が崩壊していくことをどこまでどのレベルで解説するか。これは生徒対象でも教員研修などでも各レベルに併せて、いろいろなオプションを用意しておく必要がある。

「γ崩壊や中性子線がα崩壊やβ崩壊に比べて分からない」
「γ崩壊のとき質量数がどのようになっているのか分からず、理解できない」
「β崩壊のとき、なぜ中性子が電子と陽子に化けるのか」
「β＋崩壊の仕組みが分からない」
「エネルギーが安定しないときにγ崩壊が起こるが、それはどんな時でどういう状態なのか」
γ線を出してエネルギーを下げることが、現象として理解できないのである。

「放射性崩壊をするとき、なぜ一気に安定化しないのか」
「放射性物質に出しているものと同じ放射線を与えると、元（の核種）にもどるのか」
鋭い質問である。

「同族元素は性質が似ているが、崩壊時の陽子・中性子の量も族により似るのか」
典型元素・遷移元素の違いと核反応の違いを混同する者もいるので注意。
「物質中の 14C が崩壊しきることはあるのか」
14C の成因を説明していても、この質問がでる。
「Ra は崩壊時にγ線は出さないのか」
「放射性物質が安定するまでに規則性はあるのか」
「重い元素がα崩壊、β崩壊を繰り返す理由は」
「α崩壊、β崩壊に順番はあるのか」
崩壊について簡単に答えられない質問も多くでている。

【半減期】
「放射性物質の半減期はどのようにして決まるのか」
「半減期の差はどこから来るのか」
「元素により半減期に差がありすぎる理由」
「元素は理論上では永久に半減していくが、実際は永久には続かない。この違いはどうして起こるのか」
秒から億年までの時間差を理解するのは感覚的に難しい。

「半減期で減っていくとき、最後はどうなるのか。少しはあるのか」
「最終的に全くなくなるのか」
「放射能を打ち消しあってなくなる物質はないのか」
検出できなくなることと無くなることの区別も理解してもらうのは難しい。

【同位体】
「なぜ放射性同位体が自然界に存在するのか」
「同位体の割合はどのように決まるのか」
「自然界に放射性同位体を持たない元素は存在するのか」
「加速器を使った放射性同位体生成の仕組み」
さりげない難問である。

【バックグランド】
「日本の放射能量は世界のなかでどのくらいか」
「西日本の方が自然放射線が多い理由は」
「なぜブラジルのある町の放射線量は10μSv/hなのか」
「なぜ温泉で放射線が出ているのか」
「飛行機で放射線量が高いのなら、標高の高いところの方が放射線量は高いのか」

【生体作用】
「放射線はどのようにして細胞を壊すのか」
「放射線で壊されたDNAは修復できるのか、そのままなのか」
「放射線を一日で多量に浴びたのと少しずつ長期間浴びたのとの違い」
「放射線を少し浴びるのは活性酸素が出て体によいというが本当か」
ここでは生物に与える放射線影響のメカニズムに質問が集中している。放射線によるDNAの直接破壊と活性酸素などの発生による間接破壊、そして修復メカニズムを説明したつもりだが不十分であったと推測される。

「何Bqで人体にどのような影響が出るのか具体的に何も言われないので分からない」
「大人と子どもの放射線影響の差」
など何がどのくらい危険なのか提示されないため入ってくる情報に戸惑っている実態が分かる。
「子どもの方が大人より被曝しやすいのが分からない」という質問もあった。これは子どもは細胞分裂が盛んなので放射線の影響を受けやすいが、修復力も強いので大人と子どもで結果として大きな差はないのではという意味での質問である。

具体的な線量については
「何mSv位を1年に浴びると人体に影響があるのか。そのときの症状は」
「放射線を浴びる量に安全値は無く、0に近い方が良いというが本当か」
「計画的避難地域の放射線量の妥当性は、それを越えたら体に異常が出るのか」
「宇宙飛行士はどのくらい被曝するのか」などがあり、
「被曝の危険値と回復できる量がなぜ厳密に規定できないのか」という最終的に不信感を募らせている質問もある。

外部被曝については
「飛行機に何百回乗っても人は大丈夫なのか」
「母が元フライトアテンダントで北極圏を幾度となく通過したので被曝が不安」というのがあり、君のお母さんはおそらく普通の人より寿命は長いと答えた。

内部被曝については
「内部被曝の人体への影響はどのくらいか」
「外部被曝と内部被曝はどちらが体に悪いのか」
「内部被曝の年齢による差はどうなのか」
「暫定規制値を越えた野菜を食べたとき人体に害はあるのか」
「体内に蓄積された放射線を減らす方法はあるのか」
「食道から胃に入った放射性物質は排出されることが分かるが、肺に吸い込まれたものはどうなるのか」
「食物連鎖による人間への影響はどのくらいあるのか」
など外部被曝より情報が少ないので、詳しい解説を作成する必要性を感じた。

医療に関しては
「放射線治療で患部以外に影響は出ないのか」
「放射線を浴びて癌になるが、癌治療にも放射線を用いる。その境界はどこか」など非常に奥の深い質問も提示されている。これについても専門的な立場の方から分かりやすい説明を期待したい。

「健康に良いとされるラジウム温泉の放射能と原発事故で出る放射能と人体への影響はどう違うのか」
「放射線の影響は直ぐには出ず、10年後20年後はどうなるのか」
「放射線や放射能により亡くなられた方は過去にどのくらいいるのか」
また、興味深い質問として
「人が全く放射線を浴びなくなったらどうなるのか」
「植物はどのくらいの放射線で枯れてしまうのか」
というものがあった。

【防護】
「放射線量が少なければ防護服を着ていればいつまでいても大丈夫なのか」
「防護服は本当に放射能から守るのか」
「γ線を完全に防ぐ防護服は作ることができないのか」
「X線、γ線遮蔽時に鉄は厚くなくてはならないのに鉛は薄くても良い理由」
「γ線を透過させない鉛に厚さの条件はないのに鉄は厚いという条件が付く理由」
「水が鉄、アルミニウム、鉛より放射線を防ぐ理由」
「アルミホイルで被曝を防げると聞いたが」
「なぜ飛行機の機体は放射線を遮ることができないのか」
「原子力発電所ではどのようにして放射線を防いでいるのか」
「家の中も外も空気は入ってくるのだから放射線量に違いはないのでは」
「なぜ放射線はコンクリートや水を通らないのか」
「90Srが身近にあったとき身を守る方法は」
放射線強度の強弱と線種を誤解することもあり、要注意である。

【濃縮・拡散】
「放射性物質は風に乗りどこまで拡散するのか」
「足柄のお茶で基準値を超えたがなぜ遠く離れた一部分だけで越えたのか」
「放射性物質の大気拡散」
「放射性物質の海洋拡散」
「放射性物質の飛散が原発からの距離に比例しないのはなぜか」
「海に流出した汚染水は今後どのあたりに広がるか」

【汚染】
「福島原発の半径何 km 位が本当に危険なのか」
「いつ頃今回の事故の放射線被害を心配しなくてよくなるか」
「危険地区に指定され避難している場所はどのくらい危険なのか」
「土壌を入れ替えたら放射線は出ないのか、どこまで入れ替えれば大丈夫なのか」
「福島原発の周辺ではいったいどこでどのくらいの放射線が出ているのか」
「本当に放射線が大変な町や村にはどのくらいの放射線量があるのか」
「そのような町や村はどのくらいで住めるようになるのか」

【処理】
「放射能を浴びたものの処理方法」
「科学的に作られた放射性物質をなぜ人間は処理できないのか」
「原子力発電所内での放射線の処理の仕方は」
「原発を解体するときに放射能の付いた資材はどう処理するのか」
「放射能に汚染された物質の処理方法」
「放射能を完全に消し去ることはできるのか」

【単位・用語】
「照射線量、吸収線量などの違いが分からない」
「Sv、Gy、Bq、C（クーロン）などの単位がまだよく分からない」
これに Ci が入ると完全に理解してもらえない生徒が多数出てくるであろう。

【測定】
「放射線強度はα、β、γ、中性子、X 線のどれを測定しているのか」
「Ra の半減期を測るとき、Rn になった時を測るのか、Pb になって安定した時を測るのか」
「14C が検出されないものはどのようにして年代測定をするのか」
「半減期はどのように計測するのか」

【原発】
「もし福島原発が爆発していたら、どの範囲まで目に見える体への影響が出るか」
「メルトダウンの意味が分からない」
「メルトダウンを起こすとどうして危険なのか」
「福島第一原発を放置したらどうなるのか」
「原発事故で一番出ている放射線の種類は何か」
「原発停止から核反応の停止までどのくらい時間がかかるのか」
「原子力発電所がコントロール不能になったときの危険性」
「福島で水素爆発がなぜ起きたのか（水素が発生した理由）」
「使用済み核燃料のなかのプルトニウムは原発の燃料として再利用できるか」
「原発の仕組みが説明されても分からない」
「もんじゅが危険だというが何が危険で作業が進まないのか」
原発の仕組み、放射線が水に吸収され熱が発生することがイメージできない。

【歴史】
「レントゲンが放射線を発見できた理由」
「なぜ放射線や放射能を見つけることができたのか」
これらは少数の疑問であるが、物事を深く考えていることの証拠である。現在のカリキュラムではレントゲンやキュリー夫人の業績を教えるようになっていないので、単に放射線だけではなく、科学教養の一環としてどこかで学ばせる必要を感じている。

【その他】
生徒の疑問は生体作用に関することが多く、これは放射線に関する健康情報や安全情報を一元的に発信されていないことに由来している。生徒の情報入手先はほとんどメディアである。連日の報道に嫌気をさしたのか「どうして国民やマスコミは原発を敵視するのか」というものもあった。

次に、誤解に基づいた疑問を紹介する。
①「半減期とは放射能の質量が半分になるということなのか」
少し考え込んでしまう質問である。質量が半分という発想はどう考えても理解できないが、まじめに書いているので余計深刻である。
②「放射線はは水を通りにくいのに、なぜ汚染水というものがあるのか」
　この誤解は筆者の授業をまともに聞いていないことの証拠ともいえ、誠にお恥ずかしい限りであるが紹介した。
③「Rn は安定している希ガスなのに放射性物質として不安定な理由は」
この誤解は核反応と化学反応を混同していることにある。
④「放射線はコンクリートなどでないと防げないのに、なぜ植物を通りぬけないで溜まるのか」
これは放射線を出すのが、放射性物質であるという基本を理解していない。放射性物質の付着という考えがないので、洗えば落ちるということに考えが及ばないであろう。
⑤「放出する放射線量は元素によらず一定であると聞いたがなぜか分からない」
私も分からない。メディアでこのようなことを言ったのであれば問題である。しかし、正確な話をしても受け手はこのように判断したのかも知れない。この点が要注意である。

まとめと提言
　筆者は地学を教えているが、常に物理・化学との関連性を意識し授業を行っている。
放射線に関連する事柄としては、
・物質はエネルギーの化身であること
・核融合反応（質量欠損　質量がエネルギーになる）
・電磁波もエネルギーの一つである
・温度と放射の関係（ステファンボルツマンの法則）
・太陽風や宇宙線のこと
・バンアレン帯　（地球磁場で太陽風がガードされていること）
・地球磁場は頻繁に逆転を繰り返してきたこと
・地磁気逆転時はものすごい量の太陽風や宇宙線が地上に降り注いだであろうこと
・化学反応は電子のやり取りによる変化で、原子核が起こす変化よりエネルギーははるかに小さいこと
などが挙げられる。
　中学校理科で放射線が復活したわけであるが、教員はこれらの事柄を知識として持ったうえで授業展開をすれば生徒の理解も変わってくると考える。新しい教科書は出版社により放射線記述のレベルが大きく異なる。最初のレベルとしては「高エネルギー加速器研究機構　暮らしのなかの放射線」(3)が役立つであろう。しかし、詳しく書かれている教科書を使う教員に対しては、その次のステップとして、当フォーラムから何らかの情報提供を考えても良いのではないかと感じている。
　社会全体を、放射能という有害物質があり様々な悪影響を私たちに与えるという「迷信」が支配しており、マスコミはこの「迷信」を拡大流布している。「迷信」を棄てさせるには若い世代への教育しかない。これは学習指導要領で謳われている「科学的な見方や考え方」を身につけてもらうこととも一致する。ここで紹介した生徒の疑問・質問がその手助けになれば幸いである。

参考文献
(1)放射線測定要領書の検討－高校生を対象として－　放射線教育 Vol.11　(2007)
(2)山野直樹，放射線と放射能 www.ocw.titech.ac.jp/index.php?module=General&action...
(3)高エネルギー加速器研究機構　暮らしのなかの放射線
http://rcwww.kek.jp/kurasi/index.html

放射線利用を題材とした学習活動

神奈川大学附属中・高等学校
理科　中山知恵子

1．放射線利用の学習活動を始めるまでの経緯

以前より本校の理科の授業や課外活動において、「放射線」学習を実施してきた。この経験の中で、「放射線」を学習する際には、「原子力発電」「原爆」を常に関連づけて授業を展開することに違和感を感じるようになった。過去の様々な出来事をしっかり受け止めた上で「放射線」を扱わなければならないことは十分に理解できる。しかし、科学技術の発展の一つとして、「放射線」を認識してほしいという想いもあった。

そこで、活動費用が補助される科学技術振興機構（JST）主催のサイエンス・パートナーシップ・プロジェクト（SPP）に「放射線利用」をテーマにした企画を応募したところ、2010 年度より 2 年連続して採択された。この企画は、日本原子力研究開発機構の高崎量子応用研究所を主な連携先として計画したものである。参加を希望する生徒を募集し、放課後や夏休みを中心に活動してきた。

2．放射線利用を中心とした課外活動

⑴ 募集から学校祭発表までの流れ

５月　「量子ビームを利用した材料開発」をテーマに生徒募集
６月　「放射線」勉強会開始
７月　専門家による講演会「放射線の人体への影響」
８月　高崎量子応用研究所での実習（１泊２日）
９月　学校祭での発表内容の検討
１０月　学校祭での発表

⑵ 活動メンバー

中学２年６名　中学３年２名　高校１年３名　高校２年３名　　男子１２名女子２名

⑶ 活動のようす

①「放射線」勉強会（いずれも放課後実施）

- 「暮らしの中の放射線」http://rcwww.kek.jp/kurasi/index.html
- 「放射性元素物語」松浦辰男著

自然放射線の測定

身の回りの物質を測定

特性実験セットを用いて
遮蔽効果や線源距離の実習

ビデオ学習

専門家による「放射線の人体へ影響」

②高崎量子応用研究所での実習

照射条件についての話し合い

放射線橋かけによる改質

PCL耐熱性実験

放射線の利用説明

施設見学

照射施設前で

③学校祭での発表

発表のようす

霧箱の作製

ミニ放射線講座

3．生徒の感想・意見

⑴ 放射線についてわかったこと。

・種類がいろいろあること。
・内部被曝と外部被曝があること。
・農業、工業、医療など、さまざまな面で利用されていること。
・放射線は体を害するだけでなく、暮らしにも役立っていること。
・危険な面ばかりではない。
・騒いでいるほど危険ではない。

⑵ 放射線についてもっと知りたいこと。

・レントゲンを撮るときに、どうやって放射線を発生させているのか。
・放射線のさまざまな性質やそれを使った実験。
・放射性物質の半減期について
・放射性降下物について
・法律上の放射線について
・原子力は宇宙開発に使えるか。
・放射線による治療の原理・仕組み・安全性
・放射線による元素分析
・放射線の利用は、まだ他にもあるのか。

⑶ 他の生徒に伝えたいこと。

・怖い面もあるが、生活の中では必要不可欠になっているということ。
・身の回りに普段から放射線は存在していて、普通にしていれば全く危険ではないということ。
・私たちの生活に役立っていて、なくてはならないものだということ。
・自然放射線のこと
・基礎をまず教えてあげたい。
・放射線に少しは関心を持ってほしい。
・放射線は危なくない。
・放射線の面白さ
・単に怖がるのではなく、何が危険なのかを知るなど正しい知識を手に入れてほしい。
・「放射能」はふざけて言う言葉ではない。
・放射線の発生の仕方
・ベータ崩壊の奥深さ

⑷ 大人に伝えたいこと。

・子供たちには正しい知識を身につけてから教えてほしい。
・福島原発のことなどあるが、あまりヒステリックになりすぎず、まず放射線についていろいろ知ってほしい。
・「知らない」ということが一番怖い。
・普段から人間は、放射性物質を含む食物を食べていること。
・むやみに怖がらないでほしい／騒ぎすぎ／落ち着いて。
・放射線は人間の命を救うこともあるということ。
・大人が正しい知識を持たなければ、子供が正しい知識を手に入れられる機会が減ってしまうので、

・ニュースなども正確に伝えてほしい。
・「放射能があたる」という表現はやめましょう。
⑸「放射線」について知っていてよかったと感じたこと。
・怖いということだけではないということ。
・これくらいなら安全と簡単な線引きができた。
・放射線の量がどれくらいで危ないのかがわかった。
・放射線は身の回りにもたくさんあり、量が少なければ危険でもない。
・太古から放射線と共存してきたこと。
・ニュースで放射線について取り上げられている内容を理解できるようになった。
・新聞やインターネットで家族がわからないところを説明できたこと。
・原発事故で情報に振り回されずに済んだこと。
・原発事故が起きたときに、ほとんど心配することがなく落ち着いていられたこと。
・原発事故の時もニュースなどに惑わされずに冷静でいられたこと。
・デマに惑わされずにすんだ。
・間違って使われている「放射線」と「放射能」に敏感になった。
・物理的な放射線のでき方。
⑹「放射線」について、家で話題になったこと。
・放射線の性質・利用・影響
・崩壊の仕方
・ベクレルとシーベルトの違い
・東京周辺の線量は健康に問題はないのか。
・PCL の実験を家族に見せた。
・ニュースに対する批判
・日本は放射線に敏感すぎではないか。

4．放射線教育を取り組んで

⑴ 大人が子供に学ぶ

中学学修指導要領に３０年ぶりに復活した「放射線」であるので、教員の多くが「放射線」について学んだことがない。このような状況の中で、「はかるくん」をもって校内を測定している生徒と教員が会話をすれば、教員も自然と「放射線」を学ぶことができる。このように、学校で学ぶ「放射線」の知識は、授業を受けた生徒だけでなく、各家庭を含めた、その生徒と関わりがある人に、その情報は伝わっていく。自然放射線を測定したり、霧箱で放射線の飛程を観察した経験がある生徒であれば、「放射線」に対する理解度も、他者に説明する説得力も向上する。よって、学校で「放射線」を学ぶ意味は非常に大きい。

⑵ 文系生徒にこそ放射線教育を！

「放射線」に限ったことではないが、科学技術の基本事項は、文系理系問わず、全ての生徒が学ぶべきであると考える。特に「放射線」は、一方的に悪者扱いされる傾向が強い。このために、「放射線」を利用する技術も、「放射線」を利用する人たちにまで、偏見に近い見方をする人が少なからず存在する。適切な判断ができるようになるためにも、まず「放射線」に対する正しい知識が不可欠である。

⑶「放射線」から始まる学び

「放射線」を学習すれば、原爆や原子力発電についての質問が出るのはごく自然のことである。また、イメージだけで物事を判断してはいけないこと、科学的にものをみる意味も考えるきっかけとなる。さらに、「放射線」の学習が進むほど、「人としてのモラル」「エネルギー問題」「情報の伝え方」などさまざまな事柄を議論する場面が自然に生じる。これらの事柄には、明確な答えがない。故に、議論するためには、より知識が必要になる。このように、「放射線」の学習をきっかけにして、自発的な学習が生じる可能性は非常に高い。

⑷本物を見る大切さ

本物を見ることによって理解が深まるのは言うまでもないことである。「放射線」はどのように扱われているのか（管理されているのか）、「放射線」を扱う研究者とはどのような人で、どのような想いで取り組んでいるのか、研究所とはどのようなところで、放射線を発生させる装置はどのようなもので、どのように遮蔽されているのかなど、まさに「百聞は一見にしかず」である。それらを自分の目で確かめることが

できれば、「放射線」に対する印象が１８０度変わることもある。

５．課題

課外活動であるが故に、活動できる時間には制約がある。事前学習も学校祭での発表の準備も、十分であったとは言えない。最も反省すべき点は、教師とも生徒同士でも議論をする時間が持てなかったことである。議論をすることで、理解が深まるだけでなく、さらに課題も見えてくる。これこそ、真の学びではないだろうか。議論によって、たくさんの疑問も生じるであろう。その疑問に正確に答えられるのは専門家である。アドバイスしてくれる専門家が、常にそばにいてくれると非常に心強い。しかし、専門用語がたくさん出てくるとかえってマイナスイメージにつながってしまう。生徒と専門家の間を埋めるのが教員の役割である。専門用語をいかにわかりやすく教えるか、その方法も少しずつ模索していきたいと考えている。

