

「放射線教育」別冊

放射線教育で国を救おう

放射線教育フォーラムの2010年度活動報告書

NPO法人放射線教育フォーラム

2011年3月

序 文

本文章を執筆している約 1 週間前に東北・関東地域に大地震・大津波が発生し、それに引き続いて福島県海岸沿いの原子力発電所で炉心の冷却機能喪失による原子炉建屋の水素爆発と大気中への放射性物質の放出が起こったことが連日にわたって報道されている。大津波による甚大な被害の結果生じた数知れない犠牲者に心からの哀悼の意を表するとともに、大津波の被災地及び原発施設周辺からの退避を余儀なくされておられる方々に心からお見舞いを申し上げます。また、現在この瞬間も被災者の救援や事故の収拾に献身されておられる方々に衷心より感謝する。

さて、われわれがこの組織を発足させたのは約 17 年前であるが、その設立の目的は一般国民の核アレルギーの緩和であった。そのために、放射線に関する正しい知識をまず学校教育で、ということで、文部科学省に働きかけて、まず高等学校で、次に中学校のいずれも理科の科目で、エネルギーや原子力、科学技術と人間生活に関連づけられて以前より充実した形で、放射線に関する教育が始まったところであった。最近の活動の成果として著しいのは、主に中学校の先生方のための「放射線学習指導書」の作成であるが、これについては、教育関係者各方面からのご評価をいただいていることを有難く思っている。

昨日には、今回の事故による原子力発電所とその周辺の空気中の放射線モニタリングの結果や、さらに遠方の地域まで含めた畜産物や農作物の中の放射性物質の濃度などのデータが政府から発表され、食品として摂取することに関する要請がなされた。日本全国の方々が、福島原発からの放射性物質がご自分の周辺にも飛来し、それによる身体の影響が生じるのではないかと不安を抱いておられる。放射性物質の濃度は地理的条件などによって変化するが、その数値に応じてどう対処すればよいかという基本的知識を多くの国民の方々に持っていただくことが望まれる。今回のような事態ともなれば、種々の情報が多くの報道機関から伝えられるが、その中には、不正確なもの、誤解を導くものもある。しかし国民の多くが、放射線に関する正しい基礎的知識を持ってさえいれば、間違った情報に惑わされずに、冷静に対処することが出来る。この機会に私どもは、学校の教員の方々がご自分の知識を正確なものとして、当フォーラム会員ともども、その地域のオピニオン・リーダーとして、多くの国民の方々の模範になっていただきたいと希望している。

また、この機会に公開する、「放射線に関する正しい知識、特に人体の影響」などの資料をご利用いただいて、生徒さんへの教育だけでなく父兄や、一般市民の方々からの質問があったときにご利用いただければ幸いである。私どもは、今後とも、日本のエネルギーや原子力・放射線に関する正しい知識を社会に広めるべく、学校教育関係者のみでなく社会一般の方々のお役に立ちたいと考えている。

2011年3月20日

NPO 法人放射線教育フォーラム 理事長 松浦辰男

放射線教育で国を救おう
放射線教育フォーラム2010年度活動報告書
目次

序文
目次

第1章	2010年度の活動報告と2011年度の計画	1
1.	2010年度の活動について	3
2.	2011年度の活動・運営について	4
3.	2010年度の役員名簿	5
4.	2010年度の理事会・勉強会等の開催記録	6
5.	パネル討論報告	8
6.	「北大プロジェクト」関係の報告	9
7.	中学校理科教員へのアンケート（2回目）	21
8.	高等学校理科教員へのアンケート（2回目）	28
9.	青森支部の報告	35
10.	その他（将来計画一次回の国際シンポジウム計画）	37
第2章	専門委員会の報告または関係資料	39
1.	教育課程検討委員会報告	41
2.	低レベル放射線影響委員会関係の資料	
2-1	「放射線は年間50mSv以下なら浴びても安全」（近藤宗平）	48
2-2	「放射線の人体に対する影響—科学的に正しい理解のために—」 （長瀧重信）	52
第3章	勉強会等における配布資料その他の資料	57
1.	[科学的リテラシーを育む理科教育に向けて]（小倉 康）	59
2.	[学習指導要領の改訂と放射線の扱い]（田中隆一）	71
3.	「小学校において原子力・放射線教育は可能か」（杉山憲一郎）	76
4.	放射線教育現場における難問「放射線の飛跡を観察する」（大野新一）	78
5.	放射線教育現場における難問「グレイとシーベルトの理解」（大野新一）	84
6.	放射線教育現場における難問「年代を推定する」（大野新一）	89
7.	「医療被ばくの現状と課題」（緒方良至）	94
8.	「放射線に興味を持たせる理科教育とは」（松沢孝男）	102
9.	「私たちをとりまくリスク」（河村正一ほか）	107
10.	「東京電力福島第1/第2発電所の事故について 放射線のレベルについて」 （公表されている放射線量はどのような意味をもつのか） （日本原子力学会プレスリリース、2011年3月16日）	121
11.	「福島原発関連Q&A」（松浦辰男ほか）	123

あとがき／奥付

第1章 放射線教育フォーラムの
2010年度の活動実績と
2011年度の計画

この章では、フォーラムの2010年度の活動と2011年度の計画の要約、2010年度に開催した種々の会合記録、並びに2010年度の主要な実績として、「北大プロジェクト」と称する、新学習指導要領に沿って放射線を教えるための学校教員向けの指導書作成の作業実施状況と関連する中学校・高等学校へのアンケート調査の報告、および青森支部の活動状況等の報告をする。

1. 2010年度の活動について

NPO法人放射線教育フォーラムは、放射線、放射能、原子力の専門家及び学校教員の有志により構成され、1994年4月に発足し2000年11月にNPO法人の認証を受けたボランティア組織である。当フォーラムは、社会一般の人々が科学技術の進歩で恩恵を受けているにもかかわらず、若い人達に「理科離れ」、「理科嫌い」が見られること、また、知識レベルの高い方々も含む多くの人々が放射線や放射能に対して過剰の不安感をもっており、そのことが原子力の平和利用を大きく妨げている現状を打開するため、当フォーラムは、小・中・高等学校の教育において、エネルギー環境問題・放射線・放射能・原子力に関する正しい理解がされるように、学習指導要領などの教育政策を改善し、教員を育成することに重点を置いて、勉強会やセミナー、国際シンポジウムを企画・開催している。またいくつかの専門委員会を設けて問題を検討し、それをもとに文部科学省はじめ関係当局に政策提言を行なうなど、種々の活動をしている。フォーラムの会員数は、2010年12月現在で個人会員数190名、団体会員数49団体である。

1-1 事業活動実績

フォーラムの定款では、事業は(1)放射線教育に関する国内及び国際シンポジウム、勉強会の開催(2)放射線教育に関する調査研究並びに情報発信、(3)放射線教育に関する政策提言の3つに分類されている。以下に、これらの各項目について2010年度の実績を要約する。

(1) 勉強会等の開催

(ア) フォーラムの会員を主な対象とする公開の勉強会の開催

学校における放射線教育はいかにあるべきかを中心とする話題、放射線影響や放射線利用の最近の研究成果、現役教員による学校における放射線教育の実践報告などの幅広いテーマについて、勉強会を6月、11月、2月の3回開催している。

(イ) 学校教員を対象とする「エネルギー・環境・放射線セミナー」の企画・運営

学校における放射線教育、エネルギー・環境教育の質を向上させるために、文部科学省からの委託で2001年度から2009年度まで毎年全国各地(10地区)で企画・運営した事業である。これの企画・運営は(財)放射線利用振興協会との業務請負契約に基づいて、各地の教育委員会の後援を得て実施し、受講者総数は400名以上を目標とし、成果を上げた。しかし、この事業については、(財)放射線利用振興協会が2010年度の事業を競争入札で落札できなかったため、2010年度はこれまで通りの方式で実施できなくなった。フォーラム事務局では、2010年度にこの事業を文部科学省より受注した組織に、種々の資料を提供して協力したいとの希望を述べている。

(ウ) 地方支部のセミナー

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

(2) 調査研究・情報発信

(ア) 専門委員会活動

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

(イ) 「北大プロジェクト」(学校における放射線教育を有効に進めるための支援事業)

30年ぶりに復活する中学校における放射線教育を支援するために、学校教員のための放射線に関する学習指導資料の作成を2008年度から実施し、これをもとにした学校における先行的な教育実践の普及の全国的な展開を図る。2008年度は北海道大学の文部省委託事業「学校教育現場との対話に基づく原子力・放射線学習プログラム開発」に協力して全国の中学校の約半数にあたる5000校の理科教員へのアンケート調査をもとに教員のための指導資料「放射線・放射能の

基礎」(試作版)を作成し、当フォーラムのホームページで公開した。2009年度はこれの改定版として、中学校・高等学校共通の資料を作成するとともに高校3000校にアンケートを発信して教員との対話を図った。2010年度はアンケート調査を中学校、高等学校ともに、前回まだ実施していなかった残りの学校に対して行った。また、この調査による学校の教員からの要望に基づき、2010年度においては、中学校や高等学校の教員が教室で直ちに授業に使えるような解説付きの指導資料の作成に着手した。(別頁の「北大プロジェクトー放射線のリスクと利用の学習プログラム開発」参照)

(ウ) 定期刊行物等の発行

放射線教育に関連する最新情報、勉強会等の案内、意見交換などを掲載した「ニューズレター」を年3回、機関紙「放射線教育」を年1回、年度末活動報告書を年度末に発行している。これらの情報発信は、印刷物の刊行のほか会員の主な論文等についてはホームページで公開している。

(エ) その他の調査研究

(1) 上記の「北大プロジェクト」の研究内容に類似のものが、2010年9月から開始された。それは、渡辺記念会による「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」である。(総括責任者は井上弘義理事及び松浦辰男理事長)これは2011年9月まで継続されて実施する。

(2) 消防・警察・保安責任者への放射線教育

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

(3) 政策提言

当フォーラムが17年前に設立されて以来、学校における放射線教育の充実のために文部科学省などに要望書を提出するなどの努力を続けてきた結果、2008年に公布された中学校理科の新学習指導要領で放射線がようやく取り上げられることになった。この改善の方向が単に形式だけに終わらず実質的に成果が挙がるように、教育現場の実情を調査して、学習内容と教育人材の質の向上のための環境を整えるべく、種々の提言を行いたい。具体的には、教科書の調査、放射線実習の充実のための方策、入学試験の改善、教員養成機関への提言、小学校で初歩的な放射線教育を行うための提案、中学校・高等学校で理科だけでなく社会科、技術・家庭科などの教科におけるエネルギー教育やリスク教育のための学習指導要領の改訂などを提案したいと考えている。

1-2 運営

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

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

2. 2011年度の活動・運営について

渡辺記念会による「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」をフォーラム理事会の有志が実質的に随時打合会を開催して実行する。

運営面では、フォーラムの財政改善のために事務局は種々の方策を検討し、実行する。「通常会員総会」を6月に開催。「理事会」を4回以上開催。「将来計画検討委員会」を適宜開催。「顧問会」を1回開催。

NPO法人放射線教育フォーラム 2010・2011 年度役員名簿（五十音順）

- 理事長：** 松浦辰男 （立教大学名誉教授）
副理事長： 河村正一 （神奈川大学総合理学研究所名誉研究員、日本防護服研究会理事長）
長谷川圀彦 （静岡大学名誉教授）
理事： 井上浩義 （慶応大学医学部教授）
岩崎民子 （放射線医学総合研究所名誉研究員）
大野新一 （理論放射線研究所長）
工藤博司 （東北大学名誉教授）
小高正敬 （元東京工業大学大学院原子核工学専攻助教授）
酒井一夫 （放射線医学総合研究所放射線防護研究センター長）
笹川澄子 （財）環境科学技術研究所調査役）
田中隆一 （元日本原子力研究所高崎研究所所長）
中西友子 （東京大学大学院農学生命科学科教授）
橋本哲夫 （新潟大学名誉教授）
堀内公子 （元大妻女子大社会情報学部教授）
渡辺智博 （立教新座中学高校教諭）
監事： 朝野武美 （元大阪府立大学先端科学研究所）
加藤和明 （高エネルギー加速器研究機構名誉教授）

名誉会長： 有馬朗人 （財）日本科学技術振興財団会長・元文部大臣・根津育英会武蔵学園理事長）

幹事： 荒谷美智（六ヶ所村文化協会）、大島 浩（佐野日本大学中学高校）、大野和子（京都医療科学大学教授）、緒方良至（名古屋大学医学部保健学科）、奥野健二（静岡大学理学部教授）、笠井篤（元日本原子力研究所）、岸川俊明（元熊本大学）、菊池文誠（元東海大学理学部）、熊野善介（静岡大学教育学部）、黒杭清治（元芝浦工業大学教授）、斎藤直（大阪大学アイソトープ総合センター教授）、佐伯正克（元日本原子力研究所特別研究員）、佐久間洋一（東京工業大学特任教授）、佐藤正知（北海道大学大学院工学研究科教授）、柴田誠一（京都大学原子炉実験所）、白形弘文（日本エクスクロン（株）技術顧問）、下道国（元藤田保健衛生大学衛生学部教授）、砂屋敷忠（放射線影響研究所臨床研究部顧問）、関根 勉（東北大学高等教育開発推進センター教授）、田村直幸（元日本原子力研究所ラジオアイソトープ・原子炉研修所長）、鶴田隆雄（近畿大学原子力研究所教授）、中西孝（元金沢大学大学院自然科学研究科教授）、西尾信一（埼玉県立本庄高校教諭）、播磨良子（伊藤忠テクノソリューションズ株）、坂内忠明（放射線医学総合研究所主任研究員）、広井禎（元筑波大学附属高校副校長）、古屋廣高（九州大学名誉教授）、細渕安弘（元東京都立保健科学大学）、三門正吾（千葉大学高大連携企画室特任准教授）、峯岸安津子（神奈川大学理学部国内研究員）、宮川俊晴（日本原燃株）、村石幸正（東大教育学部附属中等教育学校副校長）、渡利一夫（放射線医学総合研究所名誉研究員）

顧問： 飯利雄一（元信州大学教授）、石黒亮二（北海道大学名誉教授）、今村 昌（理化学研究所名誉研究員）、工藤和彦（九州大学高等教育開発推進センター教授）、黄金旺（中原大学栄誉教授）、佐々木康人（国際医療福祉大学教授）、篠崎善治（元都立アイソトープ総合研究所参事研究員）、村主進（原子力システム研究懇話会フェロー）、住田健二（大阪大学名誉教授）、高島良正（九州大学名誉教授）、野崎 正（元北里大学教授）、更田豊治郎（元日本原子力研究所副理事長）、松平寛通（元放射線医学総合研究所長）、森千鶴夫（名古屋大学名誉教授）、山口彦之（東京大学名誉教授）、山寺秀雄（名古屋大学名誉教授）、吉田康彦（大阪経済法科大学アジア太平洋研究センター客員教授）

4. 2010年度の理事会等会合・勉強会等の開催記録

2010年

- 4月7日(水) 2010年度第1回理事会 (尚友会館1号室 18名)
4月27日(火) 第1回将来計画検討委員会 (第一白川ビルフォーラム事務所 7名)
5月14日(金) 第1回編集委員会 (尚友会館 地階喫茶すずらん 5名)
6月12日(土) 第2回将来計画検討委員会 (科学技術館 6階 第3会議室 7名)
6月12日(土) 第1回総会・勉強会 (科学技術館 6階 第3会議室)
(総会 30名、勉強会 31名、懇親会 19名)

(勉強会プログラム)

報告「北大プロジェクト2010年度の作業予定」(続き)

松浦辰男 (放射線教育フォーラム)

講演「科学的リテラシーを育む理科教育に向けて」

小倉 康 (国立教育政策研究所 教育課程研究センター総括研究官)

報告「中学校・高等学校において実施してきた放射線教育と今後の課題と挑戦」

中山知恵子 (神奈川大学付属中学・高等学校)

ミニ・パネル討論会

「放射線教育は小・中・高等学校でいつ頃どのような内容を行うべきか」

黒杭清治 (放射線教育フォーラム) ほか

7月9日(金) 第47回アイソトープ放射線研究発表会 (場所: 日本科学未来館 7階)

パネル討論5 「実験・実習教材の普及・活用による放射線教育の新展開」

座長 松浦辰男 (放射線教育フォーラム)

パネリスト

(1) 「放射線教育の復活と実験・測定機材の普及・活用」

森 千鶴夫 (愛知広大・フォーラム顧問)

(2) 「中学校理科における放射線実験・実習に向けての課題」

原田忠則 (広島市立江波中学校)

(3) 「簡易型の放射線実習教材の普及・活用の現状と課題」

川崎幸三 (放射線利用振興振興協会)

(4) 「簡易放射線測定器「はかるくん」の普及・活用の現状と課題」

掛布智久 (日本科学技術振興財団)

(5) 「新しい放射線実験教材の普及と課題」

三門正吾 (千葉大・高大連携企画室・フォーラム幹事)

7月17日(土) 第1回理事会 (島嶼会館 20名)

9月10日(金) 第3回将来計画検討委員会 (第一白川ビル フォーラム事務所 6名)

9月24日(金) 第2回編集委員会 (尚友会館 地階喫茶すずらん 5名)

9月25日(土) 第3回理事会 (学士会館 15名)

10月5日(火) 第2回教育課程検討委員会 (第一白川ビル フォーラム事務所 5名)

10月22日(金) 渡辺記念会研究打ち合わせ会 (第一白川ビル フォーラム事務所 4名)

10月27日(水) 渡辺記念会研究打ち合わせ会 (尚友会館6階1号室 13名)

11月20日(土) 第2回渡辺記念会打ち合わせ会 (科学技術館6階第3会議室 11名)

11月20日(土) 第2回 勉強会 (科学技術館 6階 第3会議室 30名)

(勉強会プログラム)

「フォーラムの現状と活動報告及び合意形成と放射線教育について」

松浦辰男 (放射線教育フォーラム)

「第二回中学校アンケート調査とその中間集計結果」

黒杭清治 (放射線教育フォーラム)

「医療被曝の現状と課題」

緒方良至 (名古屋大学医学部)

「放射線教育と道德教育」

原口栄一 (鹿児島県鹿屋市立第一鹿屋中学校)

「ディベートによる放射線教育」

宮嶋昭伸 (神戸大学附属明石中学校)

2011年

1月19日(水) 北大アドバイザー委員会 (尚友会館1号室 17名)

1月20日(木) 第3回編集委員会 (尚友会館 地階喫茶すずらん 4名)

1月29日、30日(土、日) 青森六ヶ所村施設見学会 (青森六ヶ所村 20名)

2月19日(土) 第4回 理事会兼顧問会 (科学技術館 6階 第3会議室 15名)

2月19日(土) 第3回 勉強会 (科学技術館 6階第3会議室 32名 懇親会 22名)

(勉強会プログラム)

「新学習指導要領と放射線教育——中学校理科を中心として」

鳩貝太郎 (国立教育政策研究所名誉所員・首都大学東京客員教授)

「低レベル放射線の人体への影響」

松原純子 (元原子力安全委員会委員長代理)

「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」

秋津 裕 (日本女子大学リカレント教育課程 受講生)

「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」

原口博之 (静岡県立浜松大平台高等学校)

「すぐに授業で使える放射線教育教材の紹介」

黒杭清治 (放射線教育フォーラム) ほか

パネル討論5 報告「実験・実習教材の普及・活用による放射線教育の新展開」

学習指導要領改訂によって、中学校理科で放射線の取扱いが復活することになり、来年度から放射線についての授業が第3学年で始まる。しかし、30年間のブランクによって、放射線について教えたことがなく、習った覚えもない先生方が多数を占めるようになってきている。このため、放射線に対する不安感も手伝って生徒に放射線を教えることに戸惑いを感じる先生も多い。この状況下で先生自身に放射線を身近に感じていただくとともに、生徒への学習効果を確実に上げる方策は、放射線に関わる実験・実習を広く普及し有効に活用することである。このため、学校などでの放射線教育の浸透と活性化を目指すため、霧箱、「はかるくん」等をはじめとする実験・実習教材に焦点を当て、それらの普及拡大、改善、及び授業実践への活用をテーマとするパネル討論を実施した。

パネリストとして、愛知工業大学の森千鶴夫氏が「放射線教育の復活と実験・実習教材の普及・活用」をテーマに放射線の専門家の立場から、広島市立江波中学校の原田忠則氏が「中学校理科における放射線実験・実習に向けての課題」をテーマに学校現場の立場から、ご講演いただいた。引き続き、放射線利用振興協会の川崎幸三氏、日本科学技術振興財団の掛布智久氏及び千葉大学高大連携企画室の三門正吾氏からそれぞれの実験・実習教材の開発・普及・活用をテーマとして現状と課題についてご講演いただいた。

森氏からは、理科教育が辿ってきた道を踏まえて、今回の学習指導要領では観察・実験が重視されていること、特に未経験の中学校教員を主対象に、標準化した実習法の確立、新しい実験手法の提言、外部からのサポートの必要性などが指摘された。先端技術とも繋がるイメージングプレートを用いた新しい手法などの提案が興味深い。原田氏からは、観察・実験の活動は楽しいが、現象を解釈できないため知識・技能として定着せず、その結果を整理し考察するための概念や見方を教えてこなかった問題が指摘された。これを踏まえて、自然との関わりの中から自然の見方を教え、考え方の基本となる概念を系統的につくりあげるといった独自の授業計画を実施していることが報告された。川崎氏からは、原子力体験セミナーで実施されてきた霧箱やスパークチェンバーを用いた簡易測定器による実習実績の紹介とともに、普及における技術的及び安全上の課題が述べられた。掛布氏からは、「はかるくん」を中心とする実験セットの紹介とそれらを活用した実習・研究作品の募集の成果や授業導入への実践例やサポート活動例が紹介された。三門氏からは、ありふれた材料による手作りのガイガー計数管とその活用例の紹介があり、小型の高圧電源が普及の課題になっていることが述べられた。

この後のパネリストと会場との討論では、個々の実験技術に関わる内容から実験・実習を活用する授業実践の在り方まで幅広い内容に及ぶ話題が討論された。実験技術では、すでに定着している手作りの簡易霧箱に限らず、教育効果を高めるための技術的工夫及び学習の活用・発展の可能性が多く残されていることが明らかにされた。実習用の放射線源についても、広がる学校でのニーズに対応して普及性を高める必要があることが指摘された。また、原田氏が開発した中学校での授業計画について、他校への普及の可能性が問われたが、失われた30年間、放射線を扱ってこなかった先生方が自己研鑽でそれを学び実施するのは難しいので、理科教員に対する放射線についての研修システムの必修対応が必要であることが強調された。こうした討論の機会を端緒として、来年度から中学校で始まる放射線授業へ向けて、関係者の関心が高まっていくことを期待する。

(田中 隆一、放射線教育フォーラム)

平成 2 2 年 度

成 果 報 告 書

「学校教育現場との対話に基づく原子力・放射線学習プログラム開発」

「放射線のリスクと利用の学習プログラム」

「小・中・高等学校用学習プログラム開発」

NPO法人放射線教育フォーラム

2011 年 3 月 20 日

成果報告書 内容

1. 本研究の目的・方法
 - 1-1 目標
 - 1-2 業務の方法
2. 研究の本年度の事業経過
 - 2-1 指導資料作成などの打ち合わせ会の開催について
 - 2-2 専門委員会の開催について
 - 2-3 勉強会の開催について)
3. 放射線教育に関するアンケート調査（中学校、高等学校）について
 - 3-1 中学校への調査
 - 3-2 高等学校への調査
4. 放射線学習指導資料
 - 4-1 「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」（最終版）について
 - 4-2 「すぐに教室で利用可能な教育用教材」（パワーポイント資料及び解説）
 - 4-3 生徒に配布するワークシート、そのほかの教育用資料
5. 今後の放射線教育への提言
6. 添付資料リスト

1. 本研究の目的・方法

1-1 目標

生活の場に自然放射線・自然放射能が存在すること、少量の放射線リスクに関する知識、放射線が医療をはじめ諸分野の産業に利用されている現状について、最近改訂された学習指導要領（中学校で平成23年度から理科の科目で取り上げられることになった）との整合性、教員の知識レベルや教育経験を考慮し、放射線の学習プログラムを小学校、中学校、高等学校の正規の学習单元および総合的な学習の時間、そのほか課外学習の時間に組み込めるものとして教員との対話に基づき開発する。2008年度及び2009年度においては、この分野の学校での教育の実態を調査するために実施した理科教員へのアンケート調査（全国中学校の約半数5001校、全国高等学校の約半数3000校に発送）の結果を参考にして、生徒が積極的な学習意欲を持てるような課題研究のテーマも含めた、放射線について正しく教えるための基礎知識を教員が学ぶため指導資料を中学校・高等学校共通に作成したが、今年度はその最終版を作成する。アンケート調査をまだ実施していなかった中学校の約5000校、高等学校約3000校に2回目のアンケート調査を行うとともに、教員の要望に応じて教室ですぐに利用可能なパワーポイント資料をも開発する。小学校用についても検討する。

1-2 業務の方法

- (1) この事業は、当フォーラムとしても重要な研究テーマであるので、フォーラム会員の衆智を集めて実行する。すなわち、登録された研究協力者（NPO法人放射線教育フォーラムの幹部会員）だけでなく、広く一般会員にも研究の進捗状況を知らしめて、意見を聞くことに努める。そのために、フォーラムの理事会（年に約4回）、勉強会（年3回）、教育課程検討委員会などの専門委員会の組織・機能を有効に活用する。
- (2) そのほか随時、研究協力者による打ち合わせ会を開催し、昨年度までに作成した「放射線学習指導資料——中学校・高等学校における放射線に関する学習指導の手引き」（2010年3月）をさらに改訂すべき点について討議し、追加すべきテーマがあれば原稿依頼などの役割分担を決めて実行に移す。また教員からの要望を取り入れて、「教室ですぐに利用可能なパワーポイント資料」（中学校用、高等学校用、小学校用）の制作を行う。
- (3) 研究協力者の幹事とフォーラム外部の放射線教育に関する専門家あるいは原子力・放射線に関する知識普及活動を行っている団体の担当者との合同の委員会（アドバイザー委員会）を開催し、本研究の実施方法・成果に関する諮問を行うとともに、放射線教育の発展のための活動に向けて提言を受ける。

(4) 放射線教育の中心的課題は少量の放射線による人体への影響をいかに理解するかであるが、専門家は放射線の生体への作用に関する分子論的あるいは細胞学的に微細なメカニズムに主たる関心があるため、生体のトータル的な生命維持能力に気づかない可能性がある。その結果、研究者としての謙虚さもあって「少量の放射線の生体への効果については正確にはわからない。[まだ完全に理解できていない]」と発言することが多く、そのことが一般人にとっては「放射線は少しでも危険らしい」との恐怖観念からの脱却ができない原因となっているように思える。そこで、特に放射線の人体影響・リスクに関して学校でどのように教えるべきかについて現役の教員にも協力を求めて解説文をつくる。そのほか、教員からの要望に応じて、「放射線・原子力技術を含む近代の科学技術を社会に応用する際の光と影の両面」についても教育資料に含める。

(5) 1年に3回定期的に行われている勉強会（この研究では「ワーキンググループ」と称している）では、放射線に関する利用や教育の専門家を随時講師として招待し、また放射線教育に関心の高い学校教員を全国から選び出して、その教育実践の結果を発表していただき、この研究で作成している教育用資料に反映させると共に、新しい教育情報や実践技術・教育技術を多くのフォーラム会員に学んでいただこうとしている。

(6) 前年度および今年度を実施した中学校や高等学校の教員へのアンケート調査の結果わかったことは、教員一般の放射線に対する知識レベル・教育経験は決して十分ではないが、われわれ専門家との交流により自分の教育能力の向上を望んでいる教員が多数居られることである。また昨年度までに作成した試作版の教育指導資料は高い評価が与えられていることが判明した。

(7) 情報伝達の方法としては、印刷物だけでなくインターネットを利用することとしている。

(8) 同様な教育活動を行っている他の組織との交流は大切である。2010年7月の日本アイソトープ協会主催による「第47回アイソトープ・放射線研究発表会」では、当フォーラムが提案した放射線教育に関するパネル討論会「実験・実習教材の普及・活用による放射線教育の新展開」（座長：松浦辰男、パネリストは主にフォーラム会員）が実施された。（Isotope News、2010年11月号に実施報告が掲載されている。）

2. 研究の本年度の事業経過

2-1 指導資料作成などの打ち合わせ会の開催について

2010年4月より2011年2月末までに、合計3回、この研究の協力者を主なメンバーとする協力者議が開催され、その時点での放射線学習指導のための教

育資料の進捗状況や中学校・高等学校への第2回アンケート調査について報告し、意見を聴取して、その結果を教育指導資料の作成に反映させた。以下は7月17日、9月25日、及び2011年2月19日の会議議事録からの抜粋である。

2010年7月17日(土) 場所：浜松町島嶼会館(理事会兼指導書執筆者打ち合わせ会、出席者16名) 指導資料改訂版の作成を進めるための打ち合わせ。形式を整えてホームページ掲載を目指すこととした。全国の中学校6,000校、高等学校2,500校を対象としてそれぞれ第2回目のアンケート調査を実施する予定のアンケート設問案について説明がされた。(その後8月31日に中学校4737校にアンケート発送)。

9月25日(土) 場所：神田学士会館(出席者12名) 中学校・高等学校へのアンケート調査の進捗状況について報告。高校理科教員へのアンケート設問案の紹介。すぐに教室で支えるパワーポイントを作成する計画を審議・採択。(10月15日に高等学校2520校にアンケート発送。)

10月27日(水) 場所：尚友会館(臨時理事会兼指導書執筆者打ち合わせ会を開催。出席者14名) 北大との本年度の契約締結の報告、中学校・高等学校へのアンケート調査の進捗状況について報告。中学のアンケート回収率13.2%、高校は回収中。すぐに教室で使えるパワーポイント教材の実例の紹介。

2011年2月19日(土) 場所：科学技術館6階(第4回理事会・顧問会兼指導書執筆者打ち合わせ会、出席者15名)

北大プロジェクト関係については、①中学校・高等学校へのアンケートの集計結果が報告された。②作成中の「すぐに使える教育用資料」のリストと、現在作成中の資料の1例が紹介され、意見交換が行われた。③現在、一部はまだ不完全ながらできている約7種の教育用資料をCD版として、プロジェクトの協力者・関係者に配布して、全部の原稿について意見を求め、それをもとに「第一次作成版」として北大への報告書への添付資料とするとともに、「指導資料」と同様に、放射線教育フォーラムのホームページで公開したいとの希望が出された。④教育にすぐに役立つ資料ができたことを、中学校、高等学校の今年度のアンケート回答者にアンケート集計の結果の報告とともに知らせることとした。

2011年3月18日(金) アンケート集計結果(要約版)をすぐに利用できるパワーポイント資料のリストと、この資料の見本を紙に打ち出したもとともに回答をいただいた中学校623校、高等学校402校に発送を完了する(予定)。

2-2 専門委員会の開催について

2011年1月19日(水) 場所：尚友会館 「本年度アドバイザー委員会」

出席者：清原洋一（文部科学省、国立教育政策研究所 教科調査官）、櫛田浩平（日本原子力研究開発機構）、金氏 顕（日本原子力学会 SNW）、工藤和彦（日本原子力学会）、松谷信治（日本理科振興協会常務理事、会長大久保昇代理）、杉村正紀（日本生産性本部エネルギー環境教育センター副所長、所長横川修代理）村田直之（ケニス（株）東京支社）、安藤仁（科学新聞社）、井上浩義（放射線教育フォーラム）、大野新一（同）、加藤和明（同）、河村正一（同）、黒杭清治（同）、田中隆一（同）、長谷川罔彦（同）、堀内公子（同）、松浦辰男（同）以上17名（静岡大学教育学部熊野善介、日本原子力文化振興財団 船越誠、日本科学技術振興財団 掛布智久、放射線利用振興協会 柴田功の4氏は欠席）

（議事要約）. ①平成21年度の成果と平成22年度の経過の報告。

②今年度に行った中学校及び高等学校への第2回アンケート調査結果の報告。

③授業ですぐに使えるパワーポイント教材の作成例の紹介と討論。

④これまで進めて来た放射線に関する学習指導資料と添付資料の最終版の完成に向けての作業についての説明。

⑤出席した各委員からの放射線・原子力教育の支援方策や今後の展望に関する意見・コメント。これらの発言の内容は我が国の今後の放射線教育の発展のためにも有益であった。（別添の「第3回アドバイザー委員会議事録」参照）

2-3 勉強会（ワーキンググループ）の開催について

（第1回）6月12日（土）14時～17時 場所：科学技術館 2010年度第1回勉強会（ワーキンググループ）出席者36名 講演題目、講演者は

①「北大プロジェクト第3年度の計画」松浦辰男

②「科学的リテラシーを育む理科教育に向けて」（国立教育政策研究所 総括研究官）小倉 康、

③「中学校・高等学校において実施してきた放射線教育と今後の挑戦」（神奈川大学附属中・高等学校教諭）中山知恵子、

④「放射線教育は小・中・高等学校でいつ頃どのような内容を行うべきか」（放射線教育フォーラム）黒杭清治

（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（ワーキンググループ）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」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」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」（鹿児島県鹿屋市立第一鹿屋中学校教諭）原口栄一、

⑤「ダイベートによる放射線教育」（神戸大学附属明石中学校教諭）宮嶋昭伸

(第3回) 2011年2月19日(土) 13時～17時15分 場所: 科学技術館第3回勉強会(ワーキンググループ)、出席者33名 講演題目と講師は

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

3. 放射線教育に関する中学校、高等学校へのアンケート調査について

3-1 中学校への調査

2年前に全国の約1万1千校の中学校の約半数にあたる約5,000校を無作為に抽出してアンケートを発送した。その集計結果はホームページで公開しまたいくつかの学会等で発表した。今年度は残りの約6,000校について調査することを計画した。実際は、生徒数の少ない(50名以下)の学校は省略し、発送した実数は4737校で、回答した数は625通であった(回答率13.2%)。質問の内容は、「授業で放射線を教えたことがあるか、その内容は」など13項目であった。前回の回答率は23.9%であったので、今回のほうが関心が低かったように見えるが、自由回答欄に記入された内容に大きな変化がみられるので、単純に比較できない。何を教えたかという問いに、第1回目では放射線は怖い、原爆、チェルノブイリ事故、原発の危険性など、負のイメージを与える回答が多く見られたが、今回はマイナスのイメージが激減し、放射線・放射能の基礎知識教育に変わっている。また、われわれが作成した放射線教育指導資料については概して高い評価が得られている。(詳細は添付資料を参照。)

3-2 高等学校への調査

今回は10項目の質問を2520校に発送し、402校から回答を得た。(回答率15.8%) 回答内容は、中学校と同様に、真摯に答えているという印象が強い。自由に記載した意見の例として、以下のようなものがある。「物理で教えるべき内容が増えて授業時間が足りない」「どうしても大学入試対応の授業を優先させねばならない」「原子力・放射線に特化せず環境教育という枠で教えたい」「放射線は怖いというイメージがあるので専門家の授業は貴重である」「放射線教育

より生命科学が大事と思う」「センター試験の出題範囲にせよ」など。その他、今後の学校における放射線教育の充実に関する多くの有益な情報が得られている。

4. 放射線学習指導資料

4-1 「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」（最終版）について

2010年3月現在の「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）は、その後さらに改訂を加え、2010年7月段階の改訂版が、NPO法人放射線教育フォーラムのホームページで（第一部、第二部、第三部にわかれて合計63ページ）公開されている。その後少し体裁を修正した。今年度当初においては、この指導資料を中学校用と、高等学校用とを別にして作成することも考えたが、以下に述べる理由でそれは将来における計画とし、今回はこれまで通り、中学校・高等学校用を共通なものとして内容を整備させることとした。（小学校用の放射線教育指導資料（教師用及び児童用）も作成済みである。）

教員用の中学校・高等学校用を共通にした理由は、

①学習指導要領の改訂で中学校で放射線に関して教えることになったのであるが、その内容はこれまで高等学校の「理科総合A」で教えられてきたことの主要部分がそのまま移動する。その結果、放射線に関する基礎的な知識は当分の間は中学校と高等学校の両方で同時に教えられる可能性が大きい。したがって教員のための教育用資料において、中学校で比較的基礎的な知識が教えられて、その上に立って進歩した知識を高等学校で教えるという教材を作成することは現段階では無理である。それでこの教材は従来通りの共通の形式とし（この中で比較的基礎的な部分と進歩した部分が区別されていてわかるようになっている）、そのうちどの部分を教えるかは、（中学校・高等学校の）担当する教員の裁量にまかせることとした。

②その代わり、以下の付属資料としての「ワークシート」及び4-2項で説明する今年度から作成を開始した「教室ですぐに利用可能なパワーポイント資料」においては、中学校用・高等学校用（ほかに共通用もある）に分けて教員の要望に応えることにした。

③上記資料への付属資料として、授業で生徒に配布する「ワークシート」の一例、Q&A、及び次項の「教室ですぐに利用できる教育用資料」にも関係するが、特定テーマ（「放射線の性質と利用に関する教育はいかにあるべきか」「リスク教育はいかにあるべきか」「科学技術の社会への応用における光と影」など）に関する解説を執筆した。

4-2 「すぐに教室で利用可能な教育用資料」(パワーポイント)について

この教材は、中学校・高等学校へのアンケート調査により教員の強い要望があることが判明したので今年度から制作を始めたもので、以下は現在ほぼできてきているパワーポイント資料のリストである。

(1) パワーポイント資料

中学校用-1	「放射線の基礎」	PPT 36枚	
中学校用-2	「放射線の性質と利用」	PPT 枚数 28枚	
高校用-1	「原子構造と放射線の基礎」	PPT 枚数 58枚	
高校用-2	発展学習「放射線の利用」	PPT 24枚	
高校用-3	(トピックス)「ウリミバエの根絶」	PPT 35枚	
共通用-1	「自然界の放射線」	PPT 31枚	
共通用-2	「放射線は本当に危険か」	PPT 31枚	
共通用-3	「放射線と医療」	PPT 26枚	
共通用-4	「放射線実習」	PPT 20枚	(改訂中)
小学校用	「放射線の学習」	PPT 16枚	

(2) 解説用資料 (上記パワーポイント資料の解説、「学習指導案」ワード版)

中学校用	「自然界にある放射線」	3ページ
中学校用	「放射線の性質と利用」	3ページ
中学校用	「放射線の基礎」	3ページ
中学校用	「放射線の歴史と病気の治療」	4ページ
高校用	「原子構造と放射線の基礎」	5ページ
高校用	「ウリミバエの根絶」	12ページ
共通用	「放射線は本当に危険か」	8ページ

4-3 ワークシート

中学校用	(3時間分)「放射線の性質と利用」「自然放射線」「放射線の防護」	
高校用	「炭素14による年代決定」	4ページ

5. 今後の放射線教育への提言

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、果たして我々が期待する通りの教育がおこなわれるかどうか、多少疑問である。その理由は、放射線に関する教科書での記述が、理科(第一分野)の第3年次の最後にあり、理科で教えるべき内容が増えたこともあって、授業時間がたりなかった、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うるからである。理想を言うならば、この環境に自然放射

線が存在するなどの基礎的な事実は、小学校の段階で教えられるべきであり、中学校、高等学校はではそれぞれ前段階で教えられたことを既成事実として段階的に進歩した知識を教育単元として効率的に教育すべきである。

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から、小学校で比較的基礎的な放射線の知識をすべての学校でもれなく教えることは現状では困難であろう。そこで、教員の補助者として、放射線を中心とする理科を教えることができる民間人に適当な検定を行って臨時的に教員の資格を与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科学的知識と正しい考え方を理解され、子供たちが今後も引き続き興味を持って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、教員の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問題や放射線教育の内容を充実させること、最近は大火になっていると思える「総合的な学習の時間」の放射線・エネルギー教育への有効な利用への助成、更に上で述べたように、市民で放射線やエネルギー問題を勉強され、小・中学校で理科の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などの制度を作ることなどは有効であろう。

関連する重要な問題として、数式による表現を何処で教えるのか、ということがある。例えば $E=mc^2$ ② $N=N_0 \times e^{-\lambda t}$ など。これは高校の理科で確実に含めるべきであって、このような重要な項目は選択にせず高校理科の履修者には必ず学ばせて、大学入学試験の出題範囲にする。

6. 添付資料リスト

- A 「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」(最終版)
- B (会議関係)
 - B-1 「第3回放射線教育アドバイザー委員会議事録」
 - B-2 「放射線教育フォーラムニュースレター、No.47, 2009年6月」
 - B-3 「放射線教育フォーラムニュースレター、No.48, 2009年11月」
 - B-4 「放射線教育フォーラムニュースレター、No.49, 2010年2月」
- C 中学校へのアンケート関係
 - C-1 「中学校へのアンケート」
 - C-2 中学校理科教員へのアンケート集計結果

C-3 アンケート回答に記載されていた中学校教員の意見

D 高等学校へのアンケート関係

D-1 「高等学校へのアンケート」

D-2 「高等学校の理科教員へのアンケート集計結果」

D-3 「放射線指導資料に対する高等学校の理科教員の意見」

E. その他参考資料

E-1 「エネルギー学習 放射線・原子力」 小学校教師用

E-2 「中学校用ワークシート」(原稿、6 ページ)

F 主な論文・学会発表などの記録。

(論文)

1. 「放射線教育に関する高校教員へのアンケート調査で表された意見の紹介と考察」, 田中隆一、「放射線教育」Vol.13, No.1, p.47-54 (2010,3)
2. 「新学習指導要領と放射線教育 (1) 学習指導要領の改訂と放射線の扱いの変遷」田中隆一、放射線照射利用促進協議会 (J A P I) Vol. 13, No.1, 6-10 (2010)
3. 「新学習指導要領と放射線教育 (2) 「放射線の性質」の学習内容について」田中隆一、放射線照射利用促進協議会 (J A P I)
4. 「新学習指導要領と放射線教育 (3) 「放射線の利用」の学習内容について」田中隆一、放射線照射利用促進協議会 (J A P I)
5. 「新学習指導要領と放射線教育 (4) 学校での放射線教育への支援、リスクに関する教育について」田中隆一、放射線照射利用促進協議会 (J A P I)
6. 「学習指導要領の改訂と放射線の扱い」田中隆一、F.B.News, No.412, (2011,4月)
7. 「放射線教育に関する高校教員への第2回アンケート調査の結果及び記載意見の紹介」田中隆一、黒杭清治、辻 萬亀雄、松浦辰男、「放射線教育」、Vol.14, 投稿中
8. 「基本事項のまとめ；放射線と物質の相互作用」、大野新一、「放射線教育」Vol.13, No.1, p23-32 (2010,3)
9. [日本における科学の誕生と発展—原子論と宇宙進化] 大野新一、第3回智のシンポジウム—文明・文化と科学技術、論文集、P.73-76 (2010)

(学会発表)

1. 「義務教育で教えられるべき放射線の基礎知識について」松浦辰男、第47回アイソトープ・放射線研究発表会、日本科学未来館、2010.7. 9.
2. [放射線と科学教育—日本における特殊性]、大野新一、第47回アイソトープ・放射線研究発表会、日本科学未来館
3. 「義務教育課程で教えられるべき放射線・原子力の基礎的知識」松浦辰男、

日本原子力学会 2010 年秋の大会、札幌、2010. 9. 17.