６．最後に

「放射線」を学ぶことは本当に必要なのか。生徒のアンケート結果をみてわかるように、「知っている」ことで冷静に物事をみることができるのは明らかである。目に見えない「放射線」は講義だけで説明するより、自分の目で確認することが重要である。無料で測定器を借りられる制度を積極的に活用し、自然放射線の測定をする授業だけでも、「放射線」に対する生徒の認識は大きく変わってくる。「放射線」を利用する研究はこれからも進むであろうし、世界に目を向ければ、原発もなくなるわけではない。原発事故は二度と起きて欲しくはないが、正しく怖がるためには正しい「放射線」の知識を得ることから始まる。教育の役割はとても大きく重要である。３０年ぶりに復活した「放射線」だから、教師も生徒と共に学ぶつもりで、まずは測定器を借りる一歩を踏み出してほしい。

平成 23 年 10 月

財団法人 新技術振興渡辺記念会
平成 22 年度下期「科学技術調査研究助成」

社会的合意形成を目的とした学校教育のあり方に関する調査研究報告書

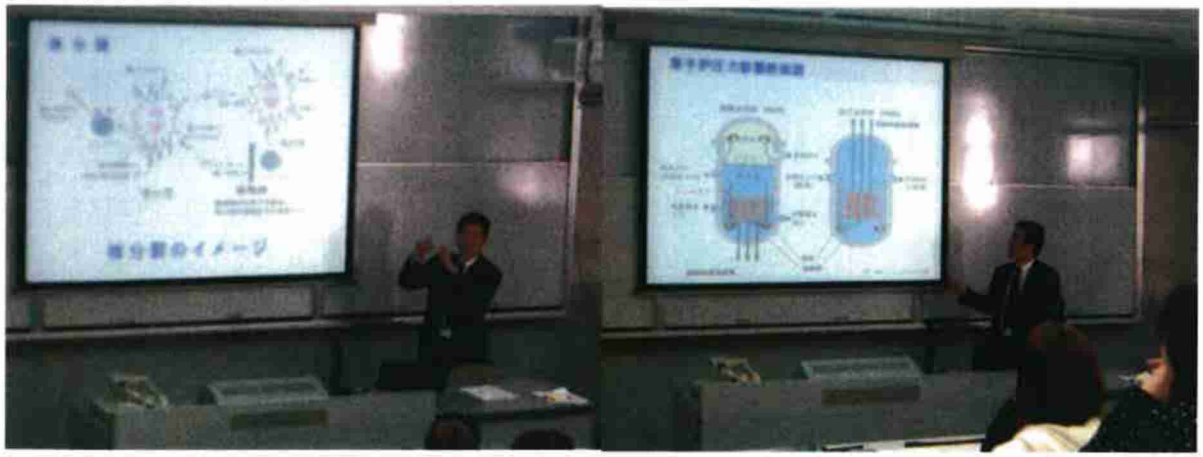
実践事例１：大学生に対するオンキャンパス放射線・原子力教育
実践事例２：小中学生・高校生によるオフキャンパス放射線・原子力ディベート活動（福島第一原発事故前）
実践事例３：小中学生・高校生によるオフキャンパス放射線・原子力ディベート活動（福島第一原発事故後）
実践事例４：小中学生を対象としたオフキャンパス教育：科学技術体験活動「放射線を知っていますか？」

NPO 法人放射線教育フォーラム理事
（慶應義塾大学・医学部・教授）
井上　浩義

実践事例１：大学生に対するオンキャンパス放射線・原子力教育

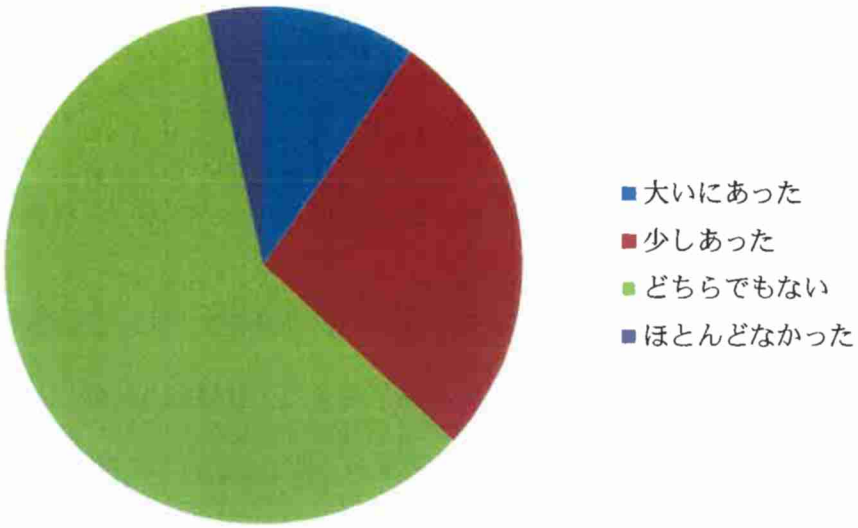
目的：オンキャンパス教育の中で、放射線・原子力教育を実践することの意味およびその効果について検討するために、大学生を対象とした教育を実践した。
日時：平成 23 年 1 月 13 日（木）10:45-14:30（講義時間 3 時間）
場所：慶應義塾大学日吉キャンパス（横浜市港北区日吉４－１－１）
対象：慶應義塾大学医学部 1 年生（18～20 歳）114 名
教育内容：
１）自然放射線と人工放射線
２）放射線の種類
３）放射線の性質
４）原子力発電の仕組み
５）放射性廃棄物
６）エネルギーの多様性と原子力発電

講義の様子（以下、写真）

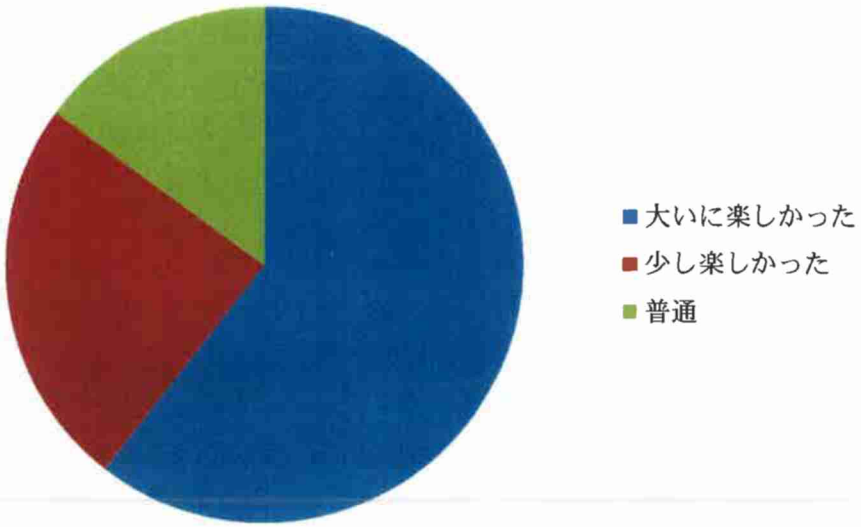


結果：
アンケートを実施することによって、教育評価とした。

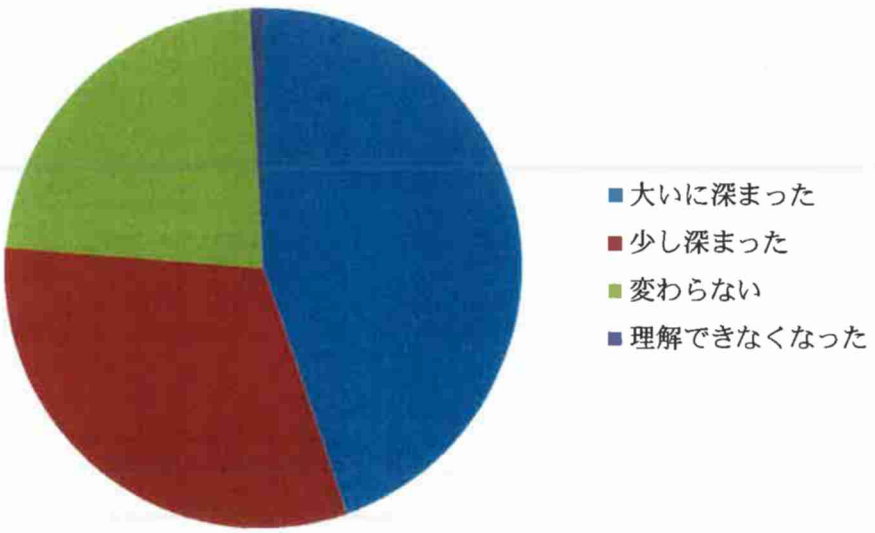
1）受講前、放射線・原子力に関心はありましたか？



2）講義は楽しく聴くことができましたか？



3）講義を聴いて、放射線・原子力について理解が深まりましたか？



実践事例２：小中学生・高校生によるオフキャンパス放射線・原子力ディベート活動（福島第一原発事故前）

ディベート課題：原子力・放射線の利用
日時：平成 22 年 12 月 11 日（日）9:00－12:00
場所：慶應義塾大学信濃町キャンパス（東京都新宿区信濃町３５番地）
対象：全国から集まった小中学生 14 名、高校生 15 名および保護者・教諭
ディベート時間：60 分

事前に配布した資料に基づいて、小中学生グループと高校生グループに分かれてディベートを行って頂いた。
当日は、外部評価委員で、本ディベート課題「原子力・放射線の利用」研究の先駆者である飯利雄一先生（元信州大学大学院教授；元文部省初等中等教育局視学官）および放射線利用で世界的な権威である田中隆一先生（元日本原子力研究所（現日本原子力研究開発機構）高崎研究所所長）に参加頂き、ディベート内容にコメントを頂いた。
参加者アンケートでは、ディベートが、盛り上がり時間が不足した。今後の課題となった。

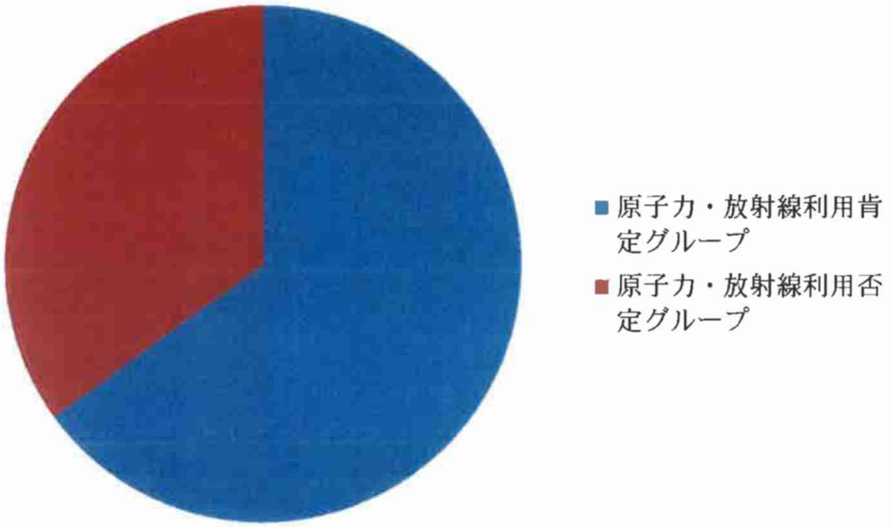
小中学生コースのディベートの様子

高校生コースのディベートの様子

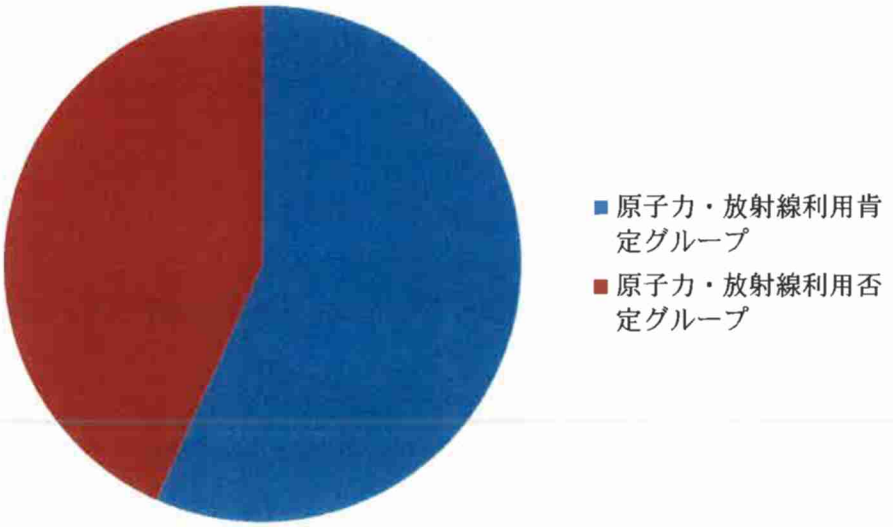
結果：
レフェリーによるジャッジは行わず、コメントのみを頂いた。なお、結果評価の方法として、原子力・放射線の利用を肯定するグループと否定するグループの意見提出時間を計時し、その合計時間を測定した。また、書記（これは教員が行った）が、討論の内容をフローチャートとして、討議の内容が分かるようにした。
最後に、参加者アンケートを取った。

意見時間結果

小中学生グループ



高校生コース



全体として、原子力・放射線の利用肯定派が意見を提出する時間の方が長かった。

参加者アンケートの結果（抜粋）
＜小中高校生＞

- ディベートの時間をもう少し長くして欲しい。
- もう少しディベートの時間が長ければ、もう少し意見が言えたと思う。
- ディベートの時間がもう少し長ければよかったです。また、高校生のディベートも見たかったです。
- ディベートの時間を長くして欲しい。原子力については良い内容だと思うのでもう少し続けられたらいいと思います。
- ディベートをまたやりたいです。次回はもらった資料以外にも全員が各自資料を調べてもってくるように言ってもらえれば良いと思いました。
- このようにして欲しいとかではなく、やっぱり自分はもっとがんばらないとなと思いました。ディベートでもうまくいかなかったし、まわりのレベルの高さに圧倒されっぱなしだった。それが今回だめだったなと思う所です。
- ディベートの内容が小学生には少し難しかったので、もう少しだけ簡単にしていただきたい

です。しかし、今回の体験はとてもためになったのでとても良かったと思います。

＜保護者・教諭＞

- ディベートは子供自身が不安で何をするのか・・・と、気にしていましたが、自信につながったかと思います。先生方、大変ありがとうございました。
- 息子のこれからの人生において大変貴重な体験をさせて頂き、心より感謝申し上げます。今後の活動にも是非積極的に参加させていただければと思っております。ありがとうございました。

以下１６ページから続く

- 空気中にも放射線があるということを自分の眼で確認することができて良かった。ウシの肉を食べても、ガンとかになるという心配はいらないと分かってよかった。
- 霧箱は、家で作ってみたけれど、できなくてどうしようかと思ったけど、ここに来て成功したのでよかった。ありがとうございました。
- とても面白かったです。また、来年もこういう活動をしたいです。ありがとうございました！
- 先生の話がとても面白く、集中して話が聞けた。私たちでも分かるように話して下さってたのでとても分かりやすかった。
- 高校生です（保護者枠で参加させて頂きました）。授業で原子とかを習っていたので、今回の講演は非常に面白かったです。
- お弁当が美味しかったです。2度も質問したのに、ていねいに答えてくれたのが嬉しかったです。

実践事例３：小中学生・高校生によるオフキャンパス放射線・原子力ディベート活動（福島第一原発事故後）

目的：告知の内容を以下に示す。

原子力のあり方に関する緊急ディベート会開催

3月11日に発生しました東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）で被災された皆様にお見舞いを申し上げますと共に、被災地域の１日も早い復興をお祈り申し上げます。

さて、上記地震の影響で福島第一原発に事故が発生し、原子力への国民の不信がこれまでにない程度まで高まってきております。一方で、そのような中でも国内では多くの原発が日々稼働し、更には世界のエネルギー情勢は悪化の一途をたどっております。

現在、国内は非常に混乱しておりますが、このような時期にこそ、将来、日本のリーダーとなる皆さんと原子力エネルギーについて考えてみたいと思い、ディベート会および今回の事故の解説会を実施いたします。

記

対象：小中学生10名および高校生12名
日時：平成23年5月7日（土）10:15～14:00　　＊昼食付
場所：慶應義塾大学日吉キャンパス協生館・多目的教室③
プログラム：

9:45－10:15	受付
10:15－10:30	活動に関する注意
10:30－12:00	ディベート会　＊参加人数によってはグループ分けを行います。
12:00－13:00	昼食
13:00－14:00	福島第一原発事故に関する解説・質疑応答（井上が担当します）
14:00	解散

＊慶應義塾大学・上智大学・東京医科歯科大学等での講演をより分かり易く解説いたします。

申込：〒223-8521 横浜市港北区日吉 4-1-1　慶應義塾大学医学部化学教室・菱沼千晶まで郵便、FAX、e-mail でお申込み下さい。FAX：045-566-1305、e-mail: chiaki_hishinuma@adst.keio.ac.jp

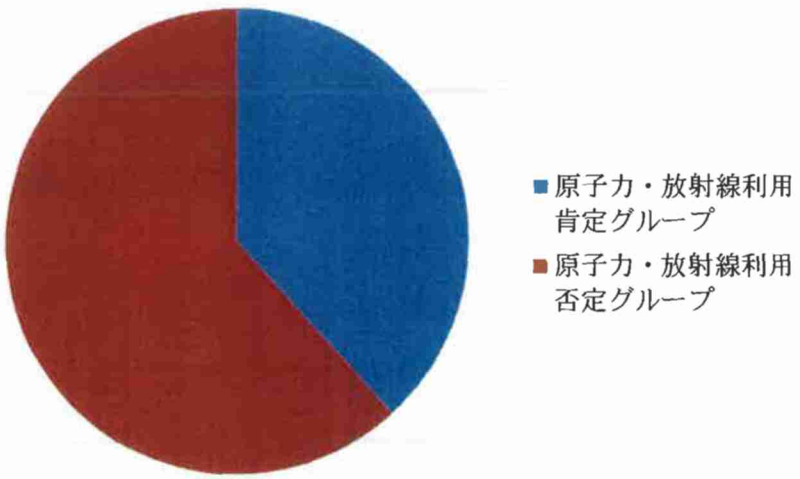
小中学生コースのディベートの様子

高校生コースのディベートの様子

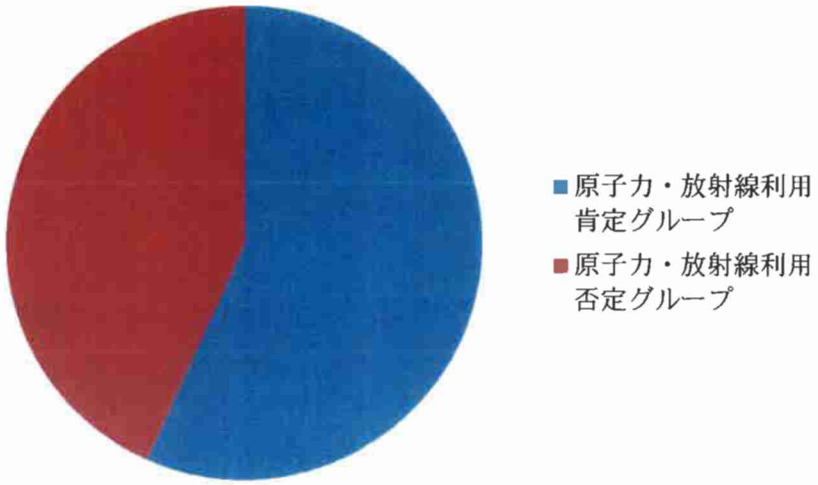
福島第一原発事故に関する解説

結果：
レフェリーによるジャッジは行わず、コメントのみを頂いた。なお、結果評価の方法として、原子力・放射線の利用を肯定するグループと否定するグループの意見提出時間を計時し、その合計時間を測定した。また、書記（これは教員が行った）が、討論の内容をフローチャートとして、討議の内容が分かるようにした。
最後に、参加者アンケートを取った。

<u>意見時間結果</u>
小中学生グループ



高校生コース



福島第一原発事故直後ということで、昨年 12 月の結果とは異なり、原子力・放射線利用否定グループの意見提出時間が、肯定グループの意見提出時間を、小中学生コースおよび高校生コース共に、上回った。特に、小中学生コースでは、その変移が非常に大きかった。

参加者アンケートの結果（抜粋）
＜小中高校生＞

- 1 つの出来事にも色々な捉え方があって、それらはやはりより多くの人の言葉を聞くことで知ることが出来るのだと思う。同年代の人たちがどのような考え方をしているのか、あまり話す機会がないので今回（前回も含む）は良い経験になった。
- 福島の原発がどのようなものなのか、よくわかった。皆がどのような思いを持っているのか、知識がよく伝わった。日本のエネルギーについて興味がすごくわいた。
- 今日はディベートの手助けやお話をしていただき有難うございました。前回より意見が言えたと思います。質疑応答の時間はいろいろなお話があって面白かった。
- ディベートを機会にいろいろ考えることができるため良い機会だと思う。
- 自分とは違う意見を聞けて面白かったです。今日はありがとうございました。
- 前回 12 月に私は”原子力発電には反対”という立場でディベートを行ったので今回の原発事故にはとても興味がありました。そのうえでもう一度、今度は”原子力推進”の立場でディベートが出来たことは私にとって原発についてより深く考えるという機会になりました。これからも、沢山の知識を身につけ、発信していきたいと思います。ありがとうございました。
- とても楽しかったです。今後ともよろしくお願いします。
- 中学生、高校生、大学生のみなさんの発言の難しさにびっくりしました。でも勉強になりました。ありがとうございました。
- 自分の考えとは違う考えを聞くことが出来とても有意義なディベートだと思います。自分の考えとは違う考えを聞くことが出来とても有意義なディベートだと思います。
- まだまだ知識が乏しく、ディベートではあまり十分な発言ができなかったけれど、また他の事（臓器移植など）についてもディベートをしてみたいと思います。今後ともよろしくお願いいたします。
- ディベートは自分がしゃべることによって元々持っていた自分の意見も深まり、他の人の話を聞くことによって違う意見も聞くことが出来るのでもっと行ってほしいと思う。
- 今度またこのような機会があったら、もっと調べてたくさん発言したいです。
-

＜高校生＞

- 日本の問題点が非常に位多く、このディベートの声が少しでも周りの人を変えられたらいいと思いました。
- これからの考え方について、大変影響するものがありました。
- 井上先生のお話しがすごくためになりました。

- ていねいな説明や本当の事がたくさん聞けてよかったです。
- 話し合いの力が養成されていくよい機会になりました。また、普段は考えることの出来ないことを同年代で話し合えてよかったです。
- 原発は、はじめ完璧反対だったけど、賛成ということを考えるようになって完璧賛成ではないけれど少しはやっぱり必要だということも考えるようになりました。今回こういうことを考えて詳しく原発のことを知れてよかったです。
- 一人一人意見をじっくり聞くことが出来て、その後先生からのお話しもあり、自分の考えを深く考え直すことができました。また宜しくお願いします。

＜保護者・教諭＞

- 小中学生のﾃﾞｨﾍﾞｰﾄはここに準備してきた資料と意見をたたかわせ、大変貴重な時間であったと思います。学校の授業では学べない体験ができたと思います。
- 子供たちにとって、とても重要な活動だと思います。この様な機会を活用させていただき、ありがとうございます。
- 事前に資料もあり、家で考えをまとめる準備が出来た分、小中学生でも内容のある有意義なものとなっていました。意見の表明の仕方のトレーニングにもなり、良い取り組みだと思います。
- 大変有意義な講座に参加させていただきまして有難うございました。今日学んだことを理解すると共にこれからも勉強を続けたいと思います。
- 福島原発の話はとても分かりやすくもっと拝聴したいと思いました。ありがとうございました。
- 先生のような推進派の方のお話しだけでなく、反対派の方の意見も聞いてみたいと感じました。本日はどうもありがとうございました。
- 中高校生からﾃﾞｨﾍﾞｰﾄに参加することは彼らが大学に入った時に大いに役立つと思いました。自分たちで文献調査を行い、理解してきた上でディベートを行う事は素晴らしいと思いました。
- 自分の意見をたくさんの情報からつくりあげることが改めて大切だと感じました。慶應の奥の深さを知る１日になりました。
- 参加者の皆さんが、しっかりと下調べをしているようで感心しました。
- 自分の意向をはっきりと伝えること、他の意見を受け付けることは、多くの場面で必要となることから、もっと機会を増やしてほしい。できれば５人程度で2or3ぐらいであると意見を伝えることがもっと活発になると思いました。
- 本日を楽しみにしていました。とても有意義で”今後のエネルギー”について考えました。子供たちのこれから！日本の未来！私たちがこの手で作っていきたいと思いました。
- ニュースとかなどではよく見かける事はありましたが、しっかり調べてディベートをやったのは大いに意味があることだと思いました。
- 学校生活でも滅多に経験できないので今後も継続してほしい。科学教室を半々の割合で。
- さまざまな意見が、とても新鮮で、新しい方向に向かっていく原点となっていくと思います。

実践事例４：小中学生を対象としたオフキャンパス教育：科学技術体験活動「放射線を知っていますか？」

目的

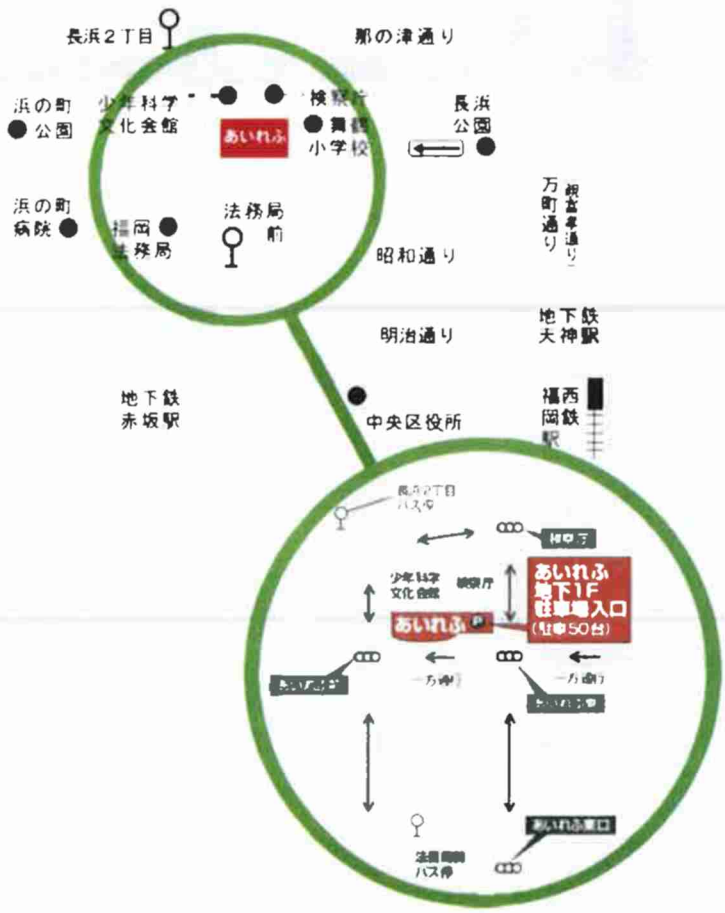
本年３月 11 日に発生した東日本大震災の影響を受けて、福島第一原発事故が発生しました。近年稀に見る原子力事故で、その影響は今後とも継続して、我々の生活に影を落としていくかもしれません。

「放射線」は、地球ができたときから存在し、生物の誕生に関係したとも言われる自然界に存在する現象の一つです。科学の発達とともに、人間が放射線を人工的に作り出すことができるようになると、それを利用して、人間はあらゆるものの最小単位である原子の構造を知ることになります。その一方で、人工的に作られた放射線は自然界に存在する放射線に比べて強かったことから人間や自然界への影響が心配されるようになりました。

この活動では、自然界に存在する放射線を利用して、放射線の性質を理解し、小学生あるいは中学生の皆さんに放射線を科学の目で見つめるようになって頂くことを目的としました。但し、今年は特別に、首記のように、まずは福島第一原発事故の実際と人体への影響について解説をしました。

日時：平成 23 年 7 月 31 日（日）9:30－15:00
場所：あいれふ（福岡県福岡市中央区舞鶴 1 丁目）
対象：北部九州から集まった小中学生 34 名および保護者 28 名

活動場所：あいれふの地図



講義：福島第一原発事故と人体への影響

（１０：１５～１１：４５）

慶應義塾大学医学部教授　井上浩義氏

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災の影響で生じた福島第一原発事故と人体への影響について解説しました。

小学生には原子力発電のしくみなど少し難しい内容を含んでいましたが、熱心に聴いて頂きました。

活動趣旨の説明写真

講演の写真

左：GM サーベイメータを用いて、自然放射線の存在について説明を行う講師

右：福島第一原発事故の概要について説明する講師

質問等も多く、終了は 12 時近くとなった。

お昼休み

（１２：００－１３：００）

お昼休みには、慶應義塾大学医学部の教員、久留米大学医学部の教員、九州大学の大学院生、企業の研究員と、科学、教育、社会問題などについて話をしました。

また、お昼休みには、以下の実験を準備しました。早く昼食を終えた参加者はこれら実習を行いました。

（１）聴診器で心音・呼吸音を聴いてみよう。

（２）食品の放射線量を測ってみましょう。

午前中の講義の中で紹介した GM サーベイメータを使って、食品中の放射線量を測定してみました。準備したのは、生椎茸、干し椎茸、乾燥昆布、その他参考に、湯の花（温泉の素）、リン酸カリ肥料、タングステン電極などを準備した。

GM サーベイメータによる放射能測定の写真

実習：簡易型霧箱で放射線を観察する

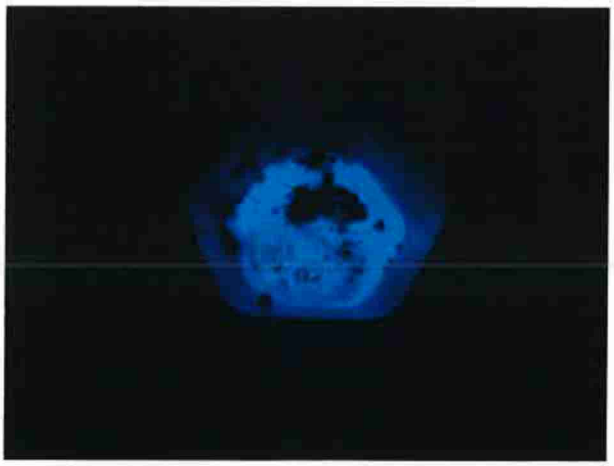
（１３：００～１４：１０）

本実習を楽しみにしていたという参加者がたくさんいらっしゃいました。できれば、夏休みの理科の自由研究にしたいという小学生も多く、急遽、自宅でもできる霧箱観察の解説も行いました。インターネットで売っているキットを使うと3000円以上するが、400円程度でできる方法を教示しました。

出来上がった霧箱で岩石から出てくる放射線を観察する参加者

続いて、ラットの血液を用いてルミノール反応の実験を行いました。

左：反応前のラット血液
右：ルミノール液を添加した時に蛍光の様子（暗室にして観察）

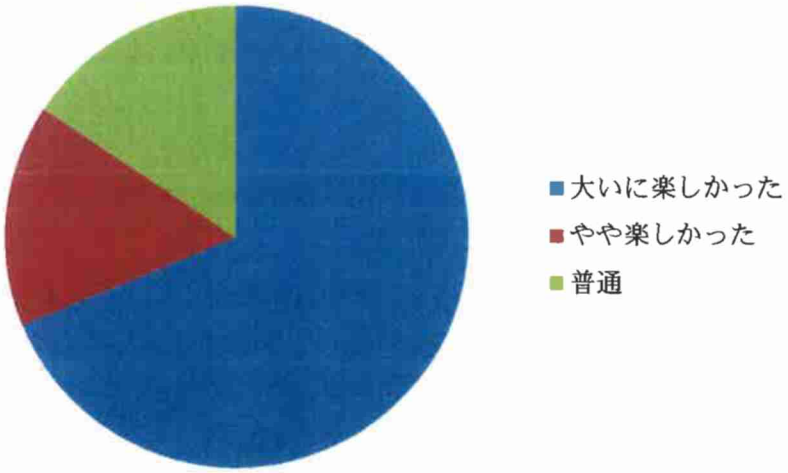


アンケートの回答結果

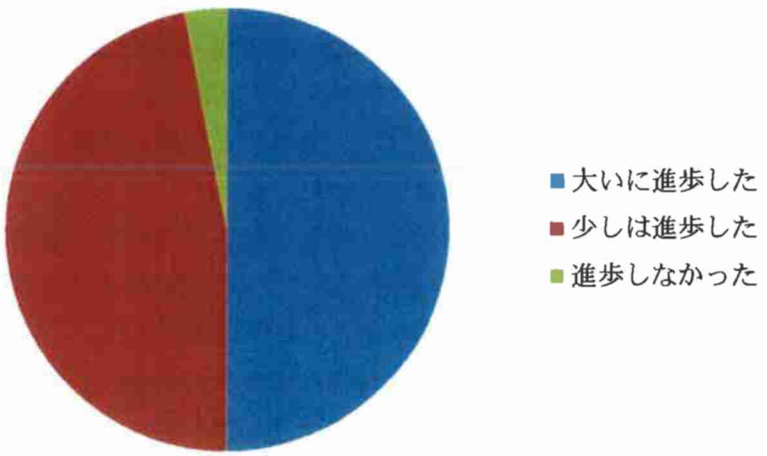
有効回答数：小中学生　３２名

＜小中学生の回答＞

１．今回の活動に参加しての感想をお聞かせください（１つだけ選択）



２．活動へ参加することで知識や思考能力が進歩したと思いますか。



3．その他の自由記載

- ありがとうございました。
- まあまあだった。
- 実験をもっとしたかった。分かり易かった。実験は特に楽しかった。
- 霧箱を家庭で作りたいので、100％エタノールを欲しいです。送ってください。
- 放射線について知ることができた。これからもよろしく。
- 放射線について説明していただき、今までよく分からなかったことがたくさん分かるようになりました。また、放射線に少し興味を持ち、放射線についてもっと知りたいと思いました。
- 放射線の実験、とても楽しかったです。工作もしたので余計に楽しかったです。機会があればまた来たいです。今日はありがとうございました。
- 今日はとても楽しかったし、放射線についてよく分かりました。
- 放射線のことが分かりました。霧箱を自由研究でもやりたいです。
- また来たいです。
- 福島第一原発の事故をもとに、放射線についての説明をして頂き、とても分かりやすかったです。また、先生が、放射線だけでなく他のことについても説明して下さったので楽しかったし、ためになりました。また、このような機会があれば参加したいです。ありがとうございました。
- とても分かりやすく。実験などがとても楽しかった。そして、とてもスムーズだったのでよかった。
- とても分かりやすく楽しかった。
- 実習の霧箱を作ってみたいと思いました。家庭で簡単にできる説明書があったら助かります。
- 放射線は日本でとても問題になっていて、様々な情報を耳にしますが、今回の講演では、その情報の中で、本当のことなのか間違ったことなのかがはっきりしてよかったです。また、実験では実際に目にすることによって実感がありました。また、このような機会があれば是非、参加したいです。今回は本当にありがとうございました。今回学んだことをこれからに生かしていきたいです。
- 本当に面白かったです。説明も分かりやすく、すべての質問に納得のいく答えが返ってきました。自由研究だけでなくいろいろなことを学びました。
- 最近、テレビで連日放送されている福島第一原発のことについて。大いに安心できたような気がします。しかし、まだまだ放射線について危険な部分まで完全に知ることができたわけではないので、これからも調べてみたいです。今日はありがとうございました。
- 僕は福島第一原発事故がなぜ起きたのか、津波が来ても何か悪いことが起きるとは考えられずに、知りませんでした。しかし、やっとそのモヤモヤを解決することができました。それ以外にも。放射能能ことや余談から幾多のことを教えて下さいました。ありがとうございます。
- とても楽しかったです。
- 福島のことについて正しい知識が得られたのが良かったです。これからは、私たちがみんな生きやすい世界を作るために私は医者になってがんばろうと思いました。ルミノール反応の実験は綺麗に光っていてとても面白かったです。
- 知らないことがたくさんあったので、知ることができて良かったです。
- 霧箱の実験で、霧がいっぱい出ていてすごいと思いました。聴診器で初めて自分の心臓の音をはかれて良かったです。

（以下６ﾍﾟｰｼﾞの下の欄に続く）

放射線学習の資料

1. はじめに・・・なじみのない放射線について考える前に、身近な光に着目してみよう。

放射線は光とともに、太古から存在していた。
今よりの強い放射線の環境のなかで生物は進化してきた。
放射線との共通点、相違点はなんだろう？

1.1 光と放射線との共通点は多い

目に見えないがどこにでもある…可視光は例外
超高速で飛んでいる …光速
エネルギーをもっている…光の一粒一粒
何もなければまっすぐ進む…真空中では直進
ものを透過する…波長によって異なる
ものにはたらく…作用する
残らない、たまらない…その一瞬に存在するだけ

1.2 光と放射線の相違点はなにか

エネルギーが大きい …放射線の一粒一粒
透過力が概して強い
はたらき(作用)が大きい

1.3 光の性質…小中学校では直進、反射、屈折を習った。もっと身近な生活的な視点で考えてみよう

①二つの基本性質

ものを透過する性質： 空気、水、ガラス、薄い物質などを光は通り抜ける
ものにはたらく性質： 光のエネルギーがものや人体に作用を及ぼす（吸収される）

②はたらき…人間生活の面から考えると、メリットとデメリットがある

メリット：生活で無自覚に役立っているだけでなく、積極的に利用されている
太陽光発電、太陽熱・・・・ 物理作用の利用
写真、光合成・・・・・・・ 化学作用の利用

デメリット： 日焼け、老化、皮膚がん、材料の劣化

2. 放射線の性質…放射線すべてに共通する基本性質を考える

2.1 二つの基本性質…光の場合にならって考える

ものを透過する性質：透過力が概して大きい。ただし、水や空気では光のほうがよく透過する
ものにはたらく性質(作用)：物質や人体のへ作用が光より大きく、その効果や影響はさまざま
（代表的な作用は電離作用）

●電離はイオン化とも言う。電子を失って正電荷を帯びた原子や分子をプラスイオン、電子を取り込んで負電荷を帯びた原子や分子をマイナスイオンという。電離とは、電気的に中性な原子や分子が放射線、電磁波、熱などのエネルギーの作用で、原子や分子から電子がはじき出されてイオンになること。
●ものに作用するエネルギー量に尺度・・・(吸収)線量（単位：グレイ（ジュール／キログラム））
人体への放射線の影響度を示す尺度・・・(実効)線量（単位：シーベルト）
●もう一つの重要な性質…電気を帯びた放射線は電界や磁界で曲げられる（クルックス管の復習）

2.2 作用（はたらき）について…光の場合と同様に、人間生活とのかかわりを考える

利点： 放射線による物質への作用(効果)…放射線は利用され、生活に役立っている
欠点： 放射線の人体への作用(影響) …放射線の防護や管理を必要とする

●遠い宇宙からの放射線、ニュートリノは毎秒100兆個も私たちの身体を通り抜けている。原発事故で問題になっている放射性物質もニュートリノを放出しているが、身体を透過するだけで作用を及ぼさない。「放射線の量」は膨大でも人体への影響度を表わす「放射線量」はゼロなので全く危険ではない。
●放射線が物質を透過するだけだったら、放射線は怖くもないし、役にも立たない。だから、人間生活