4. 「中学・高校における放射線の性質等に関する学習内容の考察」田中隆一、日本エネルギー環境教育学会第 5 回全国大会、長崎大学、2010.8.1.
5. 「自然のしくみを伝えることの大切さ——原子力教育における問題点」大野新一、日本原子力学会・春の年会、福井、2011 年 3 月（予定）
6. 「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理科教員アンケート調査結果」松浦辰男・田中隆一・黒杭清治・辻 萬亀雄、第 38 回アイソトープ・放射線研究発表会、(2011. 7. 予定)
7. 「学習指導要領の改訂に関わる放射線教育についての高等学校理科教員アンケート調査結果」田中・隆一・松浦辰男・黒杭清治・辻 萬亀雄、第 38 回アイソトープ・放射線研究発表会、(2011. 7. 予定)

終わりに、このような有意義な研究に参加する機会を与えられましたことに対しまして、放射線教育フォーラム側の代表者として、研究代表者杉山憲一郎先生に、またお世話をいただいております伊丹俊夫先生に心から感謝申し上げます。

本報告書は、文部科学省の平成 22 年度原子力基礎基盤研究委託事業による委託業務として、研究課題「学校教育現場との対話に基づく原子力・放射線学習プログラム開発」（研究代表者：北海道大学大学院杉山憲一郎教授）に係る委託業務の一部「放射線のリスクと利用の学習プログラム」のサブテーマ「小・中学校用学習プログラム開発」の成果を取りまとめたものであります。

報告書作成者：NPO 法人放射線教育フォーラム 松浦辰男

御校名： _____ 中学校

貴校ファクス番号： _____

~~~~~

**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用しましたか？

- 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      b 高等学校      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      b 利用したことはないが知っている      c 知らない





1 1. 「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。

1 2. 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。

「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。

1 3. 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？  
a GM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。

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. 放射線教育に対する教員研修の必要性

- 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と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くと参考になります。
- 授業や総合学習、特別活動等でどう実践するか例がどこかにデータ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ますと思います。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冊配布していただくと嬉しいです。
- 放射性物質の負の部分など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くと嬉しいです。
- 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。
- 写真や動画など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が、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考えます。

○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にお願いします。

○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に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。決して捨てる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く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と考えますが、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えます。



~~~~~

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

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

- a 知っていた b 知らなかった

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

- a 変化すると思う b 変わらないと思う

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

- a ある b ない

7-1. 外部からの協力・支援についてあなたのお考えをお聞かせください。

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

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

- a ある b ない c どちらとも言えない

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

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

10. 私たちの身の回りにはいろいろなリスクがあります。以下に挙げたリスクをあなたは受容できますか？ A 受容できる、 B 受容できない、 C どちらとも言えない、 から選んでカッコの中に記号で答えてください。