にとって、透過よりも作用のほうが重要な意味をもつ。作用は透過を妨げるはたらきとも言える。

2.3 放射線の性質はどのように利用されているか（放射線医療の場合）

(1) X線による診断　①身体内部の観察には身体の透過を利用
　　②病変部や怪我の診断には身体中での作用の違いを利用

(2) 放射線によるガン治療　①病変部までの透過を利用
　　②病変部への作用を利用

3. 放射線の種類…放射線もいろいろ。どんな種類があるか、異なる見方で比べてみよう

3.1 発生源の違い

①放射性物質(放射能)…α線、β線、γ線など　　福島原発事故でおなじみ
②発生装置…X線、電子線、陽子線、重粒子線など　　放射線利用の主役として活躍

Q　なぜ、α線、β線は物体を透過できる？

図1　放射線の種類と発生源

3.2 発生条件の違い

①自然放射線…鉱物、食物、宇宙、自然環境など
②人工放射線…原子炉、加速器などの人工的な発生装置

Q　放射線を止める方法は？

3.3 粒子か電磁波かによる違い

①粒子線…β線、電子線、陽子線、α線、炭素線、中性子線など
②電磁波…X線、γ線…光の仲間で波長が特に短いもの

図2　主な放射線の実体

放射線	実体	電荷
アルファ線	ヘリウム原子核（イオン）	＋2
ベータ線	電子	－1
ガンマ線	電磁波	なし
X 線	電磁波	なし

4. 霧箱によるα線飛跡の観察

図3　放射線の透過能力の比較

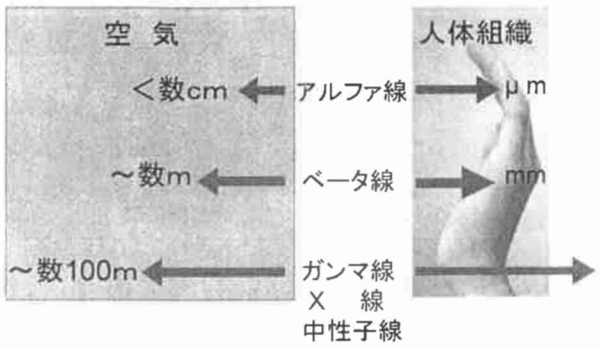
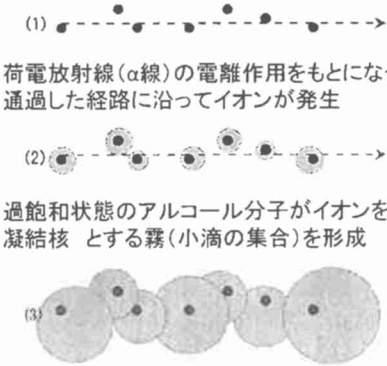


図4　霧箱の動作原理　α線飛跡の形成



チャールズ・ウィルソン
1927年「霧箱」発明で
ノーベル物理学賞

5. 身の回りの放射線・・・自然放射線、自然放射能

図5　高度とともに増える自然放射線量

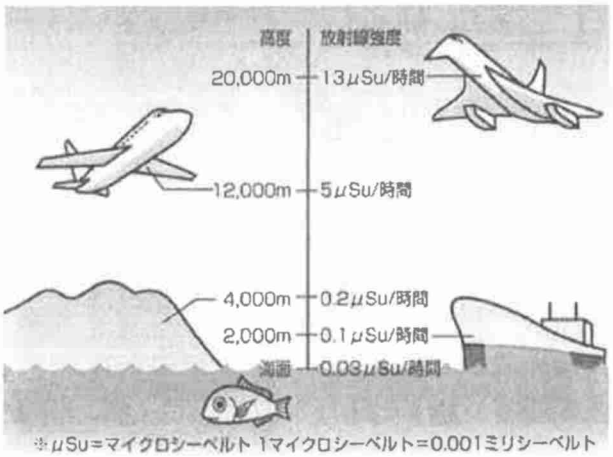
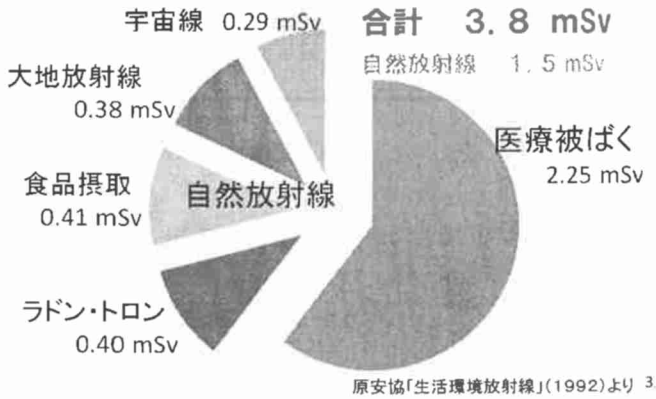


図6　食品中のカリウム40の放射能濃度
（単位：ベクレル/kg）

図7　自然放射線等による日本人の年間平均被ばく線量



原安協「生活環境放射線」(1992)より [3]

図8　最近よく出てくる放射線の単位

- ベクレル(Bq)・・・放射能の強さ

  1ベクレルは、放射性元素が1秒間に1個崩壊する割合に相当する放射能の強さを表す。1崩壊当たり1個の放射線を放出するとは限らない。(1M(メガ)Bqは1秒間に百万個崩壊する強さ。1G(ギガ)Bqはその千倍の十億個)。

- シーベルト(Sv)・・・放射線被ばく量(実効線量or線量)

  放射線被ばくの管理や放射線影響の評価に使われる。
  ある場所での放射線被ばくの強さを表すには「線量率」を使う。
  1μSv/h で表わされる空間の線量率は、その場所に1時間居れば、1マイクロシーベルトを被ばくするという意味である。

6. 放射線の利用・・・透過と作用の両性質の活用

図９　放射線のいろいろな利用

放射線利用とは

図 10　「透過」と「作用」という両性質の利用

放射線診断

(1) 身体内部の観察には身体の透過を利用

(2) 病変の診断には身体中での作用の大きさの違いを利用

放射線治療

(1) 病変部までの透過を利用

(2) 病変部への作用を利用

図 11　放射線と生活の安全

放射線は社会のインフラを支える

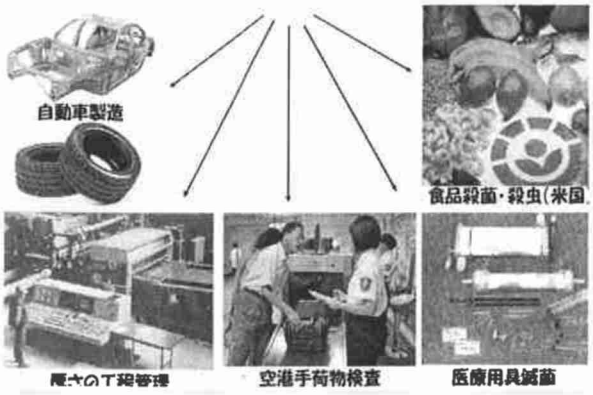
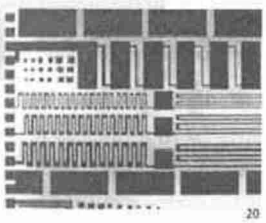


図 12　半導体製造

ケータイやパソコンなど多くの電子製品に

半導体集積回路(IC)が組み込まれている



集積回路の原版の製造には放射線が利用されている。

6. 1 放射線利用の長所。なぜ、優れているか。その長所が特に活かされている利用事例
①放射線は精密に制御できる…パソコン・ケイタイ、放射線治療・診断、年代測定
②薬品や熱を使わずに簡単に処理できる…プラスチック加工、医療用具の滅菌、品種改良
③高感度の検知や高精度の測定ができる… 非破壊検査、空港手荷物検査、製造業の品質管理

6. 2 放射線利用の短所。利用普及のおける問題点
①放射線・放射能に対する国民の不安感、恐怖感が強い
②利用施設の設置･運用のコスト負担と厳しい法律の規制
③放射性物質の悪用によるテロ発生の潜在的な危険性

6. 3 放射線利用においてどのように安全が確保されているか（わが国）
①放射線被ばくの厳しい管理…作業者、周辺住民等の被ばく管理。30 年以上事故歴なし
②照射食品の管理…照射で放射性物質は生じない。購入は消費者の選択（照射食品）。
③放射性物質の防犯(セキュリティ）対策…国民保護法等による危機管理、教育訓練

7. 放射線、放射性物質の影響と防護

7. 1　放射能と内部被ばく

図 13
被ばく経路

図 14　放射線・放射能・放射性物質のたとえ

図 15　放射性物質の体内動態

	ヨウ素 I－131	セシウム Cs－134	セシウム CS－137	ストロンチウム Sr－90
放射線の種類（含娘核種）	β、γ	β、γ	β、γ	β
半減期	8日	2年	30年	29年
生物学的半減期	約80日	約100日	約100日	長期
蓄積する器官・組織	甲状腺	全身	全身	骨

図 16
飲食物摂取制限に関する暫定規制値

核種	摂取制限に関する暫定規制値（Bq/kg）	
放射性ヨウ素（主にヨウ素-131）	飲料水	300
	牛乳・乳製品　注）	
	野菜類(根菜、芋類を除く)	2000
セシウム-137 セシウム-134	飲料水	200
	牛乳・乳製品	
	野菜類	500
	穀類	
	肉、卵、魚、その他	

注）100gを超えるものは、乳児用調製粉乳及び直接飲用に供する乳に使用しないように指導すること。

図 17　内部被ばくによる線量

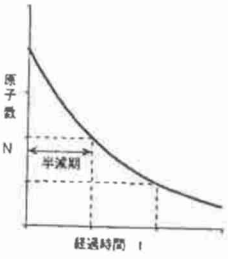
放射性物質の濃度から被ばく線量への換算

線量（μSv）＝ 摂取量（kg） x 放射能濃度（Bq/kg）
x 線量換算係数（μSv/Bq）

- 大人が毎日セシウム-137濃度200Bq/kgの水を2ℓ飲んだ場合
- セシウム-137経口摂取の線量換算係数は 0.013(μSv/Bq)
- 1日当たりの内部被ばく線量は 5．2 μSv

線量換算計数
・放射性物質の種類に依存
・経口摂取 or 吸入
・成人 or 小児

図 18　放射性物質の半減期



核種		半減期
H-3	水素3(三重水素)	12.33 年
C-14	炭素14	5,730 年
K-40	カリウム40	12.77 億年
Co-60	コバルト60	1,925.1 日
Sr-90	ストロンチウム90	28.79 年
Mo-99	モリブデン99	65.94 時間
Tc-99m	テクネチウム99m	6.01 時間
I-129	ヨウ素129	1,570 万年
I-131	ヨウ素131	8.0207 日
Cs-137	セシウム137	30.07 年
Ra-226	ラジウム226	1,600 年
U-238	ウラン238	44.68 億年
Pu-239	プルトニウム239	2.411 万年

http://www.nndc.bnl.gov/wallet

図 19　放射線の健康影響

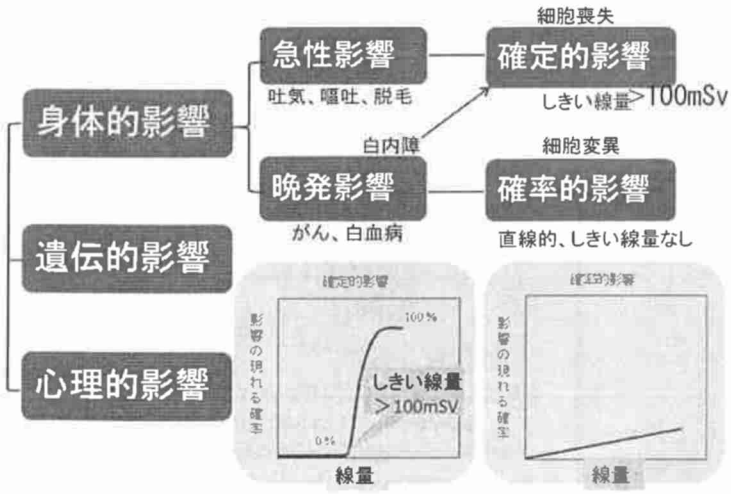
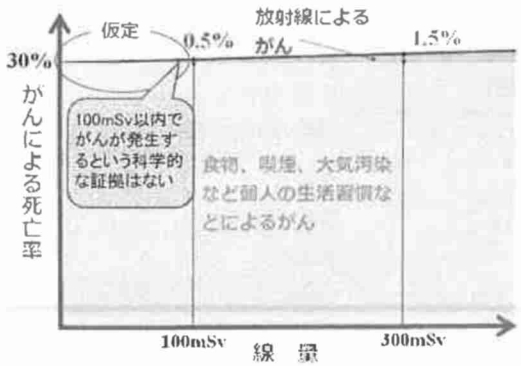


図 20　身体的影響に関するポイント

- どれだけ被ばくしたか？・・・・・・・線量
  被ばく線量によって影響の出方が変わる。
- どれくらいの時間被ばくしたか？・・・線量率
  線量が同じなら、長時間にわたって被ばくした方が影響は小さい。
- どの部位に被ばくしたか？
  被曝していない臓器には影響は一般に表れない。
- 被ばく後どれだけ経ったか？
  影響には潜伏期間がある。

図 21　晩発放射線影響

放射線によるがん死亡のリスク管理



5

図 22　晩発性放射線影響

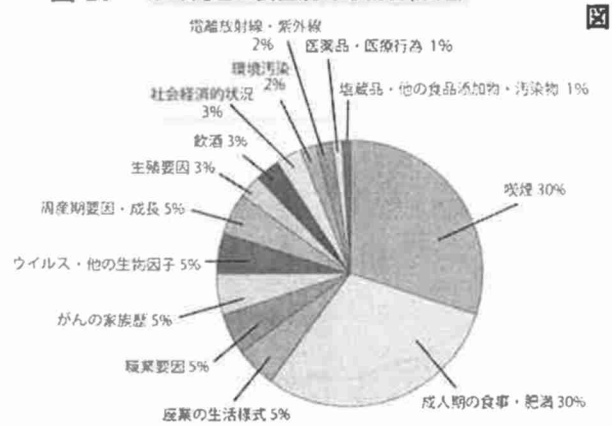
放射線と生活習慣の発がんの相対リスク比較

受動喫煙の女性	1.02～1.03	肥満	1.22
野菜不足	1.06	1000～2000mSvの被ばく	1.4
100～200mSvの被ばく	1.08	毎日2合以上の飲酒	1.4
塩分の取り過ぎ	1.11～1.15	2000mSv以上の被ばく	1.6
200～500mSvの被ばく	1.16	喫煙	1.6
運動不足	1.15～1.19	毎日3合以上の飲酒	1.6

注）被ばくリスクは原爆のような一時に放射線を浴びる条件下でのデータであるので、原発事故では過大評価。

国立がんセンターの調査　4
日本経済新聞　2011．5．7

図 23　がん死亡の要因別寄与割合(推定)



出典：Harvard Center for Cancer Prevention Harvard Report on Cancer Prevention, Volume 1: Causes of Human Cancer, Cancer Causes Control 1996; 7: S3-S59

図 24　放射線を正当に怖がるためには

1．「放射線があるかないか」ではなく、「どれだけあるか」によって安全か危険かを判断する。
   微量ならば危険ではない
   線量が同じならば、危険度に自然、人工の区別はない
   放射線は残らない、溜まらない。放射能は感染しない、うつらない
2．安全か危険かで、線量域を白黒に２分割できない。グレーゾーン（不確実性域）の認識が必要。
   線量限度は白黒判断の境界ではない
   食品添加物や残留農薬の摂取許容量でも同じこと
3．科学的評価には不確実性が伴うことの理解が必要。
   影響要因が複雑に絡む事象（健康、環境）、低レベル放射線環境

平成２３年度　放射線等に関する出前授業等の開催「授業案」

名前　大島　浩

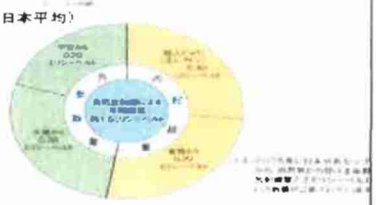
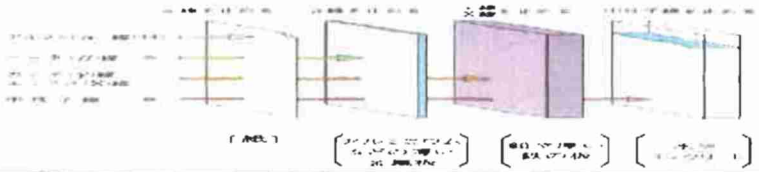
○をつけてください		１．小学生	
○をつけてください		１．１校時（45分～50分）	
		授業展開・内容　等	授業の手法、教材等
1	5分	最近、気になる放射線 (1) 放射線って何？ ・放射線について、知っている言葉を書きだして見ましょう。	発問 放射線に関する、話題や知識について理解を問う 概念図で、関連を把握する。
2	5分	(2) 放射線の性質を知っていますか？ ・見えない、聞こえない、匂わない、肌に感じない、味もない。 ・μSv って何でしょう。 (3)放射線のなかまたち (4)放射線の健康への影響（被曝線量の上限と健康への影響を知る。）	放射線の性質と、問題になっている環境影響 例　0.05μSv/h × 24h × 365 ＝0.44mSv
3	5分	(5)人工放射線と自然放射線 (6)日常生活の放射線 ・放射線の発見と科学者（放射線、放射能、放射性物質の用語を知る。）	
4	5分	・放射線の医療、農業、工業への利用の紹介とまとめ （同時に霧箱による放射線の飛跡観察を行うと効果は大きい。）	
5	20分	(7)放射線の性質を調べて見よう ・はかる君の使い方を説明する。 ・放射線を避けるきまりを知る。 ・教室での放射線の測定とワークシートへの記入をする。 ・対象校の先生と協力して、実習を進める。	
6	5分	(8)測定結果を発表する。 (9)学習のまとめ	児童の質問に答える時間を取る。

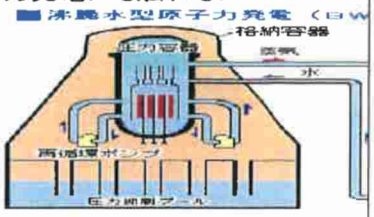
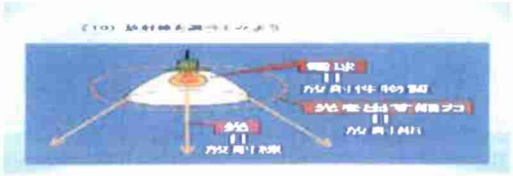
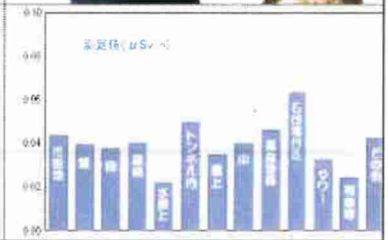
授業の手法教材・資料等	講師が用意するもの	派遣先で準備してもらいたいもの
	授業用スライド、演示用放射線計測器１台、ワークシート	コンピューター、スクリーン

〈授業の要点〉
・放射線の性質と日常生活への利用を整理する。
・放射線の健康への影響と自然放射線について知る。
・放射線を計ることにより、具体的な理解を得る。

平成２３年度　放射線等に関する出前授業等の開催「授業案」

名前　大島　浩

○をつけてください		１．中学生	
○をつけてください		２．２校時（90 分～100 分）	
		授業展開・内容　等	授業の手法、教材等
1	10分	最近、気になる放射線 (1) 放射線って何？ ・放射線について、知っている言葉を書きだして見ましょう。	発問 放射線に関する、話題や知識について理解を問う 概念図で、関連を把握する。
2	5分	(2) 放射線の性質を知っていますか？ ・見えない、聞こえない、匂わない、肌に感じない、味もない。 ・μSv って何でしょう。放射線の線量単位を知る。	放射線の性質と、問題になっている環境影響 例　0.1μSv×8h×365＝0.3mSv 
3	5分	(3)放射線のなかまたち ・放射線の種類を知ろう。放射線には透過と電離作用のあることを知る。 	
4	5分	(4)放射線の健康への影響 ・簡単に被曝線量と健康影響に触れたい ・特に胸部 X 線撮影や歯科診療での被曝線量を知る。	
5	5分	(6)日常生活の放射線 ・放射線の発見と科学者 ・医療機関で利用される放射線	
6	5分	・農業・工業で利用される放射線	
7	5分		

8	5分	(7)日常生活の放射線　原子力発電 ・環境とエネルギーを支える	エネルギー資源としての原子力発電にも触れる. 
9	10分	(8)放射線のさまざまな利用とまとめ ・授業の進行によって、映像教材「暮らしの中の放射線」を視聴する。	
10	5分	(8)放射線の性質を調べて見よう ・はかる君の使い方を説明する。 ・放射線を避ける方法を知る。 	
11	20分	(9)教室内外の自然放射線の測定とワークシートへの記入 (同時に霧箱による飛跡の観察を行うと効果は大きい。)	
12	10分	・簡易放射線測定器による計測とワークシートへの記入 ・測定の結果を発表する。 ・本時の学習のまとめ	

	講師が用意するもの	派遣先で準備してもらいたいもの
授業の手法教材・資料等	授業用スライド 学習用ワークシート	簡易放射線測定器「はかる君」 コンピューター、スクリーン

「理科総合Ａ」

身近な放射線を観察しよう

１．　学習の目標・教材観

授業において放射線を扱う際、放射線の物理的性質の紹介だけではなく技術利用の有用性を理解させることが必要である。科学的合理性に基づいた判断力とともに、（エネルギーの確保や環境の保全について）社会的合意形成を目指す能力を育てることが目標である。

放射線を扱う場合、以下のような課題が指摘される。

(1)放射線は五感で捉えられず、また安全に扱うには専門家の支援が必要である。
(2)放射線そのものが、生徒の日常生活に直接結びつかず、内容が高度である。
(3)授業時数には限りがあり、扱う内容の構成をどのようにするか確定していない。
(4)取り扱いによっては、感情的反発が予想される。

２．　授業設定の理由

科学的合理性に基づいた判断力とともに、（エネルギーの確保や環境の保全について）社会的合意形成を目指す能力を育てることが目標である。科学リテラシーを育てるとよく言われるが、科学リテラシーとは「自然界および人間の活動によって起こる自然界の変化について理解し、意思決定するために、科学的知識を使用し、課題を明確にし、証拠に基づく結論を導き出す能力であり、かつ実行する能力」であり、自然放射線の観察を通して、放射線の性質と活用を学習させたい。

３．　指導計画（3時間配当）

	指　導　内　容	配当時間	指導上の留意点と評価の観点
1	放射線を調べてみよう １．身近にある放射線を挙げてみよう ２．放射線を見つけてみよう 半導体検出器の操作のしかた 線源の位置を調べ、結果を発表しよう 校舎内外の放射線を計ってみよう	1時間	放射線の利用については知られていないので、簡単な資料を用意する。 授業では放射線利用振興協会のはかる君を利用した。 放射線の利用については、事前に課題として調べている。
2	３．放射線について、インターネットを使って調べてみよう 放射線の性質について調べる	1	授業ではＪＳＴのはかる君を借用した。 放射線の利用については、事前に課題として調べている。

	放射線の利用について調べる	時間	放射線の性質については、透過性、核種のちがいによる半減期については簡単に教科書で学習している。
3	4．放射線の性質について発表してみよう 放射線の性質について調べたことを発表する 生活での利用について発表する。 放射線の安全性について調べたことを発表する。 まとめ	1時間	調べた放射線の性質について発表するだけでなく、評価シートを用いて、発表の態度や手法、課題点などが明瞭になっているか、自己および相互評価させたい。

4．　準備および方法

簡易放射線測定器「はかる君」　カンテラ用マントル　カリウム肥料　懐中電灯　黒いフェルト生地　透明プラスチックボール　ドライアイス　エタノール

5．　授業を通して深まる考えや概念・態度

(1)　放射線の性質と利用について学習することができる。

(2)　技術の開発と利用には正の側面と環境破壊などの負の側面があることを学習できる。

(3)　産業の振興や科学技術に対して、科学的合理性に基づく判断、合意形成を目指す態度をどのように身に付けるか学習できる。

(4)　資料・参考文献

(ア)「図説　学力向上につながる理科の題材　物理編」　鈴木勲・山本郁夫編集（東京法令出版 2006）

(イ)「知っていますか放射線」　岩崎民子著　（丸善 2004）

高等学校理科総合Ａ　　学習指導案

対象クラス	高校１年５組（男子　名、女子　名　計　　名）
実施日時	平成２３年１１月１５日（火）　第４校時(１２：００～１２：５０)
使用教室	１年５組教室
単元の目標	エネルギー資源としての放射線の性質と利用を学習する。
単元の指導計画	放射線の性質、利用、利用の課題（安全）
本時の題目	放射線の性質を調べてみよう
本時の目標	（自然）放射線の存在と、その性質を知る
指導方針	放射線の存在を視覚的に捉えることが有効と考え、検出の実験をする

授業展開　　(本時)

段階	時間	指導内容	学習内容	指導上の留意点	評価
導入	15分	放射線の飛跡を見る方法について説明する。	(1)放射線の飛跡を見る実験の原理を学習する。	(1)今回は荷電粒子のα線を見る方法であることを教える。	(1)放射線の飛跡を見る方法が説明できる。
展開	30分	(1)操作手順に従い、実験準備をすることができる。 (2)カンテラのマントルから放出されるα線の飛跡を観察する。 (2)放出されたα線の飛跡をスケッチする。 (3)自然放射線の存在と、α線以外の放射線について話し合う。	(1) 操作手順に従い、実験準備をする。 (2)カンテラのマントルから放出されるα線の飛跡をスケッチする。 (3)自然放射線の存在とα線以外の放射線について汁。	(1)協力して実験準備にあたることができる。 (2) 放出されるα線の飛跡を観察する際、放出される方向や頻度（時間）などに注意させる。	(1) 操作手順に従い、実験準備をすることができたか。 (2)協力して実験準備にあたることができる。 (Ⅲ)α線の飛跡をスケッチできる。
まとめ	5分	(1)自然放射線の存在と観察結果を発表する。	(1) 自然放射線の存在を視覚的に確認する。	(1) 自然放射線の存在と飛跡の観察の方法を理解する。	(1) 自然放射線の存在と観察ができたか。

平成　　年　　月　　日天気（　）室温　℃

実験レポート　　自然放射線を見てみよう

年　組　番氏名〔　　〕

■ 実験のねらい

私たちの身の周りにはたくさんの放射線がある。人工的に発生させた放射線は、レントゲン検診など医療の分野で活用されている。ごく弱い放射線の飛跡を霧箱で見てみよう。

■ 準備

透明容器（ふた付き、または大きいシャーレ）　ドライアイス　エタノール　スポイト　黒いフェルト生地（紙）　ピンセット　発泡スチロールの板　マントル（線源）　懐中電灯　軍手

■ 操作

(1)　軍手をはめ、発泡スチロール（断熱材）の上にドライアイスをのせる。

(2)　その上に黒いフェルト生地を敷いた透明容器をのせ、真ん中に 2cm×2cm に切ったマントルの小片をのせます。

(3)　エタノールをスポイトでたらし、ふたをして十分冷やします。(容器の中をエタノール蒸気で過飽和にします。)

(4)　容器の横から懐中電灯で照らすと、マントルからすじ状の放射線の飛跡（通過した跡）が観察できます。

■ 観察と記録（ワークシート）

1．観察した放射線の飛跡をスケッチしてみよう。

2．放射線にはどのような種類や特徴があるか調べてみよう。

種　　類	特徴や性質
α線	
β線	
γ線	
X線	

3．教室や校庭では放射線は観察されないのだろうか？放射線を検知するにはどのような方法があるか調べ、発表してみよう。

■ 放射線の性質についてまとめてみよう

■ 感想

■ 自己評価

(1)　実験の目的が理解できたか。

5――4――3――2――1

(2)　準備や実験を協力して進められたか。

5――4――3――2――1

(3)　まとめや結果の発表ができたか。

5――4――3――2――1

平成　　年　　月　　日天気（　）室温　℃

実験レポート　　自然放射線を数えてみよう

年　組　番氏名〔　　〕

■ 実験のねらい

放射線の利用は、レントゲン検診や医療器具の滅菌、半導体部品の製造など、医療,工業,農業の分野で活用されている。身の周りにもごく弱い自然放射線あることを放射線測定器で数えてみよう。

■ 準備

簡易型放射線測定器「はかるくん」DX - 200　「はかるくん」実習テキスト　セシウム線源と遮蔽材（上記の測定器と器具およびテキストは希望数が貸与、配布される。）

■ 操作（γ（ガンマ）線とよばれる放射線を測定する）

(1)　放射線測定器「はかるくん」の使い方の説明を聞き、空らんを埋めてみましょう。

私たちの身の周りにはごく弱い放射線が存在し、これを（ア．自然放射線）といいます。放射線は（イ．放射線測定器）で測定することができます。

(2)　測定器「はかるくん」のスイッチを（ウ．ON）にすると、放射線がセンサーに飛び込んできてピピッと音がします。

(3)　放射線を計る単位は（エ．マイクロシーベルト毎時）といい、（オ．μSv／h）と表します。

(4)　放射線には3種類があります。（カ．α線、β線、γ線）

(5)　数値は10秒ごとに表示されるので、1分たってから数値を読み取り記録します。さらに1分ごとに2回、計（キ．3回）測定します。

※「はかるくん」の表示は、毎時(1時間当たり)の数値に換算して表示されています。

(6)　校内のいろいろな場所で自然放射線のうち、（ク．γ線）の強さを測ってみよう。

■ 実験1　身の周りの放射線の測定

測定場所	理科室	廊下	屋外
1回			
2回			
3回			
平均	μSv／h	μSv／h	μSv／h

■ 1年間（365日×24時間）に受ける自然放射線の量を計算してみよう。

（例）　0.034μSv/h ×8760h ＝297.84μSv≒0．3mSv

μは１０$^{-6}$＝0.000001、mは１０$^{-3}$＝0.001です。

私たちは食物や大地、大気や宇宙から放射線を受けています。

■　教室や校庭の放射線を調べた結果を発表しよう。

■　身体と放射線

放射線は身体を通り抜ける時、健康に影響を与えることがあります。そこで法律によって限度が定められています。

※　私たちが１年間に受ける放射線の上限の値は１mSvです。

※　レントゲン検診では、０．０５mSvです。

※　原子力発電所周辺での年間目標値は０．０５mSv。（実績は０．０１mSv未満）

■　実験２　放射線は離れると、どれくらい弱くなるか？

実験用の線源を使って放射線の強さを測定しよう。

	１０ｃm離れた時	２０ｃm離れた時	３０ｃm離れた時
何も置かない時	μSv/h	μSv/h	μSv/h
アルミ(鉛)の板を置いた時	μSv/h	μSv/h	μSv/h

■　放射線を弱めるにはどうしたらよいか？

１．
２．
３．

■　自己評価

(1)　実験の目的が理解できたか。

５――４――３――２――１

(2)　準備や実験を協力して進められたか。

５――４――３――２――１

(3)　まとめや結果の発表ができたか。

５――４――３――２――１

平成　　年　　月　　日天気（　）室温　℃

学習レポート　　生活に役立てられる放射線の利用を報告しよう

年　組　番氏名〔　　〕

■ 課題調査のねらい

(1) 放射線の利用は、エネルギー資源としての原子力発電が知られている。一方、日常生活では放射線の性質である透過性や電離作用を利用した、レントゲン検診や医療器具の滅菌、半導体部品の製造など、医療,工業,農業の分野での利用が増加している。日常生活と放射線の利用について知る。

(2) 放射線がどのように安全に管理され、私たちの生活に利用されているのかを知る。

(3) 図書、インターネットを利用した調査を通して、資料の信頼性や出典の明示など報告をする時の責任について学習する。

■ 調査方法

インターネットのホームページや図書館の資料を利用し、放射線のエネルギー資源としての利用や新しい技術による素材開発、さまざまな産業への利用について調べる。

■ 調査１　放射線のエネルギー資源としての利用

(1) 原子力発電のしくみについて報告しよう。

(2)原子力発電所が、放射線の影響をどのように防いでいるか報告しよう。

■ 調査２　身の周りの放射線（医療での利用）

利用される例	利用される放射線の性質や特徴

■　調査３　身の周りの放射線（工業製品での利用）

利用される例	利用される放射線の性質や特徴

■　調査４　身の周りの放射線（農業での利用）

利用される例	利用される放射線の性質や特徴

■　調査５　身の周りの放射線（意外なところでの利用）

利用される例	利用される放射線の性質や特徴

■　調べた結果を発表し、採点してみよう

放射線の利用例	どのような利点があるか／利用の課題はないか	発表を採点

※　採点のポイントは、発表の仕方（声の大きさや話し方の速さ）、内容の簡潔さや態度をA,B,C の３段階で評価する。

■ 自己評価

(1)　調査の目的が理解できたか。

5――4――3――2――1

(2)　調査や報告を協力して進められたか。

5――4――3――2――1

(3)　まとめや結果の発表ができたか。

5――4――3――2――1

ワークシート（高校版）

1　14C は，５７３０年後に 1/2 に減少する。t 年後の 14C の存在比を示せ。

2　ウラン２３５とウラン２３８の半減期は，それぞれ７億３８０万年，４４億６０００万年である。現在のウランの同位体比は，ウラン２３５が 0.7％，ウラン２３８が 99.3％である。２０億年前，並びに４６億年前の同位体比を求めなさい。

3　次の核反応式を完成せよ。

$^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow [\quad\quad] + {}^{17}_{8}\mathrm{O}$

$^{9}_{4}\mathrm{Be} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow [\quad\quad] + {}^{12}_{6}\mathrm{C}$

$^{59}_{27}\mathrm{Co} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} \rightarrow [\quad\quad] + {}^{1}_{1}\mathrm{H}$

$^{15}_{7}\mathrm{N} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} \rightarrow [\quad\quad] + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$

4　原子の質量を知ることは，原子の本質を知る基本である．原子の質量から得られた知見である原子量，同位体，そして放射性同位体について記述した以下の文章を読み，各問いに答えなさい．（化学グランプリ　２００２年度より）

ドルトンは，1805 年の論文で「気体およびその他の物質の究極的粒子の相対的重量の表」を示している．これが，最初の原子量表であり H=1 を基準としている．その後，多くの学者の研究成果がまとめられ，1902 年以降は O=16 を基準とした国際原子量表が採用された．

1929 年にジオークとジョンストンは，天然の酸素中に ^{17}O と ^{18}O（酸素の元素記号 O の左肩の数字は質量数を表す）を発見した．その後，1940 年までに天然の酸素中の ^{17}O と ^{18}O の存在比もよくわかってきた．その結果，物理学者は ^{16}O=16 を基準とした物理原子量を，化学者は天然の酸素の同位体組成を考慮した化学原子量として O=16 を基準とした原子量を採用するに至った．

1959 年，国際純正および応用化学連合（IUPAC）総会の原子量委員会で，物理原子量と化学原子量を統一するため，新たに ^{12}C=12 を基準とする原子量を提案をした．1961 年にはこの基準が正式に決定した．1977 年には，「ある元素の原子量とは，その元素の原子のモル当たりの質量の，^{12}C 核種 1mol の質量の 1/12 に対する比である」と定義された．炭素の同位体には，安定な同位体だけでなく，^{14}C のような放射性同位体が知られている．

問５．　放射性元素である ^{14}C は，徐々に崩壊し，5730年で元の量の半分に減少することが知られている．このような性質を応用すると，生物遺体の ^{14}C の割合から，その生物の生存していた年代の推定が可能である．以下の各問いに答えよ．

(1) ^{14}C は，β^-崩壊することが知られている．β^-崩壊すると，原子核中の中性子１個が崩壊し，陽子１個，電子１個，そしてニュートリノ１個に変化する．このとき，ニュートリノは，質量 0，電荷 0 の粒子としてよい．^{14}C がβ^-崩壊すると，どのような原子に変化したと考

えられるか．例のように示せ．解答例：^{16}O

(2) 炭素原子のうち，^{14}C の原子数の割合は，地球上では 1.2×10^{-10} %である．ある生物が遺体となったときを 0 年とすると，生物遺体中の ^{14}C の原子数の割合〔%〕は，年とともにどのように変化するか．5730 年後，11460 年後，17190 年後，22920 年後の ^{14}C の原子数の割合〔%〕を計算し，表に記入せよ．

(3) (2)で求めた結果をグラフで表わせ．

(4) ある生物遺体に炭素が 1 g 含まれていたとする．遺体となったときから 5730 年までの間では，1 分当たり平均何個の ^{14}C が崩壊しているか．ただし，原子量 C=12.01 とせよ．

(5) スペインのアルタミラ洞窟の壁画には赤色顔料の酸化鉄(III)や黒色の酸化マンガン(IV)や木炭が使われている．木炭などに含まれる有機物を分析したところ，^{14}C が 2.2×10^{-11} % 含まれていることがわかった．アルタミラ洞窟は，今から何年前の壁画であるか．(3)で描いたグラフを用いて推定せよ．どのように推定したかがわかるように，グラフ上にその跡を記せ．ただし，木炭は，壁画を描いた時代に作られたものであるとする．

解答例

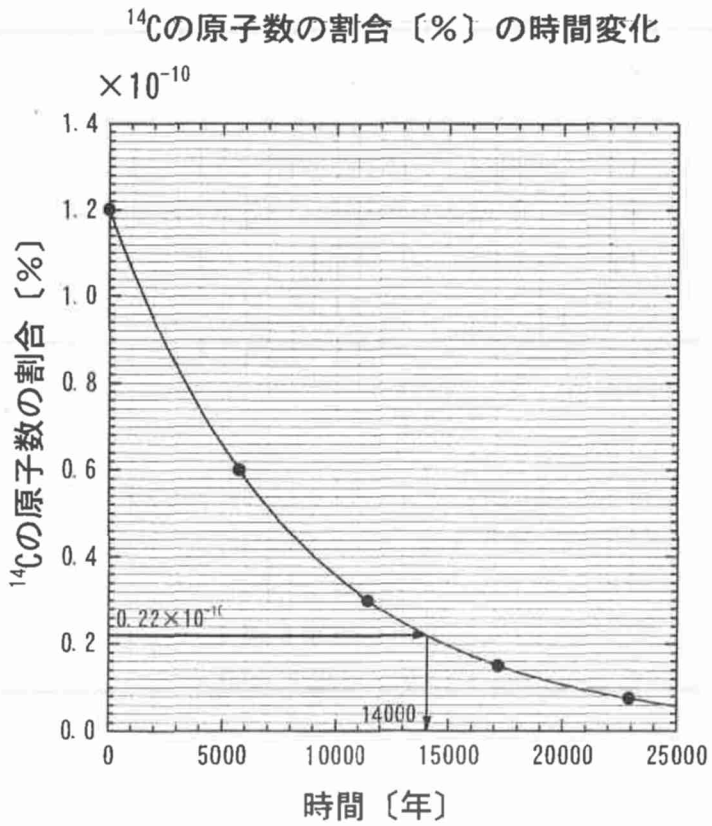
問 5．

(1) ^{14}C に比べて，質量数が変化せず，原子番号が 1 つ増えた中性の原子に変化したと考えられる．このため，^{14}C は ^{14}N に変化した．　　答　^{14}N

(2)

時間〔年〕	0	5730	11460	17190	22920
^{14}C の原子数の割合〔%〕	1.2×10^{-10}	6.0×10^{-11}	3.0×10^{-11}	1.5×10^{-11}	7.5×10^{-12}

(3)

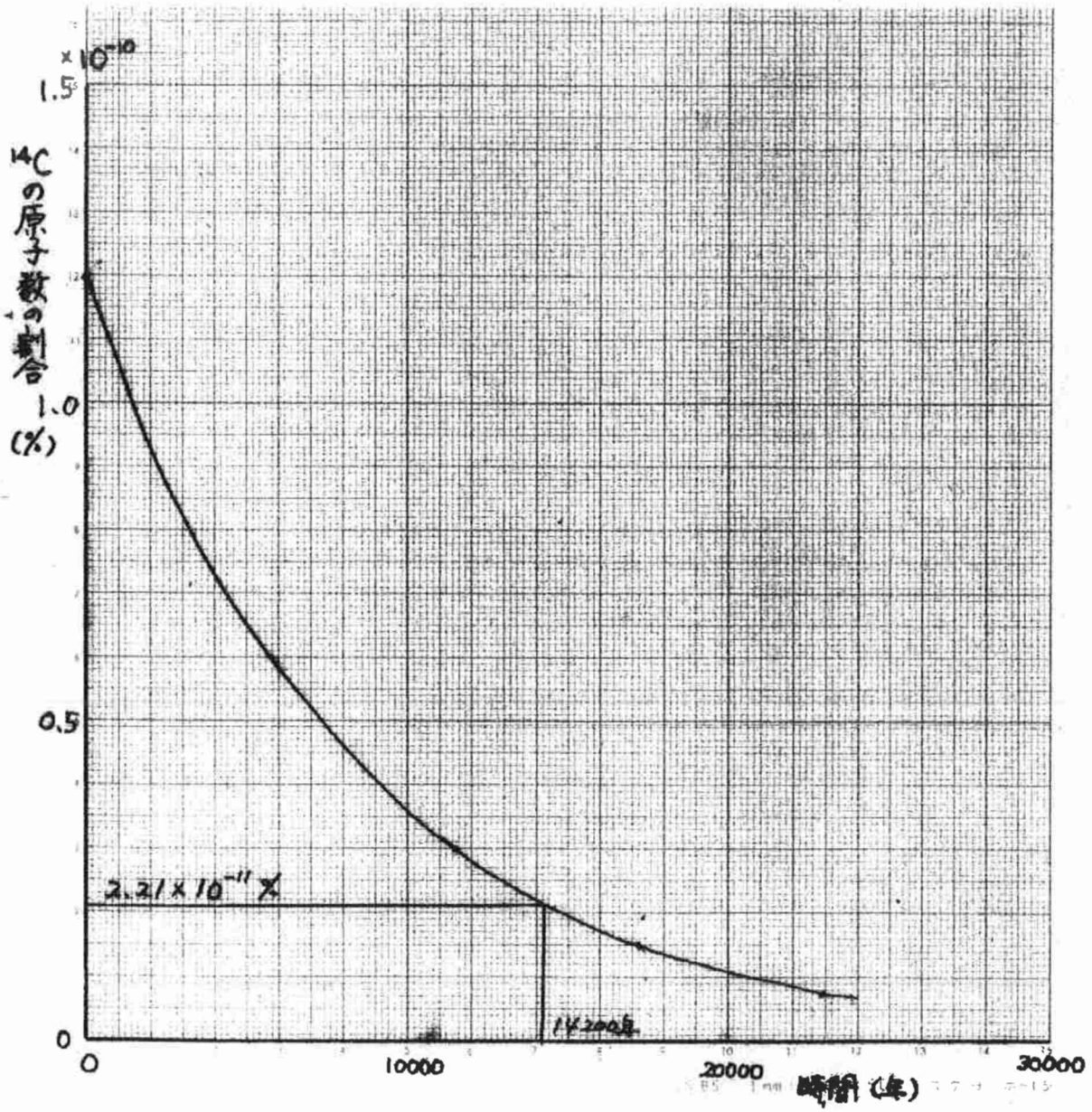


(4)

$$\frac{1}{2}\times\frac{1[\mathrm{g}]}{12.01[\mathrm{g/mol}]}\times 6.02\times10^{23}[\mathrm{mol^{-1}}]\times\frac{1.2\times10^{-10}}{100}\times\frac{1}{5730[\mathrm{y}]\times365[\mathrm{d/y}]\times24[\mathrm{h/d}]\times60[\mathrm{min/h}]}=10\ \mathrm{min^{-1}}$$

(5) 上記(3)のグラフに示したように，14000 年前と推定される.