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

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：_____

~~~~~

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

- a 必要である      b 必要ではない      c どちらとも言えない

1 2. (「必要である」と答えた方に) その理由として該当する項目に○を付けてください(複数回答可)。

- a 「総合的な学習の時間」のテーマとして適切である。
- b 科学技術に関わるリスク認知や総合的な判断力の育成のために必要である。
- c 課題を見つける力、論理的思考力、問題を解決する資質等の育成に有効である。
- d 公共の精神や社会参加のための意思決定を支える資質を養うのに有効である。
- f 安全だけでなくリスクという視点が安全教育に必要である。
- g 持続可能な社会を構築していくために必要である。
- h その他(\_\_\_\_\_)

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

回答者所属：\_\_\_\_\_ 高等学校      都道府県名：\_\_\_\_\_

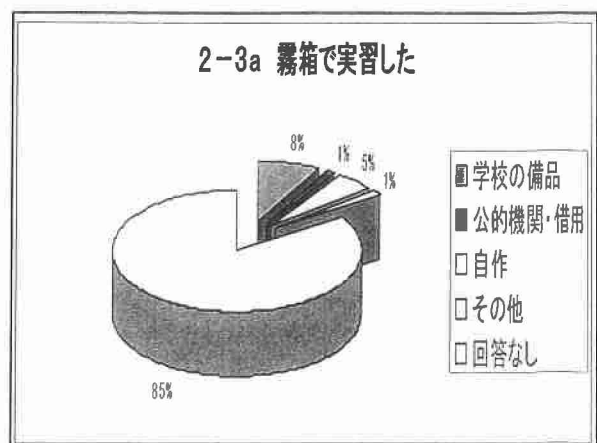
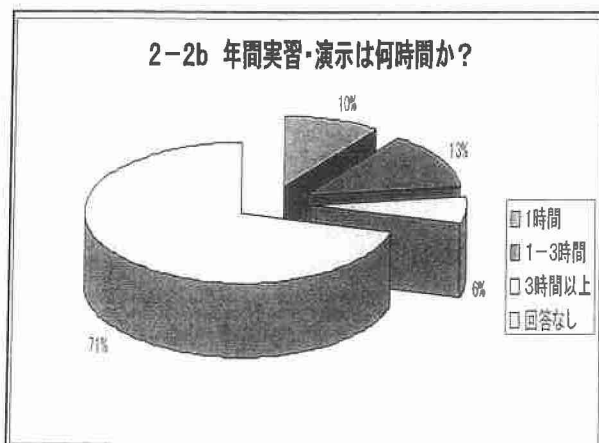
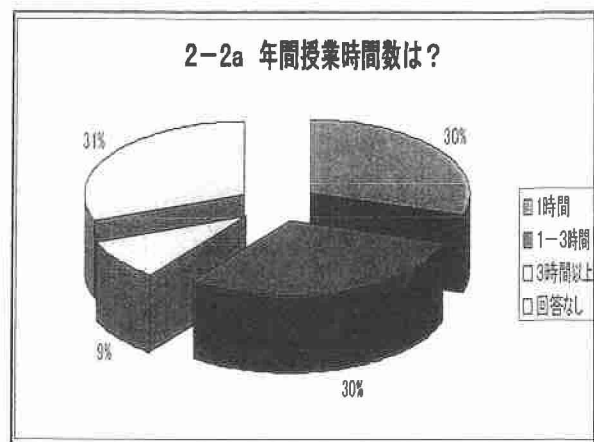
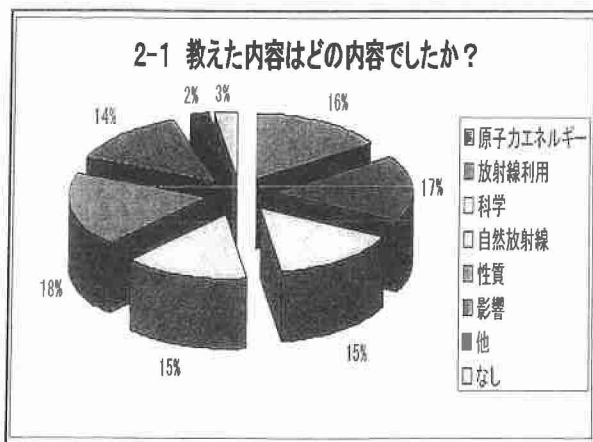
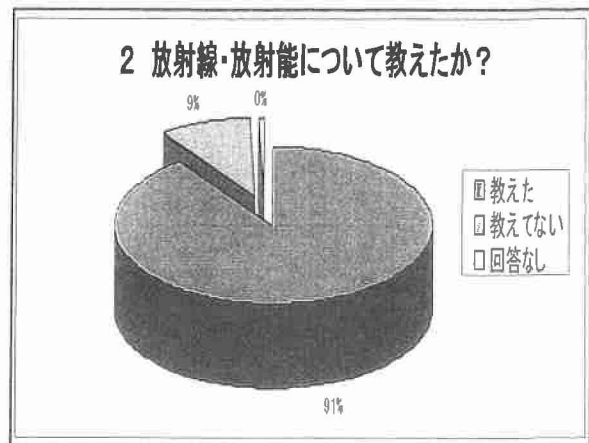
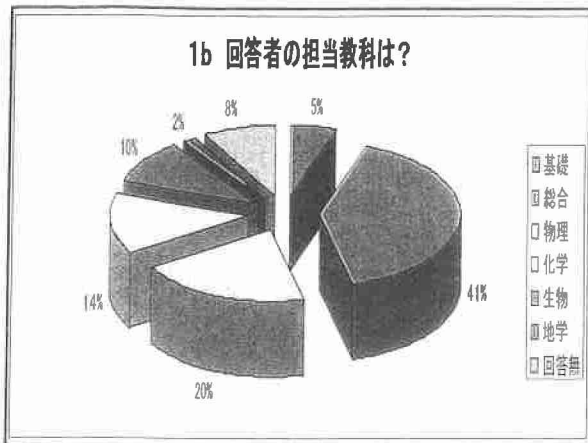
ご氏名：\_\_\_\_\_ ご担当教科：\_\_\_\_\_

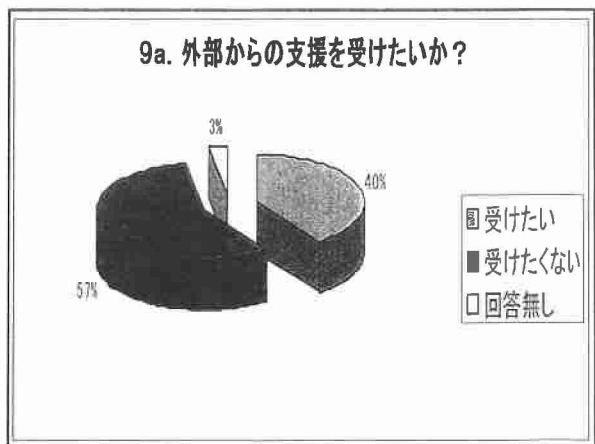
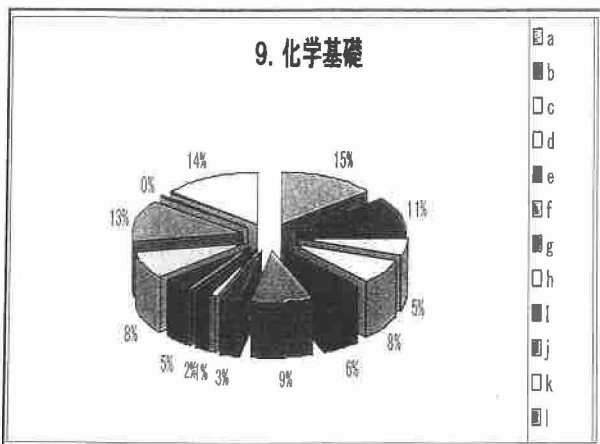
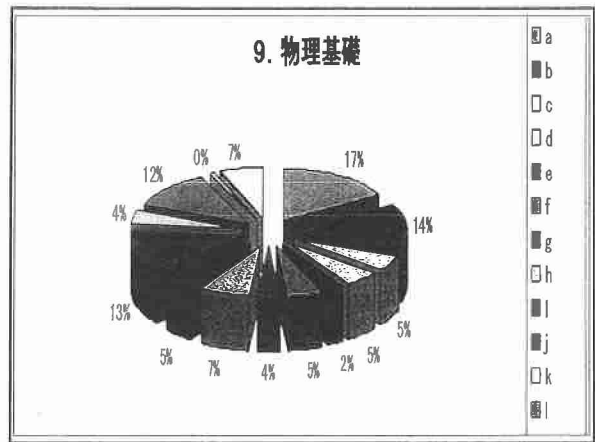
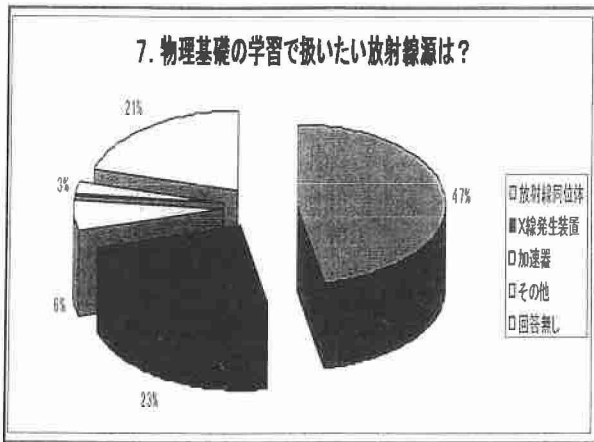
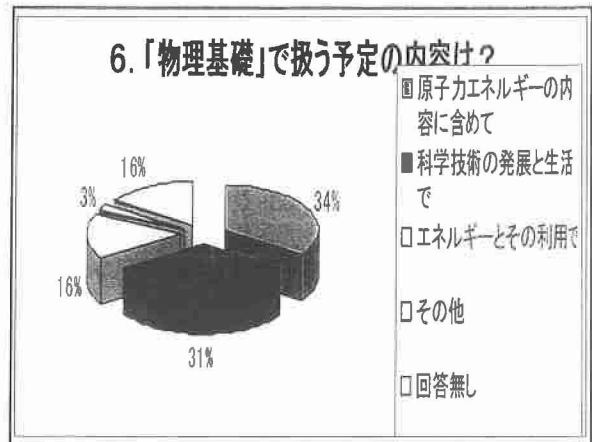
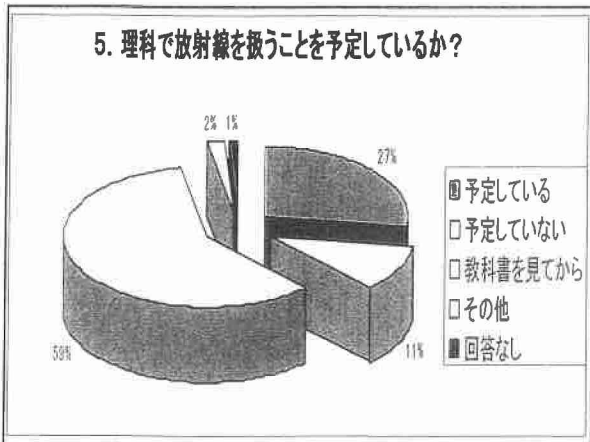
学校の住所：〒\_\_\_\_\_

電話番号：\_\_\_\_\_ FAX: \_\_\_\_\_

メールアドレス：\_\_\_\_\_







- 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事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無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事が予想される中、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えばよいか、適例を教えてください。
- 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「アドバンス物理」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っています。
- 「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に、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( $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 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る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ぬようです。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な関係があるため、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。

## 青森支部活動報告

青森支部は設立以来4年目を迎えた。2010年度は、支部活動の中心であるセミナー開催を3回(第10～12回)実施し、全てサイエンスカフェとした。このうち2回は他団体(五所川原市の有志学習グループ「サイエンスカフェ虹」)を共催に迎えた。また、彼らが主催のサイエンスカフェを共催した。このように他団体と連携した理由は、学びたいと自ら発意した市民有志を側面支援し、いずれ自立していただけるように、と考えたことにある。

各回の概要を以下に記す。詳細は「放射線教育」第14巻(印刷中)を参照されたい。なお、支部の陣容および活動資金は昨年度と概ね同様であった。

### 第10回セミナー「サイエンスカフェ五所川原」(共催：サイエンスカフェ虹)

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

放射線はエネルギー、医療、農業、工業など様々な分野で利用されて久しく、我々の日常生活に深く必要なものになっている。にもかかわらず、そのことの認知度が低い。これまでに、放射線利用の経済効果、放射線の農業利用および医療利用をテーマにしてきた。そこで、今年度は、農業利用の一つである食品照射に焦点を当てた。新たな試みとして、照射ジャガイモ((社)日本原子力産業協会)を使った調理実習・試食に挑戦した(レシピ省略)。

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

### 第11回セミナー「サイエンスカフェ六ヶ所」

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

新潟県の部では、新潟県原子力活用協議会会長・橋本哲夫氏(新潟大学名誉教授、NPO法人放射線教育フォーラム理事)が、「原子力を生かして地域産業・経済の発展を目指して—新潟県原子力活用協議会の現状—」と題して話された。

福井県の部では、福井大学医学部教授・日下幸則氏が、県内の原子力発電施設、関西電力の緊急被ばく医療体制の構築、2004年8月に発生した関西電力美浜原子力発電所の事故と当日の緊急医療対応、浮かび上がった課題・問題点、緊急被ばく医療に強い緊急総合医養成等々を紹介された。

第12回セミナー「サイエンスカフェ五所川原」(共催：サイエンスカフェ虹)

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

先述の第10回セミナー「サイエンスカフェ五所川原」のほぼ再演である。調理実習には、要望に基づき、六ヶ所村滞在のフランス人夫妻に加わっていただいた(レシピ省略)。外国料理ということと先回のクチコミがあったようで、申し込み数は予定人数を大幅に上回った。

共催「サイエンスカフェ五所川原」(主催：サイエンスカフェ虹)

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

両話題とも専門とする筆者が話題提供を担当した。「サプリメントを科学する」は、主催者からサプリメントの話を知りたい、と要望されたことに基づいた。「放射線の人体影響って何？」は、(1)放射線を巡る歴史、(2)広島と長崎に落とされた原爆、(3)半世紀に亘る原爆影響の研究で分かったこと、(4)放射線って何？、(5)医療X線検査、を筆者の経験をまじえてお話しした。

今年度は、どの回も質疑応答(おしゃべりタイム)が実に活発であった。定員制の回は予定数を上回り、主催者は嬉しい悲鳴をあげた。敬遠されがちな課題も、日常生活と直結させることで受け入れ易くなり、その結果、相互理解がより円滑に進むと思われた。

文責：笹川澄子(青森支部事務局長)

## 「第5回放射線教育に関する国際シンポジウム (ISRE 12)」の開催計画について

放射線教育に関する国際シンポジウムが開催された経緯は、放射線教育フォーラムが提唱して神奈川県湘南国際村を会場として第1回「放射線教育に関する国際シンポジウム (ISRE 98)」が1998年12月11日～12月14日の4日間、行なわれた。第2回 (ISRE 02) 「II Radiation Education Symposium」は、ハンガリー デブレッセンで2002年8月21日～8月23日(3日間)、次いで、第3回「放射線教育に関する国際シンポジウム (ISRE 04)」は、長崎市長崎ブリックホールに於いて2004年8月22日～8月26日(5日間)、第4回「放射線教育に関する国際シンポジウム (ISRE 08)」は、台湾新竹市国立清華大学原子科学院を会場として、2008年12月18日～12月19日(2日間)開催された。

これまでに開催された「放射線教育に関する国際シンポジウム」について、それぞれのシンポジウムにおける開催の目的、開催場所と会場、開催時期と日程、シンポジウムのテーマ、参加登録料、招待講演者、シンポジウム運営などを国際シンポジウム準備委員会において詳細に精査し考慮したその上で、次回開催の第5回シンポジウムの開催計画概要を討議し示すことを考えている。現状においては、国内観測史上最大規模の地震と津波が東北関東地方の太平洋沖において発生し、広い範囲において大震災をもたらしたことと、さらに福島第一原子力発電所のトラブルが、放射線教育の重要性を改めて認識させたことは事実である。同時にこの災害が第5回国際シンポジウム開催計画に大きな影響を与えたことは否めない。このような事態を考慮して、シンポジウム開催の目的、開催予定場所、開催期日、シンポジウムのテーマなどについて2月に行なわれた理事会で報告された案と多少の私見を含んだものをここに記す。

シンポジウム開催の目的：本国際シンポジウムは、放射線、エネルギーおよび環境問題について、海外の有識者との情報交換・討議を通して、学校教育ならびに生活に密着した放射線教育を、理解・信頼そして発展につながる教育を徹底して地道に進めることにより、原子力・放射線の国民的合意形成に役立ち、市民生活の安定の確保が得られるものとする。これらの得られた成果について世界諸国に発信しようとするものである。

開催日程と開催場所：開催日程については、現在のところ、2012年12月に開催を予定している。開催場所については、当初考えていた東北地方(仙台市)での開催は、大震災後は極めて厳しくなった。東京近郊を新たに考え、開催候補地については、未定である。

シンポジウムのテーマ：1. 学校における放射線教育(理科、社会科) 2. 一般市民に対する放射線教育・エネルギー教育 3. 低線量放射線の人体影響 4. 科学技術の応用に伴うリスクをどのように理解するか 5. 放射線の医学的利用、産業などへの利用 6. 自然放射線の存在をいかに学ぶか、また環境における放射性同位体の挙動 7. 原子力施設の事故・災害の伝達方法についてなどである。参加登録費については、一般を2万円、学校教員1万円を考えている。

早急に国際シンポジウム準備委員会を開催し、第5回放射線教育に関する国際シンポジウムの開催について具体的な計画を討議するとともに、その実現に向けて進みたい、と考えている。





## 第2章 専門委員会関係報告

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

## 2010年度の教育課程検討委員会活動の記録

委員長 飯利 雄一

### 1. 設立趣旨

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

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

### 2. 委員名簿(2010年度)

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

### 3. 活動経過と成果

#### (1) 前年度までの活動と成果

- 1998年度 委員長広井禎(2002年度まで):小中高校生の放射線に関する知識・意識調査。
- 1999年度 JCO 臨界事故に対する生徒の疑問を集め、放射線教育のあり方を検討。
- 2000年度 上記調査をもとに小・中・高等学校における放射線リテラシーとは何かを検討。
- 2001年度 放射線教育を「総合的な学習の時間」の中にどのように取り組むかを検討。
- 2002年度 科学技術振興財団「エネルギー環境教育情報データ web システムの構築に協力。
- 2003年度 委員長黒杭清治(2006年度まで)放射線リテラシー育成資料作成の資料収集。
- 2004年度 活動状況: 1) 大学生、教員対象「放射線に対する知識・意識アンケート」を行い、その結果をもとに100名の理科教員に再アンケートを行って報告書にまとめた。  
2) 三門正吾委員自作放射線測定機器による実験を検討し「平成16年度南関東地区エネルギー・環境・放射線セミナー」で演示実験実施。以降2008年度まで毎年継続実施。
- 2005年度: ①「児童・生徒の発達段階別・項目別放射能・放射線リテラシー育成のための計画案」及び、②「教員の放射能・放射線リテラシー向上のための資料集(序章、及び5章構成)」を作成する計画を立て、I章 放射能・放射線用語の基礎知識 III章 誤解しやすい原子力・放射能・放射線の知識「Q&A」を本活動報告書に掲載。
- 2006年度: 1) 前年度までの資料を学習指導要領改訂の参考資料として文部科学省に提出。  
2) 前年度資料集のタイトルを『児童・生徒の放射能・放射線リテラシー育成のための指導資料集』と変更して4章構成とし、「はじめに」、及び「第1章」を本報告書に掲載。
- 2007年度: 昨年度報告の指導資料集『第1章 原子力・放射線について小・中・高校生が卒業時まで身に付けてもらいたい知識』を授業に組み入れるため、ア. 授業展開例の作成 イ. 図書やインターネットで公表されている資料の検索法の紹介資料の作成。

## 2008年度：中学校理科新学習指導要領の内容検討と放射線学習計画

### 1. 放射線学習指導案（学習計画）の作成

学習指導案は千葉県長南中学校小泉静恵教諭が作成し、内容を検討して下記3テーマを3時間で実施する計画にして2008年度関東・信越地区(2)エネルギー・環境・放射線セミナーで報告した。①放射線の性質と利用 ②自然放射線 ③放射線の防護

### 2. 北大プロジェクトの学習プログラム<sup>\*</sup>を開発することを決め、内容を検討した。

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

## 2009年度

小泉静恵教諭の「中学理科新学習指導要領に沿った放射線教育の先行的実践報告」（「北陸・新潟地区エネルギー・環境・放射線セミナー」2009年7月新潟市万代市民会館）の内容検討と受講者の感想等をもとに学習計画を改善し「平成21年度関東・信越地区(2)エネルギー・環境・放射線セミナー」（2010年1月11日に日本科学未来館）で報告した。

## （2）2010年度の目標と活動

### (2)-1. 目標：北大プロジェクトの学習プログラム開発を本格的に実施する。

(2)-1-1、放射線に関する授業で直ぐ使える教材にする。内容は中学校の教員が年間3時間ぐらいの授業で利用できるパワーポイントの教材（以下PPT教材）<sup>\*</sup>にして、それぞれの教材についての解説文とともにCDまたはDVDとして作成し、多くの学校に配布する（後に、HPに公開することに変更）。

※：教材をPPTにした理由：画面の削除、追加、順序の入れ替えなどの編集や、スライドショーにしたときの早送りが容易であるので、教えるクラスの実情に応じた教材につくり直して利用できる点でVTRなどより優れていると考えた。

(2)-1-2. 教材の内容・レベルは学習指導要領に準拠する。

### (2)-2. 活動内容

(2)-2-1「放射線の性質と利用」の学習内容を検討し、次のようにまとめた。

- ①. 放射線は物質を透過する。透過の難易は物質の種類、厚みによって異なる。  
透過力の差 異なる物質：密度大の物質 金属、骨、水 < 密度小の物質 空気  
同じ物質： 薄い < 厚い
- ②. 放射線は光や紫外線と同様の性質をもっている。
- ③. 低線量の放射線は物質を変化させないが、高線量になると物質を変化させる。  
物質が変化する放射線の線量は物質によって異なる。
- ④. 生物も物質であり、低線量の放射線では影響を受けないが、線量が増えると機能に異常を起こし、高線量では生命活動を停止（死亡）する。影響の程度はシーベルト（人体への影響を加味した線量単位。線量によってミリシーベルトmSv マイクロシーベルトμSv）で表す。
- ⑤. 放射線は自然界に存在するが人工的に発生させた放射線を利用する例が多い。自然放射線も人工放射線もシーベルトで表した線量が同じならば人体への影響は同じ。
- ⑥. なぜ放射線を使うのか？
  - ⑥-1 加熱などの操作をすることなく物質の性質を変化させることができる。
  - ⑥-2 化学薬品を使わないので薬害がなく環境負荷が低減できる。
  - ⑥-3 非破壊検査：線量を調節することによって物質の性質を変化させず、人体に影響を与えずに内部の様子を探ること（医療の場合は骨折、病巣の診断など）ができる。

- ⑥-4 高温で近づけない箇所、動いている物質でも連続して観察できる。
- ⑦. 以上のような放射線の性質を医療・工業・農業などの広い分野で利用している。  
自然放射線の利用は年代測定に用いるくらいで、多くは加速器などによって発生させる人工放射線が使われている。

**放射線の性質と利用の具体例**

- ⑦-1. 物質を変化させずに透過量の差を利用する。 例：非破壊検査 医療診断
- ⑦-2. 物質の分子構造に変化を起こさせ丈夫な製品を得る。例：ラジアルタイヤの製造など
- ⑦-3-1. 生物の場合は遺伝子 (DNA) に変化を起こさせ、変異した形質の中から有用な形質を選択して得る。 例：放射線育種
- ⑦-3-2. 個体全体または細胞単位の生命活動を停止させる。例：殺菌 がん治療  
殺菌では特に医療器具の滅菌での効果が大きい。(殺菌剤は残留薬品の恐れがあり、加熱滅菌では器具の変形・性質の変化などの恐れがある)
- ⑧. 放射線は危険物であるから事故防止、安全管理がなされたうえで始めて利用できる。

(2)-2-2 以上の学習内容に「原子構造の基礎」を加えて次の PPT 教材 6 編を作成した。

- I. 原子構造と放射線の基礎
- II. 自然界の放射線
- III. 放射線の性質と利用 (医療は分離独立編にした)
- IV. 放射線医療
- V. 放射線は本当に危険なのか  
発展. ウリミバエの撲滅

(2)-2-3. PPT 教材作成にあたっては次の点に考慮した。

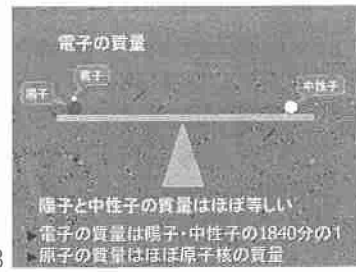
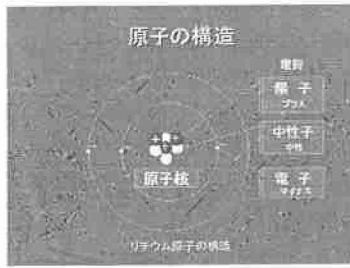
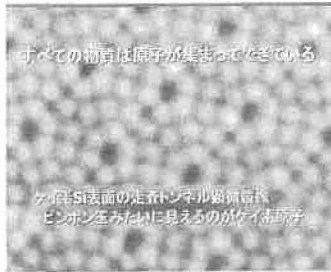
- i. 各編とも若干のストーリー性をもたせ、場合によって発問なども入れ、また画面への注目を促すため動きのある構成にしたのでコマ数は大目になった。そこで、授業で利用する場合不必要と思う画面を削除して、教えるクラスの実情に応じた教材につくり直しすることを容易にするため画面削除方法を示した (不要画面を選択→メニューバーの「編集」をクリックする→「切り取り」をクリックする)。
  - ii. **用語について**：画面では、できるだけ平易な言葉で表し、解説の参考資料では専門用語に置き換えた。
  - iii. **単位について**：**A.** 難解な感じを与えることを避けるため、原子の質量、大きさなど指数表示の必要な数値は相対的な比較で表し、必要に応じて補足できるように数値を解説に記載した。  
**イ.** 放射線の線量単位はシーベルト (Sv、mSv、 $\mu$ Sv) のみ表示し、ベクレル (Bq)、グレイ (Gy) は相対的な比較で表した。
- IV. 図表**はできる限りオリジナルのものを作成したが、1 部は Web から引用した。出典の明らかなものは明記したが、類似図表等には原典が不明の場合もあり、断りを入れてないものもある。

(2)-3-4. 作成した PPT 教材の 1 部抜粋を末尾に添付した。

(3) 2011 年度の目標

2011 年 3 月 11 日、東北関東で M9.0 の地震・津波に見舞われ、未曾有の大災害にわが国初の原子力事故が加わった。東京電力福島第 2 原子力発電所は多重防護が機能せず、第 5 の壁であるはずの建屋は最初に崩れ去った。「放射線は安全管理ができて初めて使用可能」をベースにして作成した PPT 教材であるが、特に第 V 編「放射線は本当に危険なのか」は追加修正が必要になった。これを新年度の目標にしたい。 (文責 黒杭)

## I.原子構造と放射線の基礎（抜粋）

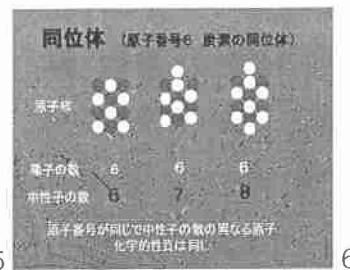


1. 原子：すべての物質は原子が集まってできています。これはシリコン（ケイ素 Si）の表面の走査トンネル顕微鏡（STM）の像で、ピンポン玉みたくに見えるのがシリコン原子で、原子は丸く見えています。（一宮 彪彦著「ぶつぶつ物理」より引用）
2. 原子の構造：原子は中心に原子核があり、その周りを電子が回っています。原子核はさらに陽子と中性子が集まってできています。電子はマイナスの電気を運び、陽子はプラスの電気を運びますが、中性子は電氣的に中性です
3. 陽子、中性子、電子の質量を比較してみると、陽子と中性子の質量はほぼ等しく、電子の質量は陽子、中性子の約 1840 分の 1 しかありません。つまり原子の質量はほぼ原子核の質量ということになります。

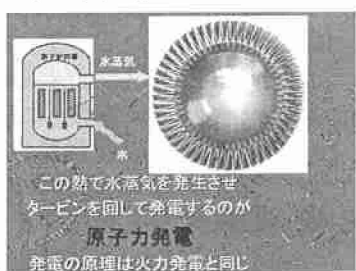
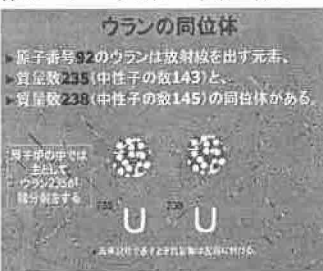
原子の種類

| 原子番号 | 陽子の数 | 中性子の数 | 電子の数 | 原子の名称 |
|------|------|-------|------|-------|
| 1    | 1    | 0     | 1    | 水素    |
| 2    | 2    | 2     | 2    | ヘリウム  |
| 3    | 3    | 3     | 3    | リチウム  |
| 6    | 6    | 6     | 6    | 炭素    |

原子核中の陽子の数は 原子番号に等しい



4. 原子の種類：原子番号 1 の原子は水素、2 はヘリウム 3 はリチウム・・・6 は炭素というように、原子核中の陽子の数と原子番号は等しい。
5. 同位体：原子番号（陽子の数）が同じでも中性子の数の異なる原子があり、質量は異なりますが化学的な性質はほとんど同じです。この原子を相互に同位体といいます。
6. 質量数：原子核中の陽子の数と中性子の数を足した値を質量数といいます。中性子の数が 6 の炭素の質量数は  $6 + 6 = 12$  中性子の数が 7 の炭素の質量数は  $6 + 7 = 13$



7. ウランの同位体：原子番号が 92 の原子はウランと呼ばれ、放射線を出す元素です。大部分のウランは中性子の数が 146 個ですが、中性子の数が 3 つ少ない 143 個のウランがあります。この同位体（放射性同位体）を区別するために質量数（陽子の数 + 中性子の数）を元素名のあとにつけて、それぞれウラン 238、ウラン 235 と表します。元素記号で表すときは質量数を記号の左肩に付けます。
8. 核分裂：原子炉の中では主にウラン 235 が核分裂をします。
9. 原子力発電： この熱で水蒸気を発生させてタービンを回して発電するのが原子力発電です。発電の原理は水蒸気でタービンを回して発電する火力発電と同じです。

## II. 自然界の放射線（抜粋）



1. 地球誕生のときから自然界に「放射性物質」はあり生物は放射線を浴びながら生き、進化を続けてきました。自然放射線にはいろいろな発生源があり、空からは宇宙線が1年間に0.39ミリシーベルト 大地からも放射線を1年間に0.48ミリシーベルト
- 11 食品からも放射線を1年間に0.29ミリシーベルト摂取しています。
- 15 また、呼吸によって空気中からの放射線を体内に1年間に1.26ミリシーベルト取り込むので、自然界から年間2.4ミリシーベルトの放射線を受けていることになります。



- 放射線の線量は測定器で測ることができます。
- 20 「はかるくん」を使って自然放射線を測定してみると、岩石には放射性物質を含むものが多いので放射線が多く、水は放射線を吸収するので放射線が少ない傾向があります。
- 27 世界全体の大地から受ける自然放射線の線量はちいきによって異なる、ブラジルのガラバリでは自然放射線の占領が日本の約10~12倍もあり、イランのラムサルにはラジウム濃度の高い温泉が点在する高自然放射線地域がありターレシュ・マハレー村では壁などの温泉の沈殿物が用いられるため、ある家の屋内の放射線量が日本の平均的な家屋の約70倍、寝室の1つでは200倍以上というものまでありますが、家族そろって健康で、ごく普通に暮らしています



7. 宇宙線の強度は、高さや緯度によって異なります。海面では0.03マイクロシーベルト/時間 ( $\mu\text{Sv}/\text{時間}$ ) 4,000mではその7倍の0.2  $\mu\text{Sv}/\text{時間}$ 、12,000mではその25倍の5  $\mu\text{Sv}/\text{時間}$ となるので、1回東京-ニューヨーク間を往復すると0.2  $\mu\text{Sv}/\text{時間}$ の宇宙線を浴びることになりますが毎日のように飛行している航空乗務員の健康に異常はありません。
8. 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、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。
9. 生命が地球上に誕生したのは約30億年前ですが、その頃の放射線は今より多量に存在しました。生命は少量の放射線に対して十分の防御機構ができていると考えられます。



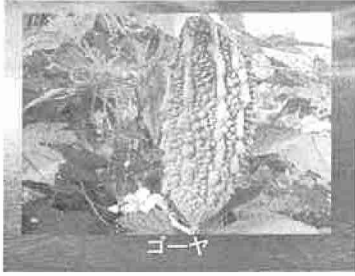
### Ⅲ. 放射線の性質と利用（抜粋）

- 1  空港の手荷物検査
- 2  上腕骨骨折 レントゲン写真
- 3  正解 鋼板圧延の検査は 厚み
1. 空港の手荷物検査は多くの場合 X 線検査装置が使われています。
  2. X 線検査は骨折の診断に便利です。人体は器官・組織によって X 線の透過力に差があり、骨はその他の組織より X 線を透過しにくいので骨の陰になった部分の X 線フィルムは反応せず骨の形が白く現れます。
  3. 放射線の透過力は非破壊検査で使われています。例えば鋼板の厚みが均一になっているかどうかの検査です。
- 4  微細加工は電子線を電界内で偏向させて1点に集めて行なう  
ICの品質を決定づけるのがフォトマスクの解像度  
フォトマスクのできが悪いと転写されるICがすべて不良品になる
- 5  電線被覆 内装材  
熱・水・油に耐える ケーブルにする ポディ 炭素繊維複合材料  
ラジアルタイヤ かく 磨耗にくく 強度よく 加工しやすい
- 6  放射線による医療器具の滅菌
4. 放射線による微細加工：IC の製造の中で最も重要な利用はフォトマスクの加工に電子線が使われていることです。電子線の透過力や作用力によってフォトマスクをつくります。フォトマスクのできが悪いと転写される IC がすべて不良品になってしまいます。
  5. 自動車の部品製造工程で放射線照射による高品質化が行なわれています。例えば電気系統の配線に使われているコードの被覆は放射線の照射によって熱・水・油に耐える性質をもたせています。ラジアルタイヤは薄いゴム板を何枚も重ねた構造ですが放射線の照射によってかたく、磨耗しにくくなりますが、強度だけでなく、寸法の安定性、材料の節約、製造工程の短縮が可能になりました。内装材などに放射線を照射した高性能の高分子材料がつかわれています。また、ボディには鋼板が使われていますが、炭素繊維複合材が脚光を浴び始めています。
  6. 医療器具の多くは放射線の照射で滅菌し、効果をあげています。
- 7  がんの放射線治療
- 8  生物の遺伝子(DNA)を変化させて形質を変化させる(花の色など)
- 9  ジャガイモに放射線照射が認められている。なぜ危険な放射線を食品に？  
北海道土壌汚染
7. 最近の放射線治療装置はがん組織を死滅させ周辺への影響を少なくさせることができるようになっています。
  8. 放射線の農業への利用： 花の色、特にキクの花の色の育種に放射線育種が多く用いられています。
  9. ジャガイモに一定量の放射線を当てると、食品としての品質を損なうことなく、貯蔵中の発芽を防ぐことができます。



## 「ウリミバエの根絶」(抜粋)

—1993年以前、沖縄のゴーヤが県外に出荷できなかつたことを知っていましたか—



1



2



3

1. 冬でも平均気温が 15℃程度の暖かい沖縄の特産品の 1 つにゴーヤがあります。
2. 1993 年以前、沖縄のゴーヤは県外に出荷することができませんでした。それはウリ類を好んで食べるウリミバエ（幼虫）が大繁殖していたためです。
3. 1972 年（昭和 47 年）から放射線を使った根絶の実験が開始されました。殺虫剤だけで根絶させようとすれば大量の殺虫剤を使い環境を汚染するからです。しかし、ウリミバエに直接放射線を照射したのでは人間も他の動物も被害を受けてしまいます。



4



5



6

4. ウリミバエの生活史：ウリミバエのサナギは羽化して成虫になり、ゴーヤなどの果実に産卵します。卵がふ化して幼虫になると果実を食べて育ち、地面に落ちて土中にもぐりサナギになります。
5. 蛹（サナギ）の飼育施設：サナギに放射線を照射すると、成虫になっても卵を産まなくなるか、産んでも卵はふ化しなくなります。サナギは大量飼育ができ、保管しやすく、放射線を外界から隔離して照射することができるので環境に影響を与えません。
6. 放射線照射室：中央に設置した放射線源を中心にして大量のサナギを入れた容器を円形等距離に動かして放射線を均一に照射します。



7



8



9

7. 大量の不妊サナギを散布するとその成虫が野生虫と交尾しても孵（ふ）化しません。本格的な実施に当たってはヘリコプターを使い、1 回のフライトで約 400 万匹のウリミバエを散布しました。
8. 根絶後、沖縄県からゴーヤなどのウリ類をはじめ様々な野菜が自由に出荷されるようになりました。
9. 不妊虫放飼法によるウリミバエ根絶が成功したのは ①ウリミバエの大量飼育、大量のサナギが生産できたこと。② 大量のサナギに照射する放射線の適正量を均一に照射することができたことその他、沖縄・奄美が島であったことです。

# 放射線は年間50mSv以下なら浴びても安全

近藤 宗平\*

## 1. はじめに

本誌2009年11月号の最初の記事：「塩見浩也著：最新の放射線治療」と「伊藤均著：食品照射の近況」に、それぞれに次の記述がある。「欧米ではがん患者の50-60%以上が放射線治療を受けているが、わが国では25%程度にすぎない。」「食品照射は米国などでは多くの食品が許可されており、香辛料の放射線照射加工は約60ヶ国で許可されているが、わが国ではジャガイモの放射線処理が1つ許可になっているに過ぎない。」これらは、日本人は異常に放射線を怖がる民族であることを示す。日本人の異常な放射線怖がり特性は、日本では法律による放射線規制が非科学的に厳しいことを反映していると思われる。

## 2. 放射線危険領域の策定は日米間で相違

日本の法律は次のように規制している。「放射線を扱う施設と外との境界では年間1 mSv 以下になるように放射線を管理すべし。」米国保健物理学会は、2004年に次の声明をだした<sup>1)</sup>。「放射線によるリスクの検定を年間50mSv 以下の領域で行うことに反対。50mSv 以下のリスクは検定不能なほど小さいかまたは存在しない。」

上述の日米の見解のどちらが正しいか。

この問題は、微量放射線を被ばくした人達の健康調査の結果から解決できる。該当する調査結果の数例を次節以降で紹介する。これらの調査結果によれば、日本の法律の策定値より、米国の保健物理学会の声明の方が妥当である。従って、この論説の表題に米国保健物理学会の声明の概要を借用した。

## 3. 高自然放射線地区のがん死亡率は普通地区のがん死亡率より低い<sup>2, 3)</sup>

中国広東省陽江県に自然放射線量率が高い地区がある。この地区の近くの普通自然放射線量率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から16年間継続された。その総数はそれぞれ約100万人・年に達した。表1に調査結果の総括を示す。

表1 高自然放射線地区と対照地区のがん死亡率<sup>2, 3)</sup>

|                      | 高線量地区 | 対照地区 |
|----------------------|-------|------|
| 線量率<br>(mSv/年)       | 5.5   | 2.1  |
| がん死亡率<br>(10万人・年当たり) | 48.8  | 51.1 |

表1によれば、高自然放射線地区のがん死亡率は、10万人・年当たり48.8で、対照地区のがん死亡率は10万人・年当たり51.1である。この差は統計的には有意ではない。ところが、両地区の住民の40~70歳の人に

\* Sohei KONDO 大阪大学 名誉教授

限定して調べると、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、この低下は統計的に有意である。

結論：自然放射線を普通より年間約3 mSv 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。

#### 4. 英国の放射線科医で後期に登録した人達の SMR 値

英国放射線科医の100年間（1897～1997年）の死亡率の調査結果が発表されている<sup>4,5)</sup>。放射線科医の観察死亡数（O）と放射線を浴びていない参照集団の死亡率にもとづいて算出した期待死亡数（E）との比（O/E）を SMR（standardized mortality ratio; 標準化死亡比）と呼ぶ。E は次式で求める。

$$E = n_1P_1 + n_2P_2 + \dots + n_kP_k \quad (1)$$

ここに  $n_i$  は放射線科医集団の  $i$  番目の年齢階級の人数、 $P_i$  は参照集団の  $i$  番目の年齢階級の死亡率、 $k$  は調査集団で採用した年齢階級数である。表2は、後期（1955～1979）に登録した放射線科医のがん死亡数の SMR 値を、参照集団に X 線を使用しない一般臨床医を選んだ場合について示す。この時期の放射線科医は年間約 5 mSv の放射線を20年間被ばくしたと推定されている<sup>4)</sup>。表2は、放射線科医では、被ばくゼロの一般臨床医より、がん死亡率が29%（ $= 1 - 0.71$ ）低下したことを示す。

表2 後期(1955～1979)に最初の登録をした放射線科医の全がん死亡に対する SMR

|       |    |             |       |      |
|-------|----|-------------|-------|------|
| 観察死亡数 | O  | 一般臨床医の期待死亡数 | E     | SMR  |
|       | 32 |             | 45.03 | 0.71 |

#### 5. 航空パイロットと一般人のがん死亡率の比較<sup>5,6)</sup>

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がん死亡率の関係が、欧州の7ヶ国の19,184人の男性定期便パイロットについて1960～1997年にわたって調査された。表3に調査結果の概要を示す。この表の累積線量25mSv以上の例で、“全がん死 SMR は0.6”ということは、彼らのがん死亡率は、一般人男性のがん死亡率を1とした場合に0.6であることを意味する。すなわち、一般人より25mSv以上放射線を浴びた航空パイロットは、余分の被ばくのおかげでがん死亡率が40%低下する有益効果をえた。

表3 航空パイロットと一般人のがん死亡率の比較<sup>5,6)</sup>

| 累積線量(mSv) | 5 - 14.9 | 15 - 24.9 | 25以上 |
|-----------|----------|-----------|------|
| 全がん死観察数 O | 79       | 98        | 72   |
| 全がん死期待数 E | 117      | 138       | 120  |
| 全がん死の SMR | 0.67     | 0.71      | 0.6  |

#### 6. 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修理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<sup>60</sup>Coからのγ線を、年間約3 mSv 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。被ばく造船工と対照造船工の間で、全がん死亡率の比較調査がなされた。この疫学的調査は、ジョンズ・ホプキンス大学公衆衛生学教授 G. Matanoski により、米国エネルギー省の

要請でなされた<sup>7)</sup>。表4に示すように、原子力船修理造船工の全がん死亡率を全米白人と比較した場合のSMR値は0.95であり、対照造船工の全米白人と比較した場合のSMR値1.12の0.85倍である。すなわち、原子力船修理造船工のがん死亡率は対照造船工より15%低い。この場合のがん死亡率の低下は、統計的に有意の低下である。この調査は、低線量放射線影響の調査では、稀に見る大規模で厳密な疫学的調査であった<sup>5,7)</sup>。

表4 原子力船修理造船工と対照造船工における全がん死亡率に関するSMR値の比較

| がんの種類 | 原子力船修理造船工 |       | 対照造船工   |      |
|-------|-----------|-------|---------|------|
|       | O/E       | SMR   | O/E     | SMR  |
| 全がん   | 603/632   | 0.95* | 878/785 | 1.12 |

\* 対照造船工のSMR値と比べ危険率5%以下で統計的に有意の低下。  
 O=造船工において観察された死亡数  
 E=米国の一般白人男性における期待死亡数  
 SMR=O/E

## 7. チェルノブイリ原子炉事故の パニックと死の灰による白血病

1986年4月チェルノブイリの原子力発電所の第4原子炉が炉心崩壊の大事故を起こした。この事故により大量の放射性降下物(以下“死の灰”と略称)が北半球全土を見舞って、世界中をパニックにおとしいれた<sup>3,5)</sup>。死の灰で健康影響に重要な放射性核種は<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csである<sup>5)</sup>。

これによる汚染がひどかったベラルーシ国ゴメリ州の地上汚染濃度Sの平均値は約200kBq/m<sup>2</sup>であった<sup>8)</sup>。これによる被ばく線量率Dは、初年度の場合は、次式により、年間4mSvとなる。

$$D(\text{mSv}) = 2S(100\text{kBq/m}^2) \quad (1)$$

この式はハンガリー国立物理研究所がチェルノブイリ事故直後から、ブダペストにおける死の灰降下結果の実測をして確立した

実験式である<sup>5a,10)</sup>。

ベラルーシ国では、15歳未満の小児の白血病の発生は、国に登録することが義務である<sup>8)</sup>から、この国の白血病発生率は信頼性高いデータである。図1はゴメリ州の男の子の白血病の年間発病率の経年変化で、白血病の発病率は死の灰が汚染した1986年の前と後で差がないことを示す<sup>3,8)</sup>。女の子の白血病頻度も汚染の前と後で違いはなかった<sup>3,8)</sup>。