手書きのグラフ（参考）



放射線作用を理解するための演習問題(５題)

大野新一

１．物体に含まれる原子・分子の膨大な個数に慣れる

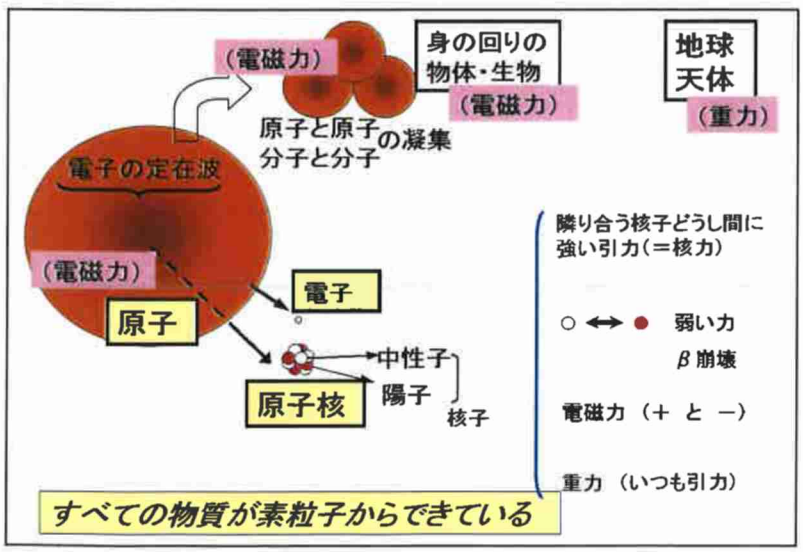
海岸に行って１リットル（質量は１ kg）の海水を汲み取る。ここに含まれているすべての水分子に印を付けることができたとして再び海水に戻す。世界中の海に拡散して完全に平均化されたとしよう。再び海岸に行って １ リットルの海水を汲み取ったときに、その中に最初に印をつけた水分子が見つかるだろうか。見つかるとしてその個数を求めてみよう。

(回答例)

地学の教科書を参照にすると地球上の海水の量は 1.4×10^{21} kg である。
最初に印が付けられた１kg の水の中の水分子数は、水１モル（＝18 g）中に含まれる分子数がアボガドロ数（6.03×10^{23})に等しいので、(1000／18）×アボガドロ数である。平衡に達してから印付き分子の濃度は 1.4×10^{21} の１にまでに薄められる：

$$\frac{1000}{18}\times6.03\times10^{23}\times\frac{1}{1.4\times10^{21}}=23928$$

それでもなお１kg の海水中に含まれている印つき分子は２万個を超える。一つまみの物質でもそこに含まれる原子（分子）の個数は膨大であること、またすべての物質が原子や分子から成り立っていること、原子や分子も原子核と電子から成り立ち、原子核は陽子と中性子から成り立ち、それぞれに力が作用して多彩な物質世界ができていることを知ることは放射線と物質の巻系を理解する上で必用なことである。



2．物体のもつエネルギー：J/kg など

1 リットルの水(25℃）がビーカーに入っている。1 W（ワット）のヒーター線を通して水を加熱する。電源を 1 秒間だけ通してスウィッチを切ると、水が受け取るエネルギーは 1 J(ジュール）／kg である。10 秒間の通電では 10 J／kg を受け取る。

電気を通す前の水が持っていたエネルギーはどれくらいであったか。

(回答例)

水 1 kg の中には水分子が 3.3×10^{25} 個含まれている。水分子は温度 25℃でそれぞれ熱運動をしているが、その熱エネルギーを求めてみよう。

水分子はどれも安定で決して壊れることがないとする。絶対零度 0 K（＝－273℃）ではすべての水分子の動きは静止し、これをエネルギーが 0 (ゼロ)の状態とする。この 1 kg の水に外部からエネルギーを注入する。方法は高温の物体(容器）と接触させる、ヒーター線に電流を流すなど。原子なり分子なりが次つぎと走ってきて水分子のどれかにぶつかり、飛ばされた分子も隣り合う分子にぶつかり、これを繰り返す。 3.3×10^{25} 個の水分子が温度 25℃というランダムに動き回っている状態になるまでに必要なエネルギー注入量をおおざっぱに見積もる。水の比熱（1 g の物体の温度を 1 度上げるに要するエネルギー）を 4.2 J (＝1 cal) 、氷の比熱を 0℃で 2.05 J (= 0.5 cal)、－50℃で 1.75 J、－100℃で 1.39 J という報告値を参考にして、そして－273℃での比熱 0 を仮定すると、－273℃から 0℃まで平均して 1 J とおくことにする。また 0℃の氷を 0℃の水にする融解熱を 334 J(= 80 cal/g) として計算すると、1 kg あたり$(1\times273+334+4.2\times25)\times1000\approx712{,}000$ J/kg となる。なお、この場合、氷から水への融解はいわば弱い化学結合の切断であり熱運動のエネルギーとは別（温度上昇には関わらない）であるから 334J を除くのが正しいかもしれない。すると 378 kJ/kg となる。いずれにしても（712 ないし 378 kJ)、これを 3.3×10^{25} 個の水分子でうけもつので 1 分子あたりでは平均 $2\sim1\times10^{-20}$ J でしかない。ついでに別のエネルギー単位（注：1 eV = 1.6×10^{-19} J) で表してみると、25℃の水のなかの 1 個の水分子がもっている運動の(=熱の）エネルギーは平均で 0.12~0.06 eV である。この比熱から見積もる方法は、氷の比熱が温度に依存し誤差が大きくでている可能性がある。

もう一つよく使われる見積もり方法は、統計熱力学からのものである。1 分子の平均の熱エネルギーは 1 自由度あたり (1/2) kT であることを利用する（k はボルツマン定数、T は絶対温度)。水分子の自由度は 25℃で併進運動の 3 自由度しかないとして、$(3/2)\times(1.38\times10^{-23}$ J/K$)\times(25+273)$ K $= 6.17\times10^{-21}$ J $= 0.038$ eV が得られる。

疑問の残る見積もりではあるが、25℃の 1 kg の水は熱エネルギーとしてすでに数百 kJ をもっていることは言えそうである。ここに改めて 1 J のエネルギー追加は何の影響も起こさないであろう。それでも 1 J/kg のエネルギー吸収による水の温度上昇は 1 J/kg = (1/4.2) cal / kg ～0.00024 K 程度と言ってもよい。

3．放射線のもっとも著しい性質

同じく 25℃で 1 kg の水に対して、今度は放射線を照射してその結果、1 J のエネルギーが 1 kg の水に吸収されたとき何が起こるか。この実験は、1940 年代から数十年間にわたり、世界中の何百、何千という科学者によって考えられるあらゆる方法を用いて繰り返し行われ、その結論は～2×10^{17} 個の水分子が壊されるということ、すなわち存在する水分子のおよそ 1 億分の 1 に相当する個数が壊れ、残りの大部分の水分子に関しては、何の影響もないということであった。もし放射線からのエネルギー吸収が 10 J/kg であれば～2×10^{18} 個、100 J/kg のエネルギー吸収であれば～2×10^{19} 個の水分子の崩壊が確認される。照射後にそのまま放置しておくと壊れた水分子は元の水に戻る場合が多い。そのときは全体の水の温度上昇はやはり微小であり、0.0002 K 程度としか言いようがない。

（1）放射線による水分子の崩壊では、1 個の水分子の崩壊に使われたエネルギーはどれほどか、eV 単位で求めよ。また 100 eV の吸収あたりで崩壊した水分子数は何個か。

（2）熱でエネルギーを与える場合と放射線で同量のエネルギーを与える場合のこの違いはどこから来るのか。この理由を考えて互いに議論して欲しい。これこそ放射線の性質を理解するにもっとも重要なものである。

（回答例）

（1）1 J のエネルギーで 2×10^{17} 個の水分子の崩壊である。1 個の崩壊に要したエネルギーは平均 $1\ \mathrm{J}/2\times10^{17} = 5\times10^{-18}\ \mathrm{J} = 31$ eV である。また 100 eV のエネルギー吸収あたりでは 3.2 個の水分子の崩壊である。

（2）放射線が物質中の原子や分子に作用するときは、高速の電荷をもつ微粒子である。高速とはおよそ 1,000 km/s 以上であること（もちろん光速 300,000 km/s 以下ではあるが）。こうした高速荷電粒子は 1 個の分子の中のさらにどれか 1 個、まれに 2 個の電子に対してのみクーロン力が極めて短時間だけ働き、その電子だけをはじき飛ばす。そして同じ分子内の他の原子核や電子には全く作用しないのである。ところが電流(電子の流れ）やより高温物体と接触させて熱伝導でエネルギーを与える方法では、エネルギーを運び込む粒子は（電荷をもっている電子や陽子・イオンであっても、また電気的に中性の原子や分子であっても）ゆっくり運動してくるので、ぶつかる相手の分子全体に衝突して運動エネルギーを与えることしかできないのである。

この違いをはっきりと認識するように放射線によるエネルギー付与の場合には、J/kg でなく、Gy(グレイ）という単位が用いられる。さらに同じ Gy であっても放射線の種類（電子線、ガンマ線、中性子線、イオン線、重粒子線など）によって生物に対する作用が異なることが知られてきたので、補正するための経験的な因子（1～20）をかけて Sv（シーベルト）単位が特に放射線防護の分野で使われている。

4．放射線の速度とエネルギー

ある電位差Vで加速された電子の速度､同じ電位差で加速された陽子の速度をもとめよ。ただし電荷 e の粒子が電場 V で加速されて得るエネルギーは eV であり、また質量 m、速度 v の粒子の運動エネルギーは$(1/2)\cdot mv^2$であらわされるものとする。

これらの高速で走る荷電粒子の速度は物質中でどのようにして速度を失うか、議論せよ。

（回答例）

1個の電子の質量 $m_e=9.11\times10^{-31}$ kg、電荷 $e=1.6\times10^{-19}$C（クーロン）は既知とする。1個の電子を1V(ボルト）の電場で加速すると、定義によって1 eV（エレクトロンボルト）のエネルギーを得て真空中を v の速度で走る。 $(1/2)\ mv^2 = 1\ eV = 1.6\times10^{-19}\ CV$ とおいて電子の質量 9.11×10^{-31} kg を代入する。$v^2 = (2/9.11\times10^{-31})1.6\times10^{-19}$ J/kg $= 35.1\times10^{10}$ J/kg、よって $v = 5.9\times10^5$ m/s を得る（ここで [J] = [N(ニュートン）・m]＝[m・kg/s^2・m] を使う)。秒速 590 km が得られる。

同様にして陽子（質量 $m_p=1.67\times10^{-27}$ kg,、電荷 $e_p=1.6\times10^{-19}$ C）の場合について得られる速度 v= 13.8 km/s が得られる。

日本の家庭用電気の電圧は 100 V、これを変圧器や整流器など簡単な器具を用いてより高電圧を得ることは容易である。研究機関では 100 万 V(＝10^6 V＝1 MV)、10^9 V(=1 GV) なども使われることが多い。こうした高電場で加速された電子や陽子は真空中でさらに高速になるが、相対性原理によって光速(c=3×10^8 m/s)を超えることはできない。

これらの高速荷電粒子は原子や分子内に入り込み原子や分子内の電子と相互に作用する（直接にぶつかるのでなくクーロン力がある時間だけ働く）ことによってエネルギーを失う。そうなると入射粒子の速度は失ったエネルギーに応じて減少する。

原子や分子(おおよそ10^{-10} mの大きさ)を仮に1兆(10^{12})倍すると100 mの大きさとなるが、電子そのものの大きさは 1 mm，原子核も同程度かもう少し大きい程度，いくつもの電子が猛烈な速さで原子核の周辺を動きまわっている。高校物理では，ボーアの水素原子模型がでてくるが､そこで円運動する電子軌道の半径は 0.053 nm､円運動の速度はおよそ 10^6 m/s、回転数は 10^{16} 回/s である。外からやってくる高速（分子内電子の速度 10^6 m/s に対して 10～100 倍の速度をもつもの）の電子や陽子などは、多くの場合で、分子内を自由に真っ直ぐに走り抜ける。ところがまれに分子内電子のごく近く（たとえば1 m とか 50 cm の距離）を走り抜けるときに、荷電粒子と電子の間に短い時間だけ（高速粒子が1 m程度を走る時間だけ）クーロン力が作用し（すなわち両者がもっとも接近したときの距離によって力の大きさとその持続時間が決まる)、運動量が移行する。すなわち荷電粒子の運動エネルギーの一部が分子内の電子に移行し、これにより分子内の電子が飛ばされることがある。

5．金属中を流れる電子の群れ

金属は、構成原子から1ないし数個の電子が放出された金属イオンが規則正しく配列され、その配列の間を自由に動きまわる電子(自由電子)とともに、全体で電気的に中性を保っている。断面積が 0.001 cm^2 (=10^{-7} m^2) の長い銅線があり、銅線には1 m あたり1 V (ボルト)の割合で電位差がかけられ定常的に電流が流れている。中ほどの部分 AB (AB 間は 1 m) を考えるとAにある電子は坂道を転げ落ちるかのように一定の速さ(v とする)でBの方向に向かい、その間に銅イオンや電子と衝突しながらエネルギーを与える。

（1）AB 間の任意の断面を毎秒あたり通過する電子の個数を求める式を導け。

（2）これから銅線を流れる電流を表す式を求めよ。

（3）流れる電子が1秒間に失う（金属に与える）エネルギーを求めよ。

（4）これによって銅線はどれほど温度が上昇するだろうか。

（5）定常的に流れる電子の平均の速さを知るための方法を考えよ。

ただし、金属銅の密度 8.96 [g/cm^3] = 8.96×10^3 [kg/m^3]、銅の原子量 63.6、アボガドロ数 6.03×10^{23} を用い、また各銅原子から1個ずつ自由電子が供給されるものとする。

(回答例)

（1）AからBへと銅線を流れる電子の平均の速度を v_0 とおく。任意の断面から上流側に距離 v_0 までの銅線内に含まれる全自由電子が1秒間にこの断面を通過する。その数は

$$v_0 \times (10^{-7})\times 8.96\times10^3\times10^3\times 6.03\times10^{23} / 63.6 = 8.5\times10^{21} v_0 \quad (個)、$$

（2）これらの電子がもつ電荷の総量は

$$8.5\times10^{21} v_0 \times 1.6\times10^{-19} \quad (C、クーロン)$$

（3）銅線の長さ v_0 の部分の電位差は v_0 V(ボルト)、またこの部分の質量は $v_0\times(10^{-7})\times 8.96\times10^3$ (kg) であるから、1個の電子がこの間に失うエネルギーは

$$1.6\times10^{-19}\ [C] \times v_0\ [V] = 1.6\times10^{-19}\ v_0\ [CV] = 1.6\times10^{-19}\ v_0\ [J]$$

電流から受け取るエネルギーは銅線 1 kg あたりについて

$$8.5\times10^{21} v_0 \times 1.6\times10^{-19}\ [J] / v_0\times(10^{-7})\times 8.96\times10^3\ [kg]$$
$$= 1.5\times10^6\ [J/kg]$$

（4）銅の比熱のデータ：385 J $kg^{-1}K^{-1}$（理科年表によると 298 K における銅のモル熱容量は 24.47 J $K^{-1}mol^{-1}$ であるが、Cu の密度が 0.0636 kg/mol であることからこの値が得られる）を用いると、およそ 3900 K の温度上昇となるが、もちろん実際には冷却（熱放射や熱伝導）も同時に起こる。

（5）v_0 を知るためには、（2）で求めた1秒間に任意の断面を通過する電荷の総量、すなわち電流が測定されるとよい。仮にいま 10 A(アンペア）が測定されたとすれば、

$$10\ [A] = 10\ [C/s] = 8.5\times10^{21} v_0 \times 1.6\times10^{-19}\ [C]$$

とおいて $v_0 = 10 / (8.5\times10^{21}\times1.6\times10^{-19}) = 7.35\times10^{-3}$ m/s と得られる。

放射線の人体影響についてのQ&A

地震・津波による今回の東日本大震災により，福島第一原子力発電所が大きな被害を受け，いまだに事故は収束しておらず，環境中に放射能が出ている状態です。なお，大量の放射能放出により環境を汚染し，人々の健康に悪影響をもたらしたチェルノブイリ原発事故は，今回の事故における被ばくの状況，健康影響，対処の仕方等で，教訓となっています。本稿では放射線の人体影響について，Q&A形式で紹介します。

NPO法人放射線教育フォーラム　岩崎 民子

Q 今回の原発事故で大量の放射性物質が環境中に出たので怖ろしい。

A 「放射線」と聞くと，とにかく怖い，それは五官に感じないので不安をつのらせる人が多いようですが，実は放射線は適当な測定器を使えば，簡単に非常に低いレベルまで測ることができます。公害物質といわれている環境中の有害化学物質よりもはるかに容易に検出できるし，どのくらい被ばくしたか，健康に影響がある量なのかがすぐにわかります。

測定器には，環境中に漏れ出た放射能を測る軽量で小型の携帯型サーベイメータ，放射線の数を測ることのできるGMサーベイメータ(ガイガーカウンタ)や，リアルタイムで線量率を測れるNaIシンチレーション式サーベイメータがあります。また，個人が放射線をどれだけ被ばくしたかを測る個人線量計(放射線作業に従事する人達は全員これを胸などにつける)があります。

これらはいずれも身体の外にある放射線を測る(外部被ばく)もので，身体の中に入った放射性物質から出る放射線(内部被ばく)の量を測るのは特殊な大型装置や分析機器などが必要となります。GMサーベイメータはそれほど高価ではないので学校等に備えていると，平常時でも身の回りに放射線があることを知り，また今回のような事故時にも役に立つでしょう。

放射性物質は放射線を出してどんどん壊れていきますが，1秒間に1個の原子が壊れることを1ベクレル(Bq)といいます。人体にこれがどのくらいの影響を及ぼすかを表す時には，シーベルトSv(あるいはmSv，μSv)という線量で表します。こうして得られた数値がどのような意味を持つのか，そのデータの意味するところを正しく理解し，認識することが重要で，わずかな変動で一喜一憂する必要はありません。