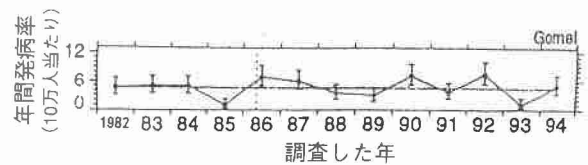


図1 ゴメリの男の子の白血病の年間発病率(●)の年次変化<sup>3,8)</sup>

以上により次の証拠がえられた。ゴメリ州における死の灰由来の放射線は、初年度線量率は4mSvで、以後数年間で減少した<sup>5a)</sup>。この死の灰を浴びたゴメリ州の子供の白血病は、増えも減りもしなかった。

死の灰は恐怖心をおりたてるが、かなり大量でも実際は安全なものである。

## 8. 50mSv 程度の放射線線量の安全性

英国で1936—1954年に最初の登録をした放射線科医の30年間の全がん死亡率とX線被ばくゼロの一般臨床医の全がん死亡率との比SMRは0.92であった<sup>4)</sup>。この時期の放射線科医の年間被ばく線量は50~100mSvと推定されている<sup>4)</sup>。

この報告は、年間50mSv程度の放射線は安全線量であることの証拠となる。

## 9. まとめと考察

自然放射線の年間被ばく量が普通より3mSv高い中国の場合(3節)、X線被ばく

が年間 5 mSv の英国放射線科医の場合（4 節）、宇宙線を年間 2～5 mSv 余分に浴びる航空便パイロットの場合（5 節）、年間 3 mSv の  $\gamma$  線を浴び続けた原子力船修理造船工の場合（6 節）；これらのいずれの場合も、10 数年被ばくした結果、がん死亡率が対照群より低下する有益効果が確認された。このような有益効果は、ホルモン（hormon）摂取によって体内の活力が刺激される場合の有効効果に似ているので、ホルミシス（hormesis）と呼ばれる<sup>9)</sup>（文献 3 に詳述）。従って、放射線の年間 2～5 mSv の被ばくはホルミシス線量ということになる。

年間被ばく量が 50～100 mSv（8 節）になるとがん死亡率は増えないので、この線量域は安全な線量域といえる。

法律は、「放射線を浴びると被ばく線量に比例してがんが増加し、がんが増えない安全線量域（しきい値）は存在しない」という仮説を採用している<sup>10)</sup>。この仮説は、国際放射線防護委員会（ICRP）が主張している「放射線の安全管理の原則」<sup>11)</sup>に基づいている。ICRP の原則は、年間数 mSv の放射線はホルミシス線量であるという事実と、“がん誘発が起こらない” しきい値の存在を示す科学的調査結果（7、8 節）の両者から支持されない。

毒物学でも、最近までは次の原則が採用されていた。“毒物のリスクは、一定の摂取量（しきい値）以下は安全で、これを超える摂取量に比例してリスクが増える。発ガン物質にはしきい値は存在しない。”最近この原則を次のように変革しなければならないことが見出された。“大多数の毒物は、微量摂取のときは有益効果を示す。”ホルミシスの存在の発見は毒物学の研究分野に革命をもたらした。毒物学の指導的研究者 Calabrese と Baldwin は世界的科学誌 Nature に、「毒物学は基本的信条を考

え直す」という意見書を発表した<sup>12)</sup>。

資源の乏しい日本の発展には、科学的思考の育成を重視し、技術を世界のトップレベルまで振興する必要がある。放射線を正しく怖がるために、現在の放射線管理規制の非科学的部分を改訂する必要がある。

物理学者寺田寅彦は、次の名言を残している。「ものをこわがらな過ぎたり、こわがり過ぎたりするのはやさしいが、正當にこわがることはなかなかむづかしい」。

#### 参考文献

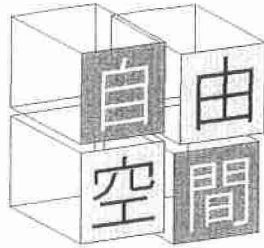
- 1) Health Physics News ; October, 2004.
- 2) L. Wei, et al. J. Rad. Res. 31, 119-136 (1990)
- 3) 近藤宗平：人は放射線になぜ弱いのか（講談社ブルーバックス）(1998)
- 4) A. Berrington, et al. Br. J. Radiol. 74: 507-519 (2001)
- 5) 近藤宗平：低線量放射線の健康影響、紀伊国屋書店、東京（2005）
- 5a) I. Feher, Environ. International, 14: 113-135 (1988)
- 6) I. Langner et al. Radiat. Environ. Biophys. 42: 247-256 (2004)
- 7) G. Matanoski: Health Effects of Low-Level Radiation in Shipyard Workers. Final Report. Baltimore, Natl. Tech. Information Service, Springfield, Virginia, USA (1991)
- 8) E. P. Ivanov et al: Radiat. Environ. Biophys. 35 : 75-80 (1996)
- 9) T.D. ラッキイ著：放射線ホルミシス（松平寛通監訳）。ソフトサイエンス社（1990）
- 10) S. Kondo: Health Effects of Low-level Radiation. ; Kinki Univ. Press (1993) ; これの p13 の式（2. 3）.
- 11) 新・放射線の人体への影響；日本保健物理学会・日本アイソトープ協会編：東京；丸善、2001.
- 12) E.J. Calabrese and L. A. Baldwin: Nature, 421 : 691-692 (2003)

#### プロフィール

1922年福岡生まれ。京都大学理学部物理学科卒。遺伝研究所室長、大阪大学放射線基礎医学教授、近畿大学原子力研究所教授を経て、現在大阪大学名誉教授。この間に物理学から遺伝学、基礎医学、癌の基礎研究に転進し国際的に活躍。高松宮妃癌研究基金学術賞・日本遺伝学会木原賞・フィンゼンメダル賞（国際光生物学会）・放射線影響協会江藤記念賞・日本放射線影響学会功労賞を受賞。「分子放射線生物学」「生命を考える」「Health Effects of Low-level Radiation」「人は放射線になぜ弱いのか」「低線量放射線の健康影響」などの著書。評論も多数。

e-mail : skondo@taurus.bekkoame.ne.jp





本資料は、(社)日本アイソトープ協会発行の  
Isotope News 2009年5月号25-28ページに  
掲載の論説を許可を得て転載したものである。

【連載】

# 放射線の人体に対する影響 —科学的に正しい理解のために—

—第1回—

長瀧 重信

Nagataki Shigenobu

## 1 はじめに

日本アイソトープ協会常務理事に就任当時からこのタイトルで書きたいと思っていたが、今回ようやく集中して書くことができるようになった。本誌1月号に掲載された有馬朗人会長の「放射能・放射線についての教育を強化せよ」という巻頭言に恥じないものにしたいと願っている。

Isotope News 誌を購読している会員の皆様は“Isotope”という共通項で結ばれてはいるものの、専門領域は多岐にわたっている。そのすべての会員、そして会員を通じて社会一般に、放射線の人体に対する影響を“科学的に正しく理解”していただくことが本稿の目的である。

放射線の人体に対する影響は、放射能・放射線についての教育の強化という方向でも重要な分野である。多岐にわたる専門分野の会員の皆様にご意見、ご質問などを積極的に伺いながら稿を進めていきたい。ご意見はこの稿の中にも反映させ、また個人的にもご返事させていただく。本当に忌憚のないご意見を編集係宛にでも、また私個人 (E-mail nagataki@jrias.or.jp) にでもお送りくださるようお願いする。

自己紹介と動機

最初に自己紹介という形で、私の能力の限界、あるいは特徴をお話し、このような稿を書くに至った動機についてもご理解をいただきたい。私の基本的な立場は内科の臨床医である。50年以上前に東京大学(東大)医学部を卒業、冲中内科(第3内科)に入局し大学院学生となり、大学院卒業後はハーバード大学に留学した。当時はアイソトープの利用は研究の最先端を行く分野であり、アイソトープ協会の設立間もない頃から<sup>131</sup>Iを甲状腺疾患患者の診断、治療などの臨床、また多くの基礎研究でもアイソトープを利用した。

1980年に東大から原爆被爆地である長崎大学に内科の教授として赴任したのが、原爆被爆者の方々と関わる始まりである。チェルノブイリ原発事故の調査開始時代は被ばく者の診断・治療の専門家として真剣に国内(外務省、文部科学省、日本財団、長崎・ヒバクシャ医療国際協力会など)ならびに国際的(IAEA, WHO, EUなど)な調査研究に参加した。皇居において、天皇・皇后両陛下に「チェルノブイリ原子力発電所事故による放射線被曝者の現状と医療支援」という題でご進講申し上げたのは長崎大学時代である。大学定年退官後は放射線影響研究所(放影研、前身は原爆傷害調査委員会

Atomic Bomb Casualty Commission) の理事長を拝命し、日米両国の共同研究所として被爆者の調査研究に従事すると同時にチェルノブイリの調査も継続した。茨城県東海村 JCO 臨界事故における周辺住民の健康管理委員会の主査を務めたのも放影研理事長の時代である。退任後はアイソトープ協会の常務理事に就任したが、実務のかたわら大学時代、放影研時代からの多くの委嘱委員の継続、また新規の委嘱委員も加わり、原子力委員会、原子力安全委員会の専門委員、放射線審議会の会長、原子爆弾被爆者医療審議会委員、原爆症に関する調査研究班主任研究者、さらに核兵器廃絶、世界恒久平和を目的とする長崎平和推進協会の理事長、核戦争防止国際医師会議日本支部理事などを歴任した。

臨床医、医学者という立場で、原爆、チェルノブイリ原発事故、JCO 臨界事故の被ばく者の調査研究に密接に関与すると同時に、原子力、放射線利用の規制側、推進側の両方の立場の委員を務めたことになる。この間に、行政、司法、報道機関、原爆被爆者、そして世界の被ばく者、多くの国際機関など社会の様々な立場の方々とお話しする機会に恵まれた。この自分自身の経験を放射線の人体に対する影響を中心としてまとめ、科学的に正しい理解を後世に伝えたいというのが本稿を書く動機である。

#### 内容と特徴

放射線の人体に対する影響に関しては多くの優れた論文、著書が出版されている。紙数の限られた本稿で、前述の動機にしたがって私がお話しできることは、科学的な影響がまったく分からなかった初期の混乱した状態から、例えば、原発事故が発生した状態、あるいは原子爆弾が投下された時点の状況から書き始め、調査の結果、科学的な事実が積み重ねられていく過程、そして発表された膨大な調査結果から世界的な科学的合意の形成に至る過程、社会への提言などを書くことによって、科学的な調査結果を分かりやすく社会に説明するという内容にしたと考えている。書かれた科学的記述を説明

するのではなく、実際に起こった放射線の人体に対する影響を、自分が体験した範囲に限って事実を述べるということである。

#### ◆チェルノブイリ事故初期の報道と事故 20 年目の国際機関の報告

最初にチェルノブイリ原発事故初期の混乱した状態と、事故 20 年目に国際機関から世界各国の専門家の合意として発表された放射線の人体に対する影響の報告を比較し、本稿の内容と特徴を説明する。

チェルノブイリ原発事故の発生は 1986 年であるが、旧ソビエト連邦(ソ連)の秘密主義により世界に広く情報が提供されたのは 4 年後の 1990 年である。1990 年 7 月に、日本の報道機関にも事故を起こしたチェルノブイリ原発 4 号炉の見学が許可された。その直後から日本全国一斉に各報道機関が競って事故の詳細を報道した。すなわち、「チェルノブイリ原発事故は世界で最大級の事故であり、日本に投下された原爆の何千倍もの放射性物質が原子炉から放出された。放出された放射性物質のために北半球全体が汚染され、特に放射性物質の汚染による周辺住民の健康被害ははかり知れない。既に数万人、数十万人が死亡し、放射線の影響で白血病や癌の患者さんが増加している、奇形の子供も生まれている」といった報道が流れ、さらには、「奇形は人間だけではなく、動物、魚、植物にも現れている」と連日のように奇形の動植物の写真が公開された。これら世界各国での報道は、当時のソ連の情報公開(グラスノスチ)により現地の住民にも伝えられている。目には見えない放射線の脅威がチェルノブイリ周辺住民に与えた恐怖を想像していただきたい。一方、日本でもチェルノブイリの悲劇として心に焼き付いている読者が多いのではないかと想像する。

20 年目に、世界の科学的な見地からの調査報告をまとめて国際機関と被災地の 3 共和国が共催で国際会議を開催し、環境と健康について

の報告書をまとめて発表した。すなわち、「放射性物質により汚染された地域住民の約 500 万人に関しては、放射線による影響として科学的に認められた病気は約 4,000 名の小児甲状腺癌だけであり、そのほかには白血病も含めて放射線の影響によって増加した疾患は認められない。もちろん人間で奇形など遺伝的影響は存在しない。小児甲状腺癌による死者は 20 年目で 9~15 人で患者さんの 0.5% 以下である。現在、早急に対策を考えなければいけない大きな影響は精神的な影響である」という報告書である。

もう少し報告書について付け加えると、チェルノブイリの被ばく者を、(1) 事故当時に原発の勤務者、消防士などとして現場で被ばくした急性被ばく者、(2) 事故後に現場で作業した事故処理作業員、(3) 放射性降下物により汚染された地域の住民の大きく 3 つのグループに分け、それぞれの放射線による影響を記述している。まず、(1) のグループの急性被ばく者に関しては 234 名が入院し、この中で 134 名が急性の放射線影響の症状を示し、この 134 名のうち 28 名が 3 か月以内に亡くなり、残りの全員を 20 年間診療してきたが、この間の死亡者は 19 名である。死因は自殺も含めて様々であるが、この 19 名を死亡者に加えても急性被ばく者の死亡者は 50 名以内である。2 番目のグループの事故処理作業員に関しては、事故の後、早期の 1986~1987 年の間に作業した被ばく線量が多い 24 万人を 20 年間調べた範囲では、白血病も含めて放射線による病気の増加は認められない。3 番目のグループの汚染地区居住者に関しては、前述のとおりである。

この報告書は、ノーベル賞受賞のエルバラダイ (ElBaradei) 事務局長の肝いりで国際原子力機関 (IAEA)、世界保健機関 (WHO)、国連開発計画 (UNDP) など 8 つの国際機関と、被害を受けた 3 共和国、ロシア、ベラルーシ、ウクライナが共同して事故の環境影響と健康影響をそれぞれ 1 冊の本とした報告書である。世界各国の 100 名以上の専門家が著者になっており、

この報告書は正式な発表の前に、著者の間で何度も打ち合わせがあったと聞いている。さらに国連傘下の世界各国にコメントを求めて送付され、最後に IAEA 本部のあるウィーンで発表会があり、さらにベラルーシ、ウクライナで、特にキエフでは 20 年目の 4 月 26 日にまとめが発表された。

最初に述べたとおり、日本の一般社会ではゴルバチョフ時代にグラスノスチと称してチェルノブイリの情報を国際的に解禁した 1989~1990 年ごろ、事故の影響が洪水のように報道されている。この当時の感覚がまだ残っている日本社会では前記の国際機関の報告書をにわかには信じられないと思うのも当然である。

チェルノブイリ原発事故調査に 1990 年以來関与してきた臨床家の私が、自分の体験を述べながら読者の方々と一緒に、事故当時の混乱から国際機関の報告書ができ上がるまでの経過、そして報告書の意義を考えることによって、放射線の人体に対する影響を社会に分かりやすく説明するという本稿の目的を果たしたいと考えている。

#### ◆放射線の人体に対する影響の特徴で、本論に入る前に述べたいこと

本論に入る前に、私が報道関係、一般社会の方に、放射線の人体に対する影響に関して科学的な調査結果の発表をするとき、最小限これだけは特徴として頭に入れておいていただきたいとお願いしたことがある。本稿でも最初にこのことを説明させていただきたい。

東海村 JCO 臨界事故の際の周辺住民の健康管理に関する原子力安全委員会健康管理検討委員会の報告書、ならびに一昨年保健物理学会で小佐古敏荘会長から指名された「そこが知りたい放射線影響：ナニがわかっていてナニが課題か」という私の講演が、この“放射線の人体に対する影響の特徴”の基礎にある。

#### 放射線の急性影響

放射線の人体影響には、身体的影響と遺伝的



影響がある。そして身体的影響は急性影響（早期と呼ぶ場合もある）と、晩発影響（原爆では後障害）に分けられる。

放射線を受けた2～3週間以内に現れる症状を急性影響とする。放射線の量（線量）が少なければ症状は出ない、ある一定以上（閾値以上）の放射線を浴びると特徴的な症状が出現する。その主な症状は、末梢血のリンパ球の一時的減少、悪心・嘔吐、骨髄障害による出血・感染、消化管障害による下痢・下血、中枢神経障害などであり、それぞれに症状を引き起こす放射線の被ばく線量が推定されており、それ以下の線量では症状は現れない（確定的影響）。前述のチェルノブイリ事故で、原発職員、消防士など事故当時に大量の放射線を受けたとして234名が入院したが、急性放射線影響に特徴的な症状を示したのは134名であり、その他の100名は放射線を受けたけれども、その線量は症状を引き起こすほどではなかったとされている。チェルノブイリ事故における急性影響に関しては、亡くなった28名については、詳細な医学的論文として、世界的にも質の高い医学誌（例えばNew England Journal of Medicine）に発表されている。

特に強調しておきたいのは、急性放射線影響は目の前の患者さんに被ばくの有無を尋ね、診察し、検査して患者さんの急性放射線影響の症状の有無を指摘できることである。臨床家として、感覚的にも患者さんとして受け入れることは容易である。

#### 放射線の晩発影響

晩発影響は被ばく後、数か月あるいはそれ以上経過した後現れる影響で、原爆被爆者の調査から複数の疾患が晩発影響として確認されている。詳細は後述するとして、ここでは特に問題となる悪性腫瘍を取り上げる。

晩発影響として認められている白血病、固形癌は、被ばく線量の増加に伴ってその影響の現れる確率、発生の確率が増加するとされている（確率的影響）。そして放射線の晩発影響の第1

の特徴は発生確率の議論はできるが、現在の科学的知識では1人の患者さんをいくら調べても、その病気が放射線の影響による病気か、放射線に関係のない病気かは分からないということである。例えばチェルノブイリ事故による汚染地域に住む白血病患者さんについて、その白血病が放射線の影響によるものかどうかは、いくらその患者さんを調べても分からない。放射線による白血病患者さんと自然に発生した白血病患者さんとは区別できないのである。現在でも日本の新聞やテレビで、1人の人をモデルとして追跡し、白血病になった、亡くなるかもしれない、可愛想で同情するなど感情的に表現し、そして原因はチェルノブイリの汚染地域に住んでいるから放射線の影響であると簡単に決め付けている。1人の患者さんをどんなに調べても放射線の影響かどうか分からない。したがって、目の前にいる1人の患者さんを白血病患者さんであると診断することは困難ではないが、放射線の影響で白血病になったという結論を出すことは不可能である。しかし問題は同様に放射線の影響ではないという証明も不可能であるということである。専門家は当然理解していることではあるが、一般社会に説明するとき最初に理解していただく非常に大切なところである。

第2の特徴は、放射線に被ばくした集団でも、どの患者さんが放射線の影響による癌で、どの患者さんが他の原因による癌か区別できないことである。例えばチェルノブイリの周辺で住民の20%の方が癌になるとして、放射線の影響による癌の患者さんの発生確率が、仮に住民の1%増加しても、その両者を区別することはできない。この集団で、21%の癌の患者さんがすべて放射線の影響による癌であることは確実に否定できる。集団の中には放射線に関係のない自然発生の癌の患者さんが含まれているからである。しかし、この集団の1人1人の患者さんが「自分の癌は放射線の影響である」と心配された場合、放射線の影響であると肯定する

ことはできないし、同時に否定することもできない。これも晩発影響は1人の患者さんを調べても放射線の影響であると決める方法がないということから理解しなければならない。

この1人の患者さんをいくら調べても放射線の影響の有無は分からないという重要で単純明快なことを現在でも理解していない報道発表が少なくないことは憂慮すべきである。そして、この特徴は被ばく者の認定や補償に関してもっとも大切な科学的な事実である。

#### 放射線の晩発影響の調査法

患者さんをどんなに調べても放射線が原因になっているかどうか分からないと繰り返してお話した。それでは放射線の健康に対する影響、放射線によって引き起こされた病気はどうすれば分かるのかという基本を簡単にお話ししたい。例えば、被ばくした人々（集団）1万人と被ばくしていない人々（集団）1万人を亡くなるまで調査を続け、癌で死亡した方が被ばく者集団で40%、被ばくしない集団で30%とした場合、性、年齢、居住地域、生活習慣その他可能な限りの因子を考慮して疫学的、統計学的に癌の頻度に差があると認められたときに放射線によって癌の発生確率が増加したと結論される。しかし、40%の被ばく者の癌の患者さんと30%の非被ばく者の癌の患者さんは区別できない。さらに被ばくした集団の40%の癌の患者さんの中で、誰が放射線の影響による癌で誰が自然発生の癌かは分からない。

ここでは死亡するまで、すなわち死亡診断書利用の方法を紹介したが、病気を生前に正確に診断できれば、診断のついた時点で比較することも可能である。後で詳しく述べるが、ある集団で被ばく線量が増加するほど癌の発生確率が増加することが統計学的に証明された場合、癌は放射線によって増加したと推定されるが、この場合もその集団の中で放射線の影響による癌と自然発生の癌の区別は不可能である。

チェルノブイリ原発事故で晩発影響として科学的に証明された疾患の増加は、小児の甲状腺

癌だけである。白血病も含め、他の疾患の増加が認められないということは、被ばく者と非被ばく者の間で癌の発生頻度に明らかに差が認められない、あるいは被ばく線量が増加するほど発生確率の増加する疾患は認められないということである。原爆で明らかな晩発影響として認められている白血病がチェルノブイリ事故で増加したことが証明されないというのは、例えば事故処理作業員という集団で、被ばく線量の増加に伴って白血病の発生確率が増加したとは認められないという意味である。したがって、被ばく線量の正確な推定ができていなければ、放射線の影響による疾患の発生確率増加の証明ができないということも非常に大切なことと理解すべきである。

#### ❖「影響が認められた」、「影響が認められない」と「影響はない」との関係

チェルノブイリ事故で小児の甲状腺癌は放射線の影響で増加したと科学的に認められ、白血病の増加は認められなかったと結論された。それでは増加が認められないということは影響はないということかという質問に対する正確な回答は「分からない」となる。このことも放射線の影響を理解するとき大切なところである。例えば「分からない」を「まだ分からない」とまだを付けると本当は増加しているのに、調査が不十分だから将来は増加していることを証明するため調査研究を続けるということになる。一方、増加が認められないということは、増加が認められる可能性は十分に少ないのだから、調査を打ち切っても良いとも議論される。増加が認められない、影響が認められないということは影響がないということではないという問題、現在分からないという問題を、背景まで意識して調査を行った科学者が社会に対して分かりやすく状況に応じて説明することが肝要である。

【忌憚のないご意見をお待ちしています】

（日本アイソトープ協会 前常務理事）

### 第3章 勉強会・その他の資料

この章では、勉強会で配布した資料その他公開されている学会誌などから、放射線教育指導のために役立つと思われる資料を収録した。

「放射線教育フォーラム」(2010.6.12)にて

## 科学的リテラシーを育む理科教育に向けて

小倉康 (国立教育政策研究所総括研究官)

要旨 昭和20年代の理科教育の内容は、自然科学と技術・工学、健康、生活科学などが融合していた。その後の変遷によって、今日の理科教育の内容は、大半が自然科学となり、その他の側面は、技術家庭科や保健科へと離れてしまった。理科の内容が役に立たない、身近でないといった子どもの意識は、こうした内容面での偏りにも原因があるだろう。もちろん、教員が実生活や社会に関連づけて指導できないことも問題である。今日の子どもたちが、10年後、20年後に社会に出て活躍するために必要な科学的素養＝科学的リテラシーとは何であるかを考え、すべての子どもたちに身につけさせる理科教育を追究する。

1. 子どもにとっての「理科」とは？
2. 「理科」は何故必要か？
3. 「理科学力」の水準は？
4. PISA 調査から何が見えた？
5. 昔（昭和20年代）の「理科」は違っていたのか？
6. 今日の「理科」はどう違うのか？
7. 科学的リテラシーの教育とは？
8. まとめ
9. おわりにーカリキュラム開発上の課題ー

# 科学的リテラシーを育む 理科教育に向けて

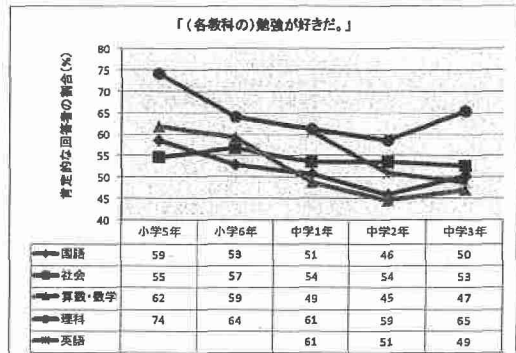
小倉 康  
 国立教育政策研究所  
 教育課程研究センター基礎研究部総括研究官  
 兼：科学技術振興機構JST理科教育支援センターシニアアナリスト  
 放射線教育フォーラム2010年度第1回勉強会にて(2010.6.12 科学技術館)

## 内容

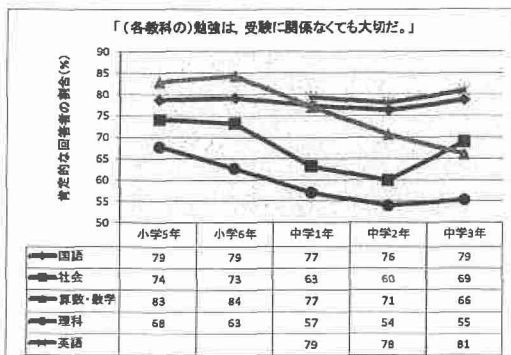
1. 子どもにとっての「理科」とは？
2. 「理科」は何故必要か？
3. 「理科学力」の水準は？
4. 「理科嫌い」なのか？
5. PISA調査から何が見えた？
6. 昔(昭和20年代)の「理科」は違っていたのか？
7. 新学習指導要領での「理科」はどうか？
8. 諸外国で「理科」はどうなっているのか？
9. 科学リテラシーを育む「理科教育」とするには？
10. まとめ

## 1. 子どもにとっての「理科」とは？ 子どもたちは「理科嫌い」か？

H15小中学校教育課程実施状況調査で、5教科の「好き嫌い」を比較したところ、他教科に比べて理科はより好きな教科であった。



しかし、勉強することが大切かについては、他教科に比べて理科が勉強することが大切と思っていない生徒が最も多かった。



## 「理科の学習は重要か」に対する中学生の否定的意見の例

- 「別にこんなに細かくやってもいさされる場面がないからぜんぜん必要じゃない。理科なんかやんなくても生きていける」
- 「社会に出たら理科は必要ない」
- 「化学変化とか原子、アンモニア、気体の発生、化学式とかそういう理科のやつは日常では必要ないと思う。もっと日常で役にたつ様なものを教えてほしい」
- 「数学や国語と違って、役に立つってことは、あまりないし、知ってても、あまり生活とか、日常生活には、関わってこない」など。
- 「理科が好きな人は重要かもしれないけどきらいな人は、あまり重要じゃないと思う」
- 「理科はむずかしいからすきではない。理科は重要ではない」
- 「実験とかはあまり重要じゃないと思う。道具がなければ実験はできないし」
- 「実験なんかやっても、その1回で終わりだから意味がない」

### 肯定的意見の例

- 「理科を勉強することは日常生活にも役立つと思うからです。たとえば2年の時に勉強した天気のことについては毎日のように新聞やTVでやっているなのでその見方や意味がわからなければ意味がないと思います」
- 「自分たちの身の回りのことを理解でき、その事を将来生活をしていくのに役立てることができるから」
- 「大人になって、理科に関係する職業になるかもしれない」
- 「理科を勉強していれば、自然に役だったり、発明などをして生活をもっとよくなったりするからです」
- 「理科は、実験などで、予想を立てたりして、その予想を、自分の手で確かめたりと、その他の授業では学ばない点があると思う」

### 肯定的意見の例

- 「困ったことがおきたときに、理科っぽく考えれば、いろんなことをためさなくても、1番よい方法が見つかると思うから。実際に、危険をおかしてやるより、頭の中で理科で習ったことをもとに考えられることもあるから」
- 「想像力や疑問力をつけるために重要。(なぜこうなのか?とか)」
- 「問題があつたら、それを解決するために調べ力、それを理論的に説明する力が必要で、それを理科で勉強できる」
- 「電気とかがなかったらまっくらだった。ひまわり号とかがなかったら、雲のうごきとか天気がわからないかもしれないから」
- 「理科の知識がなかったら、今、こんないい生活は、できなかったし、今、大問題の地球環境のことなどは、政治家が相談する前に、理科専門の人たちが、一生懸命に自分の知識を使って解決につながるの、時間の問題だけだと、思います。」
- 「理科で勉強してたら、今まで誰も気付かなかったことを調べたくなくて新たな発見をする人がでてくるかもしれない。」など。

## 2. 「理科」は何故必要か？

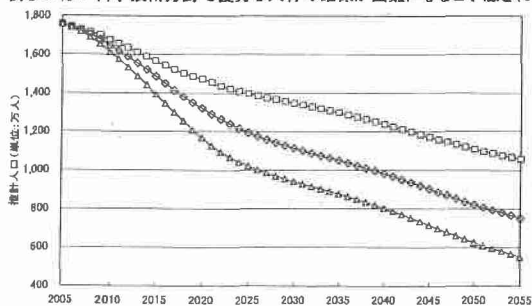
### 人々の科学への理解が必要な理由

Robin Millar (1996) Towards a science curriculum for public understanding, School Science Review, Vol. 77(280), pp. 6-18

- 経済的理由—国の富と人々の科学の理解とが関連する。
- 実用的理由—テクノロジーの進んだ社会では、科学の理解が実用上有益である。
- 民主主義的理由—科学の理解は、科学に関わる諸問題についての意志決定に参加するために必要である。
- 社会的理由—科学の理解は、科学以外の文化と科学との関係を密接にし、科学が社会から支持されるために重要である。
- 文化的理由—科学は今日の文明の主たる成果であって、すべての若者がそれを理解し価値を認められるようにすべきである。

### 経済的理由

日本の0~14歳の推計人口の2005年~2055年の変化から  
日本の若年層人口は今後急激に減少するため、今のままでは  
関心の低い科学技術分野で優秀な人材の確保が困難になると予想される



三通りの出生率を仮定した0~14歳の推計人口の2005年~2055年の変化  
(国立社会保障・人口問題研究所の推計人口(平成19年12月推計)を基に作成)

## 3. 「理科学力」の水準は？



2006年PISA調査での科学的リテラシーは、国際的に高い水準

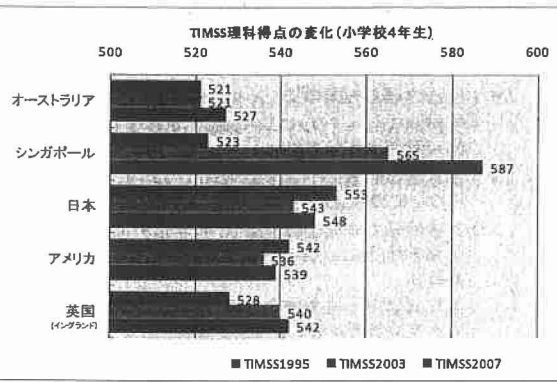
| 国名       | 平均得点 | 標準偏差 | 国際順位 |
|----------|------|------|------|
| フィンランド   | 562  | 91.8 | 11   |
| 韓国       | 548  | 91.5 | 12   |
| カナダ      | 536  | 91.8 | 14   |
| 台湾       | 532  | 91.8 | 14   |
| ニュージーランド | 521  | 91.8 | 21   |
| 日本       | 521  | 91.4 | 21   |
| ニュージーランド | 517  | 91.7 | 22   |
| オーストラリア  | 517  | 91.8 | 23   |
| アイスランド   | 516  | 91.7 | 24   |
| フランス     | 513  | 91.8 | 25   |
| 台湾       | 513  | 91.8 | 25   |
| ドイツ      | 512  | 91.7 | 26   |
| アイスランド   | 510  | 91.5 | 27   |
| 台湾       | 508  | 91.6 | 28   |
| 香港       | 508  | 91.5 | 28   |
| ポーランド    | 508  | 91.6 | 28   |
| 韓国       | 508  | 91.5 | 28   |
| 台湾       | 508  | 91.5 | 28   |
| オーストラリア  | 506  | 91.7 | 29   |
| 台湾       | 506  | 91.7 | 29   |
| アイスランド   | 506  | 91.7 | 29   |
| 台湾       | 506  | 91.7 | 29   |
| 台湾       | 506  | 91.7 | 29   |
| 台湾       | 506  | 91.7 | 29   |

(PISA2006の科学的リテラシー得点で、日本の順位は51개국中6位であるが、3位のカナダとの間に統計的な有意差は無い)

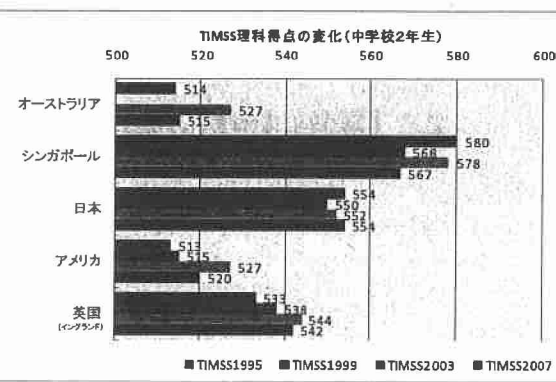
2007年TIMSS調査における第8学年理科の上位国

| 国名      | 平均得点 | 標準偏差 | 国際順位 |
|---------|------|------|------|
| シンガポール  | 587  | 91.4 | 1    |
| 韓国      | 587  | 91.7 | 1    |
| 日本      | 584  | 91.8 | 2    |
| 台湾      | 583  | 91.8 | 3    |
| インドネシア  | 583  | 91.8 | 3    |
| オーストラリア | 583  | 91.8 | 3    |
| 台湾      | 582  | 91.8 | 3    |
| 香港      | 582  | 91.8 | 3    |
| 台湾      | 582  | 91.8 | 3    |
| 台湾      | 582  | 91.8 | 3    |
| 台湾      | 582  | 91.8 | 3    |
| 台湾      | 582  | 91.8 | 3    |
| 台湾      | 582  | 91.8 | 3    |
| 台湾      | 582  | 91.8 | 3    |
| 台湾      | 582  | 91.8 | 3    |
| 台湾      | 582  | 91.8 | 3    |
| 台湾      | 582  | 91.8 | 3    |
| 台湾      | 582  | 91.8 | 3    |
| 台湾      | 582  | 91.8 | 3    |
| 台湾      | 582  | 91.8 | 3    |

国際学力調査のTIMSSで、明らかな学力低下も学力向上も見られない (第4学年)



国際学力調査のTIMSSで、明らかな学力低下も学力向上も見られない (第8学年)

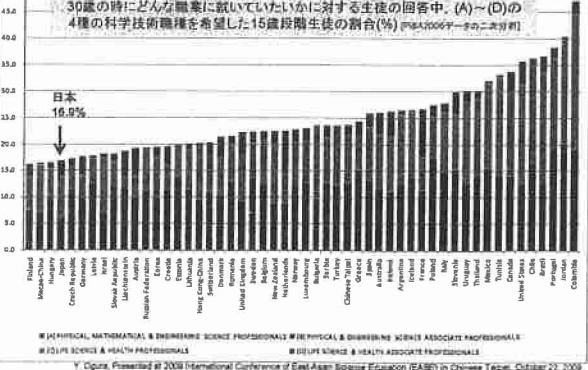


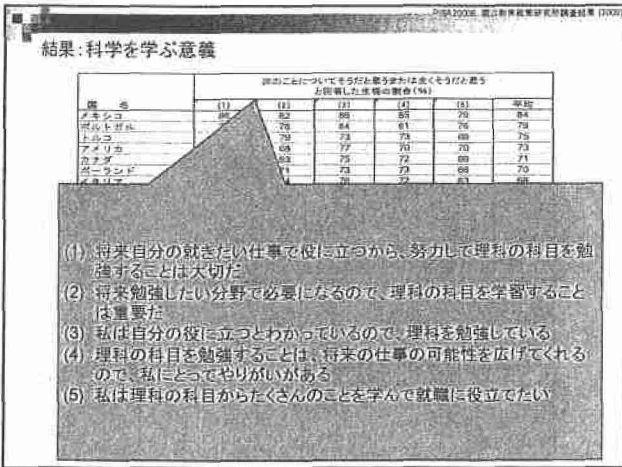
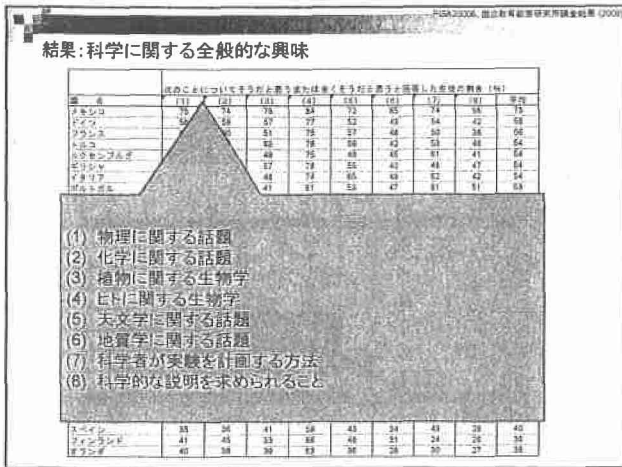
4. PISA調査から何が見えた?

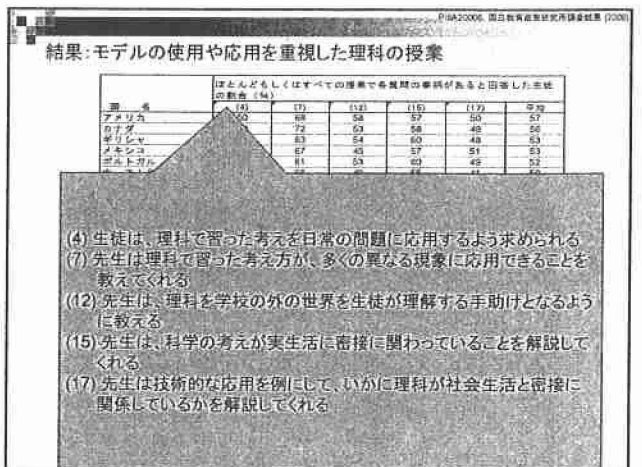
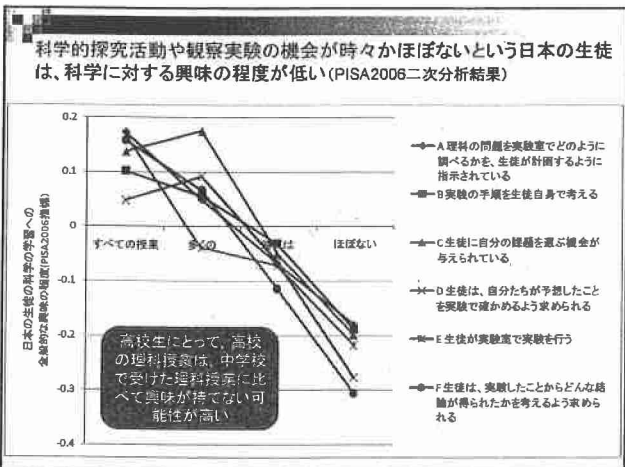
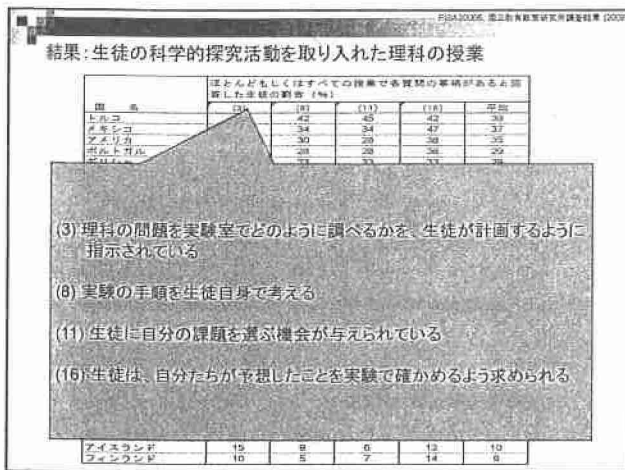
2006年PISA調査、及び中学3年生の追加調査から

2006年OECD-PISA調査の結果から

日本の生徒(高1)は将来科学技術を使う職業に就くことに関心が低い







PISA調査から示唆される日本の「理科」に対する科学的リテラシー改善への課題

- 日常生活や実社会での出来事が理解でき、説明できるようになる理科学習
- 科学の大切さや意義が実感でき、科学を学習する目的が明確に意識できる理科学習
- 経験に基づき、主体的に追究する楽しさを実感できる理科学習
- 学習した事柄が、実生活や実社会での課題や疑問の解決に活用できる理科学習
- 科学の学習が、様々な職業に求められる資質・能力と関連していることが分かる理科学習

## 新学習指導要領で どのような対応が図られたか

- 小・中・高等学校を通じ、発達の段階に応じて、子どもたちが知的好奇心や探究心をもって、自然に親しみ、目的意識をもった観察・実験を行うことにより、科学的に調べる能力や態度を育てるとともに、科学的な認識の定着を図り、科学的な見方や考え方を養うことができるよう改善を図った。
- 観察・実験や自然体験、科学的な体験を一層充実する方向で改善した。
- 理科を学ぶことの意義や有用性を実感する機会をもたせ、科学への関心を高める観点から、実社会・実生活との関連を重視する内容を充実する方向で改善を図った。
- 高等学校で「基礎を付した科目」の内容を基礎に、観察・実験、探究活動などを行い、より発展的な概念や探究方法を学習する科目「物理」、「化学」、「生物」、「地学」、及び継続的な研究を可能とする「課題研究」を設けた。

## 5. 昔(昭和20年代)の「理科」は 違っていたのか？

### 「すべての国民にとっての必要性の視点」から策定された昭和20年代の科学カリキュラム

- 昭和22年版の中学校理科の学習指導要領(試案)
  - 昭和30年代以後の2分野制ではなく、**一般理科(general science)**として科目が融合されたもの
- 理科の指導目標
  - **すべての人が合理的な生活を営み、いっそうよい生活ができるように、児童・生徒の環境にある問題について次の三点を身につけるようにすること。**
  - 1. 物ごとを科学的に見たり考えたり取り扱ったりする能力。
  - 2. 科学の原理と応用に関する知識。
  - 3. 真理を見出し進んで新しいものを作り出す能力。

### 昭和26年版中学校学習指導要領準拠の教科書『中学理科』(学校図書)第1学年【自然のすがた】の内容例

#### 単元3 水は私たちとどのようなつながりがあるか

- I 人や他の生物はどのように水を使うか
  - 1. 水はどこにあるか
  - 2. 水は植物にどのように役だっているか
  - 3. 人は毎日どのように水を使うか
- II 安心して水を飲むにはどうすればよいか
  - 1. 生水を飲むにはどのような注意がいるか
  - 2. 水をきれいにするにはどうすればよいか
  - 3. 水道ではどのようにして水をきれいにしているか

- III 水にはどのような性質があるか、また水は何からできているか
  - 1. 水はどのように物をとくすか
  - 2. 水はどのように状態を変えるか
  - 3. 水は何からできているか
- IV 水の表面はどのようなになるか、また水の中ではどのような力がはたらいているか
  - 1. 入れ物に入れた水の面はどうなるか
  - 2. 水中ではどのように力がはたらいているか
- V 水はどのような旅をするか
  - 1. 川の水はどこから来てどこへ行くか
  - 2. 海水には何がとけているか
  - 3. 海水はどのような運動をするか

### 昭和26年版中学校学習指導要領準拠の教科書『中学理科』(学校図書)第2学年【日常の科学】の内容例

#### 単元6 道具や機械はどのようなはたらきをするか

- I 私たちの生活と道具や機械とはどのようなつながりがあるか
  - 1. 人間はどのような道具や機械を使ってきたか
  - 2. 人はどのような目的で道具や機械を使うか
  - 3. いろいろな量を測るにはどうすればよいか
- II かんたんな道具はどのように利用できるか
  - 1. てこはどのように利用できるか
  - 2. 滑車や輪軸はどのように利用できるか
  - 3. ころや車輪はどのように利用できるか
  - 4. 斜面やねじなどはどのように利用できるか
  - 5. はねはどのように利用できるか

- III 家庭などの身近なところにある機械はどのようなになっているか
  - 1. ポンプはどのようなになっているか
  - 2. 自転車はどのようなになっているか
  - 3. 時計はどのようなになっているか
  - 4. 家庭で使いたい機械にはどのようなものがあるか
- IV 生産にはどのような機械を使っているか
  - 1. 農業関係の主な機械はどのようなものがあるか
  - 2. 布を織る機械はどのようなになっているか
  - 3. 木材や金属を加工する機械にはどのようなものがあるか
  - 4. 印刷機はどのようなになっているか
- V 道具や機械を使うとどれほどの仕事ができるか
  - 1. 仕事とはどのようなことか
  - 2. 道具や機械を使えば仕事がとくにになるか
  - 3. 仕事はどのようにはかるとか

### 昭和26年版中学校学習指導要領準拠の教科書『中学理科』(学校図書)第3学年【科学の恩恵】の内容例

#### 単元3 科学は見える世界をどのように広げたか

- I 知恵の窓といわれる目はどのようにできているか
  - 1. 眼球の構造はどのようなになっているか
  - 2. 物を見るとき目はどのようにはたらくか
  - 3. 私たちの目は物をいつも正しく見ているか
- II めがねはどのようにして視力を助けるか
  - 1. 近視眼はどのようなめがねで調節するか
  - 2. 遠視眼や乱視眼はどのようなめがねで調節するか
  - 3. 目の健康はどのようにして保つか
  - 4. 虫めがねはどのように使われるか

- III 小さいものの世界はどのようにくわいまで見えるようになったか
  - 1. 顕微鏡はどのように進んできたか
  - 2. 顕微鏡はどのようにできているか
  - 3. 顕微鏡はどのように利用されているか
  - 4. 電子顕微鏡とはどんなものか
- IV 遠いところはどのような距離まで見える世界がひろがったか
  - 1. 望遠鏡はどのように進んできたか
  - 2. 望遠鏡はどのようにできているか
  - 3. 望遠鏡はどのように利用されるか
- V 映画や写真は私たちの生活にどのように役だち、X線はどのように利用されているか
  - 1. 写真はどのように利用されているか
  - 2. テレビジョンとレーダーは見える世界をどのように広げるか
  - 3. X線とはどのようなものか
  - 4. X線はどのように利用されているか

昭和26年版中学校学習指導要領準拠の教科書『中学理科』(学校図書)第3学年【科学の恩恵】の内容例

単元5 通信に科学がどのように応用されているか

- I 通信にはどんな方法があるか
  1. 通信のうつり変わり
  2. 通信のしかたにはどんなものがあるか
  3. 通信と音との関係
- II 音はどのようにしてまじるか、またどのように伝わるか
  1. 音はどのようにして出るか
  2. 音はどのように伝わるか
  3. 人の声はどのようにして声を発し、耳はどのようにして音を感ずるか
  4. 音にはどんな性質があるか
  5. 音のちがいは何によって起こるか
- III 電信や電話でどのようにして通信ができるか
  1. 電信電話はどのようにして発達したか
  2. 電報機はどのようにしてはたらくか
  3. 遠くで電報機にはどんなものがあるか
  4. 電報機はどのようにしてはたらくか
  5. 電話の交換はどのように行われるか
- IV ラジオはどのようにして聞こえるか
  1. 電波はどんな性質をもっているか
  2. 放送はどのように行われているか
  3. 受信はどのようにしてなされるか
  4. 真空管はどんなはたらきをするか
  5. 無線電波はどのように行われるか
  6. 放送式通信とはどんなことか
- V 音はどのように記録され、また再生されるか
  1. 音の記録にはどんなものがあるか
  2. 蓄音機はどのようにして音を再生するか
  3. トーキーはどのような原理ではたらくか
  4. 空気録音はどのように行われるか
- VI 通信機関はどのようにして生活を豊かにしているか
  1. 通信と生活にはどんな関係があるか
  2. 簡単なラジオ受信機はどのようにして組立てることができるか

昭和26年版中学校学習指導要領準拠の理科教科書では、科学技術に関する内容が最も多かった

検定教科書『中学理科』(学校図書)の内容構成の区分別分類

|       | 単元      | 章        | 節         |
|-------|---------|----------|-----------|
| 生活と健康 | 5 (28%) | 26 (27%) | 89 (25%)  |
| 科学技術  | 7 (39%) | 26 (27%) | 106 (30%) |
| 計     | 18      | 97       | 359       |

昭和26年版中学校学習指導要領準拠の理科教科書

- 「物理」や「化学」といった個別科学の系統的理解よりも、**科学や技術の応用や生活との関連性の理解を重視している**。多くは、昭和30年代以後、**保健体育や技術家庭科に移行、あるいは削除された内容**
- 各単元や各章内でも、それに含まれる節が、複数のテーマに渡り、領域横断的に内容を構成している
  - 例えば、第1学年の「単元3 水は私たちとどのようなつながりがあるか」では、5つの章が「物理」「化学」「生物」「地学」「生活と健康」と、それぞれ異なるテーマを扱っている
- 「1) 学習内容の拡大に対して歯止めがない。2) 科学技術の成果の応用的なものや現象的なものに目を奪われがちで、科学の基本的なことが見失われやすい。3) 知識・理解がばらばらで、まとまりや系統性がない。」  
 「現在の理科は基本概念とのつながりを重視して内容を精選しており、この当時扱われていた応用的な内容の大部分は削除されたり、保健体育科や技術・家庭科で扱うようになった」(関利一他、長洲南海男:「昭和22年版理科の学習指導要領」『現代理科教育体系1』(東洋館, 1988), pp.279-324)との経緯により、昭和30年代以後に、科学の系統的な学習へと変化した。

6. 今日の「理科」はどう違うのか?

学習指導要領「理科」では、自然科学の学習が中心。科学技術は主たる学習内容ではない

新学習指導要領における「理科」の目標

- 小) 自然に親しみ、見通しをもって観察、実験などを行い、問題解決の能力と自然を愛する心情を育てるとともに、自然の事物・現象についての実感を伴った理解を図り、科学的な見方や考え方を養う。
- 中) 自然の事物・現象に進んでかかわり、目的意識をもって観察、実験などを行い、科学的に探究する能力の基礎と態度を育てるとともに自然の事物・現象についての理解を深め、科学的な見方や考え方を養う。

学習指導要領「技術・家庭」では、科学技術の実践的側面の学習内容を扱う一方、その科学的原理については主たる学習内容ではない。

新学習指導要領における「技術分野」の目標

ものづくりなどの実践的・体験的な学習活動を通して、材料と加工、エネルギー変換、生物育成及び情報に関する基礎的・基本的な知識及び技術を習得するとともに、技術と社会や環境とのかかわりについて理解を深め、技術を適切に評価し活用する能力と態度を育てる。

学習指導要領によって、自然科学(物理・化学・生物・地学)の基礎を、観察・実験を通して学校の実験室で学習可能な範囲で扱う一方、高度な内容、実験にくい内容、領域横断的・総合的な内容、先端的で発展途上の内容は殆ど扱われない。一部、中学の最終単元として高校入試直前に設定されるに止まる。

■ 例: 中1「光・音」

「身近な事物・現象についての観察、実験を通して、光や音の規則性、力の性質について理解させるとともに、これらの事物・現象を日常生活や社会と関連付けて科学的にみる見方や考え方を養う。」

■ 例: 中3「科学技術と人間」

「エネルギー資源の利用や科学技術の発展と人間生活とのかかわりについて認識を深め、自然環境の保全と科学技術の利用の在り方について科学的に考察し判断する態度を養う。」

中学3年

「科学技術と人間」における放射線教育

■ 放射線の性質と有効な利用が扱われる

□ 「原子力発電ではウランなどの核燃料からエネルギーを取り出していること、核燃料は放射線を出していることや放射線は自然界にも存在すること、放射線は透過性などをもち、医療や製造業などで利用されていることなどにも触れる」(指導要領解説)

■ 原子の構造は学習しない

■ 電磁波は学習しない

■ 放射線について科学的に説明できない

7. 科学的リテラシーの教育とは？

先進国における労働力需要が質的に変化してきた (米国の研究例)



Note: Data are aggregated to 1120 industry-gender-education cells by year and each cell is assigned a value corresponding to its rank in the 1960 distribution of task input (calculated across the 1120 task cells for 1960). Plotted values depict the employment-weighted mean of each assigned percentile in the indicated year.

PISA 2006: Science Competencies for Tomorrow's World, Vol. 1, p.33 (OECD, 2007)

OECDによるキー・コンピテンスの3つの領域

1. ツールを状況に応じて使用することができる

- 個人は、知識や情報、テクノロジー、言語や記号、テキストなど、ツールを状況に応じて使用できる必要がある
- PISAの学力調査で測定

2. 異なる集団において活躍できる

- 個人は、世界が益々相互依存的になるにつれ、さまざまな背景をもつ人々と関係したり、協力したり、問題を調整したり解決できる必要がある

3. 自律して活動できる

- 個人は、広範な社会状況に自身を位置づけ行動し、人生設計し、個人の課題を設定して実行し、権利を主張したり興味や限界や必要性などを示すことができる必要がある

OECD PISA 2006  
科学的リテラシー

- 科学的リテラシーを特定する根元的な問い「科学とテクノロジーが関係する諸々の状況において、市民は何を知っていて、何に価値を感じて、何をすることができることが重要であるか？」



**定義**  
**科学リテラシーとは、個人が、**

- 疑問を認識し、新しい知識を獲得し、科学的な事象を説明し、科学が関連する諸問題について証拠に基づいた結論を導き出すための科学的知識とその活用であり、
- 科学の特徴的な諸側面を人間の知識と探究の一形態として理解することであり、
- 科学と技術(テクノロジー)が我々の物質的、知的、文化的環境をいかに形作っているかを認識することであり、
- 思慮深い一市民として、科学的な考えをもち、科学が関連する諸問題に、自ら進んで関わることである。

**科学リテラシーを測定する枠組みの4つの側面**

状況・文脈  
 科学とテクノロジーが関係する生活場面  
 環境、資源、災害・安全、健康、科学技術などに關する個人的・社会的・地理的な諸問題

人々に要求する

科学的な能力  
 ・科学的な疑問を認識する  
 ・現象を科学的に説明する  
 ・科学的な証拠を用いる

科学的知識  
 ・自然界に関する知識(科学の知識)  
 ・科学自身に関する知識(科学についての知識)

人々がどう行動するかに影響する

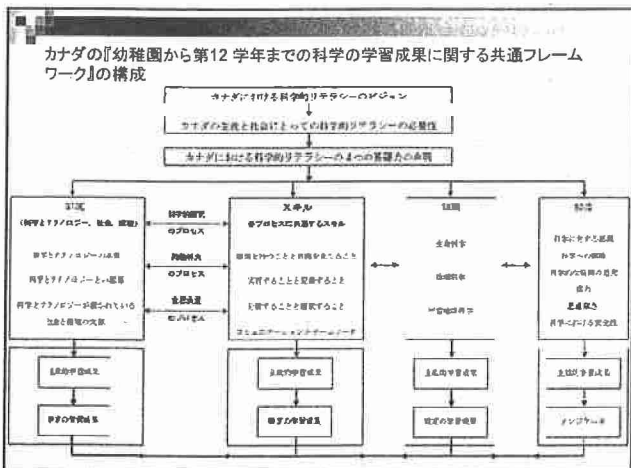
態度  
 科学の諸問題への対応  
 ・興味  
 ・科学的探究の支持  
 ・責任感

**米国『全米科学教育スタンダード』(1995年)における科学リテラシー**

- 科学リテラシーとは
  - 「個人的な意志決定、または市民のおよび文化的な活動への参加、そして経済生産力の向上のために必要になった、科学的な概念およびプロセスについての知識および理解のこと」
- 内容構成: 物理・化学・生物・地学の内容に加えて、「統一的概念とプロセス」「探究としての科学」「科学と技術」「個人的社会的観点から見た科学」「科学の歴史と本質」

**カナダ『科学の学習成果に関する共通フレームワーク』(1997年)における科学リテラシー**

- 科学リテラシーのある個人に要求されること
  - ある程度の知識とスキル、態度を習得しており、探究と問題解決、及び、意志決定の能力を発達させ、一人の生涯学習者であり、世界に関する不思議さに惹かれる感覚(センス・オブ・ワンダー)を保持していること
- 内容構成: 「科学とテクノロジーと社会と環境」「スキル」「知識」「態度」
- 実現への段階: 12か年を4段階で到達目標化



**例: 第9学年【電気の特徴】  
 STSE(科学とテクノロジー、社会、環境)**

- 科学とテクノロジーの本質
  - 109-6 テクノロジーが材料のコスト、利用可能性および特性、並びに自然の法則によって制約される体系的な試行錯誤プロセスとしてどのように発達するかを記述する(例: 代替エネルギー源の開発、家庭内の配線におけるアルミニウムの代替としての銅の使用、省エネ型電気器具の開発などを例として提示する)。
  - 109-14 科学とテクノロジーの分野で正確な言葉を使用することの重要性を説明する(例: Energiguideというラベルを正しく解釈するために、あるいは公共料金の請求書を理解するために、正確な言葉が必要であることを説明する)。
  - 110-9 同じ必要性を満たすために開発された過去のテクノロジーと現在のテクノロジーの例を比較する(例: ヒューズまたはサーキットブレーカーの大きさや構成要素・部品を比較する)。

例: 第9学年【電気の特徴】  
STSE(科学とテクノロジー、社会、環境)

■ 科学とテクノロジーの関係

- 111-1 科学的知識が元になってテクノロジーが開発された例をあげる(例: 静電気についての理解を基礎として発明された静電エアフィルター、光電効果についての理解に基づいて開発された太陽電池と光センサー、圧電効果についての理解を基礎として開発されたマイクロホンなどを例としてあげる)。

例: 第9学年【電気の特徴】  
STSE(科学とテクノロジー、社会、環境)

■ 科学とテクノロジーが置かれている社会と環境の文脈

- 112-7 科学とテクノロジーが生徒の生活と地域社会にどのように影響しているかを示す例をあげる(例: 電気器具が生徒のライフスタイルをどのように改良したかなどを例としてあげる)。
- 113-6 コスト、日常生活と環境への影響など特定された基準に基づいて、ある1つのテクノロジーの設計とその機能の仕方を評価する(例: 特定の電気器具の設計を、消費電力、並びに消費電力を含めたコストに基づいて分析する)。
- 113-9 環境と社会にとっての有利な点と不利な点を考慮に含めて、科学とテクノロジーの応用について、十分に情報を得た上で判断する(例: 発電所から生徒が住む地域までの送電線が敷設されているルートを評価する。血洗い機や冷蔵庫などの電気器具の使用について、それらの利点および洗剤やフロンの環境負荷を考慮に入れて判断する)。
- 113-13 人類と環境面での必要性を考慮しつつ、科学とテクノロジーに関連する社会的課題について行動計画を提案する(例: 電気エネルギーの消費量を削減するために行動計画を提案する)。

イングランド『ナショナルカリキュラム』における科学的リテラシー

- 「科学」の学習内容: 「物理」、「生物」、「化学」、及び「科学的探究」の4領域で捉える。
- 「科学的探究」領域: 科学的に調査する能力を、「計画すること」(P)、「証拠を得ること」(O)、「証拠を分析し考察すること」(A)、「評価すること」(E)の4観点で捉える。
- 「コースワーク(課題研究)」: 「科学的探究能力」が評価され、教育修了資格試験に組み込まれる。
- 2006年から、Key Stage 4(11か年の義務教育最後の2年間)の科学で、科学的リテラシーを強調したカリキュラムに変更

Key Stage 4(11か年の義務教育最後の2年間)の科学で、科学的リテラシーを強調したカリキュラムを導入(2006年改訂版科学)

- 科学はどうはたらいているか How science works
    - 「データ、証拠、理論、及び、説明」「実践能力及び探究能力」「コミュニケーション能力」「科学の応用と関連」
  - 学習の幅 Breadth of study
    - 「生物と健康」「化学的な物質の振舞い」「エネルギー・電気、及び放射」「環境、地球と宇宙」
- 科学についての領域横断的な知識・能力と科学的知識で構成

“Twenty First Century Science”  
「Science」(コア: KS4全員対象)の内容

- C1 大気の大気クオリティ
- C2 材料の選択
- C3 食事に関わること
- B1 君と君の遺伝子
- B2 健康を維持する
- B3 地球上の生物
- P1 宇宙の中の地球
- P2 放射と生命
- P3 放射性物質

C2 材料の選択

- 流行しうる新しい靴のために、相応しい材料を選択するという状況設定で、材料の特性、天然材料と合成材料、ポリマー、あらゆる場所で見られるポリマーが導入され、材料試験、性能管理、光学顕微鏡や電子顕微鏡による繊維構造の説明、高分子とそのモデル、ポリエチレンの発見とナイロンなどポリマーの発展、分子の結合、デザイナーの素材、ゴアテックスなどの巧妙な素材、持続可能性とは何か、材料(モノ)の一生、生物分解素材など



### C3 食事に関わること

- 穀物が農場からパンが食卓に上るまでの過程で状況を設定し、農場で、植物のために必要な化学物質、養分の循環、害虫の抑制と殺虫剤、窒素の循環、窒素肥料、集約農場で用いられる化学物質と環境、持続可能性、有機農業と環境、保存食品と加工食品、防腐剤(抗酸化剤等)と食品添加物、健康的な食事、天然のポリマー、消化、成長、排泄、食物や飲料中の有害物質、食物アレルギー、食事と肥満、糖尿病のしくみと対処、食品と消費者、食品標準庁、食品の研究、食品の危険性、リスクの高低と警告前の行動など

### P2 放射と生命

- 太陽光が健康へ及ぼす利点と危険性、太陽光から生命が受け取るエネルギー、太陽光と大気、オゾンとオゾンホール、放射の原理、電磁波の放射と吸収と生命への危険性、生活利用の電磁波、健康被害のリスク判断、エックス線の安全性と危険性、地球温暖化と二酸化炭素、炭素の循環、気候変動、温室効果ガス削減への行動など

### P3 放射性物質

- エネルギー消費について考えさせる状況設定で、電力需要、電気のエネルギー効率、発電による二酸化炭素の放出を扱い、あらゆる場所の放射線、自然放射線と人工的な放射線、ラドン、放射線の健康への影響、放射能汚染、放射線医療、放射線によるイメージング、健康へのリスクと利点、甲状腺ガン治療、放射線被曝量、ガンマ線の利用、原子の崩壊、原子の構造、同位体元素、原子力、核融合、連鎖反応の制御、原子力発電、チェルノブイリ事故、核廃棄物、放射能と半減期、永久処理場、エネルギーの将来、一次エネルギー源、二酸化炭素削減、エネルギーに関するディベート(原子力利用か再生可能エネルギー源かエネルギー消費の提言かの意志決定)など

## 8. まとめ

- 「理科」学習はなぜ必要なのかを理解する必要
- 「理科」の平均学力は高く、顕著な低下も見られない
- 「理科」学習の意義や重要性、日常生活や社会との関連、職業との関係などの認識が低い
- S20年代は、科学技術と生活・健康を重視(環境は視野外)
- 現在の「理科」は、自然科学(物理・化学・生物・地学)の基礎を、観察実験を通して習得させる教科
  - 高度な内容、実験にくい内容、領域横断的内容、先端的で発展途中の内容は少ない
- 科学的リテラシーの育成を目指し、自然科学と科学技術との関連を重視した「理科」に多くの国が取り組んでいる
- 実社会の科学技術、資源エネルギー、環境、安全、健康などの諸問題について科学的理解を促し意思決定に参画できる市民となるための素養を身につけさせるのが、科学的リテラシーを育む「理科教育」

## 9. おわりに —カリキュラム開発上の課題—

- たとえ観察・実験の実施が困難であっても、科学・技術が関わる社会的に重要な諸問題(資源エネルギー、環境、健康、安全・災害、科学技術の発展等)については、すべての子どもに(必修内容として)一定の科学的理解を育む必要がある。電磁波や放射線に関する教育は、そうした内容に位置づけられる。
- 科学・技術を実社会や実生活の問題解決に役立てる学習は、現在主として「技術家庭科」で扱う内容である。科学的リテラシーを育む「理科」は「技術家庭科」との連携が必要である。そのような文脈では、原子力や放射線が諸問題の解決に役立つ学習や、安全・安心に役立てる学習は自然である。

# 学習指導要領の改訂と放射線の扱い



田中 隆一\*

## 1. はじめに

学習指導要領の改訂によって、来年度から放射線が30年ぶりに義務教育に取り入れられることとなり、これまで原子力教育の挿話的な存在だった放射線教育が注目されるようになった。

小学校、中学校、高等学校の各教科の学習内容は、学校教育法に基づいて学習指導要領に定められている。教科の選択が限定されている義務教育下での学習指導要領は特に重要であり、国民の知識基盤を形づくってきたと言ってもよい。

中学校の理科には、高等学校でいう物理、化学に対応する第1分野と生物、地学に対応する第2分野がある。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「内容の扱い」のなかで「放射線の性質と利用に触れること」という記述が加わった。「触れる」は「取扱う」よりも軽い指導ではあるが、様々な制約によって高校理科でも放射線が扱われにくくなってきた近年の状況を考えると、義務教育のなかに登場する意義は大きい。

学校の教科で放射線・放射能が教えられないために、自然放射線の存在を知らなかったり、どんなに微量でも放射線を怖がる学生や社会人が多数を占めている。このことが原子力についての国民のリスク認知に大きく影響していると考えられる。放射線教育フォーラムはこの問題の根幹である学校教育を改善するため、学習指導要領の改善についての具体的な政策提言を文部科学省に対して繰り返し行ってきた<sup>1)</sup>。この度の学習指導要領の改訂で放射線が取り上げられたことによって、その提言の実現に向けて一歩を踏み出したと考える。このことは、改訂によって新たに明示された「持続可能な社会」という教科横断的な学習目標とも並んで、エネルギー・

環境問題に関する総合的な判断力の育成にも寄与すると考える。

ここでは、中学校理科の学習指導要領における放射線の取扱いの変遷、中高理科の改訂のポイント、及び鍵となる「放射線の性質と利用」の学習内容の問題点を紹介する。

## 2. 中学校理科の学習指導要領における放射線の取扱いの変遷について<sup>2)</sup>

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。「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。放射線の応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礎概念がこの時期にすでに揃っていた。合理的な科学的精神の育成を目指す戦後復興期の意欲が感じられるが、当時はこの意欲を受け入れるに十分な教育環境ではなかったこと、学習内容が多過ぎて系統性に欠けるため、基礎学力の低下を招いたことが批判された。その結果、生徒の能力の発達段階に合わせた系統的な学習指導を目標として、1958年に学習指導要領が大きく改訂された。

この改訂では、アイゼンハワー米国大統領に

\* Ryuichi TANAKA NPO放射線教育フォーラム 理事

よる「平和のための原子力」の提唱（1953年）がわが国における原子力平和利用の着手を促したことを背景に、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。このように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）、それとは全く逆に、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たのである。

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」である。

そういうわけで、今回の放射線復活には二つの意味合いがあると思う。一つは原子力学習の一環としての、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、言わば科学技術的な復活である。今度の改訂で放射線が「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しい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。この両面からの認識が必要と考える。

### 3. 中学校理科の学習指導要領改訂のポイント<sup>(2)</sup>

改訂された学習指導要領に基づいた同解説では、「放射線は自然界にも存在していること、放射線は透過性を持ち、その性質を医療や製造業などにも利用していることにも触れる。」と記載されており、「触れる」という軽い表現ではあるが、ある程度は順序立てて学ばせるような指導がなされている。

中学校の新学習指導要領の実施については、学習内容が大幅に増える理科科に関しては移行措置がとられており、「放射線の性質と利用」の授業が第3学年の理科の新課程として本年度からいよいよ始まる。特に、第3学年の理科の授業時数は1.75倍に増える。しかし、原子力・放射線の学習が理科第1分野の最終項目として位置付けられ、気もそぞろな高校受験の時期とも重なることが、30年間扱われてこなかった放射線学習に影響すると思われる。授業実践への外部支援を含めて、放射線学習への障壁を低くする取り組みが望まれる。放射線教育フォーラムでは、放射線を授業で扱った経験がない理科教員でも授業実践に容易に使えるような教材等の作成に取り組んでいる。

### 4. 高校理科の学習指導要領改訂のポイント<sup>(2)</sup>

高校理科の現行課程では原子力・放射線は「理科総合 A」と物理Ⅱで主に扱われている。「理科総合 A」は必修科目ではあるが、歴史・地理などとともに高校の教科における未履修の問題が露呈して世間を騒がした。しかし、学習指導要領改訂によって、「理科総合 A、B」は廃止され、両科目の学習内容は中学校へ移行することになった。

物理、化学、生物、地学の領域については、現行では3単位科目が各領域に2つ（例えば物

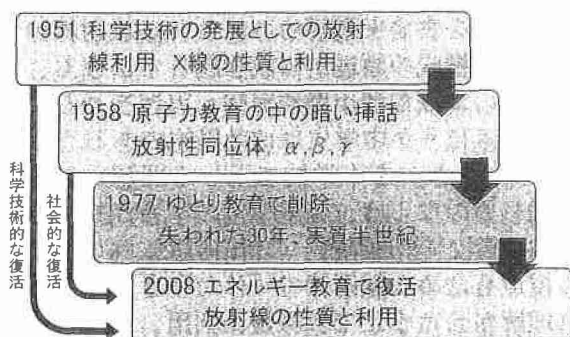


図1 放射線に関わる中学校理科の学習指導要領の扱いの変遷

理Ⅰ、Ⅱ)があるが、改訂によって「基礎」を付した2単位科目(例えば物理基礎)と4単位科目(例えば物理)に再編される。「基礎」を付した物化生地4科目については、必修科目数を増やすことによって、近年問題となっている大学生の理数基礎の学力低下に歯止めをかけたいという狙いがある一方、原子力・放射線を履修する生徒の割合を高める効果が期待されている。

新科目「物理基礎」の学習指導要領のなかでは、「原子力については、関連して放射線や原子力の利用と安全性の問題にも触れること」とあり、同解説で「放射線がその性質に応じて、医療、工業、農業などで利用されていることに触れること」と記載され、中学校理科の「放射線の性質と利用」学習から接続していることがわかる。

新科目「化学基礎」の学習指導要領のなかの原子の構造の項目で、「原子番号、質量数及び同位体を扱うこと。その際、放射性同位体とその利用に触れること」と記載され、同解説では、陽子、中性子等の大きさ、質量、電気量などとともに、電子や原子核の発見の歴史にも触れることの指導に加えて、「放射性同位体については、例えば、年代測定や医療などの利用方法に触れる」と記載された。原子力・放射線を化学の領域でも学ばせる指導は、物理領域を選択しない生徒は原子力・放射線を高校で学ぶ機会がなくなるといふ従来からの問題を改善することにつながると期待されている。

現行課程におけるもう一つの問題は、「物理Ⅱ」を選択した場合でも、その科目のなかの学習項目についてさらなる選択肢があるために、結果として原子力・放射線の履修率が非常に低くなっていることである。新学習指導要領に基づく「物理」ではこうした選択項目が必修化されたので、この問題は解消される。

## 5. 放射線の性質の学習内容について<sup>(3)</sup>

「放射線の性質と利用」のうち「性質」については、意外なことに、専門家の間や教師の間で、具体的に何を指しているのか、認識が共有されていない。また、放射線の利用も含めて、教科書、解説書、原子力広報等には放射線の基礎に関して誤解を生む記述が少なくない(詳細は参考資料(3)に記載)。執筆者の多くが「放射線の性質」に無頓着な傾向があるのは、放射線の基礎を学んだ過去において「放射線の性質」という基礎用語には多分出会わなかったこと、及び、原子力広報的な学習の影響で、放射線の

扱いが社会科に傾き、理科的な中味が希薄であったためと考えられる。「放射線の利用」だけならば社会科的な扱いでもよいかもしれないが、「放射線の性質と利用」とすることによって、まさしく理科の扱いとなったことに留意する必要がある。

「性質」には放射線学習の単なる基礎的内容が漠然と包含されるのではなく、なぜ、放射線が役立つか、なぜ、健康に影響するのかの理解、つまり、放射線の利用、影響及び線量の基礎的な理解を導くとともに、放射線の防護の基本的な考え方を学ばせる課程として、理科教員のために位置付けるべきである。「放射線の性質」の理解を中学校と高校を通して深めていくことが大切である。

以上のように考えると、中学校で教えるべき放射線の性質は、物質に対する透過性と「はたらき」あるいは作用でなくてはならない。これらは放射線の種類に依らない基本的な性質である。「はたらき」や作用が抽象的でわかりにくいならばとりあえず電離作用としてもよいが、電離に関する理解の問題は残る(詳細は参考資料(3)に記載)。学習指導要領解説において透過性のみが放射線の性質として例示された理由は、中学生に「はたらき」を物理的に正しく理解させるのは時期尚早と判断したためであろう。

解説書や広報パンフによく見かける象徴的な誤りは「透過作用」である。透過を漠然と「はたらき」と考えているならば、それは放射線作用に関する初歩的な無知を顕している。実は全く逆で、透過現象の本質はむしろ“はたらいていない”状態を表していると言ってよい。「はたらき」は放射線の本質である透過をむしろ妨げている。

X線検査による診断を可能にしている画像の濃淡は、身体中でのX線透過を妨げるはたらき(作用)の大きさの違いを表している。放射線学習の初歩的な段階では、作用の物理的な意味までは知らなくとも、透過しにくさをはたらきの大きさを表すと理解すればよい。放射線の性質を物質構成の原理から説き起こすよりも、X線画像のような利用例や実験・実習を通して理解させるほうが中学生には効果的であろう。

「はたらき」を中学校で正しく理解させるのが難しいのならば、線量単位の学習が指導されている高校「物理基礎」の新科目で、エネルギーの視点も含めた放射線の「はたらき」を物理的に理解させようとして、線量、利用、影響を扱うべきではないかと考える。ただし、「理科総合A」の教科書のように、「線量とは放射線の量



である」という明らかに間違った記述を、線量概念の正しい理解が難しいからと言って、新科目「物理基礎」でもそのまま見過ごすべきではないと考える。これでは何のために、「はたらき（作用）」を放射線の基本性質として学習させるのか分からなくなる。線量とは放射線それ自体の量ではなく放射線による作用の結果に関わるものであることを生徒に理解させるのは容易くはないかもしれないが、たとえ話によって理解できると考える<sup>13)</sup>。

忘れてはならないもう一つの放射線の性質がある。荷電放射線が電界や磁界の作用を受けることである。電流が電子の流れであることを学ぶ陰極線（クルックス管）実験が中学校2年で新たに指導される。電子の流れを速めれば電離能力をもつ粒子放射線になるので、電界や磁界の作用を同様に受けることは容易に理解できる。この作用によって荷電放射線の加速、偏向等の制御が可能となる。数兆円に達する人工放射線利用の経済規模の大部分がこの性質を活用して産み出されている。したがって、これは放射線利用の理科学習のために欠かせない放射線の性質であり、同時に、放射線の人工的発生源としての加速器について学ぶ最初のチャンスともなる。

因みに、光、力、電気、水溶液などを学習する場合も、放射線と同様に「性質と利用」というキーワードによる学習指導がされている。特に放射線に関して「性質」にこだわる理由は、放射線が他と異なって平明に理解されにくいからである。放射線の授業を始める前に、身近な光と放射線を比べて、放射線学習の視点から見た光の性質に触れることによって、放射線の性質の理解を助ける工夫が必要であると考え<sup>13)</sup>。

## 6. 放射線の利用の学習内容について<sup>14)</sup>

中学校理科での「放射線の利用」の授業は、子供たちが興味・関心を抱きそうな利用事例を学習させるだけでも大きな意義があるが、社会的な内容で終わらせないで放射線についての理解を深めることが特に高校理科では重要と考える。そのためには、放射線の性質がどのように利用されているかを理解させることが基本であろう。

「理科総合 A」の教科書等では「X線診断は放射線の透過を利用し、放射線治療は放射線の作用を利用している」という風にかかれていますが、適切とは言えない。診断は確かに透過の利用であるが、X線写真はそのコントラストを含めて作用の利用でもある。治療は確かに病変部

への作用を利用しているが、病変部までの放射線透過の利用でもある。はじめて放射線の利用を学ぶ生徒には、透過と作用の両性質を診断、治療どちらの利用の活かしているときちゃんと教えるべきである。このことはどんな放射線利用について当てはまる。中学生には、難しい物理用語を使わなくとも、両性質に着目することで放射線利用の基本を理解できる。

放射線利用事例は多様に分散し、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い。この意味では、科学技術と人間生活の多様なかわりという視点からの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発展学習にふさわしい。その一環として放射線を利用する産業施設や研究施設の見学が特に推奨される。医療利用は関心度が高く扱いが比較的容易であるが、認知度の低い工業・農業利用については、クルマ、パソコン・ケイタイなどの日常生活、病気の感染防止、非破壊検査、食品安全などにおけるような安全・安心、放射線の高度な制御性を活かしたナノテクノロジーなど、社会とのつながりを意識した多角的な視点からの扱いの工夫が重要であると考え<sup>14)</sup>。

メリット・デメリットへの関心は原子力発電や新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それ自体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。しかし、大部分の放射線利用は独特の制約はあるにしても市場競争下にあり、メリット・デメリットは個々の利用事例が関わる市場に依存するので、業界内の狭い話になり易い。これを避けるために筆者は放射線利用一般に共通するメリット・デメリットを示すことにしている。それによって放射線の包括的な特質を最も的確に把握させることができるが、中高生にとっては難しいという問題が残る<sup>14)</sup>。

メリット・デメリットと並んで、リスクの視点も教員の関心事である。放射線施設がいかに厳重に安全が確保されているかについての学習は放射線利用の学習に欠かせない。特に放射線利用施設の見学では、安全・安心の観点が最も重要なポイントである。医療、産業及び学術分野での利用施設は、原子力施設に比べれば見学が容易なので、放射線に対する安全の確保について見学時に実際に学べる貴重な機会である。

放射線利用には3つのリスク（危険の可能性）、すなわち、①利用事業に伴う職業的な従事者と

周辺住民の放射線被ばくリスク、②放射線によって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に関わるリスク、及び③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がある。理科の先生方には、これらのリスクへの対応を分かり易く理解させる必要がある。③については、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。

## 7. 学校教育への支援について<sup>(5)</sup>

中学校理科における放射線学習を30年ものブランクから立ち直らせ、学校教育の中に浸透させるためには、理科教員や学校側の当事者努力に加えて、外部からの様々な支援が必要である。特に、自然放射線・放射能を利用する実験・実習については、生徒が放射線・放射能を身近なものとして体験的に学べる最も有効な学習手段であるが、放射線の授業で実験・実習を実施した経験がない教員にとって、自己研鑽のみによってそれを実行するのは難しい。加えて、教科以外の様々な指導に忙殺されている中学校教員にとって、種々雑多な放射線に関する情報をもとに、教育課程に沿った授業計画を立案するのは、放射線を教えた経験がある教員にとっても大きな負担となるのではないと思われる。放射線についての様々な予備知識を吸収することによって授業実践に備えるよりも、授業に直ちに利用できるように手軽な教材に関心が向く傾向にあるのは、こうした実態が背景にあるためであると考えられる。

原子力についての授業のなかで放射線を取り上げること自体にためらいを感じる教員にもよく出会う。その場合は、原子力よりも古い歴史をもつ放射線の利用から始めて、関連する自然放射線の体験学習等の後に原子力について教えるように授業を組み立ててみてはどうでしょうかと提案してみることにしている。エネルギー資源の項目は学習単元として独立しているのではなく、科学技術と人間生活とのかかわりの単元のなかで扱われていることを留意すべきである。

学校教育への支援をいかに広げていくかであるが、教員との間で密なコミュニケーションがとれる専門家は、時間的な余裕のある退職した我々のようなシニアであろう。個々のシニアがばらばらにボランティア活動するのではなく、地域毎にネットワークを組織して支援活動を企画・運営する仕組みが望ましい。その場合、教

材の準備や調達を含む企画・運営等の支援活動に関係機関・施設とも連携して行えるようにするべきである。現状では、放射線分野の意欲あるシニアを積極的に掘り起こし、効果的に活用できる方向には進んでいるとは言えない。また、支援受け入れに伴って課せられる担当教員の業務負担を軽減するシステムが学校や教育行政に求められる。

教員研修等に関する国の支援事業は、省庁間の縦割り解消の方向で全体としては事業縮小の方向で見直されている。組織や財政の基盤が弱いボランティア組織が生き残っていくのは、非政府、非営利の機関の自主性を重視している現政権の狙いとは正反対に、容易ではない環境となりつつある。国だけでなく地域毎の自主的支援活動を地域の教育行政機関とも連携して行えるようなネットワークの構築が望まれる。

来年度から始まる中学校での放射線教育がどのように展開していくかは筆者にも予測がつかない。とりあえず授業実践の始動状況や新学習指導要領に基づく中高の教科書記述の傾向を把握しながら、支援対策を具体的に考えていく必要がある。

### 参考資料

- (1) 松浦辰男、放射線教育に関する課題と今後の在り方、FBNews No.376、2008 p155 (榊千代田テクノル)
- (2) 田中隆一、新学習指導要領と放射線教育(1)、JAPIニューズレター Vol.13 No.1 p6 (放射線照射利用促進協議会)
- (3) 田中隆一、同上(2)、JAPIニューズレター Vol.13, No.2, p7
- (4) 田中隆一、同上(3)、JAPIニューズレター Vol.13, No.4, p6
- (5) 田中隆一、同上(4)、JAPIニューズレター Vol.13, No.5, p6

### \*\*\* プロフィール \*\*\*

1964年東京工業大学理工学部物理科学卒。  
日本原子力研究所で放射線物理の研究、放射線の計測や工学の研究開発に従事。専門研究分野は高レベル放射線量計測及びイオンマイクロビーム技術。研究以外の業績はイオンビームによる放射線高度利用研究の推進及び加速器施設の建設整備。1999年日本原子力研究所高崎研究所長。ビームオペレーション株式会社代表取締役を経て、現在はNPO法人放射線教育フォーラム理事。教育に関わる主な取組み実績は、日本社会における放射線忌避の伝統文化的な考察及びエネルギー・環境・原子力問題に関する中高の社会教科書における記述の偏りの調査研究。現在は学習指導要領改訂に端を発する中高の理科における放射線の扱いの調査研究に従事。



## 小学校において原子力・放射線教育は可能か



杉山 憲一郎(すぎやまけんいちろう)

北海道大学大学院工学研究院 教授  
1972年、北海道大学工学研究科機械工学専攻修士課程修了。以来、北海道大学においてナトリウム実験を中心に液体ナトリウム冷却型高速増殖炉の熱流動・安全性研究に従事。現在、日本エネルギー環境教育学会副会長