Q 放射線を受けるとどんな影響があるのですか？

A 放射線を身体の外から(外部被ばく)一度に全身に500 mSv程度被ばくするとリンパ球の減少が起こり，1,000～2,000 mSv以上では嘔吐，下痢，頭痛，発熱，皮膚の火傷等の「急性障害(確定的影響)」が起こります。これらの症状は線量が大きいほど早く現れ，症状も重いです。なお4,000 mSv以上被ばくすると半数の人が，7,000 mSv以上ではほとんどの人が死亡します。

身体の一部に受けるか，長期間にわたって受けるかで影響の出方は違います。急性障害が起こらなくても，被ばく後，数年から数十年経ってからがんになることがあります。被ばく線量が高いほど，この可能性は大きくなります。100 mSvの被ばくを受けると0.5%発がん率が高まるといわれています。

例えば1,000人が100 mSv被ばくすると，自然発がんの発生率300人が305人に増えることになります。しかし，喫煙など他の要因でもがんになるため，このわずかな増加分を放射線が原因であると明確にはいえません。100 mSv以上になると線量に伴いはっきりとリスクが高くなります。今回の事故では一般公衆の被ばく線量は100 mSvよりはるかに低い線量なので，被ばくが原因でがんになる心配はありません。

Q 政府発表の「ただちに健康に影響が現れる線量ではない」，「レベル7」の意味は？

A この発表通りに解釈すると，「ただちに」健康に影響が現れる線量ではないが，後になって，例えば「がん」になるのではないかと受け取れます。しかし，被ばく線量から判断して急性症状が出るような線量ではありませんし，またがんについても上述の理由から，その心配は不要です。

IAEAでは，原子力発電施設等で発生した事故・故障等の影響の度合いを8段階(0～7)「国際原子力事象評価尺度(INES)」で表すこととし，いずれに相当するかを当事国の政府がIAEAに報告することになっています。今回の事故では大気中への放射性物質の放出量を基にして「レベル7」と決めました(チェルノブイリ事故は最悪な事故でレベル7ですが，今回の放出量の約7倍もありました。JCO事故はレベル4)。

Q 放射性物質の健康影響について教えて下さい。

A チェルノブイリ事故では，原子炉が爆発したため原子炉の中に溜まっていた二十数種類もの放射性核種が環境中に放出されました。中でも健康影響に重要な核

種はヨウ素131とセシウム137でした。

ヨウ素131は物理学的半減期が8日と短いのですが，セシウム137は30年と長いです(体内に入ると代謝などで排泄され，3か月で半減します：生物学的半減期)。これらの放射性核種は呼吸や飲食物を通じて体内に取り込まれ，体の中から放射線を出します(内部被ばく)。とくに子供では牛乳や水などを通じ体内に入ったヨウ素131は甲状腺に集まりやすく，数週間以内に数Svを甲状腺に受けたのです。その結果，約6,000人の子供が甲状腺がんにかかり，その中の15人が死亡しています。

幸い放射性セシウムが原因で病気になったという報告はありません。

今回の福島第一原発事故ではまだ全放出核種の種類や量についてはわかりませんが，やはりこれら2つの核種が注目されています。したがって事故発生直後から牛乳や水，食物に含まれるこれら放射性核種の摂取規制が行われ，かつ毎日環境中の放射能の測定がされています。

Q 環境の放射能汚染について教えて下さい。

A ヨウ素131は事故の初期に環境中に放出された量は多かったのですが，5月下旬にはごく僅かとなっており，現在はセシウムがそのほとんどを占めています。なお，初期に放出されたヨウ素131は半減期が短いので，今では環境中にはほとんど残っておりません。現在は放射性核種としてセシウムが問題となっています。

セシウム137は半減期が長いので，放出されたものが地上に落ちて水を汚染したり，長期にわたり土壌を汚染します。子供は成長期にあるため成人より放射線に3倍ほど感受性が高いこと，将来，長い人生があることから，厳しい管理が必要です。そのため学校のグラウンドで遊ぶ子供達の被ばくする可能性を減らすため，規制値を設けたり，表面の汚染された土を入れ替えるというような措置をとっています。

農作物は放射性物質を根から吸収し汚染される可能性があるために，汚染の程度によっては農業に対する規制も必要となるかもしれません。また，海洋への汚染水の放出による魚介類への放射能にも注意すべきでしょう。

Q 発電所周辺の住民はなぜ避難したのですか？

A 国際的に平常時では，一般人は年間1mSvの被ばくが認められていますが，緊急時には年間20～100mSvに被ばく目安限度の引き上げが許されます。政府は20mSvの値をとりました(緊急時が終わればもとの1mSvに戻します)。

例えば，ある時点での千葉県の線量は毎時0.000047mSv，1年間の推定積算量は0.412mSvと低い値でしたが，その日の浪江町では0.0089mSv，1年間の推定積算量は78mSvとなり，20mSvよりはるかに高い値になると推定されました。

政府は周辺住民の安全確保のため，発電所から半径20km圏内を災害対策基本法に基づき「警戒区域(立ち入りには市町村長の許可が必要)」，20km以遠を「計画的避難区域(約1か月を目途に避難を求める)」と「緊急時避難準備区域(緊急時に屋内待避や自力での避難を求める)」を設けました。対象者はそれぞれ，78,200人，10,010人，58,500人です。

浪江町では2か月後の5月11日までの推定積算線量が50mSvを越えていました。もし避難せずにそこに留まっていれば，かなりの線量を被ばくしたことでしょう。避難については，精神的心理的ダメージ，社会的ストレス等による健康影響も見逃せません。

最後に，今回の事故においては早い時期に避難措置や食物摂取制限措置がとられたので，住民の被ばく線量は，障害の出るような線量ではありません。けれども事故が未収束であるため，今後の大気や海水をも含めた環境放射線量を厳しく測定・監視する必要があります。

「放射線」は何でもかんでも怖いというのではなく，「被ばく量」が重要であることを念頭に，正しく理解し，過剰な心配は避けるべきです。取り越し苦労の結果，ストレスとなって健康を害するほうが大きな障害となる場合が多々あることをよく知ってほしいと思います。

(2011年5月30日 記)

■「NPO法人放射線教育フォーラム」とは？

「NPO法人放射線教育フォーラム」は，放射線・原子力の専門家と学校教育関係者の有志により1994年に発足し，2000年にNPO法人の認証を受けたボランタリー組織で，エネルギー問題や放射線・原子力に関する正しい知識を普及させる活動を行っています。当フォーラムは，知識レベルの高い方々も放射線や放射能に対して過剰の不安感をもっており，そのことが原子力の平和利用を大きく妨げている現状の改善に努力しています。

これまでの活動の重点は，小・中・高の学校教育における放射線教育の充実に置いて，文部科学省等にたびたびの政策提言を行い，また教員向けのセミナーの開催などを行ってきました。その努力の結果，2011年度から実施される中学校の新学習指導要領で30年ぶりに放射線が取り上げられることになりました。そこで，教員向けの指導資料「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―」そのほかの教育用資料を完成させて，ホームページで公開しています。最近の情勢を考慮して，今後は一般社会人に対する放射線の知識普及の活動をも積極的に開始しようとしています。

放射線・原子力に関する質問があれば，フォーラム事務局(TEL 03-3433-0308)にお問い合わせいただければご回答いたします。

(放射線教育フォーラム理事長・松浦辰男)

コメント
「原子力事故に関連した一般社会人からの質問」について

工藤メモ

“放射線の数値をどう読むか (2011年3月28日)”

への質問を中心に

工藤博司

Q1

100 mSv は安全上の目安とのことですが、短時間で被ばくした場合と長期にわたって被ばくした場合に違いがあるのでしょうか?

100 mSv は安全上の目安とのことですが、短時間で被ばくした場合と長期にわたって被ばくした場合に違いがあるのでしょうか? たとえば普段 2.4 mSv (1年間) の自然被ばくを受けていますが、50 年で累積 100 mSv に達します。野口さんは宇宙ステーション滞在で 160 mSv 被ばくしてそれに 30 年間分の自然被爆 60 ~ 70 を加えると 200 mSv を超えてしまい何らかの影響が出るということになるのでしょうか。ある期間でリセットされるのであればよいのですが、長期の累積値ですと心配になってきます。教えていただければ幸いです。

A1のポイント
- 線量率効果
- 累積線量のリセット?
- 放射線影響量と放射線防御量(規制値)

Q2

群馬に住んでいますが、県内で、20日にホウレンソウで 2,630 ベクレル/kg のヨウ素−131 が検出されたことで、とても混乱しています。混乱 (デマがはびこる) の原因は、「内部被ばくに関する線量換算係数」の理解です。

群馬に住んでいますが、県内で、20日にホウレンソウで 2,630 ベクレル/kg のヨウ素−131 が検出されたことで、とても混乱しています。混乱 (デマがはびこる) の原因は、「内部被ばくに関する線量換算係数」の理解です。群馬県は、内部被ばくに関する線量換算係数 (2.2×10^{-5}) を掛けて、長期にわたるヨウ素−131 の内部被曝を正しく評価していると思うのですが、その説明が不足しているため、農家の方々が、以下の指摘 (デマ)に反論できずにいます。

外部被曝は一時的だが、内部被曝はずっと続く。外部被曝は線源から距離があるが、内部被曝は至近距離。全然ちがう。これを同列に評価するのは間違い。群馬県の発表の是非を含め、この点、うまい説明の仕方がありましたら、ご教示下さい。

A2のポイント
- 内部被ばくと外部被ばく
- 線量換算係数 (mSv/Bq)
- 生物学的半減期

Q3

ベクレルには5,000とか100万のように大きな数値がついていて、シーベルトは10マイクロシーベルトとか100ミリシーベルトのように小さな数値で表されることが多いようですが、どうしてこんなに違うのですか。

ベクレルには5,000とか100万のように大きな数値がついていて、シーベルトは10マイクロシーベルトとか100ミリシーベルトのように小さな数値で表されることが多いようですが、どうしてこんなに違うのですか。頭が混乱して、ついていけません。

A3のポイント
- 単位の接頭語
  μSv/h × 41(日) → mSv
- 放射能 (壊変率)と吸収エネルギー (J/kg)
- 被ばく線量と線量換算係数 (mSv/Bq)

Q4

仮に全ての原発が今すぐに運転中止したとしても、プルトニウムを含む高濃度放射性廃棄物が残ります。全原発の運転を停止したとして、これらの放射性廃棄物はどうするつもりでしょうか?

出来るものならば自然エネルギーによる発電が理想と考えています。今の日本の技術を結集すれば、研究資金量にも依りますが、それも 3～10 年で可能になると考えています。仮に全ての原発が今すぐに運転中止したとしても、プルトニウムを含む高濃度放射性廃棄物が残ります。全原発の運転を停止したとして、これらの放射性廃棄物はどうするつもりでしょうか?

これらの放射性廃棄物がある限り、今回のような震災が起きれば、燃料棒プールに保存された燃料棒のメルトダウンもあるのではないでしょうか? それが故に福島 4 号機でも放水が行われているのではないでしょうか? 停止の場合でも、各地の原発施設でのメルトダウンの可能性は否定できません。

A4のポイント
- 崩壊熱
- 放射性廃棄物の処理・処分
- 自然エネルギーへの転換
  (スマートグリッドの実用化)

Q5

“日本の放射線は心配ない”という英文のよい説明がありましたら、教えていただけませんか。

私は海外の化学教育関係者とメールのやりとりをすることが多いのですが、仙台は原発に近いので放射線を心配してくれています。私は、仙台は、0.1 μSv/h 程度で心配していないと書くのですが、世界の自然放射線と比較するとかの詳細な説明はしていません。日本の放射線は心配ないという英文のよい説明がありましたら、教えていただけませんか。あったら、海外の方に送って日本に来るのをやめたりしないように書きたいと思います。

A5のポイント
- *Science*誌や*Nature*誌の記事・論説紹介
  Earthquake and Nuclear Crisis, *Science online*
  Science **332**, 908 (20 May 2011).
  Nature **474**, 135 (9 June 2011).

Q6

放射性ヨウ素131とか放射性セシウム137という語句の数字の意味を教えてください。

放射性ヨウ素131とか放射性セシウム137という語句の数字の意味を教えてください 食中毒事故の報道では、O 111 とか O 157 のような数字がついた病原性大腸菌の名前が出てきますが、放射線の毒性と関係する数字なのでしょうか。

A6のポイント
- 原子と原子核 (原子番号と質量数)
- 安定原子(安定核種)と放射性原子(放射性核種)

Q7

放射線の単位 Gy と Sv をわかりやすく解説してください。

放射線の単位 Gy と Sv をわかりやすく解説してください **(笹川理事受け)**

A7のポイント
- Gy (吸収線量 D)と Sv (線量当量 H)
  $H = DQ$ (線質係数)

【メモ】放射線の数値をどう読むか

東北大学名誉教授　　工藤博司

(2011年3月28日記)

東京電力福島第一原子力発電所で深刻な事故が起きました。安全が強調されてきたのに、まさかの事故です。多くの皆さんがこの先何どうなるかと心配していることと思います。私も心配ですが、冷却機能の復旧作業に当たっている方々の努力が実り、事故がこれ以上拡大しないことを願うばかりです。心配の種は放射性物質の漏洩ですが、現段階での発電所の敷地の外での放射線レベルは健康被害を引き起こすまでに至っていませんから、過度の心配は要りません。下記にその根拠を簡単に示します。

広島・長崎の原爆被ばくの研究を含め、これまでの多くの研究の結果、全身で 100 ミリシーベルト (100 mSv) の放射線を受けても、健康への影響は一切認められません。200 mSv を超えて初めて何らかの悪影響が出てきます。この 100 mSv という数値 (累積) が安全確保の一つの重要な基準になりますので、頭に入れておいて下さい。マスコミの報道では、「人体が 1 年間に受けてもよい 1 mSv を超える・・・」という表現をしますが、これは法令が「放射線取扱施設 (原子力を含む) の敷地境界での放射線量を 1 mSv 未満に抑えよ」と規定しているのを誤って伝えています。受けてもよい線量ではなく、施設の使用に当たって守らなければならない数値です。

私たちは、地球上で生活していると 1 年間に 2.4 mSv (世界平均) の放射線を受けます。内訳は宇宙線から 0.3 mSv、大地から 0.4 mSv、空気中のラドンから 1.3 mSv、食物から 0.3 mSv です。食物からの 0.3 mSv には、その摂取によって体内に取り込まれる放射性カリウム (K-40 : 半減期 13 億年) や放射性炭素 (C-14 : 半減期 5730 年) から出る放射線が含まれ、体重が 60 kg の人は、毎秒約 6000 個の放射線を出していますから、この人は 6000 ベクレルの放射能をもっていることになります。放射性原子が毎秒 1 個の放射線を出すとき、これを 1 ベクレル (Bq) といいますが、この数値こそが放射能です [定義は放射性原子の 1 秒当りの壊変数]。マスコミなどでは、放射性物質を放射能と表現することがありますが、本当は間違いです。

自分自身が放射線を出していることを知っている人はほとんどいないと思いますが、自然界はそのようになっていて、そのせいで病気になる人はいません。ちなみに、胸のレントゲン検査を 1 回受けると 0.05 mSv、胃ガンの X 線検診では 1 回に 0.6 mSv ほどになります。飛行機でニューヨークを往復すると 0.2 mSv の宇宙線を受け、宇宙に出るとその値は高まります。宇宙飛行士の野口さんは昨年、国際宇宙ステーション (ISS) に長期に滞在しましたが、そこで受ける放射線は 1 日につき約 1 mSv でした。彼は 160 日間 ISS に居ましたから、累積で約 160 mSv の放射線を受けましたが元気に

帰還しました。

マスコミ等で流される数値で注意しなければならないことの一つが単位です。シーベルト (Sv) は生体が受ける放射線の量 (線量) であり、ベクレル (Bq) は放射性物質 (厳密にはヨウ素-131 やセシウム-137 などの放射性原子) が出す 1 秒当りの放射線の数であり放射性原子の量に比例します。また、ミリやマイクロという接頭語が単位に付けて使われますが、1 ミリメートル (1 mm) が 1 メートル (1 m) の千分の 1、1 マイクロメートル (1 μm) が 1 m の百万分の 1 であるように、1 マイクロシーベルト (1 μSv) は 1 ミリシーベルト (1 mSv) の千分の 1 です。毎時 100 マイクロシーベルト (100 μSv/h) の線量率 (単位時間当りの放射線量を線量率といいます) が出ている場所に 41 日間 (約 1000 時間) 留まっていて、はじめて 100 mSv の線量 (累積値 = 線量率 × 時間) に達します。

政府の発表も不適切で不安を煽っているように思えます。「暫定基準 (2000 Bq/kg) を超える値の放射性ヨウ素-131 がホウレンソウで測定されたが、直ちに健康を害する濃度ではないので、冷静に対応せよ」との発表を聞けば、誰しもが不安になるでしょう。この暫定基準値は年間 1 mSv の被ばく線量から逆算して求められる放射性ヨウ素の量に相当しますが、そもそも、暫定基準の設定そのものがあいまいで、日本は国際放射線防護委員会 (ICRP) が提示している値の 1/10 とか 1/100 の値を基準値にしています。安全側の値とは言え、過度に慎重な数値であると私は考えます。実際、3 月 26 日の毎日新聞に、『国際放射線防護委員会は 21 日、日本の現在の被ばく線量限度（一般人で年に 1 mSv）を 10 ~ 20 mSv に引き上げるよう求める勧告を出した。』という記事がありました。年間 100 mSv でも健康に害はないという科学的根拠があるのですから当然です。この値に基づいて基準値を設定すれば、それを超えた段階で「危険だから食べるな。出荷は停止。」と明確な発表ができます。

21 日までに、ホウレンソウで検出された放射性ヨウ素-131 で、最も高かった値は 54,000 Bq/kg です。このホウレンソウを毎日 200 g 食べ、それを 1 年間続けたとすると累積線量は 0.3 mSv になりす。この計算ではヨウ素-131 の半減期 (8 日で原子数が半分に減少する) を考慮していませんから、実際にはもっと低い値になり、健康を害するとは考えられません。水道水やミルクに含まれる放射性原子の濃度にも心配は要りません。なお、放射性セシウム-137 の半減期は 30 年と長いのですが、仮に体内に取り込まれても、約 70 日の生物学的半減期で体外に排出されます。いつまでも体内に残留するわけではなく、1 年経つとおよそ 30 分の 1 に減少します。

福島の原子力事故との関連で、放射線の数値の読み方を概説しました。政府の発表やマスコミの報道に不安を感じている方も多いと思いますが、現在発表 (報道) されている数値は安心できる範囲内にあります。累積線量が 100 mSv までは心配無用です。200 mSv を超えるようなら心配して下さい。

M47 義務教育課程で教えられるべき放射線の基礎知識について

On the Basic Knowledge to be Taught at the Compulsory Course at School

NPO法人放射線教育フォーラム ○松浦辰男
MATSUURA TATSUO

学習指導要領の改訂で、中学校の理科で放射線が30年ぶりに復活した。この機会に、義務教育課程において教えられるべき放射線に関する常識ともいうべき基礎的な諸項目について考察した。
キーワード：学習指導要領、放射線の基礎的知識、環境放射線、放射線と放射能、放射線の人体影響

1．はじめに　このたびの学習指導要領の改定で、中学校の理科において、「放射線の性質と利用に触れること」というやや消極的な表現ながら放射線が30年ぶりに中学校の授業で復活することになった。われわれは、この機会に全国の中学校の約半数にあたる5,000校の理科教員に、2008年秋にアンケート調査を行い、24%の回収率で回答を得たが、それによると、（1）「授業で放射線を教えたことがない」が45%、（2）教員自身が放射線を学習していない」が30%もあった。

最近筆者は中学校、高等学校、大学で放射線に関する講義をさせていただく機会があったので、生徒諸君に放射線に関する基礎的知識を調査した。その結果、次のようなことがわかった。(1)「環境に自然放射線が存在することについて知らなかった」が中学生71%、高校生55%、大学生53%（昨年は32%)。(2)「食べ物や体内に放射性物質が存在することを知らなかった」は中学生88%、高校生79%、大学生73%（昨年は46%)。放射線に関する極めて常識的なことについて子ども達がこの程度しか知識がない現実は、初等・中等教育における現状がいかに不十分であるかを示すものである。

2．放射線教育のための教師用資料の作成について　われわれは、中学校の教員が放射線を教えるに際して知っておいてもらいたい内容を説明した教師用の指導書を作成することとし、2009年3月にその試作版を完成させ放射線教育フォーラムのホームページで公開している。2010年3月には中学校・高等学校（共通）用として、その改訂版を作成した。