航空学の父とよばれた Karman は、自伝で一般市民が定期便プロペラ機の利用を始めるまで、彼の母親は息子が大きく貢献した航空機に対して信用を置いていなかったと述べている。原子力技術者の家庭でも、家族が原子力に対して恐怖感を持っている場合が多いと聞く。原理が高度で、身近に存在せず、恩恵が実感できない技術に対する一般的な反応である。特に、原子爆弾による広島・長崎のイメージが強い日本ではそうである。

高度な科学技術で社会が成り立ち、資源・環境制約が大きい21世紀を生きる児童・生徒・先生達には、原子力・放射線の教育は必須である。テレビ・新聞情報に惑わされることなく、自分達に必要なエネルギー資源をグローバル社会でどのように確保していくか、主権者として日本の方向をどう定めていくのか、これらの課題は現在の文部科学省・教育委員会に任せておいて解決できる問題ではない。専門家が学校教育現場との対話を通して、原子力・放射線を含めたバランスの取れたエネルギーの基礎・基本情報を提供し、協力していかなければ解決できない課題である。

児童・生徒へのエネルギー基本情報の提供が如何に重要かを、再生可能エネルギーで注目されている風力発電を例に述べてみる。デンマークの風力発電が消費電力量の20%近くを供給していることは、マスコミ報道のお陰で日本国民には周知のことと思う。しかし、デンマークの1次エネルギーの構成比と人口を聞かれて即座に答えられる日本国民は皆無ではないだろうか。石油44%、天然ガス21%、石炭21%、再生可能エネルギー14%である。化石燃料の構成比では、日本の構成比と大きく異ならない。小学校中・高学年で日本のエネルギー構成比を教えられていれば、この種の報道に対して、賢い児童は先生・親達に再生エネルギー以外の構成比について質問し、二酸化炭素放出量に関心が向かう。

酪農国であるデンマークでは陸上の風力発電は限界に達し、洋上発電に移行しようとしている。デンマークの沖合は水深10~25mの岩盤で、漁業補償問題がないなど条件に恵まれている。緯度的には大西洋側から安定した偏西風が吹き洋上も含め風力発電には適している。一方、現在すでに北海油田からの供給量が減少しており、

適切な情報が提供されている中学生であれば、日本と比較しデンマークの将来の課題も議論できる。

もう一例を述べたい。ルノー・日産連合は、2008年10月、蓄電技術・充電設備・法人／個人向けサービスで豊富な経験と知識を持つフランス電力(EDF)とゼロエミッション車実現で覚書に調印した。さらに、2009年11月には、フランス原子力庁(CEA)およびフランス戦略投資基金(FSI)と電気自動車用バッテリーの開発・生産を行う合弁会社を設立するための同意書に調印した。ルノー・日産連合はすでにイスラエル、デンマーク、ポルトガル、米国テネシー州、神奈川県とこの技術でパートナーシップの関係を築いている。エネルギー自給率が8%と低いフランスでは原子力発電が80%近くを占め、隣国へ電力を輸出している。フランスでは夜間電力を有効利用すれば、well-to-wheelのゼロエミッション車の世界モデルを作り上げることができる。そんなに原子力発電に依存して良いのか。高レベル放射性廃棄物が溜まり最終処分はどのようにするのかという質問が日本では出てくる。フランスでは再処理工場が順調に操業を続け、最終処分場もほぼ決まっている。また、一般のフランス人は自国の原子力政策が21世紀の世界モデルになり得ると感じている。小学生でもわかるモーターのみの電気自動車の話題で授業展開ができたとすれば、日本の最終処分場の問題も前進するのではないだろうか。

次世代教育の緊急・必須情報をもう一つ。サウジアラビア、クウェート、バーレーン、カタール、アラブ首長国連邦、オマーンが作る湾岸協力機構は、2006年11月に原子力利用を宣言し、アラブ首長国連邦はすでに韓国とそのプロジェクト契約を結び具体的作業に入っている。サウジアラビアも間もなく具体的な建設計画を公表しプロジェクトのパートナーを決めるはずである。世界市場に出回っている油の2/3が重質油と言われており、温暖化・環境対策の観点から、重質油の利用はコストがかかり市場性は減少する一方である。最大の産油国のこのような動きは何を意味するのであろうか。児童でもわかる。

日本の児童・生徒は、二酸化炭素などの温室効果ガスによる気候変動問題への大きな関心から、1回の授業が

用意されれば、原子力の必要性は理解する。現状の日本の教育では、小学校の国語の時間に広島・長崎の原爆による悲劇、すなわち、放射線の恐ろしさを学ぶが、その後、放射線の量によるリスクの大小を学ぶ機会はない。そのため、放射線がある環境はリスクあり、放射線がない環境はリスクなしのON-OFFの判断のみとなる。

今春、北海道大学の新入生約50名を調査しこのことを確認した。自然放射線の存在に対する認識は皆無に近く、放射線は微量でも危険と感じている。ラドン温泉のラドンは放射線を出しているが皆さんはなぜラドン温泉に入りたがるのかと質問をすると回答に困る。上記の国語の時間における原爆の悲劇に加えて、社会科の時間に原子力の危険性のみを学ぶ機会も多い。このような継続的な学習により、放射性物質を多量に内蔵し発電中も含め放射線を放出している原子力発電所は危険であり、大地震が発生した時、本当に大丈夫だろうかと心配している。

新学習指導要領の中学校3年理科の最後で、水力、火力、原子力などのエネルギーを有効に利用することの重要性、原子力発電では放射線が出ること、自然界には放射線があることを教えることが明記された。中学校の理科の教員に聞くと、高校受験の前であり受験問題には出ないこの単元を教える教員は例外を除いていないと回答される。相当数の教員に機会あるごと聞いたが、回答は同じであった。また仮に教えようとしても、先生自身が放射線教育を正規に学んでいないため、生徒が納得する授業展開は無理であるとの回答が圧倒的に多い。新学習指導要領でエネルギー変換を教えることになっている中学校の技術についても、技術を専門とする複数の先生に聞いてみた。回答は想像外であった。高校受験に関係がないため、各学校に通常1名が配属されている技術科の先生がその学校で教える技術の分野が、その学校の技術科になっているとのことである。つまり、先生の好みで何を教えても良いという訳である。

新学習指導要領では、ガイドラインの主旨を理解し、より効果的に授業を行い、持続可能な社会構築のために主体的に情報を収集し、考え、積極的に社会参画できる能力と態度を身に付けた児童・生徒を育てることとなっている。資源に恵まれず、技術により外貨を稼ぎ成り立っている日本では人材育成がすべてと言ってもよい。受験だけが優先される現在の教育現場の実態を知って愕然とした。最近の就職難で、失業がなく安定した職業として教員希望者は多い。しかし、現状の中等教育では21世紀型の原子力を含むエネルギー教育に興味を持ち、情熱を燃やす若手先生を育てることは難しいと感じる。

1990年代後半は、エネルギーを含めた資源はお金を出せば買えるもの、東側ブロックは崩壊し世界的な核戦争の危機は去り、21世紀世界はバラ色に見えた。しかし、

ソビエト崩壊から10年後に見えてきたものは、新興国の著しい経済発展である。資源制約・地球環境的制約を前提とした持続可能な社会の構築のため、原子力・放射線教育を小学校で必須にできないだろうか。

以下では北海道での原子力・放射線教育の取組みの一端を紹介する。新学習指導要領の小学校4年生社会科では、くらしを支える飲料水・電気・ガスから一つを選ぶ学習単元が用意されている。当然、水に恵まれている日本では豊かな生活を支え、二酸化炭素を多量に出している電気を学んでほしいと思う。実態は全国的に飲料水が選択されている。なぜか、この種の単元では各教育委員会は副読本を作らなければならない。頼るべきは市町村の環境部であり、目で見てわかる上水道の副読本となる。電気会社に副読本作成の助言を求めたとしたらどうなるだろうか。副読本が発行されるや否やガス会社からガスの副読本も作って下さいという要求が来る。この煩わしさを避ける観点からも発行できるのは飲料水副読本という訳である。

北大エネルギー教育研究会では、次世代に北海道の生活を支える電気エネルギーを理解してもらうため、くらしを支える電気を学ぶ単元の指導案を提案し、副読本「北の電気ものがたり」を試作した。全道の約1,200校の小学校に配ると共に、全道54校で試行実践を行って頂いている。北海道の電源別発電量に加えて、小学校の先生達の要望で原子力発電の原理と安全の基礎およびMOX燃料サイクルの絵を入れた。また、教員メンバーの繋がり、札幌市環境教育副教材(5,6年生用)に本年度から採用され、市内約200校に配布された。札幌市内の小学校高学年の児童の手元に、初めて、電源別で発電所のおおよその場所と数、電源別での発電量、日本のエネルギー自給率等の情報が渡った。再生可能エネルギーである水力発電所は、数は多いが発電量は少ない。原子力発電所は1か所で発電量が大きい。児童にとっては興味深い事実であり、今後の学習に繋がる。

小学校6年生理科「生きていくための体の仕組み」の単元では、放射線可視化画像を活用した学習指導案を提案した。放射線が病気の早期発見や歯の治療に役立っていること、X線検査に用いる放射線の量は自然界からの量に比べても小さく、原子爆弾で亡くなった人たちに比べて桁が大きく違うことが学べる。小学校で、広島・長崎の悲劇と共に、放射線の危険性(リスク)は量によることを無理なく学べることは重要である。加えて、日常生活でのリスクが学べる学習指導案が全国で使われるようになれば、原子力・放射線に対する認識が変わっていくと信じる。さらに詳しい情報に興味のある会員は以下のHPにアクセスして頂きたい：[http://www.hkd.meti.go.jp/information/sigen\\_energynekan.htm](http://www.hkd.meti.go.jp/information/sigen_energynekan.htm)

(2010年 8月4日記)



## 講座

## 「放射線教育現場における難問」

## 放射線の飛跡を観察する

大野 新一\*

放射線セミナーで難しいあるいは退屈な講義が一段落した後で、受講者がひときわなごやかな雰囲気包まれるときがある。霧箱の手作りキットがめいめいに手渡され、プラスチックの容器にあてがって薄いアルミニウム板をはさみで切ったり、孔をあけたり、アルコールを注入したりする。指導者の指示にしたがっていると、横からライトで照らされた薄明かりの中でやがて細い蒸気の線がさっと現れてそして煙のように消え、つぎつぎと現れては消える。見えている時間は1秒もなく、長さは数センチもあろうか。なんとも心もとない情景を体験する。もっとはつきりさせたいと思ううちに予定の時間が終わってしまう。しかしこんなもので放射線の通った道筋が観測されるのだから大した物だと感心させられる。工夫されたかたがたに敬意を表したい。キットの完成品を図-1に示した。

## 原子力科学館の霧箱

どこにでも見られる簡単な材料を利用して誰でも作ることのできる霧箱は驚きであるが、その一方でプロフェッショナルと言える製品が見せてくれる景観のすばらしさは格別である。

日本原子力研究所東海研と道路を隔てたところにある原子力科学館の霧箱もその一つである。幅1m、奥行き1.5m、深さ0.5mほどのガラス製の容器が常時運転状況にあって、それを上から覗くとおびただしい数の飛跡がみられる。(写真-2)多くの飛跡は白い糸のような雲がずっと現れてはそのまま一定の速さで下降して消える。下降し

つ少し線が太く成長するようではあるが、2、3秒で底の暗闇の中に消えてしまう。その数およそ百本もあろうか。同時にところどころで数cmの長さのやや太い線が現れ、これも同じ速度で下降するから、ちょうど小さいカーテン状の膜をつくる。10分も見ていたら、突然、太い長い線が箱全体を駆け巡った。そのほかには糸でも線でもない小さいつぶつぶの蒸気がやはり同じ下降速度で降りていくのに気付かされる。容器の向い側から4個の車のヘッドライトのような照明がこうした蒸気を照らしていたのだ。容器の上蓋のガラスに手で触ると暖かい。4、50度であろうか。説明パネルをみると、真っ黒くしてある容器の底はマイナス50度Cを保っているという。

## どのようにして霧が現れるのか

机の上に静かに置かれたコップのなかの水も、内部ではたくさんの水分子が互いに引き合っていてそのために凝集している一方で、激しくうごめ

すきまパットを容器の内側に、ガラス蓋をして密封する。アルコールをしみ込ませる

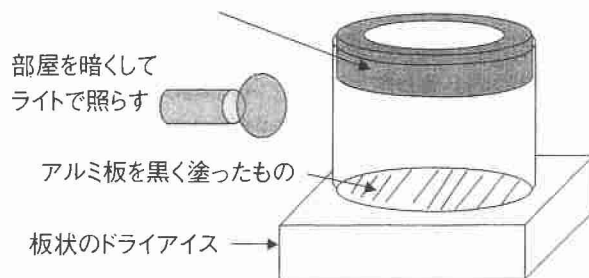


図-1 手づくりキットによる霧箱の完成図 (参考文献1より)

\*放射線教育フォーラム・理論放射線研究所 Shinichi Ohno

いている。そして温度によって水分子の運動エネルギーの平均値が決まる。しかし個々の分子のエネルギーは大きいもの小さいものさまざまに分布をしている。そこで特別に大きい運動エネルギーをもった分子がとなりの分子との引き合う力を断ち切って水面から外にとびだすものがでてくる。これが蒸発である。コップの上を密封しておけば飛び出した分子は空気分子と衝突を繰り返しているうちにまた元の水相に吸収されてしまう。水相からでるもの戻るもの、それらが平衡状態にあるときに、気相に存在する水分子の数は温度が高いときの方が低いときに比べて多い。これは水の蒸気圧は温度とともに上昇するという。

つぎに特殊な水面として、極めて小さい水滴だけからできている水からの蒸発を考えよう。液体内部では、どの分子も周りの分子から引きつけられそれらの合力はゼロであるが、表面にある分子は内側からのみ引きつけられるので水滴の表面積はできるだけ小さくしようと球状になる、あるいは表面張力が働くという。言い方を変えると、水滴は大きくなろうと表面を新しく大きくするとき余分のエネルギーを必要とする。極小の液滴（たとえば1 nm程度の半径の球）はより大きい液滴よりも速く蒸発してつぶれてしまうと言える。このことはKelvinによってはじめて研究され、実験的にも「非常に小さな液滴の蒸気圧は多量の液体の蒸気圧よりも高く、また同様に小さい固体の溶解度は大きい固体の溶解度よりも大きい」事実とされている。

以上の2点から霧のでき方を調べてみる。水蒸気を含んだ暖かい空気が地上から上昇をはじめると気圧が低くなって急に膨張する（断熱的な膨張）。すると温度が低下して、蒸気圧が下がり、ついに存在する水分子の濃度がその温度における蒸気圧よりも高くなる（過飽和の状態）。すぐに2、3個の水分子から始まって水滴の形成が起こるかというそうではなく、Kelvinの式から予想されることが起こる。数オングストローム程度の微小水滴は蒸気圧が高く熱力学的に成長できないのである。では霧や雨滴はどのようにしてできるのか。それは大気中に存在する0.1から1 μmのさまざまなサイズの粒子（エアロゾル）の大きな面積に向けて凝縮することによって可能となる。さらに重要と考えられることは、エアロゾルが水滴の凝結を

促進するような物質を含んでいるときである。たとえば海水のしぶきでできる海塩粒子や硫化アンモニウム粒子など、水溶性の場合の蒸気圧は低くなるので水滴へと成長する。さらにエアロゾル粒子が電氣的に中性でなく、正または負のイオンのときも水分子との間で静電的な力が働いて水滴の成長がすすむ。

このような水滴の核の数が多く水蒸気量がそれほど多くないときは霧のように細かい多数の水滴ができるが、核が少なく水蒸気量が多ければ大粒の雨となる。

### 自然放射線はどこから来るのか

宇宙のかなたから降り注ぐ大きいエネルギーの宇宙放射線がある。つぎに地殻にわずかながら含まれているウランやトリウムが原子核崩壊する途中で生成するラドン（希ガスなので岩石あるいはコンクリートなどから空気中にでてくる）が崩壊するときでるアルファ線がある。本誌96号で示したように、ラドン222は地殻から遊離して室内で0.7 mGy/年の被ばく線量と計算された。これは $0.3 \times 10^{-10} \text{ J/s} = 10^8 \text{ eV/kg} \cdot \text{s}$ なのでおよそ1リットルの空気中では10秒に1個程度の1 MeVアルファ線が観測されることになる。フィルターでろ過した大量の空気に含まれていたダストを用いればそれだけ多くのアルファ粒子が得られる。

太陽から来る宇宙線はMeVエネルギーの電子線と陽子線であるが、いずれも地球磁場の影響で地表面までは到達しない。問題となる宇宙線は太陽系外からやってくる高エネルギー粒子である。90%は陽子であり、そのエネルギースペクトルは $E^{-2.7}$ であらわされる。たとえば $10^{20} \text{ eV}$ もの陽子は $1 \text{ km}^2$ あたり年間で1個程度であるが、 $10^{15} \text{ eV}$ ほどの陽子であれば $1 \text{ m}^2$ あたり毎秒1個程度である。大気の厚さは10 km、水の厚さに換算して10 mであるから、高エネルギー陽子は大気突入後に空気の原子核に衝突してはげしい核反応を起こす。もっとも普通には原子核中の核子との衝突によって多数のパイオンを発生する反応である。反応の激しさに応じて数個のパイオンがスター状に発生する場合、シャワー状に発生する場合、カスケード状に発生する場合、前方向に集中してジェット状に発生する場合などが知られている。発生したパイオン（湯川中間子とも呼ばれた）のうち

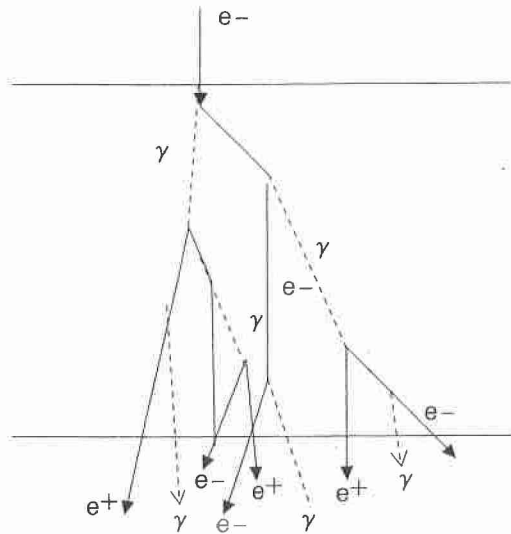


図-2 カスケードシャワーの過程

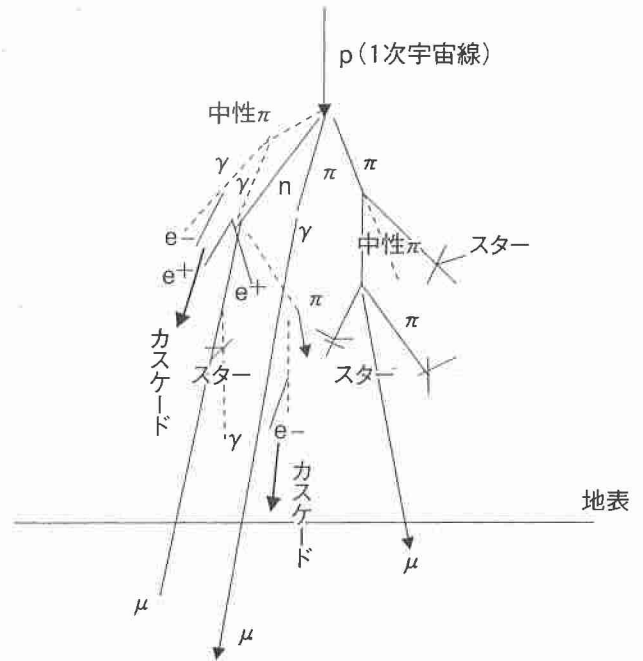


図-3 1次宇宙線のプロトンから2次宇宙線のできるまで。1個の陽子から膨大な数の2次粒子が生成されるが地表まで到達して霧箱で観察されるのはミューオン(ミュー中間子)と電子・陽電子である。

中性のものはすぐに崩壊して2本のガンマ線に崩壊する。またプラス・マイナスの荷電をもつパイオンは飛行中にミューオンとニュートリノに崩壊したり、あるいは別の核に衝突して核を破壊する。生じたミューオン(ミュー中間子)は核とは相互作用をしないので透過性が高く大気層を通りぬけ地中にまで侵入する(図-3)。電子と2つのニュートリノになる場合もある。電子は制動放射でガンマ線を発生し、ガンマ線がまた電子対生成を行ない、それが交互に繰り返されたりする(図-2)。いろいろなことが絡むので複雑ではあるが、大気上層部から宇宙線強度の測定を始めると、下に降りるとともに増殖(シャワー)により強度は増加するがもっと下降すると今度は1個1個の粒子のエネルギーが小さく分割されるので、あるところから空気による減衰が効いてきて宇宙線の強度は減ってくる。結局、地上での二次的な宇宙線の組成は、ミューオンが75%、残りは電子・陽電子の25%、ほかにパイオンや陽子も見られる。飛来頻度は10平方cmあたり毎秒2個程度といわれている。

**霧箱内の放射線**

手づくりキットの霧箱では、上部は室温、底面はドライアイス温度、5-6cmの間隔で温度差が100度である。箱内空気の上部にエタノール蒸気を注入すると底面の温度ではエタノールが凝結す

る。途中のある領域では、エタノールの蒸気圧がそのところの温度の蒸気圧よりも高く、きっかけさえあればエタノールが凝結する状況にある。もちろんホコリなどは入れないでおく。この領域に放射線が通過すると通路近くの空気、たとえば窒素分子がイオン化を受け、すぐに隣の窒素分子と反応して $N_4^+$ イオンができる。このイオンにアルコール分子や水分子が静電力で引き寄せられて急速に霧滴が成長する。やがて重力によって落下を始める。アルコールの霧滴の大きさは $1\mu m$ 以上と思われる。可視光線の波長 $0.5\mu m$ 以下では横から光をあてても見えない、あるいは見えても青みがかかるはずであるが白く光るので可視光が散乱されている。数MeVのアルファ粒子は空気中の飛程が数cm、光速の1%の速さで通過すると $10^{-8}$ 秒で瞬間の出来事である。1個のイオン対をつくるのに30eVを使うのでこの数cmの飛跡のなかにおよそ10万個のプラス・マイナスのイオンができている。それらがすべて $1\mu m$ から $0.1mm$ の間の大きさの粒子を形成して一定の速さで霧箱内を落下しつつ底面に触れて消失する。アルファ線のでる方向はランダムのはずなのに横方向に走る飛跡

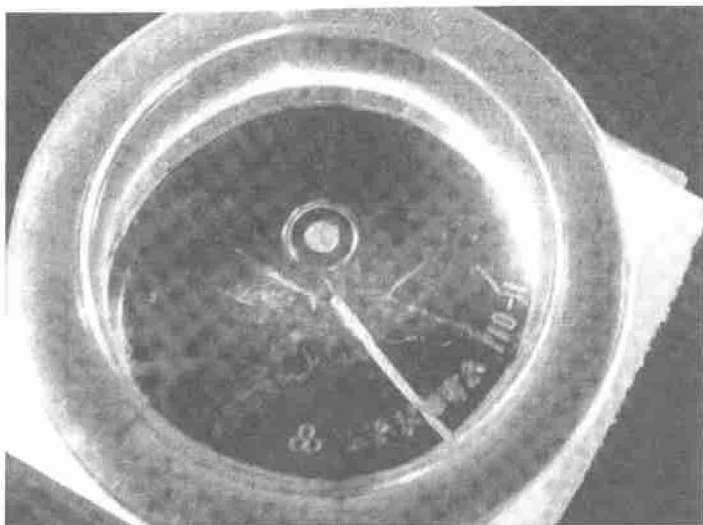


写真-1 手づくりキットによるアルファ線の観察。放射線利用振興協会の千田氏撮影。

だけが見えるのは霧のできる領域が狭くたぶん霧箱の下部の1cmの間に限られているためであろう(写真-1)。

原子力科学館の大型霧箱では上部は40度ほどに加温されてメタノールが絶えず送りこまれ、下部はマイナス50度ほどで霧のできる領域は10cmほどでそれだけ落下する飛跡が長時間そして太い飛跡となって観察できる。手づくりキットのほうは水平方向に発射されるアルファ粒子だけが見られるのに、大型霧箱では天井からたくさん降り注ぐ宇宙線のシャワー(電子線)の飛跡がすべてみえるので壮観である(写真-2)。

### 気象学者ウイルソンの霧箱

1869年エディンバラ近くで生まれたC. T. Rウイルソンはマンチェスター大学で学び、後にケンブリッジのキャベンディッシュ研究所で所長のJ. J.トムソンのもとで研究した。登山好きのウイルソンは、山なみを越して行く風のなかに雲が生まれまた消えるのを眺めながら、霧箱のアイデアを思いついたのだという(参考文献2、p.96)(図-4)。ウイルソンの業績とその後の霧箱の改良については、坂内氏のレポートを読まれることをお奨めしたい<sup>5)</sup>。1894から1895年にかけて、大気中での霧の発生、雨滴の生成に関心をもち、ほこりなどの凝結核の存在、雷などの電気との関係を研究していた。X線の発見に続いてトムソンが行なったX線照射された空気中でのイオンの生成に注目し、

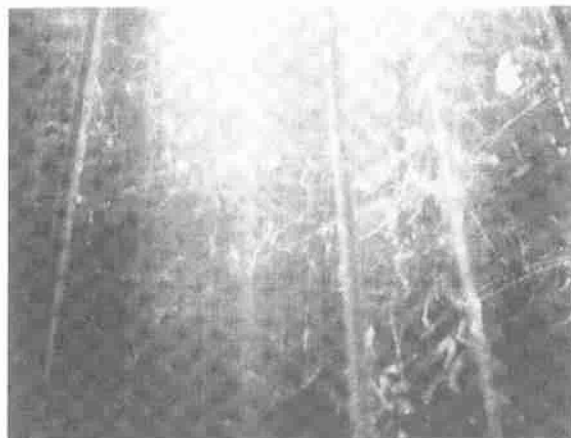


写真-2 大型霧箱による自然放射線の観察。原子力科学館パンフレットより転載。

湿った空気にもX線を照射して濃い霧をつくり、イオンと霧滴成長の関係を論じた。

きれいな箱の中に空気またはアルゴンを水蒸気(アルコールのこともある)とともに入れておき、急速(0.01秒内)に容器を膨張させる。膨張にはゴム板を使う。すると断熱膨張で容器内の温度が下がり放射線通過によって霧滴が成長(0.1秒)する。飛跡を写真撮影する<sup>2)</sup>。放射線通過を検知してからゴム板膨張のトリガーをかけるまでの時間、膨張比、撮影までの時間遅れ、容器内のガス圧、温度など十分に条件を整えてから実験を行なう。また本質的なこととして、霧箱を強い磁石の中におき飛跡の曲がり具合を観察して荷電粒子の運動量を、飛跡の太さから粒子の速度を、両方のデータをあわせて粒子の質量を求める。霧箱の中にいろいろな厚さのいろんな物質の層を挿入しておき、その物質と高エネルギー粒子との反応を研究することなどである。

### 核物理学の発展に貢献した霧箱

X、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 線の本性は発見されて間もない1900年前後に解ったのと比べて、1911年に発見された宇宙線の素性はわかりかけたのが1930年代、おおよそわかったのは1950年代といわれる。それは宇宙線のエネルギーが自然放射線のエネルギーよりも桁外れに大きいためであったといえる。通常の核破壊どころか、素粒子の破壊も起こし、複雑で内容豊かな物質構造の基本の問題を提供し

てきたのである。こうした宇宙線、その反応生成物の通った道筋を見せてくれたのが霧箱であった。アルファ粒子と原子核との核反応、人工放射性元素の合成、陽電子の発見、宇宙線からのパイオン、ミューオンの2種類の間接子の発見など枚挙に絶えない。

**写真乾板**

普通の写真乾板でも放射線があたると感光するが、原理は放射線通過によりイオン化した写真乳剤中で臭化銀から銀粒子が析出する。木下秀雄が1911年頃にこの方法を用いてアルファ粒子の飛跡を顕微鏡でとらえた。霧箱に比べて感度が悪く、たとえばベータ線は観察できない。感度をあげるには乳剤に大量の臭化銀を加える、銀粒子の粒を小さく揃える、乳剤の厚さを増すなどの工夫をしたものが原子核乾板とよばれる。こうして陽子、中間子の研究に使われるように改良されて次第に霧箱から写真乾板、さらに液体泡箱の使用などへと移り変わってきた。液体泡箱というのは、水素ガスの凝結でなく液体水素の沸騰のさいに、イオン化が沸騰のきっかけになることを利用して荷電粒子の通り道を観察するものである。飛程の関係で高エネルギー粒子の研究に霧箱にとって変わっている。また核物理の研究も宇宙線による研究から便利な加速器による研究へと移ってきたが、それは1950年ころ、とくに米国で発展した加速器を用いてパイオンが発生できるようになったころかと思われる。

**スパークチェンバー**

科学教育用としてよく見かける宇宙線観察装置「スパークチェンバー」も宇宙線の飛来を実感するのに適している。阪大の福井宗時氏の開発された装置である。装置の構成を図-5に示す。

放電箱は何10個という薄平たい放電ユニットを積み重ねたもので、各ユニットは上下の面がアルミニウム電極面となり、間にヘリウム気体が詰められている。全体の放電箱を宇宙線が通過すると、まず放電箱の上下にあるシンチレーターが光りその信号を光電子増倍管と同時計

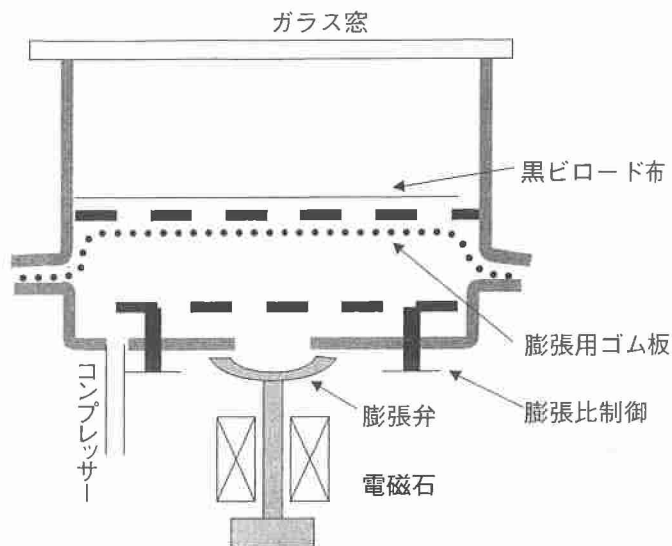


図-4 研究用として使われてきた霧箱(参考文献2より)。この図の場合では、コンプレッサーで加圧しておいた容器を電磁石で膨張弁を開け、膨張用ゴム板を予め決めた位置まで引き下げて断熱膨張させる。

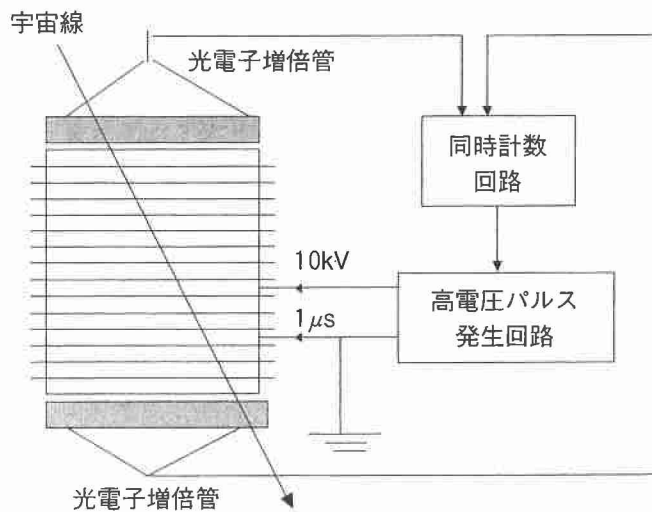


図-5 スパークチェンバー  
上下2枚のシンチレーターを光らせて宇宙線の飛来をキャッチする。2つの信号が同時に作動する時だけ10kVの短パルスが発生して多数並べてある放電管ユニットに印加され、宇宙線通路に生成したイオンの引き金によってそれぞれの場所で放電が起こって宇宙線の通り道が分かる。

数回路を経て宇宙線の飛来を検出する。上下2つのシンチレーションカウンターが同時に信号をキャッチしたときのみ作動する。この信号で高電圧



が1  $\mu$ 秒程度の短時間だけ発生して各ユニット放電箱の電極に送られる。宇宙線が通過した付近のヘリウム中で生成したイオンがきっかけとなって放電を起こすので全体として宇宙線の通過経路が観察できる。

### 飛行機雲と電子線排煙処理

飛行機から排出される燃焼ガスを核として水蒸気が凝結して青く美しい大空に飛行機雲が長く伸びていく様はいつ見てもいいものである。氷点下29度以下のときに発生し、すぐに消えることもあるし、いつまでも消えずに大空を流れていくこともあるという。

石炭燃焼のさいの排ガスは、空気、水蒸気、二酸化炭素が主成分ではあるが、この他に酸化硫黄や酸化窒素などの環境有害物質も含まれている。

電子線ビームを照射して排ガス気体中にイオンをつくり、それを核として環境有害物質を取り込んだ大粒の粒子を効率よくつくって沈殿させて分離除去させる技術が知られている。小さな霧箱、雷雲、宇宙線、飛行機雲、火力発電など思いをめぐらせて互いの関連に注意するのも楽しいものである。 ■

### 参 考 文 献

- 1) 油井多丸：簡易型霧箱キット(原子力体験セミナー)(2001)放射線利用振興協会
- 2) 小田 稔：宇宙線、物理学選書5，裳華房(1972)。
- 3) 朝永振一郎編：宇宙線の話、岩波新書383。
- 4) 佐藤文隆：光と風景の物理、地球と宇宙の物理1，岩波書店(2002)。
- 5) 坂内忠明：霧箱の歴史、放射線教育、4，p.4(2000)。

講座

## 「放射線教育現場における難問」

## Gy (グレイ)とSv (シーベルト) の理解

大野 新一\*

大学や専門学校の放射線にかかわる授業のなかで、また一般社会人、あるいは技術者を対象とする放射線利用セミナーなどで、Gy (グレイ) と Sv (シーベルト) ほど粗雑な取り扱いをうけている用語はないのではなからうか。大方の説明は、物質が放射線から吸収するエネルギーをJ/kg単位であらわし、その単位をGy (=J/kg) とよぶ。人体に対する作用はエネルギー吸収量だけでなく放射線の種類によっても異なるので、Gy単位にさらに経験的に決められた係数をかけ、その場合にはSv (=J/kg) を使う。少し丁寧な講師は、GrayさんやSievertさんの名前を出したり、0.01 Gyがかつての単位1rad (ラド) であるなどといった年老いた教師はなつかしみ、また時間をかせぐ。しかし私が経験した範囲でいえば、こうした教師 (講師) は良心的ともいえる方々であり、大部分の講師はGyやSvの単位の説明を拒否する。質問されても、それは単位であって、本を1冊2冊と数え、そして距離を1m 2mと測るように、放射線吸収エネルギーは1Gy 2Gyというように測るのだとおっしゃる。それはそれでいいのかも知れない。放射線にかかわる授業は内容が盛り沢山あり、GyやSv以外のことを勉強して全般的に理解を深めていけばそのうちに自然に差し支えない程度になるものであろう。そんなわけで一般社会人、あるいはときには小学生にまで放射線を体験させようというセミナーなどで使われる測定器 (「はかるくん」など) には最初からマイクロシ

ーベルト/時間という単位が記載されている。受講生にはマイクロシーベルト/時間という単位でなく、その数値の大小や変動にのみ興味の目が向くように仕組まれる。

質問1. GyでなくJ/kgを使えばいいのではないか？

めったに経験することではないが、大学の授業で質問を受けたことがある。なぜ1Gyを使うのか？1J/kgのまま使用してはいけないのか？こういう学生に出会いたいへんうれしい。ひょっとするとこの学生は新しい単位を覚えさせられることに小さな抵抗を示しただけかもしれない。

質問2. ほんのわずかな1J/kgでヒトは放射線障害をうけるのか？

これはまれにみる熱心な学生、あるいは尊敬すべき専門技術者、あるいは研究者からの想定質問である。室温のほとんどの物体は1kgあたりすでに40-50kJ (キロジュール) ものエネルギーをもっているのである (注1)。われわれの体内の分子もこれだけの熱エネルギー (分子の運動エネルギー) をもっているからこそ体温36°Cを維持しているのである。ここにさらに放射線からわずか1Jのエネルギーを追加して受け取ったところでなんの変化が生じるものであろうか。質問2は、エネルギーの大きさでなく、エネルギーの質の違いに対する質問なのである。この質問に対する的確な納得のいく理解をしておかないと、府に落ちない状態のまま、これからの長い人生を放射線と付き合うことになる。

注1: 分子の並進運動のエネルギーが分子数×

\*放射線教育フォーラム・理論放射線研究所 Shinichi Ohno



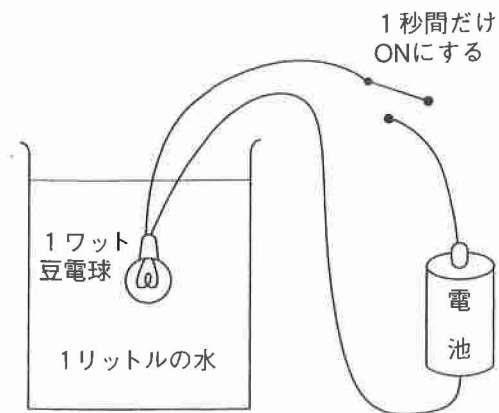


図-1 1 J/kgとは  
1リットル(1 kg)の水の中央に1ワットの豆電球を置き1秒間だけ通電する。これが1 Jである。このエネルギーが水の加熱に使われると水温は0.00025°C上昇する。

$(3/2) \times \text{ボルツマン定数} \times \text{温度 (K)} \approx 10^{25} \times 10^{-23} \times 300 = 3 \times 10^4 \text{ J}$ , そのほかに回転運動や振動のエネルギーがある。

質問3. GyとSvはどちらもJ/kgであるが、なにが違うのか？

これは当然の疑問であるが、質問1と2を無事にクリアした場合にのみ質問してみようという気になるものである。講習会や授業でこの質問がなかったからといって理解されていることにはならない。講師はよくよく注意すべきである。

上記の3つの質問への回答を試みるのが本稿の目的である。もちろん回答は1種類と限らない。大切なことは、このような疑問のあることに気がつくことである。

#### ◆ 1 J/kgほどの程度のエネルギーか

1 kgの水、すなわち1リットルの水を考えて、その中心部分に1ワットの豆電球をともし(図-1)。ともし時間は1秒間である。これが1 Jである。この1 Jで1 kgの水が加温されるが、それは水の比熱から計算すると0.00025°Cの温度上昇である。もし10秒間通電すると10 J/kg、水温は0.0025°Cの上昇である。これがもし熱でなく、放射線からのエネルギー吸収であれば10 Gyと呼んで、そして間違いなくヒトであれば死んでしまうのである。熱と放射線のこの違いは何処から来るのであろうか。

#### ◆ 水1 kgには $10^{25}$ 個の安定な分子が存在する

理解するためのヒントは簡単である。まず1 kgの水の中には水分子がおおよそ  $10^{25}$  個含まれていることを思い出すことである。室温(300 K)でこれらの水分子はそれぞれが数百m/sの速度で押し合いへし合いしている。互いに衝突しあっても水分子は決して壊れることはない。水分子は極めて安定であり、それは水分子中の電子が量子化されていることによるものである。電子のような極微の粒子の運動は波のようなものとして記述されるが、分子という小さな空間内に閉じ込められている波は定在波(定常波)を形成するために安定なのである。日常の経験でも、たとえば笛のなかで小さな空間をつくり、空気の波をつくるとそれが定在波、たとえば「ド」という音をだす。強く吹いて1オクターブ高い音がでることはあっても抑える指の位置を変えて小さな空間の大きさを変えない限りいつも安定な音をだす。これが電子の波で起こったときに量子化と呼ぶのである。こんなわけで1個の酸素原子核、2個の水素原子核、そして10個の電子の集まりである水分子のなかで、電子はすべてそれぞれの定在波を形成して安定を保ち、全体としての水分子はたがいに数百m/sの速度で走りまわり、ぶつかり合っても壊れることはない。このような水分子が  $10^{25}$  個も集まっているのが1 kgの水である。ここでどれか1個の分子に分子全体としてのエネルギーをあたえて速度を増す、あるいは回転を速くしたとしよう。分子全体としてのエネルギーといういい方は説明を要するかもしれない。10個の電子と3個の原子核の1つひとつには影響しないで分子全体としての並進速度や回転運動のエネルギーを高くすることである。この場合、すぐにとりの分子に衝突して、そのエネルギーはたちまちのうちに多数の分子に分散されてしまう。これが熱エネルギーの与え方である。熱エネルギー1 Jはたちまちにして  $10^{25}$  個の分子にいきわたる。

#### ◆ 放射線は安定な分子のなかを走り、そのなかの電子にだけエネルギーをあたえる

これに対して放射線のエネルギーの与えかたはどうであろうか。放射線として高速電子、あるいは

は高速の原子核を考える。ここで高速というのは水分子内を走り回っている電子の速度よりも速いことである。水分子中の電子の速度はおそいもので平均  $1000 \text{ km/s}$  ( $= 10^6 \text{ m/s}$ )、酸素原子核の近くを走るK殻軌道電子でこの数倍の速さであると考えられる。もっとも光の速度が  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$  なので、ここでの高速荷電粒子(電子など)の速度は  $10^6$  から  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$  である。考えやすくいえば水分子のなかの軌道電子の速度の10倍から100倍の速度というところである。

水分子の大きさ  $10^{-10} \text{ m}$  を仮に1兆 ( $10^{12}$ ) 倍すれば100 m (いうならば東京ドーム) の大きさである。陽子、中性子、電子 ( $10^{-15} \text{ m}$ ) はおよそ1 mm (米粒) の大きさとなる。さらに電子は毎秒  $10^{16} - 10^{17}$  回も原子核の周りを回り、量子化により電子の動きがつくる空間的な形は安定化する。この電子が何かの理由によって10-30 eVの運動エネルギーを受け取ると、初めてここ(ドーム)から抜け出すことができる(=電離)。抜け出せないまでも別のより高いエネルギーをもつ定在波に移行することもある(=励起)。

高速の荷電粒子(やはり米粒の大きさであるがドーム内の米粒の速度よりも1桁から2桁大きい速度)が通過してもほとんどの場合で素通りするだけであるが、ごくまれにどれかの電子(米粒)に接近して通過するとき(たとえば1 m以内のニアミス)瞬間的に働くクーロン力によって10-30 eVのエネルギー移行が生じる。そしてこの分子は電離され、あるいは励起され、多くの場合で水分子は壊れる。

#### ◆熱と放射線のエネルギー付与の違い

同じ量を与える場合での熱エネルギーと放射線エネルギーのちがいを絵で描いたのをしめす(図-2)。たとえ話の方が分かりいいかもしれない。誰かが日本国民に1億円をプレゼントするときに、全員に平等に分け与えればひとり1円ずつ受け取ることになる。平等ではあるが、これによって事態はなんの変化も起こらないであろう。しかし日本国民が金銭授受に関して量子化されていて1千万円以上ならうけとるがこれ以下の金額ならば決して受け取ることはないというようになってくるときは、99,999,990人はまったくお金をうけとることはなく、10人が1千万円をもら

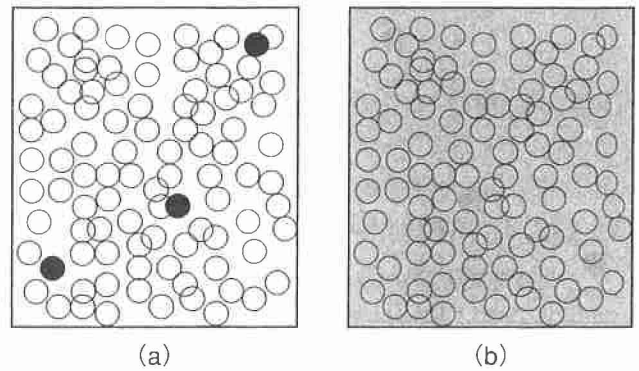


図-2 放射線と熱によるエネルギー付与の違い

同じく1Jのエネルギー付与であっても、放射線による場合は  $10^8$  個のうちの1個の割合で平均20 eVのエネルギーをうけとり、熱による場合はどの分子も等しくエネルギーをうけとる。

うということがある。この幸運な10人にとっては、たいへんな効果をおよぼす。しかしどちらの場合も1億円/日本という数字は同じである。

#### ◆1グレイ (Gy = J/kg) とは？

1 kgの水はおよそ  $3 \times 10^{25}$  個の水分子を含む。放射線はほとんどの水分子をただ通り抜け、まれにどれかの分子の中の電子(米粒)にニアミスして平均20 eVを与えよう。平均が20 eVということであって、それぞれの場合でさまざまである。実は水分子には10個の電子があり、5種類の分子軌道(定在波)に2個ずつ電子が存在する。放射線(典型的には高速の電子)が通過して電子にニアミスするがそのときの両者の距離によって定在波がこわれ、電子がクーロン力によってはじき飛ばされる。はじき飛ばされて別の定在波に飛び移るとき(励起)とこの分子から遠くへ離れてしまう(イオン化)ときがある。それに必要なエネルギーは7.5 eV、12.6 eV、17~18 eV、32 eV、540 eVなどいろいろであるが、同じ頻度で起こるのではなく、小さいエネルギー付与の衝突が多く起こり、平均すると20 eV程度であろうということである。平均20 eVのニアミス回数が  $3 \times 10^{17}$  で合計1Jのエネルギーになる。

$$\begin{aligned} & 20 \text{ eV} \times 3 \times 10^{17} \\ &= 6 \times 10^{18} \text{ eV} \\ &= (1 / 1.6 \times 10^{-19}) \text{ eV} = 1 \text{ J} \end{aligned}$$

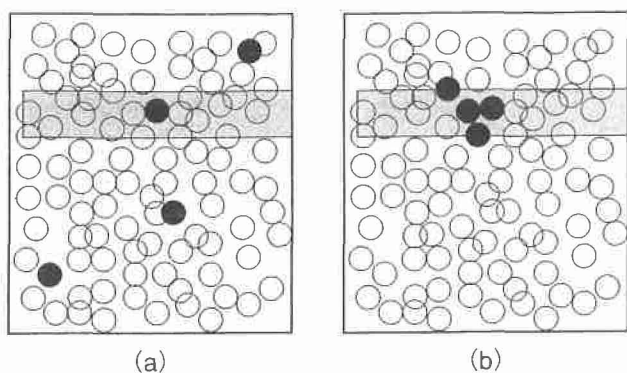


図-3 放射線の種類による励起分子の分布  
同じく放射線による励起であっても、放射線の種類によってエネルギー付与を受ける分子の分布（密集の様子）に違いがある。斜線を入れたところがDNA分子だとすれば、同じ線量であっても(a)では照射効果が修復され、(b)では修復されずに残ることがある。

1 J/kgというのが水温 0.00025 度だけの上昇に相当することはすでに述べた。

#### ◆Gyのまとめ、そしてSvは？

1 Jの熱エネルギーは、分子どうしのランダムな衝突によりすべての分子の運動エネルギーを等しくかすかに高め、何事も起こさない。これと対照的に 1 Jの放射線のエネルギーは（1 kgの場合） $3 \times 10^{25}$ 個のうちの  $3 \times 10^{17}$ 個、いわば  $10^8$ 個に 1 個の割合で平均およそ 20 eVのエネルギーを与え、分子を壊す。それというのも最初に電子にだけ作用するからであった。放射線作用はきわめて効果的なのである。どちらの場合もエネルギー吸収は 1 J/kgで同じであるが、異なる効果に注目することがポイントである。Gyの使用は、この違いを意識することに他ならない。さらに放射線の種類によっては、この 20 eVを得て壊れる分子が密集して発生する場合がある。DNA分子にできたキズの修復などの場合、密集の度合いは重要である。DNA分子のところどころに放射線通過によって化学変化が起きて（キズができて）も、まわりのタンパク質（酵素）の作用によってまもなく元通りに修復される。しかしいくつもの化学変化がDNA分子内で近接して起こると、修復が不可能になる。これを考慮して、それぞれの放射線について予め経験的に得られた補正係数をGyの値にかけたものが放射線防護の分野で用いられている。そ

れがSv単位である。同じくJ/kg単位で表現されているものの、Gyは物理量であるが、Svは相談して取りあえず定めた係数をかけたもので物理量ではない。いいかげんなものと考えてよい。この様子を模式的に説明するのが図-3である。

#### ◆考察の対象とする試料の大きさ

ここでどうしても試料 (kg) の大きさについて注意を要することに触れたい。通常の照射実験では文字通り 1 kg、あるいは 1 g 程度の試料を対象とすることが多く、そして問題は生じない。もっと小さい試料、極端なことをいえば、細胞 1 個（たとえば  $10^{-7}$  kg）を対象とするようなとき、さらには分子 1 個を対象とするときに問題が生じる。International Commission on Radiological Units and Measurements (ICRU) では、こうした試料の大きさを考慮して、線量  $D$  の定義をしている。試料の任意のある点における線量は、その点を含む質量  $m$  (kg) の領域が受け取った放射線からのエネルギー  $E$  (J) を考えて、 $m$  を小さくした極限を考えればよい。

$$D = E/m \quad (m \rightarrow 0)$$

そこでつぎの質問がでてくる。

質問 4. 分子 1 個を対象とした吸収線量を考えてもいいのか

水分子 1 個の質量は  $3 \times 10^{-26}$  kg である。図-2 (a) において放射線からエネルギーを受け取った分子について考える。このエネルギーがいま水分子へのもっとも小さいエネルギー移行である 7.5 eV（最低励起）だとしよう。するとこの分子の線量は

$$\begin{aligned} D &= 7.5 \text{ eV} / 3 \times 10^{-26} \text{ kg} \\ &= 7.5 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} / 3 \times 10^{-26} \text{ kg} \\ &= 4 \times 10^7 \text{ J/kg} = 40 \text{ MGy} \end{aligned}$$

これでもかなり大きい線量である。すなわち図-2 でみると、どの分子を考えるかで線量は大きく異なってくる。放射線からのエネルギー吸収である図-2 (a) の場合、大部分の分子の場合で  $D=0$  である。平均である 20 eV のエネルギーを受け取った分子では、 $D=10^8$  Gy である。めったにあることではないが酸素の内殻電子イオン化が起きたような分子の場合では  $540 \text{ eV} / 3 \times 10^{-26} \text{ kg} =$

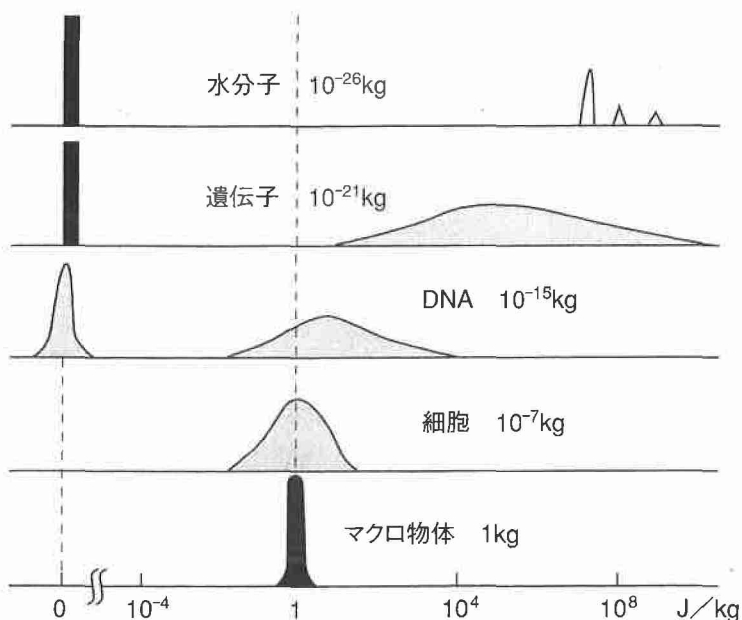


図-4 試料の大きさとエネルギー付与分布

1 Gyで均一照射した試料(水分子、遺伝子、DNA、細胞、など)であっても個々のサンプル(標的)がうけるエネルギーは確率で支配される。水分子では圧倒的に $D=0$ の場合が多く、わずかな分子( $10^8$ 個のうちの1個)が $10^7$ から $10^{10}$  Gyという大きいエネルギー付与を受ける。試料が大きくなるとこの分布は消失して1 Gyに落ちつく。また放射線の種類によってもこのスペクトルは変化する。

$3 \times 10^9$  Gyである。これに対して図-2 (b) の熱エネルギー吸収の場合では、ほとんどの分子が $D=0$ の近くでマクスウェル分布をする。

水分子ではなくもっと大きいたとえばDNA分子(およそ $10^{-15}$  kg)を考えたり、細胞核あるいは細胞を考えることもできよう。これを模式的に示すのが図-4である。縦軸と横軸の目盛りに注意して欲しい。このように試料が小さいときのエネルギー付与分布を求めることをマイクロシメトリーという。(大きい試料を用意しておいて部分的な照射を行った場合、たとえばイオンビーム照射などでは、もともと試料の極表面、あるいは細いピ

ームの通過箇所だけが考察の対象となり、ここでいうマイクロシメトリーとは違うことはいままでもない)さらにこのようなエネルギー付与分布が放射線の種類を変えたときにどのように変化するかを研究することも重要である。こんなことが分かっただけで細胞や分子に対する照射効果が正しく理解されるのである。

#### ◆おわりに

J/kgとGyとSvの関係が理解できそうな雰囲気を感じただけなら有難い。なかなかの難問で説明にも自信がない。きざないい方をすれば、放射線からのエネルギー付与は局在しているが、それは原子・分子における電子系が量子化されていることによる。これに加えて放射線(荷電粒子)の荷電と速度によってクーロン相互作用の確率が変化することから別の局在化(高密度励起などともいう)が生れてくる。2つの局在化によりJ/kgとGy、そしてGyとSvが生れてきた。次回は放射線の透過性をとりあげることにしたい。 ■

#### 参 考 文 献

- 1) ICRU: Linear Energy Transfer, ICRU Report 16, Washington DC (1970).
- 2) ICRU: Microdosimetry, ICRU Report 36, Bethesda MD (1983).
- 3) H. H. Rossi, M. Zaider: Microdosimetry and its Applications, Springer (1996).
- 4) 大野: "異なる放射線による照射効果の理解", 放射線化学, 71, 2 (2001).

## 講座

## 「放射線教育現場における難問」

## 年代を推定する

大野 新一\*

## 縄文・弥生文化はいつから始まった？

数年前には日本の旧石器時代は70万年前にもさかのぼるのだと言われかけていたが、東北旧石器文化研究所の元理事長がかかわったとされる180箇所の遺跡について「すべて捏造」であったという日本考古学協会の2年間にわたる検証結果が発表され、日本の旧石器時代は再び7万～5万年前から始まるということに落ちついた。その一方で、国立民族博物館の研究グループは、北九州地方から出土した弥生式土器に付着していた炭素14の年代測定から、日本の弥生文化はこれまで考えられていたよりも約500年ほど前にさかのぼり、紀元前1千年ということになるという。科学や技術には無縁だと自称するいわゆる文系の人たちにとっても、考古学試料の年代測定の重要さほど納得させられるものはないであろう。しかし年代測定は解ったような気にはなるものの実際はなかなか理解し難いものがある。理解するためにはまず年代というものが意味することを具体的に明確に認識することが肝要であると思われる。

## 年代の意味を具体的に明確にすること

放射性原子核の崩壊定数を利用して年代を求めると言われれば、解ったような気にはなるものそれだけでは無理である。すべての物質（生物も含めて）は原子からできており、その原子は中性子と陽子の集まりである原子核と電子からできている。電子の方は変わることがないが、原子核の方は中性子と陽子の個数が変化することがあり、

これを原子核の崩壊という。中性子、陽子はいつできたかと尋ねられたら150億年前という答が出てくる。個々の原子核は太陽系ができる少し前の超新星爆発のさいにつくられたので、すべての原子の年代は46億年よりも前という答になる。しかしここでいう年代とは、測定の時間のスタートボタンを押すのはいつであったかを知ることが必要である。

地球の年代は地球ができてからの経過時間であり、原子核が誕生してからの経過時間ではない。またわれわれが偶然に手にする岩石の年代は、それが熔岩であれば、火山活動でマグマが噴出して地表で固まったときから現在までの経過時間であり、またそれが堆積岩であれば、海底や川底で土砂などが沈降したときからの経過時間である。土器の年代は粘土の器が釜戸で焼き固められたとき、木片試料であればその樹木が伐採されて植物としての活動が停止したとき、動物化石に付着している炭素であれば動物が食した植物が死んだときからの時間である。

## 年代測定の原理

つまるところ年代を知るには、時間の起点 ( $t=0$ ) と時間の終点 ( $t=T$ ,  $T$ として“現在”をとるのが通常である) がきちんと定義され、そして時間をはかるさいの時計があればよい。人類の文明誕生以前の年代であるから、時計といっても自然界の時計が必要である。われわれが測定できるもの  $A$  (計測し得るようなもの、量とか個数) が時刻  $t$  の関数であるような場合に、 $A(t)$  とあらわすことができる。 $A(0)$  と  $A(t)$  の値を知って  $t$  を求めるのである。時計の場合では長針あ

\*放射線教育フォーラム・理論放射線研究所 Shinichi Ohno



るいは短針の示す角度がAである。他にどのような時計A(t)があるだろうか。

ここに膨大な個数の原子核Pがあつてこれがt時間後に、一定の規則にしたがつた数だけ原子核Dに変化するとしよう。すると

$$P(t) + D(t) = P_0 + D_0 \quad (1)$$

の関係が成立する。ただしスタート時(時刻0)における原子核の数をそれぞれ $P_0$ と $D_0$ とする。これは与えられた試料のなかで $P \rightarrow D$ の変化以外にPとDの個数の変化が考えられないことを示す関係であり、重要な関係式である。

またいわゆる放射性崩壊であれば

$$P(t) = P_0 \exp(-\lambda t) \quad (2)$$

の関係が成立する。年代測定が可能なのは、(1)と(2)が確認されなければならない。また(2)式と同じ内容のものとして、

$$P(t) \exp(\lambda t) = P_0 \quad (2')$$

も良く使われる。

### $^{14}\text{C}$ 年代測定法

宇宙放射線は高エネルギーの陽子が90%を占めており、大気に突入後空気原子の原子核をこわし(いわゆる核破碎反応)、核構成粒子である中性子、陽子、パイオンなどが二次宇宙線として発生する。このうち中性子が空気中の $^{14}\text{N}$ 核と(n, p)反応を行なって生成したのが $^{14}\text{C}$ 原子核である。一方で $^{14}\text{C}$ 核は5730年の半減期で消失して $^{14}\text{N}$ 核になる。そこで大気中の $^{14}\text{C}$ 濃度は宇宙線による生成と崩壊による消失がバランスしてつねに一定濃度で存在すると考えられる。すなわち大気中の炭素( $^{12}\text{C} + ^{13}\text{C} + ^{14}\text{C}$ )のおよそ1兆分の1の濃度で $^{14}\text{C}$ が二酸化炭素の形で存在する。この二酸化炭素は海水にも溶け、植物の炭酸同化作用にもとりこまれ、動物の食べ物や呼吸にもとりこまれるので、地球表層において炭素原子の交換反応を行なっている炭素のすべてに同じ濃度で $^{14}\text{C}$ が含まれていると考えられる。ところが動物や植物が生命活動を停止すると、以後は取り込むことがないので一方的に $^{14}\text{C}$ は減少する。そのときの関数が(2)式である。(2)式に $\lambda = 0.693 / (\text{半減期})$ という関係がある。(図-1)試料中の生物が死んだときの

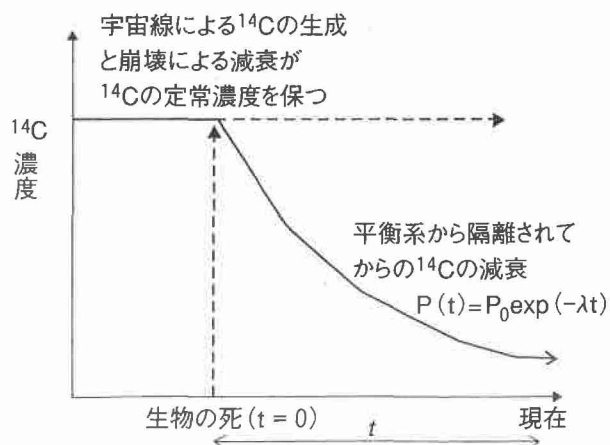


図-1 炭素14による年代測定  
宇宙線による $^{14}\text{C}$ の生成とその崩壊がバランスして定常濃度(普通の $^{12}\text{C}$ の1兆分の1)を保っていた生物が死んでから遺骸の中の $^{14}\text{C}$ は半減期6730年で減衰する。

時刻0における $P_0$ ( $^{14}\text{C}$ の個数)と現在の $P(t)$ が分かればtが推定できる。上の説明から分かるように、 $P_0$ としては現在の $^{14}\text{C}$ 濃度を仮定する(すなわち昔からずっと二酸化炭素のおよそ1兆分の1)。現在の $^{14}\text{C}$ 濃度 $P(t)$ が測定できたら(2)式を使ってtが求められる。かりに1兆分の1でなくてその半分の1兆分の0.5であったら、 $t=5730$ 年という答である。だから与えられた試料中炭素のうちの $^{14}\text{C}$ の存在%を測定すればよい。

炭素( $^{12}\text{C} + ^{13}\text{C} + ^{14}\text{C}$ )中の $^{14}\text{C}$ の%を測定する優れた方法は、加速器質量分析法(AMS法)である(図-2)。試料中の炭素をイオン源室の中でイオンにして20 MeV程度にまで加速し、つぎに電磁的な方法でその飛跡を曲げ、それぞれの質量に応じたイオン個数を測定する方法である。混入してくる質量数14の $^{12}\text{CH}_2$ 、 $^{12}\text{CD}$ 分子などは加速の途中でばらばらに分解して除去できる。また核種 $^{14}\text{N}$ は検出器のところで高エネルギー粒子のエネルギー損失が原子核の電荷の違いによって変わることを利用して識別する。この方法が用いられる以前の方法は $^{14}\text{C}$ の放出する $\beta$ 線を計測して $^{14}\text{C}$ 濃度を調べていた。AMS法はずっと精度が高い。この方法が成立するための条件は宇宙線強度が当該時間の間ずっと一定であったという仮定である。屋久島杉などの年輪を数える方法と比較した研究から、この仮定が少し変更され、過去数千年間で宇宙線強度は数%の変動があることも知られてき

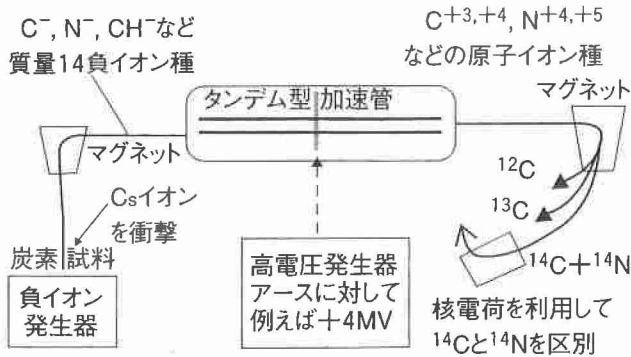


図-2 微量の<sup>14</sup>C濃度を定める加速器質量分析  
炭素試料をCsイオン衝撃によってプラズマ化して、そこから負イオンを引き出し、さらにマグネットにより質量14の負イオン種だけをタンデム型加速器に導く。中ほどの高電圧(たとえば14 MeV)に向かって加速されたところでガス雰囲気あるいは薄膜を通過して電子がはぎとられ、今度は正の単原子イオンとなってさらに加速され(C<sup>+3</sup>であれば3×4 MeVに負イオンとしての加速を加えて16 MeVのエネルギー)、マグネット で分離される。また<sup>14</sup>Nと<sup>14</sup>C核の区別も行なわれる。

て、補正に使われている。

ラザフォードによる地球の年令

そもそも原子核の崩壊現象を最初に年代測定に利用したのはRutherfordであるという。1905年、ラザフォードはウラン(P) 鉱石中のヘリウム(D)をはかることから岩石の年令を求めることを提案し、そして5億年という値を得た。与えられた試料中に含まれるPとその生成核種D(これはD(t) = P<sub>0</sub> - P(t)の関係からP<sub>0</sub>を求めることと同じである。もっばら(2)を頼りにしたもので、(1)についての考慮はされていないと考えられる。すなわち試料中のPおよびDの出入りについて厳密な検討がないといえる。また<sup>235</sup>Uと<sup>238</sup>Uは地球誕生のさいに共に同濃度で存在したものが崩壊の半減期の違いによって現在のウラン鉱のなかの比率0.7%と99.3%になっているとして、地球の年令(あるいはウランの誕生年)が推定できる。ただ最初に同量であったという仮定は根拠が低い。この場合も<sup>235</sup>Uおよび<sup>238</sup>Uに対して既知のλを用いた(2)式により、

$$^{238}\text{U}(t) = ^{238}\text{U}(0) \exp(-\lambda_{238}t)$$

$$^{235}\text{U}(t) = ^{235}\text{U}(0) \exp(-\lambda_{235}t)$$

両式の比をとって

$$^{235}\text{U}(t) / ^{238}\text{U}(t) = (0.7 / 99.3) = \exp(-\lambda_{235}t) / \exp(-\lambda_{238}t)$$

ここでは<sup>235</sup>U(0) / <sup>238</sup>U(0) = 1としてあるが、もちろん今ではいろんな元素合成の理論にもとづいて1ではない値が提案されている。さらにλと半減期の関係λ = 0.693 / (半減期)、そして<sup>235</sup>Uの半減期7.04億年、<sup>238</sup>Uの半減期44.68年を使うと、t = 59.7億年という答えがでてくる。ここでは2種類のPについて(2)式の関係を利用しているが、最初の<sup>235</sup>Uと<sup>238</sup>Uの値P<sub>0</sub>について大きな仮定をしているので、やはり(1)式の保証がないといえる。

岩石の年代

地球内部は岩石が高温で溶融しているいわゆるマグマと呼ばれる液体状態である。地球表面に噴出して固まったときが火成岩の時間の始まりとなる。堆積岩であれば、川底や海底、あるいは陸地で浮遊物の堆積が起り、以後堆積物の流失がないように固形化したときが時間の始まりである。あるいはいったんは固まった岩石がなにかの自然現象によって再び溶融することがあったかも知れない。この溶融のときを時間の起点と考え、変成岩と称される。

こうした岩石や鉱物の年代測定によく利用されるのが<sup>87</sup>Rb-<sup>87</sup>Sr法である(図-3)。RbはNaやKなどと同じアルカリ元素、SrはCaやBaと同じアルカリ土類元素でどちらも岩石類に良く含まれている元素である。

与えられた岩石試料中で親核種(<sup>87</sup>Rb)が時間tとともにP<sub>0</sub>からP(t)に減衰し、同じ数だけ娘核種(この場合は<sup>87</sup>Sr)を生成する。t = 0においてすでに<sup>87</sup>Srが含まれていることに注意(D<sub>0</sub>)。そこで(1)および(2')式は

$$^{87}\text{Rb}(t) + ^{87}\text{Sr}(t) = ^{87}\text{Rb}(0) + ^{87}\text{Sr}(0)$$

$$^{87}\text{Rb}(0) = ^{87}\text{Rb}(t) \exp(\lambda t)$$

一方で、試料中には放射壊変には関係しない安定な<sup>86</sup>Srが含まれている。実は、与えられた岩石試料の中であっても多数のさまざまな鉱物結晶が含まれており、<sup>87</sup>Rbの量も多少さまざまである。<sup>87</sup>Rbを多く含む鉱物は娘核種の<sup>87</sup>Srを多く生成す



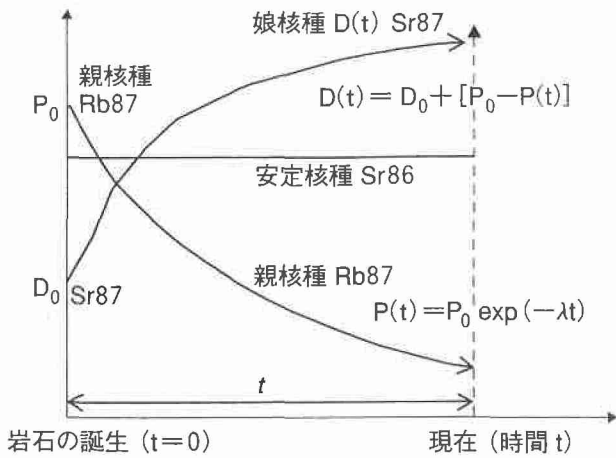


図-3 岩石の年代測定に使われるRb-Sr法  
親核種Rb 87から娘核種Sr 87ができるが、時間0の時点でも娘核種は存在していた(D<sub>0</sub>)。安定核種Sr 86に対する比としてデータを整理する。

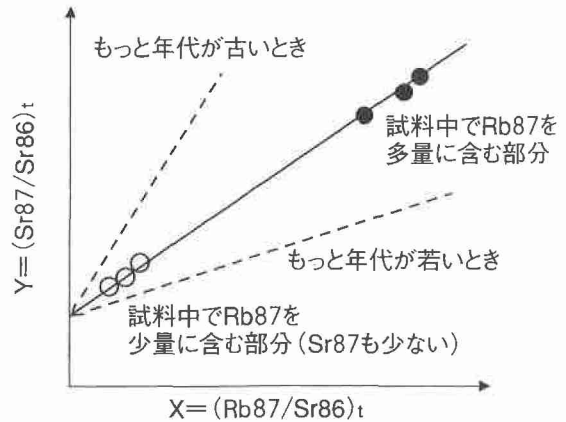


図-4 岩石試料中でRb 87を多く含む部分や少ない部分のデータをすべて用いて直線関係(アイソクロン)の成立を確認しながらその勾配から年代を決める。

る。そこで試料からサンプリングして分析したときの値を<sup>86</sup>Srに対する比であらわすと

$$\begin{aligned} & \left( \frac{{}^{87}\text{Sr}}{{}^{86}\text{Sr}} \right)_t \\ &= \left( \frac{{}^{87}\text{Sr}}{{}^{86}\text{Sr}} \right)_0 + \left( \frac{{}^{87}\text{Rb}}{{}^{86}\text{Sr}} \right)_t (e^{\lambda t} - 1) \end{aligned}$$

を得る。ここでアンダーラインした変数をそれぞれYおよびXと書くと $Y = a + Xb$ となる。X, Yは岩石のいま(時刻t)の測定値であり、bは時間の関数であるがX, Yには関係しない定数である。

#### <sup>40</sup>K-<sup>40</sup>Ar法

この方法はKを含む岩石が多いので測定の容易さから広く使われる。親元素<sup>40</sup>Kが崩壊して娘核種<sup>40</sup>Arと<sup>40</sup>Caを生成する(崩壊定数 $\lambda = \lambda_{Ar} + \lambda_{Ca}$ )ことを利用するが、このうち<sup>40</sup>Arだけがガスなので、火成岩が固化した(t=0)ときにD<sub>0</sub>=0と考えることができる。現在の試料中のD<sub>Ar</sub>(t)(=<sup>40</sup>Ar)とP(t)(=<sup>40</sup>K)を測定すれば

$$D_{Ar}(t) / P(t) = \exp(\lambda t) - 1$$

すなわち $\frac{{}^{40}\text{Ar}}{{}^{40}\text{K}} = (\lambda_{Ar} / \lambda) (e^{\lambda t} - 1)$ からtが求められる。

#### 地球の年齢

Rb-Sr法は、元素が系から移動しにくいという利点と娘核種の初期値D<sub>0</sub>が不明という欠点をもつ。これを同一場所から採取される複数サンプル

のデータを利用して図-4の直線(アイソクロンとよばれる)の傾き $e^{\lambda t} - 1$ からtを求めることによって欠点は克服された。しかし2元素SrとRbの分析は残る。これから述べるU-Pb法はPbに対する測定だけでtが求められる。

岩石試料中の<sup>235</sup>U→<sup>207</sup>Pb、<sup>238</sup>U→<sup>206</sup>Pbのどちらもウランから鉛への2つの崩壊を利用してその比をとると、試料中の娘(Pb)同位体の比の測定から岩石の年代を知ることができる。まず

$$\begin{aligned} {}^{207}\text{Pb}(t) - {}^{207}\text{Pb}_0 &= {}^{235}\text{U}(t) [\exp(\lambda_{235}t) - 1] \\ {}^{206}\text{Pb}(t) - {}^{206}\text{Pb}_0 &= {}^{238}\text{U}(t) [\exp(\lambda_{238}t) - 1] \end{aligned}$$

両式の比をとると

$$\begin{aligned} & \frac{({}^{207}\text{Pb}(t) - {}^{207}\text{Pb}_0)}{({}^{206}\text{Pb}(t) - {}^{206}\text{Pb}_0)} \\ &= \alpha [\exp(\lambda_{235}t) - 1] / [\exp(\lambda_{238}t) - 1] \end{aligned}$$

ここで $\alpha = [{}^{235}\text{U}(t) / {}^{238}\text{U}(t)] = 0.007$ であるから、 $Y - b = \Phi(t)(X - a)$ 、すなわち現在の岩石試料から多数のサンプルを採取して<sup>207</sup>Pbと<sup>206</sup>Pbの測定データをプロット(いずれも安定同位体<sup>204</sup>Pbに対する値)して得られる直線の勾配からtを求めるのである。こうしてCaltecのPattersonはいくつもの鉄隕石から数ppmの鉛(注:UやThは数ppb濃度)を抽出して同位体比をプロットした直線の勾配からt=45.5億年を得た。また海洋底堆積物(大陸地殻が風化侵食されて堆積したもの)の鉛測定値も同じ直線上にのった。そこで次のようなシ

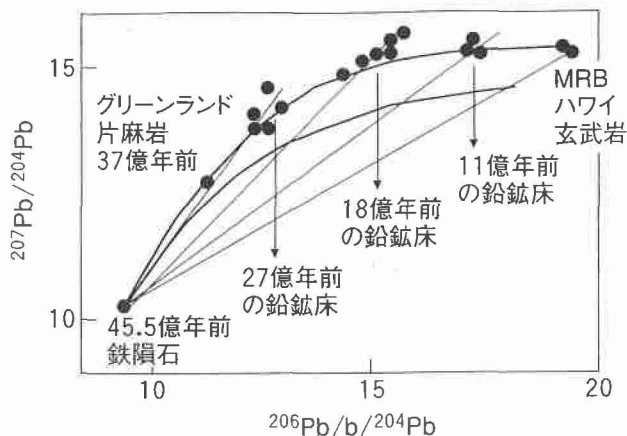


図-5 地球の年齢 45.6 億年の決定  
 最初は溶融して均質であったU-Th-Pbがその後  
 に鉛鉱床をつくり鉛同位体比が凍結した。鉛鉱  
 床の年代と鉄隕石中の鉛データ、月の石の鉛デ  
 ータを検討して地球の年齢が決められた。

ナリオを考えることによって図-5のデータが矛盾なく理解されている。

- ① 地球誕生時、地球全体が高温溶融状態でウラン、トリウム、鉛が均質化された。
- ② 地球の冷却に伴い、場所によりU/Pb比の異なる箇所ができた。
- ③ その後のいろいろな時代に鉛鉱床ができて鉛が分離され、以後鉛同位体比はそのまま現在まで保たれている。

さらにアポロ計画で持ち帰った月の石の分析結果

(Rb-Sr法) は  $t = 45.3 \pm 1.0$  億年であったことから、46億年前の太陽系の形成、直後の地球マグマオーシャンの形成と地球コア(鉄核)とマントル(岩石)の分離、巨大隕石の衝突による月の誕生、さらにその後の地球冷却の数億年間で大気と海洋と大陸の形成、などが理解されてきた。

## 人類史

数10～数100万年を対象とする人類史の年代測定は、人類化石を含む堆積層に対してK-Ar法が用いられるが、それ以外にもフィッシュトラック法とESR法が用いられる。

フィッシュトラック法は、 $^{235}\text{U}$ が宇宙線に含まれる中性子によってあるいは $^{238}\text{U}$ が高速プロトンによって核分裂を行なったときに放出される核分裂片(高エネルギーの重イオン)によって鉱物中に残される飛跡を化学処理(エッチング)して顕微鏡で数えるものである。飛跡の密度は年代に比例する。また放射線が通過したガラスなどには電離作用で飛び出した電子が格子欠陥などに捕捉されたまま残されるのでこの濃度をESR法や熱ルミネッセンス法で測定する。こうした捕捉電子やラジカル種は、特に土器が焼かれたときに消失する(リセットされる)ので以後現在までに受けた自然放射線の線量に応じたESRシグナルがでる。土器中の石英分だけを拾い集めて測定される。 ■

# 医療被ばくの現状と課題

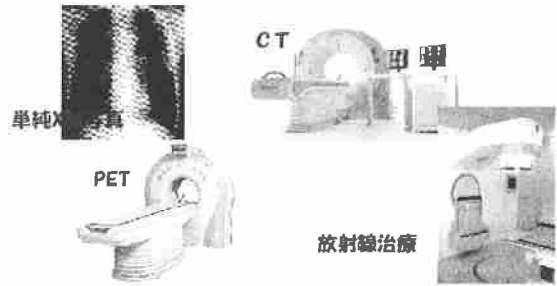
名古屋大学 医学部 保健学科  
放射線技術科学専攻  
緒方 良至

## 医療被ばくの現状と課題

- 医療における放射線の利用
- 放射線の人体への影響
- 新聞や雑誌などの報道
- 医療被ばくの考え方と課題

### 医療における放射線の利用

#### 医療における放射線の利用



医療被ばく - 診療 { 診断, 治療 }

#### X線による診断

- ・非侵襲的 …… 非破壊的に内部構造を観察
- ・検査時間が短い
- ・「被ばく」の問題
  - …… 単純撮影では問題とならない
  - …… 透視(IVR)・CT・集団検診で注意必要
- ・デジタルラジオグラフィ…… 画質↑、線量↑

#### MRI

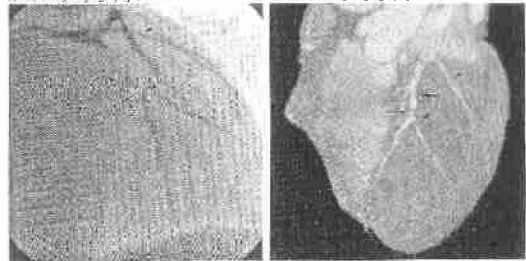
- ・検査に時間がかかる、予約でいっぱい
- ・高価である、CTほど普及していない
- ・磁性体：忌避

#### 超音波検査

- ・解像力、範囲に限界

#### 血管造影

A, B C45:MDCTをAUSに 造影剤注入時にB CT coronary angiography  
A coronary angiography (CAG) B CT coronary angiography (CTCA)

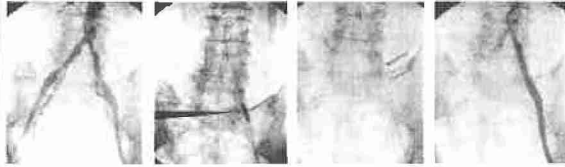


MDCT: Multi-Detector CT (多検出器CT)---16列、32列、.)

山室正樹他, 『画像診断』, 25巻, p.969, 2005年

## IVR

IVR: Interventional Radiology (透視下での検査・手術)  
 超音波装置、X線透視、X線CTなどを用い、穿刺、ドレーナージ、  
 内視鏡、ステント挿入、血管術や泌尿器術などの治療を行う。

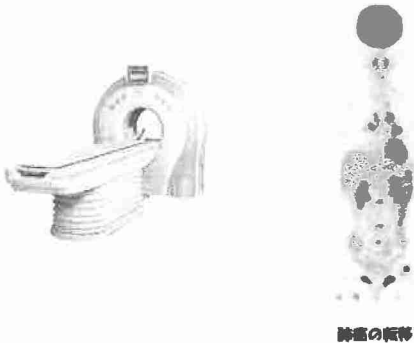


血池医科大学放射線医学教室 <http://www.jichi.ac.jp/radiol/index.htm>

## IVR

- ・透視下での治療（主に血管系）
- ・開腹の必要ない…患者の身体的負担が少ない
- ・透視下での手術…撮影に比べて線量が多い  
→皮膚障害発生例
- ・医師の技術に依存
- ・医療スタッフ  
（放射線技師、医学物理士、放射線取扱主任者）の  
協力で、被ばく線量を下げる努力
- ・メーカー…線量低下の努力

## PETの例



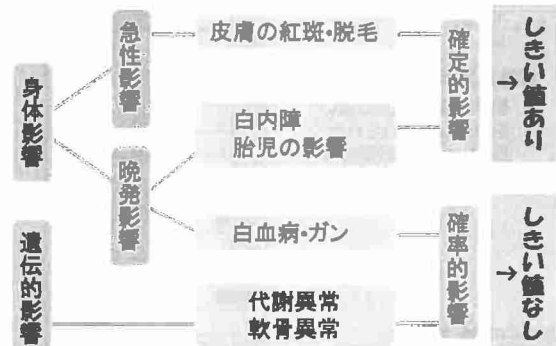
肺癌の転移  
<http://homepage2.nifty.com/ivritlab/index.html>

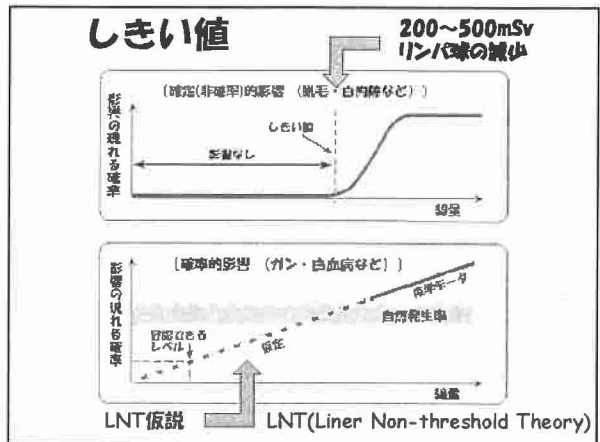
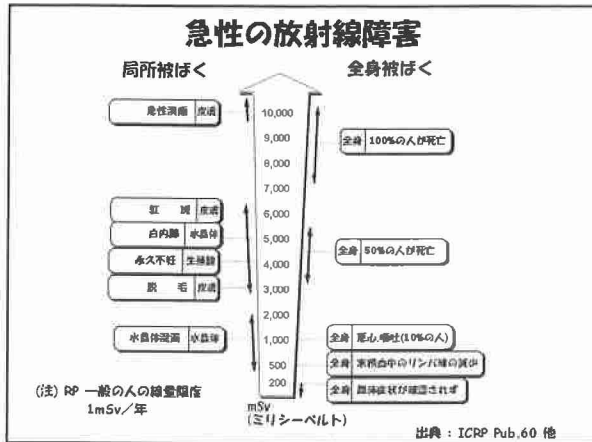
## 核医学検査

- ・機能の観察
- ・非浸襲的
- ・解像力はX線診断に比べて劣る  
PET→PET+CT
- ・患者の被ばくより、医療スタッフの被ばく  
が問題
- ・カナダ・オランダの原子炉停止で、  
 $^{99}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ジェネレータの供給が減少  
→ 診断に影響

→ 放射線の人体への影響

## 人体への影響





### 被ばく線量の単位

#### 1. 物理量

・吸収線量:  $D$  (Gy)  
単位質量(1kg)の物質中に対し、放射線によりその物質中に加えられたエネルギー(J)、 $1\text{ J/kg} = 1\text{ Gy}$

$$D = \frac{\text{吸収エネルギー(J)}}{\text{質量(kg)}} = \frac{E_{ab}}{M} \text{ (Gy)}$$

#### 2. 防護量

(1) 等価線量:  $H_T$  (Sv)  
人体の個々の組織・器官に対する線量

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{TR} \text{ (Sv)}$$

(2) 実効線量:  $H_D$  (Sv)  
全身に対する線量

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T \text{ (Sv)}$$

放射線加重係数 人体組織(T)の吸収線量(Gy) 組織加重係数 等価線量

### 等価線量

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{TR} \text{ (Sv)}$$

放射線加重係数... 放射線の違いによる生物組織に対する効果比を考慮して決められた係数。

| 放射線の種類  | $w_R$  |
|---------|--------|
| X-γ線、β線 | 1      |
| 陽子線、    | 2      |
| α線、重粒子線 | 10     |
| 中性子線    | 2.5~21 |

ICRP 2007勧告 (Pub 103)  
日本語版: 日本アイソトープ協会

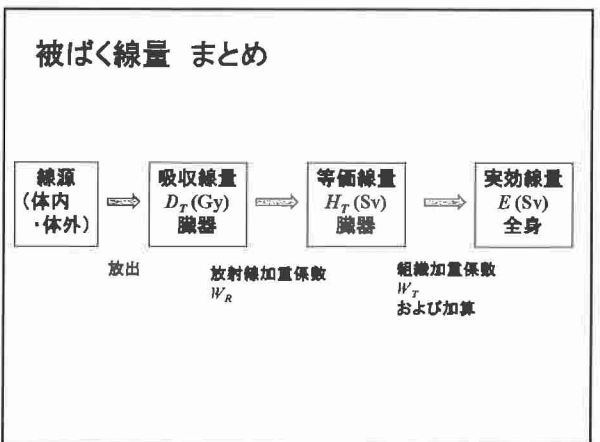
### 実効線量

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T \text{ (Sv)}$$

組織加重係数... 組織による影響の違いを考慮して決められた係数。人体の防護を目的として考えられた量。

| 組織       | $w_T$ |
|----------|-------|
| 生殖腺      | 0.08  |
| 骨髄       | 0.12  |
| 結腸       | 0.12  |
| 肺        | 0.12  |
| 腎        | 0.12  |
| 膀胱       | 0.04  |
| 乳房       | 0.12  |
| 肝臓       | 0.04  |
| 食道       | 0.04  |
| 甲状腺      | 0.04  |
| 皮膚       | 0.01  |
| 骨表面      | 0.01  |
| 唾液腺      | 0.01  |
| 脳        | 0.01  |
| 残りの組織・臓器 | 0.12  |

ICRP 2007勧告 (Pub 103)  
日本語版: 日本アイソトープ協会



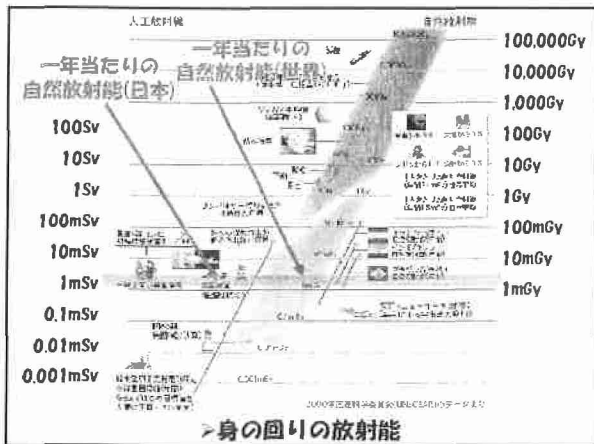
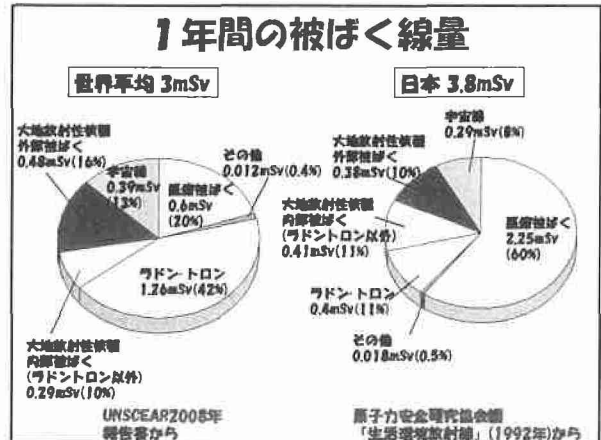
**実効線量の計算例**

頭部X線CTで、各組織に表の吸収線量が計測された。このときの**実効線量**は？

放射線加重係数  $w_R=1$

$H_T=W_R \cdot D_T$

| 組織       | 吸収線量 (mGy → mSv) | $W_T$ | $w_T \cdot H_T$ (mSv) |
|----------|------------------|-------|-----------------------|
| 生殖腺      | 0.003            | 0.08  | 0.00024               |
| 骨髄       | 1.5              | 0.12  | 0.18                  |
| 結腸       | 0.004            | 0.12  | 0.00048               |
| 肺        | 0.08             | 0.12  | 0.0096                |
| 腎        | 0.02             | 0.12  | 0.0024                |
| 膀胱       | 0.003            | 0.04  | 0.00012               |
| 乳房       | 0.1              | 0.12  | 0.012                 |
| 肝臓       | 0.02             | 0.04  | 0.0008                |
| 食道       | 0.02             | 0.04  | 0.0008                |
| 甲状腺      | 0.6              | 0.04  | 0.024                 |
| 皮膚       | 1                | 0.01  | 0.01                  |
| 骨表面      | 9                | 0.01  | 0.09                  |
| 唾液腺      | 0.1              | 0.01  | 0.001                 |
| 脳        | 5                | 0.01  | 0.05                  |
| 残りの組織・臓器 | 0.01             | 0.12  | 0.0012                |
| 実効線量     | -                | -     | 0.38                  |



### 代表的なX線検査の被ばく線量(1検査当)

| 検査 | 検査部位   | 被ばく線量(実効線量当量)(mGy) |     |
|----|--------|--------------------|-----|
|    |        | ♂                  | ♀   |
| 撮影 | 頭      | 0.05               |     |
|    | 胸      | 0.06               |     |
|    | 胃-バリウム | 2.7                |     |
| CT | 腸-バリウム | 1.8                | 4.3 |
|    | 頭      | 0.5                |     |
|    | 胸      | 7                  |     |
|    | 胃-バリウム | 3.7                |     |
|    | 腸-バリウム | 3.6                | 7   |

丸山隆司他, Radiation Protection Dosimetry 43巻, p 213-216 (1992年)

### IVR時の皮膚線量(1検査当)

| 方法         | 皮膚線量(mGy) |
|------------|-----------|
| 卵管造影       | 40        |
| 下肢血管形成術    | 270       |
| 肝動脈塞栓術     | 970       |
| 冠動脈形成術     | 1000      |
| 冠動脈ステント留置術 | 1500~2500 |
| 脳動脈塞栓術     | 1400~2000 |

石口恒男, 日本医学放射線学会誌 62巻, p 356-361 (2002年)

◎被曝線量が高い場合がある...皮膚障害、脱毛などの影響

WHO "Efficacy and Radiation Safety in Interventional Radiology", 2000年 (IVRの有効性と安全性)

ICRP Publication 85 "IVRにおける放射線曝露の管理" (社) 日本アイソトープ協会 2003年

- ### 放射線防護体系 (1990年勧告) ICRP
- 1. 行為の正当化** ... Justification of a practice  
放射線被ばくを伴う行為は、個人や社会に十分な利益を得るのでなければ、採用すべきではない。
  - 2. 防護の最適化** ... Optimisation of protection  
放射線被ばくは、経済的、社会的要因を考慮した上で、合理的に達成し得るかぎり低く保つべきである。
  - 3. 個人線量限度** ... Individual dose and risk limits  
個人の被ばくは、線量限度に従うべきである。

→ 新聞や雑誌などの報道



問題提起

- 安易なCT撮影もある
- 的確な品質管理がなされているか?
- 被ばくの影響を正しく患者に説明できるか?

一回のCT撮影での実効線量はどうか。日本での実測データを見ると、胸部CTが十八mSv、腹部・骨盤CTは男性が二十三mSv、女性が二十九mSvです (Radiat Prot Dosis 2006:118-121)。もっとも線量低減努力のせいも、最近では、胸部CTで六mSvから十二mSvとする論文もあります (Thorac CT Screen 2009:16-182)。ただしその論文

Radiat Prot Dosis 2009; Vol. 11, No. 4, p. 49-49 © 2009 the authors. All rights reserved. Published online 2009

ORGAN AND EFFECTIVE DOSE EVALUATION IN DIAGNOSTIC RADIOLOGY BASED ON IN-PHANTOM DOSE MEASUREMENTS WITH NOVEL PHOTODIODE-DOSEMETERS

Uchigai Kazuo<sup>1</sup>, Takahata Akiyuki, Shimizu Kenichi, Miyakata Akihiro and Masaki Mouri<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>School of Health Sciences, Nagoya University, Gokisocho-1, Higashi-ku, Nagoya 461-8673, Japan  