放射線に関して生徒が義務教育の段階で学んでもらいたい内容として、（1）身の回りの環境に自然放射線・天然放射性物質が存在すること、そして自然放射線が種々の原因からきていること。(大地・宇宙線・食品・空気中のラドンなど)、（2）放射線はエネルギーの一種であって、物質を透過するなどの基本的性質があり、医療をはじめ種々の分野に利用されていること、（3）わが国が必要としているエネルギーを供給している原子力発電では、原子力と放射線とが大きな関係を持っているが、それは核燃料が放射性であるということよりも、核分裂の結果強い放射性を持つ核分裂生成物を生じるということである。(3) 放射線の人体への影響については、①大量の放射線は確かに危険であるが、(日常浴びている数十倍の量すなわち50～100ミリシーベルト）ならば何ら身体に悪影響はないこと。②影響は自然の放射線も人工の放射線も違いはないこと、③近くに放射線の線源があっても、距離を置く、遮蔽物を置く、時間をすくなくする、という3原則で防ぐことが出来ること、などであると思う。

（1)の項目はできるだけ、知識としてだけでなく、放射線実習を含めて教えてもらいたい。この項目だけでも小学校で「総合的な学習の時間」などを使って実施してほしい。「実習」は必ずしも生徒一人一人が「霧箱」の製作と飛跡の観察や「はかるくん」を使っての測定実習でなくても、教師によるサーベイメータと線源を使用してのデモンストレーション実験でもよい。

筆者は、「放射線教育」の中心は、①実習を伴った自然放射線の存在を知ることと、②低レベルの放射線の人体影響の理解であると考える。学習指導要領では、放射線影響に関する項目は現実には「標準的な」教科書記述が出来ないと予測されるためか、このことは教えるべき内容に入っていない。しかし、教員の方々は教えよと指示されている以上の事実を知識として知っていただきたい。

3．今後の課題　（1）理科以外の科目の教育で、日本歴史などで原爆の被害などをいかに教えるかといときに、放射線の被害を誇張しすぎて国民の「核アレルギー」助長になっていないだろうか。理科の教員だけでなく、社会科の教員や今後教員になろうとする方々への教育の内容を検討しなおす必要があろう。(2) 学校教育に携わる教員へのセミナーなどによる放射線関係の正しい知識の普及と同時に、社会への放射線教育に重要な影響のある報道関係者などにも正しい知識の普及の必要を感じる。

小中高校生に対する放射線・原子力教育におけるディベート学習の効果
Effects of academic debate of elementary, middle, and high school students on radiation and nuclear education

○菊池憧子*1 、井上浩義*2

慶應義塾大学理工学部 1 年生*1
慶應義塾大学医学部*2

(KIKUCHI, Toko; INOUE, Hiroyoshi)

1. はじめに

我々は、放射線・原子力に対する科学的理解を深めるために、これまで、オフキャンパス教育を中心に、講義と実習を組み合わせた教育活動あるいはオンラインでの放射線・原子力教育教材提供を実施し、対面での教育活動の受講生は 3000 名を超えた。一方で、従来の教育活動が既定の枠の中で、受講生にとっては受動的な教育活動あるいは教材付与システムであった。しかし、更なる教育効果を高めるためには、受講生が自ら学習し、意見を発露する機会の提供が必要と感じ、放射線・原子力教育の展開例のひとつとしてディベート学習を実施した。ディベート学習は、受講生を小中学生コース、高校生コース、あるいはそれらの混合コースに分かれて、2010 年 8 月、12 月および福島第一原発事故後の 2011 年 5 月に「放射線・原子力利用の在り方」をテーマとして学習活動を行った。その結果、これまでの講義・実習形式あるいはオンライン教材提供とは異なる学習効果が見られ、自主的な学習につながったので報告する。

2. ディベート方法

- 2010 年 8 月の活動では、全国から集まった高校生 20 名について、グループディベートの形式を採らず、受講生各自が、自らの考え方を記載した紙を示して（掲示法）、その初期の考えに沿って、他の者と討論する形式とした。時間は 80 分とした。
- 2010 年 12 月の活動では、全国から集まった小学 5 年～中学 3 年（小中学生グループ）15 名、高校生グループ 15 名をそれぞれ、「放射線・原子力の利用推進」と「放射線・原子力の利用反対」の 2 組に分けて討論を行った。それぞれのグループには放射線・原子力教育の熟練者の先生方をファシリテータとして加わって頂いた。時間は 60 分とした。
- 2011 年 5 月の活動では、福島第一原発事故後であることから、深い論議が求められたため、小学生の参加を認めなかった。参加者は、2010 年 12 月の活動で深い探求を行った中高校生 10 名とし、5 名/5 名のグループに分け、「今後も原子力利用を維持する」、「今後、原子力利用を漸次縮小する」の 2 組で討論を行った。グループには放射線・原子力教育の熟練者の先生方をファシリテータとして加わって頂いた。時間は 90 分とした。

3. 結果および考察

本ディベート学習を通じて、放射線・原子力の自主的な学習効果が飛躍的に大きくなった。特に、化学的理解に基づく社会的問題へのアプローチが中学生でも十分に可能であることが明らかになった。特に、震災後の原子力の在り方については、様々な意見が出され、慧眼に値した。

*1Keio University Science and Technology
*2 Keio University School of Medicine

3a-Ⅲ-01

電気や化学反応から始める新しい放射線教育の試み

Radiation Education through Electricity and Chemical Reaction

理論放射線研究所*)　　大野新一
OHNO Shin-ichi

1．はじめに（現行の放射線教育の一般的傾向）

現行の放射線教育では、放射線利用の社会的受容を急ぐあまり、結論だけを手っ取り早く天下り式に伝える傾向が多いようである。例えば放射線の存在については「はかるくん」や簡易霧箱による〝体験・実習"を行う 、放射線の有用性については 放射線加工の工業製品・食品照射・病院における診断や治療の実例を紹介する、放射線の安全性と危険性については 安全の基準値の説明を繰り返す。受講者は様々な「ことば」には馴れるものの、有用性・安全性の検討に参加できないし、結論に対して判断もできない。

2．理科教育の目的と放射線教育

ここでは「自然のしくみを理解し、科学的な自然観を育てる」(=理科の学習）ための放射線教育とはどのようなものかを考える。その結果、①電気の学習から物質構造をへて放射線の理解へとすすむ、②化学反応の理解を経てから放射線作用へとすすむ、の２つの方法を提案する。

①の方法では、身のまわりの自然現象を観測することから物質が電気をもつ微粒子の集まりであることを推理し、物質をつくる原子・分子の構造と電気との関連を理解する。さらに発展させて物質中の電子の流れ（電流の熱作用）に注目し、電場によって高速化された電子の挙動を予測することから開始する放射線教育を提案する。この方法では、観測結果の整理・規則性の発見・自然のしくみについての議論、もしくは対話方式の授業が中心となる。自然界における放射線の存在、物質に対する放射線作用、さらに線量概念の理解がより容易であろうと考えられる。

②の方法では、原子間の化学結合を変化させる化学反応の学習の中で、化学結合は電子が介在するクーロン力による原子核同士の結びつきであることを理解する。高エネルギーの放射線が物質中で電子をはじき飛ばし、はじき飛ばされた電子によって化学結合にあずかる電子がはじき飛ばされ、化学結合が切れ、新しい化学結合が形成されることから放射線の物質（生体）への作用を学ぶ。短時間だけクーロン力が作用する力積や運動量の移行の概念と共に線量の正しい理解が期待される。

3．まとめ

ここで提案したことは高校理科（物理および化学）ないしは大学初年級の授業で目標が達成されることを期待している。小中学校においては原子･分子、電気、化学反応の理解を進めることが何よりも重要であり、これがそのまま高校理科における放射線への理解につながると考えられる。

物質が微細な粒子、しかも２種類(＋－)の電気をもつ粒子から成ることを推理し、身のまわりの物質が電気的中性を保ち、安定である理由を考える。物質間を電子が移動する摩擦電気や化学電池の現象から、さらには化学反応を学び、その後で放射線の物質への作用と線量の関係を学ぶ。この方法では、複雑な観測結果や数々のもたついた説明の中から、生徒自身がそれを整理し、規則性を見出し、自然のしくみを推理し、発見する喜びを知る授業を目指す。対話方式の授業が中心となり、教師の力量が重要である。

*) Theoretical Radiation Research Laboratory

3a－Ⅲ－02

学習指導要領の改訂に関わる放射線教育についての中学校教員アンケート調査結果

Survey Results of Senior High School Science Teachers on Radiation Education Related to New Curriculum Guideline

放射線教育フォーラム　松浦辰男、黒杭清治、辻萬亀雄、田中隆一
(MATSUURA, Tatsuo; KUROKUI, Seiji; TSUJI, Makio; TANAKA, Ryuichi)

１．はじめに　学習指導要領改訂に関連して放射線教育の現状を把握するために、放射線教育フォーラムは学習指導要領公布後に全国の中学校及び高校の理科教員を対象として放射線教育に関するアンケート調査を１昨年より実施してきた。第１回の中学校調査ではアンケート発送数 5001 通のうち回収したのは 1148 通(回収率 23.9%) で、第２回は発送数 4737 通、回収したのは 635 通（回収率 13.2%）であった。放射線・放射能を教えたかどうかについては、「教えた」が前回は 44%、今回は 50%であった。放射線実習をしたかどうかについては前回が 17%、今回が 10%であった。教師自身が学生時代に放射線について学んだかどうかについては、前回が 53%、今回が 49%であった。

２．その他の調査結果　新学習指導要領で「放射線の性質と利用」が加わったことについては 88%が知っていると答えており、よく情報が浸透している。しかし、学習指導の計画を立てているかについては、検討中、手がついていないが共に約 30%以下であった。また「放射線の性質と利用」授業の年間予定時間数は１時間程度が 46%、2～3 時間が 32%であった。全体では 1～2 時間程度になる確率が高いようである。「利用したい副教材について、フォーラムが 2010 年度で作成しているパワーポイント教材については、「関心が高い。使ってみたい」(36%)と「内容によって考える」(60%)をあわせると 96%の教員がこの教材に関心を持っていることが分かった。

３．自由意見・感想から

①放射線教育に関する教員研修の必要性　広く、教師や学級職員の研修の機会をもっと増やしてほしい。原子力に対する不安や無理解がまだまだ強いので、諸外国の取り組みなどを含めて広く啓発する必要がある。

②指導書の必要性　中学校の教員すべてが放射線について一定レベルの知識があるわけではないので、見やすくわかりやすい資料を作ってほしい。手引きを学校に１冊配布してほしい。放射性物質のマイナスの部分をどのように扱ってゆくべきか、正確な情報がほしい。

③視聴覚教材　５～6 分のビデオ等があるとありがたい。パワーポイントは毎時間使っているので、よい教材がほしい。

④エネルギー教育との関連　日本のエネルギー問題について考えさせたい。

⑤実習授業　「はかるくん」の借り出しがスムーズに行われるように予算をふやせ。

⑤　有用性とリスク　放射線の有用性と危険性をバランスよく取り上げられるように心がけたい。

⑥　一般的感想　放射能に対する知識は今後必要になってくると思われるが、教育課程における位置づけがまだまだ明確でないことが授業をきちんと行えない原因になっていると考えられる。「放射線は危険なもの」というイメージが先行し、有益性、利用されていることあまり認識されていない。教育の場で、正しく理解させていくことがとても重要と考える。現時点では、放射線についての学習時間を無理に増やそうとするのではなく、短時間（1 時間程度）であっても確実に当を得た学習がおこなわれるように策を練ることが大切と思う。　(Radiation Education Forum)

3a-Ⅲ-03

学習指導要領の改訂に関わる放射線教育についての高校教員アンケート調査結果

Survey Results of High School Science Teachers on Radiation Education Related to New Curriculum Guideline

放射線教育フォーラム　　田中隆一、黒杭清治、辻萬亀雄、松浦辰男
(TANAKA, Ryuichi; KUROKUI, Seiji; TSUJI, Makio; MATSUURA, Tatsuo)

1．はじめに　学習指導要領改訂に関連して放射線教育の現状を把握するために、放射線教育フォーラムは学習指導要領公布後に全国の中学校及び高校の理科教員を対象として放射線教育に関するアンケート調査を1昨年より実施してきた。第1回の高校調査では大部分の回答者が放射線・放射能について教えた経験があることがわかった。実習経験のある教員の割合及び中学校理科で放射線の扱いが復活することを知っている教員の割合は少なかった。また、放射線・原子力教育においてリスクという視点を扱う場合、教育現場には様々な問題があるので、慎重な扱いが必要であることがわかった[1)]。

この結果をもとに放射線に関わる授業計画に主眼をおいて第2回の調査を昨年10月に高校2520校を対象に実施した。回答率は16.0%であり、前回より4%低かった。

2．調査結果　約90%の回答者が放射線についての授業経験をもち、年間授業時間は、1時間以内が30%、1～3時間が30%、放射線の実習・演示については、霧箱、GM計数管、はかるくんの3教材が大部分を占め、実施時間は1～3時間が約半数を占めた。

中学校理科で放射線が30年ぶりに取りあげられることは、30%が知っており、前回より少し増えた。現行科目「理科総合A」の学習内容が中学校理科に移行することは回答者の3分の2が知っており、関心が高いことが示された。

新科目「物理基礎」では、エネルギー学習のなかで「放射線の利用や安全性に触れること」と指導されているが、この扱いに関して、原子力エネルギーの内容に含めて扱うとの答えが31%、科学技術の発展と生活とのかかわりを学ぶために扱うとの答えが34%、広く「エネルギーとその利用」に関わる内容として扱うとの答えが16%であった。放射線学習を科学技術の視野から位置づける教員が多いことを示している。

原子力・放射線の学習において外部からの協力・支援（講師派遣を含む）を受けたいと思うかどうかの設問に対しては、受けたくない(57%)が受けたい(40%)を上回り、前回とは逆の傾向を示した。その他、新科目「物理基礎」「化学基礎」での扱いや放射線源に関わる学習についても興味深い結果が得られた。

3．考察及び記載意見　外部からの協力・支援の必要性を多くの回答者が認めているが、カリキュラムのなかに協力・支援を組み込める時間的な余裕がない教育現場の事情を指摘する意見が非常に多かった。放射線に関わる授業が入試やセンター試験と重なる最終学年・学期に組まれていることが余裕のない実態に拍車をかけている事情がわかった。

理科教育における放射線の扱いでは、放射線・原子力の学習が科学技術と人間生活の関わりを知ることに目標を置いているので、原理・体系学習に主眼を置く自然科学中心の理科教育では放射線・原子力は扱いにくいという問題がある。これについての意見は、従来からの体系的な理科教育を重視する意見、社会や人間生活との関わりを重視する意見、及び基礎科学と放射線の関わりを重視する意見の3グループに大きく分かれ、基本的な考え方の違いが明瞭に表れた。放射線が原子力エネルギーだけでなく、他の広い分野と関わりをもつことの認識が多くの理科教員にあることがわかった。一方、福島原発事故でクローズアップされた放射線の人体影響や安全性に関わる意見は少なかった。

1) 田中：放射線教育　Vol.13, No.1, p47-54

K13

新学習指導要領に基づいた放射線等に関わる理科教科書記述の考察

A Study on Description of Radiation in Textbooks of Science under the New Curriculum Guideline for Junior and High Schools

NPO法人放射線教育フォーラム　○田中隆一、松浦辰男
Tanaka Ryuichi, Matsuura Tatsuo

学習指導要領改訂によって30年ぶりに、放射線が中学校で扱われるようになって初めての理科教科書について放射線に関わる記述を考察した。高校の同改訂による理科の新科目「物理基礎」及び「化学基礎」についても、教科書における放射線に関わる記述を考察した。

キーワード：教科書、理科、放射線、学習指導要領、中学校、高校

1．はじめに[1)]

平成24年度から使用する中学校及び高等学校用の教科書が新規検定を経て公開され、新学習指導要領に基づく原子力・放射線に関わる教科書記述が初登場した。特に放射線については、中学校で30年ぶりに本年度から移行措置として扱われることになった矢先に起きた福島原発事故が前代未聞の社会的な放射線議論を巻き起こしつつある状況でのスタートとなった。ここでは、中学校理科第1分野及び高校理科の新科目「物理基礎」、「化学基礎」における放射線に関わる教科書記述を中心に調査を行い、記述の傾向や問題点について考察する。

2．中学校理科教科書の記述傾向について

検定を通過した5社の中学校理科教科書では、原子力・放射線が扱われている「エネルギー資源」の記述量は平均して10頁であり、そのうち放射線に関する記述量が0.6～2頁(平均1.2頁)を占めている。一方、原子力エネルギーに関わる記述は他のエネルギー資源との横並びの扱いであるためか、記述量は少なく、0.3～1.3頁(平均0.7頁)であった。放射線をエネルギー資源の章のなかで扱う指導があるので、原子力エネルギーの記述になかで、あるいはその延長上で放射線が記述されると予想していたが、原子力エネルギーとは独立的に取り上げる教科書も複数見られたのは、学習指導要領解説での放射線に関する記載が独立的であるためであろう。

放射線の性質は予想通り利用や影響に結び付けて記述される傾向にあるが、学習指導要領で透過性のみが扱われたため、結果的に中途半端な記述や不正確さが見られた。放射線利用の扱いは各社ばらばらであるが、断片的情報ながら発展学習を配慮した利用例の記載が目立った。注目を引いたのがD社教科書である。クルックス管を出発点として放射線・放射能発見の歴史から説き起こし、放射線の性質として透過力と電離能を明快に述べ、自然及び人工放射線の存在とその影響や利用へと発展させる記述が理科学習の視点から興味を引いた。

3．高校理科の記述傾向と問題点

高校理科では、基礎を付した科目「物理基礎」及び「化学基礎」のなかで、中学校理科と同様な扱いで原子力・放射線が取り上げられている。中学校の記述と重なる内容がかなり見られるが、中高接続のための重複部分としての意義があると考える。その上で、原子核の構造や崩壊、放射性同位体、半減期、放射線・放射能の単位など、いくつかの高度な物理概念が記述され、放射線の利用・影響の内容が多少詳しくなる傾向がどの教科書にも共通しており、中学校理科で見られたような記述量やその内容の多様なばらつきは見られなかった。

「物理基礎」と「化学基礎」の内容に重なる部分が多いのは、選択科目が違っても放射線の基礎知識を共通化できる利点があると考える。問題は「物理基礎」で指導されることになった線量単位の学習内容である。教科書による扱いの違いはあるが、吸収線量、線量当量、等価線量、実効線量などの線量概念が型どおり解説されていても、放射線作用についての基礎的な理解がないと概念を正しく把握できないため、単なる社会科的な暗記学習となってしまう。今後の放射線教育において議論を呼ぶポイントであると指摘しておく。

4．全体的考察

学習指導要領改訂で放射線が復活して最初の中学校教科書であるためか、発行者によって記述内容やその扱いの姿勢にばらつきが目立つ。初めて放射線に出会う生徒には理科的な知識基盤こそ欠かせない。科学技術と人間生活の関わりの学習だから、義務教育最終学年だからと言って、社会科学的視点を優先させてはならないと考える。客観的な放射線に関する理科的知識の正しい理解が生徒によるリスク認知の判断に前に必要である。

参考文献　1）田中隆一：エネルギー環境教育研究 Vol.3, No.2, 73-79 (2009)

おわりに

私どもは、国民全体が抱いている放射線恐怖症を軽減する目的で、主に学校において放射線に関する適切な教育が行われることを目指して、1994 年に設立され活動を続けてきた非営利活動団体である。これまでの活動実績が認められて、2010 年 10 月から新技術振興渡辺記念会から表記の題目の調査研究費として私どもの活動に対する助成を賜ったことを誠にありがたく思っている。

本報告書は、この 1 年間の表記の調査研究の一環として研究協力者から提出された研究報告・教育実践の記録をまとめたものであるが、私どもが毎年度毎に刊行している年度末報告書、定期刊行物である「放射線教育」誌、その他の刊行物同様、中学校や高等学校などで実際に放射線教育の実践に携わっておられる教員各位にとって何らかの参考になるであろうことを願っている。そして、学校教育が中心になって、現在高まっている国民全体の放射線・放射能に対する関心が少しでも正しい方向に改善され、社会の安定に繋がることを期待する。本報告書のために各テーマの原稿を執筆され、また原稿推敲に協力を賜った各位に感謝する。

（報告書編集担当：NPO 法人放射線教育フォーラム理事長　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：　２０１１年９月３０日