<sup>2</sup>Division of Radiology, Nagoya University Hospital, Tsurumai-cho 1, Showa-ku, Nagoya 466-8550, Japan

Received May 17 2009; revised November 7 2009; accepted November 16 2009

Organ and the effective doses of patients undergoing clinical X-ray examinations of chest and abdomen were evaluated with an online computer-aided and a real-time data system. The system was composed of 64 pin photodiode detectors placed in 160 particular tissues or organs of the anthropomorphic phantom, where the tissues and organs are defined by the International Commission on Radiological Protection (ICRP) to estimate the effective dose. Dosimeter signals were acquired on a personal computer directly, and converted into absorbed doses, from which the organ and the effective doses were evaluated on the computer. Our study showed that organ doses ranged from 0.091 to 0.72 mSv in routine X-ray (100 samples) at chest and abdomen and from 0.07 to 0.59 mSv in a single computed tomography (CT) examination with non-contrast slice CT-scans. The effective dose observed in the most CT examination was approximately 200 times higher than that in chest radiography.

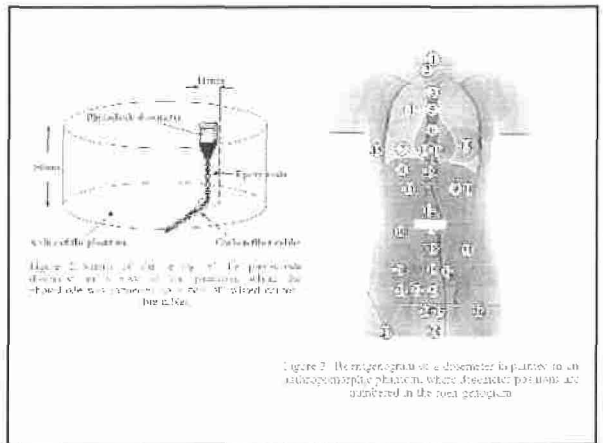


Figure 2. Anthropogram of a dosimeter in phantom to an anthropomorphic phantom, where dosimeter positions are numbered in the total anatomical.



「労災認定」を例にあげていますが、労災認定というのは、労働者の保護を目的としている。白血病が「被ばく」によるものか、それ以外の因子によるものか、証明はできない。灰色。労働基準監督署の判断であり、この例をあげて、白血病の原因が低線量被ばくであるというのは、科学的でない。

程度には証明されていたからです。それで、原子力発電所作業従事者が低線量被ばくの後に発がんした場合、役所が労災認定をしているのです。白血病を発症して一九九一年に労災認定された方の被ばく線量は、十一月で四十分 Sv でした。

読売新聞 2004年10月2日 10月2日 読売新聞

21世紀の地球を考える  
デューン

# がん3.2% 診断被ばく原因

英の大学推定

CT 普

早期発見に貢献  
過剰検査に注意

## Lancet 誌の論文

THE LANCET

Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries

Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries

診断X線による発がんのリスク：英国および14ヶ国の評価

Lancet. 363巻. 345-351ページ. 2004年

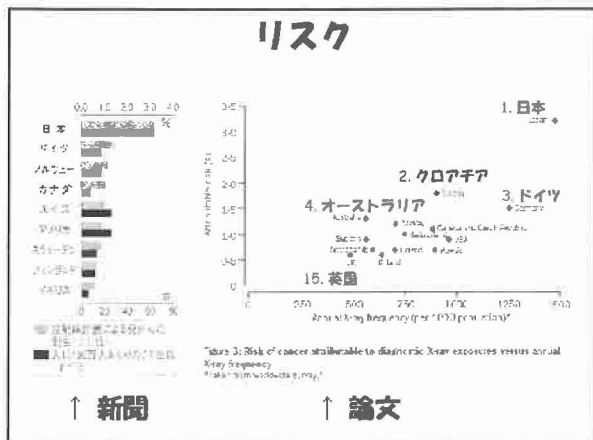
Amy B de Gonzalez & Sarah Darby, University of Oxford, UK  
アミー・B ゴンザレス、サラ・ダービー (オックスフォード大)

- ## ゴンザレス氏らの論文の要約
- ・調査対象 = 15カ国 (英国, 日本, ...)
  - ・X線検査の頻度、放射線被曝量と発がんの危険性などのデータから75歳までに癌を発症する人の数を推定
  - ・日本では年間に発症する癌の3.2%が医療でのX線検査による被曝に起因すると見られ、他の14カ国における割合(0.6-1.8%)と比べて高い .....⊗

- ## ゴンザレス氏らの論文の問題
- ⊗はっきり分かっていない低線量における影響を計算によって推定している
  - ⊗X線診断によって病気が見つかることによる効果を考えていない
  - ⊗CTの普及台数の差 (3~7倍)
  - ⊗計算の元：広島・長崎の原爆生存者——時的に高エネルギーの放射線を全身
  - 同所、低エネルギーに適用可?
  - ⊗平均寿命：世界一

## 被曝者寿命調査対象者の固形癌による死亡 (1950-1997年) Rad.Res.2003

| 線量 mSV    | 対象者人   | 癌死人   | 過剰死人 | 割合%  |
|-----------|--------|-------|------|------|
| <5        | 37,458 | 2,833 | 0    | 0.0  |
| 5~100     | 31,650 | 3,277 | 44   | 1.3  |
| 100~200   | 5,732  | 688   | 39   | 5.7  |
| 200~500   | 6,332  | 763   | 97   | 12.7 |
| 500~1000  | 3,299  | 438   | 109  | 24.9 |
| 1000~2000 | 1,613  | 274   | 103  | 37.6 |
| >2000     | 488    | 82    | 48   | 4.7  |
| 合計        | 86,572 | 9,355 | 440  | 4.7  |



ICRP 2007勧告 日本語版 p.xvii (総括 Executive summary)

(j) 実効線量は防護量として使用するよう意図されている。実効線量の主な利用は、放射線防護の最適化のための予測的な線量評価、及び規制目的のための線量限度の遵守の実証である。実効線量を疫学的評価のために使用することは推奨されないし、また、個人の被ばくリスクの詳細な特定の訴求的速及的調査にも使用すべきではない。

(k) 集団実効線量は最適化のための、つまり主に職業被ばくとの関連での、放射線技術と防護手法との比較のための1つの手段である。集団実効線量は疫学的リスク評価の手段として意図されておらず、これをリスク予測に使用することは不適切である。長期間にわたる非常に低い個人線量を加算することも不適切であり、特にごく微量の個人線量からなる集団実効線量に基づいてがん死亡数を計算することは避けるべきである。

ICRP 2007勧告 日本語版 p.xvii (総括 Executive summary)

「実効線量」→ ① 放射線防護計画策定  
② 疫学評価、個人のリスク

「集団実効線量」→ ① 放射線技術と防護手法の比較  
② リスク予測  
③ 長期の低線量の加算、ガン死亡数の計算

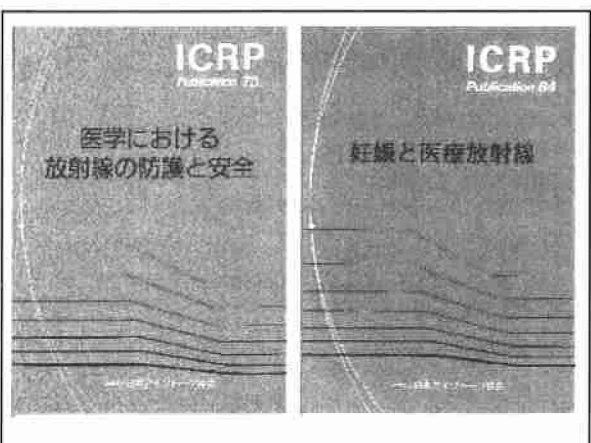
この部分は不確定：「防護」のための仮説。リスク評価には不適切

→ 医療被ばくの考え方と課題

### X線診断に対する考え方

- ① CTの普及 → より安全な検査  
(血管造影 → MDCTにより造影剤不要 or 少量の造影剤)
- ② くも膜下出血、脳出血、脳梗塞の診断  
→ CTにより容易 & 正確 → 治療成績 ↑
- ③ X線：透過力・解像力  
← 超音波・MRIに置き換えられない検査
- ④ 「放射線は危険」  
→ 身の回りの危険と比較  
→ 身の回りにも自然放射能  
→ 正しく怖がる

☞ 必要であれば躊躇せず受ける



### 医療被ばくの特異性

- ・患者：故意に人体に放射線を照射する  
 便益（病気の発見・治療）と損害（被ばく）  
 天秤に掛けて判断
- ☆検査で今の病気の発見 vs ☆被ばくによる将来のがんのリスク
- ☆IVRでの狭窄部の治療 vs ☆被ばくによる皮膚障害  
 ☆被ばくによる将来のがんのリスク
- 医療(患者)：放射線のリスクと便益が同一人物にかかる  
 ↓↑  
 産業：放射線のリスク=業務従事者、周辺住民  
 便益=一般公衆、会社
- 「確率的影響は、直線的で小さい値がない(LNT仮説)との仮定で、医療被ばくについても、  
 「合理的に達成できる限り低く保つべきである。」  
 という考えが出てくる。

### ※1回の被ばくと、多数回の被ばく→リスクは同じか？ (同一線量)

がんの発生リスクは、広島・長崎の被爆者の調査から計算  
 → 高線量率の1回の全身被ばく  
 ↓↑  
 多くの医療被ばく・業務上の被ばく  
 → 低線量率で局所、繰り返し被ばく

### ※ホルミシス

ある物質が高濃度あるいは大量に用いられた場合には有害であるのに、低濃度あるいは微量に用いられれば逆に有益な作用をもたらす現象。  
 自然放射線の10倍から100倍くらいの放射線を浴びると体や健康にさまざまなよいことが起こる。

### <妊娠と医療放射線>

- ・ほとんどの診断による出生前の線量で、出生前死亡、奇形、精神発達生涯のリスクが増加することはない。
- ・放射線診断が医学的に適応とされた場合、その診断が行われなかったときの母親のリスクは胎児の潜在的リスクに比べて大きい。
- ・10日間ルール：無意味である。  
 (放射線検査を月経期の最初の10日間に行うというルール)
- ・100 mGy未満の胎児線量で中絶→ ×
- ・胎児が照射野に入らない場合、検査をためらう理由はない。
- ・胎児が照射野に入る場合 ..... 胎児の線量を訊ねることに意味はある。答えられない場合は、別の選択を考へても良い。
- ・妊娠中の検査医学検査

### CT検査での被ばく線量

| 対象     | 部位      | 実効線量(mSv) |      |
|--------|---------|-----------|------|
|        |         | 範囲        | 平均   |
| 成人     | 頭部CT    | 1.1~2.0   | 1.3  |
|        | 胸部CT    | 0.6~1.8   | 10.7 |
|        | 腹部-骨盤CT | 7.4~21    | 17.6 |
| 小児(6歳) | 頭部CT    | 1.0~2.7   | 1.8  |
|        | 胸部CT    | 1.5~8.8   | 5.7  |
|        | 腹部-骨盤CT | 2.6~9.4   | 8.5  |

成人および小児CT検査における患者の被ばく線量と放射線防護に関する研究  
 藤井啓輔, 博士論文, 名古屋大学(2009)

### X線診断の問題

- ◎必要な検査を避けることによって、見つかる病気も見つからないこと
- ◎安易な検査は避けるべき
- ◎胸部X線撮影、胃腸団検診
- ◎情報の共有
- ◎医療スタッフの被ばく線量
- ◎画質 vs 被ばく線量
- ◎医師・医療スタッフの責任
- ◎保険診療の発達
- ◎病院経営の問題
- ◎納得するまで医師と良く話をする
- ◎インフォームド コンセント
- ◎セカンド オピニオン
- ◎同じ効果をより少ない線量で実現→医療関係者の努力
- ◎放射線防護の立場からその効果と影響を検討
- ◎診断データ(画像)の相互利用
- ◎機器メーカーの努力：低被ばく
- ◎検討の余地有り



# 放射線に興味を持たせる 理科教育とは



— 先ず教員が放射線に興味を持つことから始まる —

松沢 孝男\*



## 1. はじめに

原子力立地県の茨城県で、理科教育の中で放射線を扱うことは気苦労が多いのだろうと推察する。本県の学校教育の場では他所（原子力に関係の無い地域）と同程度か、むしろ他所以上に抑制的に行なっているのではないかという気がする。

それが端的に現れたのは平成11年（1999年）9月30日の東海村のJCO社の臨界事故の際の理科教員の行動であった。

当日、現場周辺の放射線強度のデータが全く報道されず、東海村近隣の市町村の住民はどのような対応を取ってよいか判断できなかった。この際、日ごろ学校で理科、化学、物理等の授業で放射線の性質等を教えている理科教員が、せめて自校の校庭あるいは教室の放射線強度（線量率）を測り、平時の値と比べて相互に連絡しあっておれば、あのような馬鹿げた空騒ぎ・風評被害は生じなかったはずである。

後日、茨城県内の高等学校の理科（主として物理）の教員と集まったときこのことを話し事故当日の各理科教員の行動を聞いてみたが、自分で放射線の測定を行ったという教員に出会わなかった（高校、高専、大学とも）。教壇に立って放射線について教えることと、緊急時、自分の身のまわりの放射線の量を測り、自分の知識・技術を

生かすことは、当地の理科教員の感懐の中では全く別のことと認識されていたらしい。

放射線は、通常は五感では分からず、放射線計測機器で測る必要がある。ところが、当日、茨城県の理科教員は自己の専門性を発揮せず、ただ電話等で無意味な実測データに基づかない情報の交換（おしゃべり）を楽しんでいたらしい。

筆者はJCO社の臨界事故の前年12月葉山で開催されたISRE'98（国際放射線教育シンポジウム）に参加する機会があった。ハンガリーの物理学会の会長 Marx、同国の高校の物理教員会の会長の Toth の講演を聴いた。旧ソ連のチェルノブイリ原発事故の際、ハンガリーの国土の汚染地図を作成したのは高校の理科教員であったとのことであった。汚染の定量的な情報があったため同国では無用の人工妊娠中絶を防ぐことができたという。もし将来日本で同様な原子力災害が生じたら、同じことをしようとして心に決めている。

放射線測定器で線量率あるいは計数率を実際に測って、平常時の値と比べるだけで、大雑把な状況判断は可能である。筆者は臨界事故の当日、JCO社の事故のニュース報道の直後に、サーベーターで勤務校の教室および校庭のγ線の空間線量率の測定を行い平時と変わらないことを確認し、学校

\*Takao MATSUZAWA 茨城工業高等専門学校 自然科学科 准教授

および生徒に伝え、更に、事故現場周辺の放射線の状況を把握するため、国道6号線に沿って空間線量率の測定を行なった。ひたちなか市内では放射線の増加を検知できず、東海村のJCO社のすぐ近くになって初めて僅かに空間線量率の増加を検知した。道路(国道6号線)は交通規制がなく平常どおりの交通量であった。ただし、JCO社直近の「二軒茶屋交差点」ではRIの管理区域を指定する程度の(20 $\mu$ Sv/h)の $\gamma$ 線の線量率であった。中性子の線量は考慮していない。このときn/ $\gamma$ 比は概算で約10と考えていた。この交差点でも国道6号線は交通規制が無く通常どおりの交通量であった。放射線マークや警告の掲示も無く不思議な気がした。

私が今までに個人的に扱った放射線は、

- (1) 屋内ラドン濃度(ポリカーボネートCR-39をSSTDとする測定)
- (2) JCO社の臨界事故時の環境放射線強度の測定
- (3) 太陽のフレアを電気ノイズ(信号)として捉える。(非電離放射線)
- (4) 航空機内および高山の自然放射線(2次宇宙線)

と、いずれも、線源の原価ゼロの放射線の簡易測定である。

本報告では、(4)の航空機内および高山の自然放射線(2次宇宙線)に絞り事例紹介とする。

## 2. 航空機内の自然放射線(2次宇宙線)

### 2-1. 方法

飛行機内では、機長に許可を取り、成田-北京、上海-成田および、成田-ウィーン、成田-ニュージーランド、成田-オーストラリア間について「はかるくん」を用いて線量率、線量を調べた。上海-成田便ではGM管によってカウント数(計数率)を測定した。「はかるくん」

は放射線計測協会から借用したものである。シンチレーション検出器の種類はCsI(Tl)で、感度・計数効率 $0.01[\mu\text{Sv/h}]$ において $10[\text{cpm}]$ 以上、エネルギー範囲は $150[\text{keV}] \sim 3[\text{MeV}]$ の検出器である。

成田からウィーンまでは、「はかるくん」とGM管で計測を行った。上海-成田航路ではGM管のカウント数(計数率)を測定しただけに過ぎなかったが、成田-ウィーンの航路では「はかるくん」で一応線量率を測定することができた(Cs-137換算)。

さらに、学校の海外語学研修の際、学生や付き添いの教員が成田-オーストラリア、成田-ニュージーランド間の「はかるくん」による測定を行った。測定データは横軸に飛行時間、縦軸に線量率をとり、グラフを書いて面積を求める(図1-図3)。その面積は、飛行時間中に浴びた放射線の総線量に相当する。

### 2-2. 結果

上海から成田までのGM管による測定結果を図1に示す。成田からウィーンまでの「はかるくん」とGM管による測定結果を図2に示す。図2を見ると、「はかるくん」とGM管での測定値は正比例している(エネルギー補償をしていないため)。横軸に飛行時間、縦軸に線量率をとり、グラフを書いて面積を求める(図1-図3)。その面積は、飛行時間中に浴びた放射線の総線量に相当する。離着陸時いったん線量率が下がり再び増加する現象も実測できた。成田空港から北半球のオーストラリア(ウィーン)までの線量は $2.96[\mu\text{Sv}]$ 、成田から南半球のニュージーランドまでの線量は $1.20[\mu\text{Sv}]$ だった。どの観測データも、離着陸時の線量率の極小が観測されていて、良好な測定が行われたと思われる。

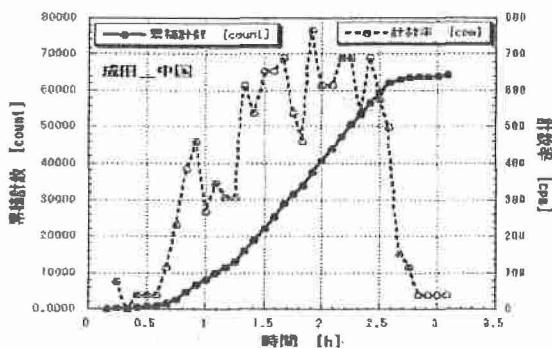


図1 GM管の計数率の時間変化(中国：上海ー成田)

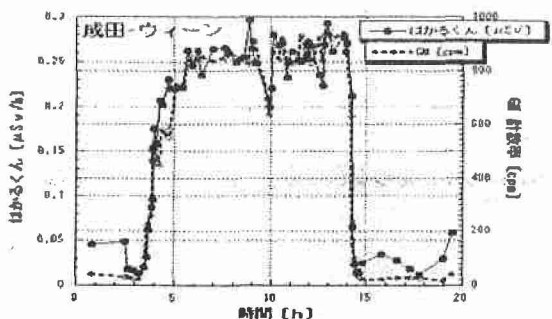


図2 線量率の時間変化(成田ーオーストリア：ウィーン) (「はかるくん」とGM管)

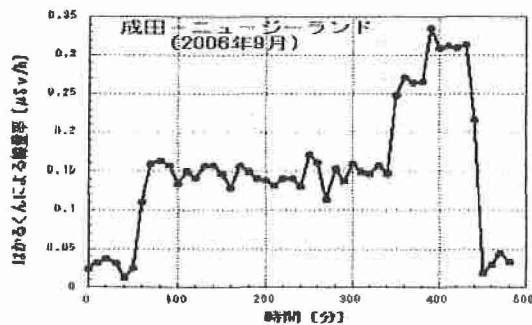


図3 線量率の時間変化(成田ーニュージーランド) (「はかるくん」で測定)

### 2-3. 専門家のプログラムとの比較検討および、「はかるくん」による航路線量の測定値が専門家の予測計算の30分の1になった理由

これら距離も方位も時期も全く違う「はかるくん」での実測結果を、どのように整理すればよいのか考え、これらの結果を線

量率で考えると整理しやすいことに気がついた。

この値にどのような意味があるのか、専門家の線量評価プログラムと比較を試みた。そんな折ちょうど、放射線医学総合研究所の保田浩志氏が開発したプログラム「航空線量計算システム (JISCARD)」[1] がウェブで公開された(詳細は本誌9月号[2]をご覧ください)。さっそくJISCARDを用いて、東京から上海、ウィーン、オーストラリア、ニュージーランド間を飛行線量プログラムで計算した線量の値と私たちの測定結果を比べたが、JISCARDのほうが、私たちの「はかるくん」での実測値より20倍~30倍高い線量となり、結果が全く合わない。保田氏のプログラムの基であるFAA(米国連邦航空局：Federal Aviation Administration)のCARI-6[3]で東京ー上海、ウィーン、オーストラリア、ニュージーランド間の計算も試みた。しかしCARI-6で計算しても、「はかるくん」の測定より20倍~30倍高い線量と計算されたため、その理由を考察した。

### 2-4. 結果、考察

「はかるくん」による測定値と、専門家による線量評価の大幅な開きは、「はかるくん」の検出感度のエネルギー特性が、低エネルギーの0.662 [MeV] (Cs-137)のγ線による1点補正でなされているからだと考えられる。高エネルギーでの検出効率が悪ければ、表示値の数倍の被ばくがあると考えられる。さらに、巡航高度での放射線の主成分である中性子の検出がγ線検出器では原理的に不可能なため、仮に別的高级なγ線検知器(エネルギー補償型)を使用したとしても、全放射線線量はそのγ線測定器の表示値の4倍以上になってしまう(図4)。

これにより「はかるくん」による実測値



と、専門家の計算による航路線量の20~30倍も開いた原因がほぼ理解できた。すなわち、図4の「総線量率/(光子+電子)の値(図の右側の目盛り)」を読めば、線量値の何倍かが自分が浴びる総線量となるので、巡航高度がわかれば、「はかるくん」の測定の数値(感度のエネルギー依存性を補正した線量値)から中性子を含む全線量を推定できることになる。

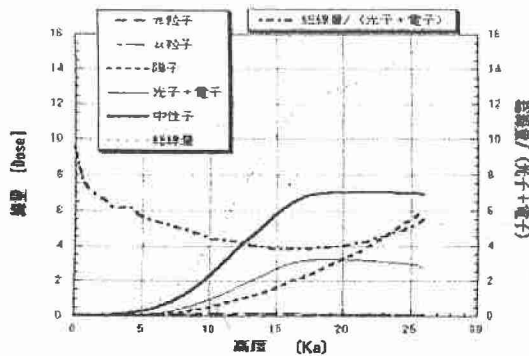


図4 中性子、光子+電子、陽子の線量率と「線量率の総和/(光子+電子)」[2]より計算

「はかるくん」による実際の測定と、線量評価プログラムの近似計算の開発で2次宇宙線の存在がより身近なものになった上、放射線を通して宇宙を見る楽しみを知った。

### 3. 富士山頂でのγ線、ミュオン測定

#### 3-1. 方法

2次宇宙線を文献[1,4]で調べてみると、航空機の巡航高度における放射線の主成分が、中性子およびミュオンだということがわかった。そこで2006年8月11日、12日に日本最高峰の富士山山頂まで登山し、空気の薄い富士山山頂で線量率の高度依存性を測定した。「はかるくん」と、ミュオンを測定できる機器(GM管2台をAND回路でつないだもの)を持って登山した。測定器は学生が使うものでごく簡便で安価なもの(RM-80、Aware社製)を用いた。

#### 3-2. 結果

「はかるくん」で測定した線量率の高度変化の結果を次に示す(図5)。

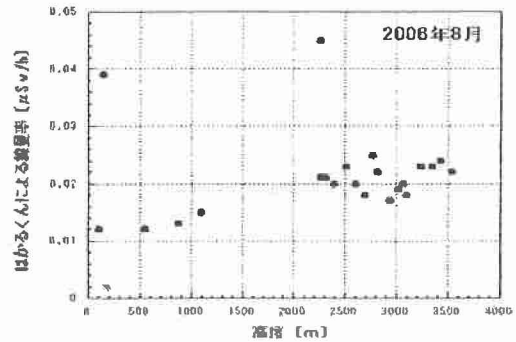


図5 線量率の高度変化(富士山、2006年8月)

この結果をみると、高度が上がるにつれて「はかるくん」の線量率も増加の傾向にあるように読み取れる。まだデータにばらつきがあり、整理することが困難である。平地に比べ、富士山山頂のミュオンの計数率は約1.7倍に上昇した。文献[1,4]の予測値と同じであった。

### 4. 平地におけるミュオンの測定

#### 4.1. 方法

GM管(RM-80)を2台重ね、夫々の出力をAND回路(C-Box)につなぎ簡易型の同時計測回路とした。同時と感じる時間幅(窓)は50[μs]である。

この測定器で検知できる放射線を宇宙線と想定し実験を行った。

#### 4.2. 結果

測定している放射線が、宇宙線であることの確認のため、装置を天頂に対し傾け、入射放射線の計数率の変化を調べた。遮蔽の鉛の厚さは1mmにした。測定結果を図6に示す。cos<sup>2</sup>θに対する計数率の値がほぼ直線に乗り、cos<sup>2</sup>θ則に対応している。θは天頂角である。

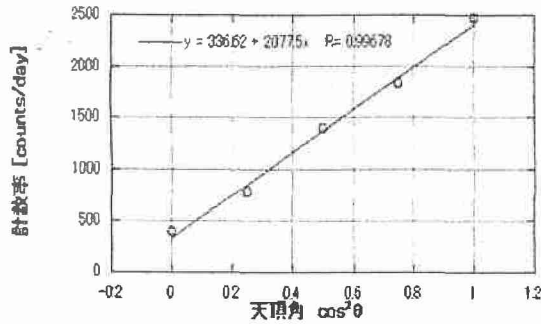


図6 計数率の天頂角依存性  $\cos^2 \theta$  プロット

以上の結果により、簡易測定ながら宇宙線を捕捉しているらしいと判断した。

2次宇宙線の中性子については、 $^3\text{He}$  比例計数管を用いポリエチレンのまな板をモデレータとした測定の予備実験をはじめた段階である。

## 5. おわりに

事の始めは遊び半分で飛行機に乗って放射線を測ってみるだけだったが、高所の放射線の測定の重要性や難しさが徐々に分かってきた。

私たちの身近には自然放射線があり、その一つに宇宙線（特に2次宇宙線）がある。高エネルギーの1次宇宙線粒子は、空気の原子核と核破砕反応という核反応を起こし、中性子、陽子、 $\pi$ 中間子、K中間子、ミューオン、ニュートリノなどの2次粒子を生む。これらの2次宇宙線の一部を簡便な装置で捕捉できたような気がする。

これらの事実を簡便な装置を使って楽しみながら確認することで、学生の自然科学への興味を高められないかと考えている[5]。更にいえば、放射線に対し腰の引けた教師より、生徒・学生に期待している。

## 6. 参考文献

- [1] JISCARD：放射線医学総合研究所。  
<http://www.nirs.go.jp/research/jiscard/index.shtml>
- [2] 保田浩志、航空機での宇宙線被ばく

線量を計算する「JISCARD」、FB News 369,1-5, 2007.

- [3] CARI-6 (FAA、米国連邦航空局)、  
<http://jag.cami.jccbi.gov/cariprofile.asp>
- [4] 早川幸男、宇宙線、筑摩書房 (1972) および小田実ら編、宇宙線物理学、共立出版 (1983) .
- [5] 松沢孝男ほか、身のまわりの放射線の測定の試行、-航空機、富士山、2次宇宙線、北朝鮮の核実験-、茨城工業高等専門学校研究彙報、第42号 (平成19年3月) pp.45-52.

### ☆ プロフィール ☆

1969年3月京都大学理学部化学科（金属物性学講座）卒業。1974年3月京都大学大学院理学研究科博士課程修了（固体化学）。1977年3月京都大学理学博士（磁性）。1974年4月より東北大学金属材料研究所材料照射部門助手。矢島聖使教授らの炭化ケイ素（SiC）繊維の開発に携わる。放射線取扱主任者。放射線管理室長。1987年3月東北大学金属材料研究所附属材料試験利用施設助教授。1987年4月茨城工業高等専門学校一般科目助教授（物理）。劣悪な研究環境の中で素人が素手で何が出来るかに挑戦することに果敢に喜びを見出そうとしている。無尽蔵の自然放射線は好適な研究対象になる。放射線取扱主任者。ラジオ部顧問。アマチュア無線のコールサインはJM1CML。

E-mail : matsuzaw@ge.ibaraki-ct.ac.jp

# 私たちをとりまくリスク

河村正一、田中隆一、松浦辰男

## 1. はじめに

科学技術の開発や利用が専門家の間で取り扱われている小規模の間は、社会とあまり関わりがなくても深刻な問題は起こらない。しかし、技術が進歩し発展してくると関連する人が多くなり社会に何らかの影響を与えるようになり、社会の理解が必要とされており、その限界は10%程度といわれている。

放射線、放射能、原子力などの技術は、診断、治療などの医学、工業、農業、ライフサイエンス、エネルギー源などの分野でも社会の理解と協力が必要になってくる。

私たちは生まれると同時に地震、津波、噴火、台風などの自然災害の脅威を受ける機会をうけ、毎日の生活では医療、食品、化学物質、交通手段からも被害を受ける機会にあるれている。

私たちの生活の元となる職業からも危険性を被る。リクリエーションやふつうの家庭生活からも確率は低いですが、危険性がある。この世で生活している限り、全く危険性を伴わない状態、すなわちゼロリスクはあり得ないということができる。

## 2. リスクの定義

リスクという言葉は、現在、社会、経済、理学、工学、農学、医学など広い分野にわたって使用されている。はじめは経済の分野での使用が多かったが、次第に他の分野に広がっている。

パソコンで「安全、リスク」をキーワードにして調べたところ、たちまち14万件余りが検索できた。「リスク」という言葉は日常的用語として定着している感じがある。

リスクの発祥は、遠くは13世紀末から15世紀末にかけて起こった全ヨーロッパに波及した芸術上、思想上の革新運動のルネサンスに影響を受けているという。

National Research Councilによれば、リスクとは、「被害の重大性と、その重大性が起こる確立の積」であると定義されている。この被害の重大性はハザードとよび、「人や物に対して、傷害を与える可能性がある行為又は現象」と定義されている。リスクとは、ハザードがどのくらい起こるかという期待値でもある。

飛行機の事故で、例えば事故1回あたり何人の死者がでるかというのは、被害の重大さである。飛行機の利用に伴い何回事故が起こるのは「重大性が起こる確率」である。飛行機事故は、事故生起の確率は小さいがひとたび事故を起こすと多数の死者が出るので被害の重大性は大きい。

自動車は飛行機よりも事故が起こる確率が高い、しかし死者がはるかに少ないので被害の重大性は自動車の方が小さい。両者の死者数と事故生起の確率の積を、それぞれ求めると飛行機と自動車のリスクが比較できる。

平成22年版「警察庁・道路交通事故」によると、平成21年の道路交通事故の死傷者数は910,115人である。大変なことのはずなのに、交通事故は身近に起こり事故の過程を容易に理解できるのであまり世間の注目はひかない。

### 3. リスクに関連する事象

リスクの定義は研究者によってかなり幅があるが、おおかたは、「被害の重大性とその生起確率の積」として定義されている。この被害の重大性や生起確率は、関連するデータから推定される場合が多く、変動することもあるものの、妥当なものが選ばれている。このような科学的根拠に基づいて推定されるリスクを「客観的なリスク」とよび「主観的リスク」と区別されている。

草間朋子氏らが大学生を対象にした研究によると、客観的リスクと主観的リスクの差が小さいのは、食品添加物、エスカレータ、自転車であり、主観的リスクが客観的リスクを上回るのは、原子力、鎮痛剤、大気汚染などであるという。

リスクは客観的には重大性とその生起確率の積で表されるが多くの人は、このような考え方でリスクを評価してはいない。これを明らかにしたスロビックの有名な研究がある。

女性が最も危険と考えているのは、原子力であり、次いで自動車、拳銃、喫煙、オートバイという順序である。これに対して専門家が最も危険と考えているものは、自動車、次いで喫煙、アルコール飲料、拳銃、外科手術の順となっている。原子力は20位でリスクは低い順番である。専門家はリスクの客観的な期待値（被害の重大性と生起確率の積）によって危険の順位（怖いと思っている順位）を考えるのに対して、一般の人々は客観的なリスクの期待値によらないで危険の順位を考えるためにこのような差が生ずると考えられている。

ベネットは、過去の研究から、「怖い」という要素を下記のように分類している。

- ① よく分からないもの又は新しいものは、よく知っているもののリスクよりも怖いと感じる。飛行機によく乗る人は怖くはない。しかし、たまにしか乗らない人は怖いと感じる。
- ② 人工的なもののリスクは、自然界に存在するものより怖いと感じる。
- ③ 何年も経ってから病気になるもの、例えば放射線被ばくによる晩発性効果によ

って起こる発ガンのようなものは怖いと感じる。

- ④ 遺伝的影響を後の世代に与えるリスクは、そうでないリスクよりも恐ろしいものとして感じる。
- ⑤ 科学的に解明されていないリスクはより怖いと感じる。
- ⑥ 異なる情報源から矛盾した情報が伝えられる。例えば行政機関が安全といい、消費者団体が危険と言う場合である。両者はリスクを認めながらそのリスク評価の程度が異なる場合にも矛盾があるので、よりリスクは高いと認知される。同じ情報源から矛盾した情報が与えられるときには、さらにリスクは高いと感じる、などである。
- ⑦ 非自発的にさらされるもの。例えば大気汚染のようなリスクは、好むと好まざるとにかかわらず、非自発的にそのリスクにさらされることになる。危険なスポーツや喫煙は、したいと思う人が自ら進んでそのリスクにさらされる。こうした自発的なリスクより大気汚染のような非自発的リスクの方が怖いと感じることが知られている。
- ⑧ 不公平に分配されているとき。原子力発電のようにその便益を受ける人がいる一方で、リスクにさらされる人々がいる。便益とリスクの不公平を指す。不公平に分配されたリスクの方がこわいと感じる。
- ⑨ 個人的な予防行動では避けることができないもの。喫煙による肺ガンのリスクは禁煙で回避できる。これに対して大気汚染による肺ガンのリスクは避けられないのでこちらが怖いと感じる。呼吸はとめることができない。
- ⑩ 通常とは異なる死に方をするもの。苦しみながら死亡する。というような場合がこれに当てはまる。
- ⑪ 被害者が分かること。誰か知らない人が被害者になるリスクよりも、身近な人や知っている人が被害を受けるリスクの方が怖いと感じる。

ベネットは多くの評価をまとめて、さらに少数の要素で人々のリスク認知をまとめている。

一方スロビックは、放射性廃棄物、自動車事故、たばこなど81のリスクの次元を明らかにしている。

その結果、「恐ろしさ」「未知である」「リスクにさらされる人数」の3つが次元として取り出されている。

「恐ろしさ」の次元には制御できない、結果が致命的である、自発的ではない、

後の世代にリスクが及ぶ、などの評価が含まれている。

「未知である」の次元には観察できない、結果が出るのに時間がかかる、新しいリスクであるなどの評価が含まれている。

上記2つの次元をもとに、人々のリスク認知は次のとおりといえる。例えば原子炉事故や放射性廃棄物は、恐ろしさも、未知性の認知も、ともに高いリスクである。たばこや自転車、スキーなどは恐ろしさも未知性もともに低いリスクである。恐ろしさの認知が高く、未知性の認知が低いのは、核戦争や炭坑事故などである。恐ろしさの認知が低く、未知性の認知が高いリスクは、水道中の塩素、経口避妊薬、サッカリンなどである。このリスク認知の次元研究によって分かることは、一般の人々がリスクの高いものと認知する背景には、「恐ろしい」とか「未知なものである」という判断が非常に影響していることである。

この研究はリスクを「重大性」と「生起確率」の積として評価する専門家の判断とは異なる情報となることを意味している。一般の人々が「未知なもの」と判断しているリスクについて、専門家はそのリスクの生起確率は低いといっても人々のリスク認知には影響を与えないこともある。

#### 4. リスクコミュニケーションの定義

リスク・コミュニケーションの定義も、リスクの定義と同じ様にいろいろある。

National Research Councilの定義とは、「個人、機関、集団間での情報や意見のやりとりの相互作用的過程」とある。

このやりとりには、次の2種類のメッセージがある。1つは、①リスクの性質についてのさまざまなメッセージである。もう1つは、②リスク・メッセージ又はリスク管理のための法律や制度の整備に対する関心、意見、反応を表現するメッセージである。

①リスク・メッセージには、文章や聴覚、視覚に訴えるものがある。このほか言葉によらない非言語的なコミュニケーションも含まれる。さらにリスクの低減にはどうすればよいか指示することもある。双方向的なリスクコミュニケーション過程にあつて送り手から受け手に伝えられる。

②後者のメッセージとして、企業や政府の正しいリスク管理を住民が関心を持っていると示すことや、特定のリスクの問題に対して一般の人々が反対したり賛成したりする意見の表明もリスクコミュニケーションに含まれる。

国際放射線防護委員会 (ICRP) が示したリスクの定義は、通常望ましくない結果の大



きさの数学的期待値、すなわちその事象の確率と結果との積であるという。この表現は日常的に放射線を取り扱う職業人に対しては適切である。関係者はリスクの使用を出来るだけ避けて、より直接的な言葉、例えば「確率」、「結果」、「数学的期待値」の使用がよいとしている。ついでに、リスクとは複数の属性をもつ量とみることも出来るが、量というよりは「概念」という追加の説明が加わり、より明確さを失っている。このような曖昧な表現が、放射線の安全性に対する一般公衆の認知を惑わせる原因の一つかも知れない。

## 5. リスク・コミュニケーションが取り扱う範囲

リスクコミュニケーションが取り扱う問題はさまざまであるが、①科学技術、②環境問題、③消費生活用製品、④健康・医療、⑤災害に分類できる。科学技術では、原子力発電や遺伝子組み換え食品などが入る。以前は、科学技術のリスク・コミュニケーションは、社会的受容を目的とする説得的のものが多かった。専門家が安全性や利便性を伝えるという方式であった。しかし、このような新しい科学技術に対して懐疑的な見方が多くなり、一般の人々も新しい科学技術に対して否定的な意見をもち、素人として専門家に異議を述べるようになるようになった。

この分野のリスク・コミュニケーションのあり方が、説得から議論へと変わりつつあるといえる。環境問題の分野では、ゴミ焼却場近辺の大気、土壌の汚染問題、フロンガスによる地球温暖化の問題などがある。これらの環境問題では科学技術のリスク・コミュニケーションの問題と共通するところが多い。

良好な環境を維持するためには多くの人々が不便を我慢することを、個人的にとりより社会的な合意として守ることが必要となる。

消費生活用品のリスク・コミュニケーションはPL法が実施されたために以前よりも重要になった。この分野では企業と消費者それぞれについて問題が検討されている。企業側は消費者が警告や注意書きをみて理解できるよう表示のあり方が検討されている。消費者の側に対しては、注意書きを必ず読むこと、その指示に従うことが求められる。

医療・健康問題に関するリスク・コミュニケーションでは、医学的な専門知識をいかにして患者や家族に伝えるかについての技法が研究されている。この分野では「インフォームド・コンセント」（説明と同意）が非常に重用視されるようになった。患者自らが納得して自己決定することについて、素人である患者の自己責任をどこまでとするかには議論がある。

災害のリスク・コミュニケーションでは、災害前の予防行動の啓蒙と、実際に災害が

発生後のコミュニケーションの問題との2つの問題が検討されている。

後者については、災害警報、災害発生後の流言やデマの研究、避難警報など多くの研究が行われてきた。

なお、自然災害と科学技術の事故とでは、同じ災害でも人々の反応が異なることが知られている。自然災害とは地震や洪水、台風などで、科学技術の事故とは、化学工場の事故や原子力発電所の事故などである。

人々は自然災害のリスクを低く見積もる傾向があるが、科学技術の事故のリスクは高く見積もる傾向がある。したがって自然災害に対しては避難行動が起こりにくく、科学技術の事故に対しては避難行動が過剰になることが知られている。

災害というとパニックが起こると考え勝ちであるが、実際には自然災害では避難しないことによる被害の拡大が問題であり、パニックがおこるとすれば科学技術の事故のときに起こる可能性が高い。

## 6. リスク・コミュニケーションと説得

社会心理学では、どのような方法を用いれば人々を説得できるか、多くの研究がある。リスク・コミュニケーションは説得ではなく対話が重視されるので、説得の技法を利用して人々の考え方や行動を誘導することは慎まなければならない。リスク・コミュニケーションの受け手はどのような技法があるかを知っていると、ときに悪意の説得があっても、それに誘導されないように注意できる。説得は全く禁じられているわけではない。人々が危険な行動をしないように、リスクを回避できるように、行動を変えることも大切だからである。例えば警告表示や災害時の避難勧告などの個人的選択の事態がそれにあたる。このようなときには、人々が誤った製品の使い方をしないように、又は迅速に危険地域から避難するように効果的な伝達が求められる。このようなとき説得の技法の使用は大切である。

### 1) 一面的コミュニケーションと両面的コミュニケーション

一面的コミュニケーションとは、誘導しようとする立場に関する賛成論だけを伝えるコミュニケーションである。これに対して両面的コミュニケーションとは、誘導しようとする立場に関する賛成論だけでなく、反対論も併せて伝えるコミュニケーションである。例えば、遺伝子組み換え食品について安全であることを伝えようとする場合、その安全面だけ伝えるのが一面的コミュニケーションであり、リスクがあることを指摘する研究もあるというような反対論も併せて伝えるのが両面的コミュニケーションである。両面的コミ

コミュニケーションが賛成論も反対論も併せて伝えるのは公平な立場で接する必要があると考えられるからである。両面的コミュニケーションが一面的コミュニケーションよりも説得に有利であるとは限らないが、次の場合は効果があることが知られている。

- ① 受け手が誘導しようとする立場に反対の場合
- ② 受け手の教育程度が高い場合
- ③ 受け手が説得する話題についての情報や知識を多く持っている場合
- ④ 受け手が逆宣伝に接する可能性がある場合

## 2) 恐怖喚起コミュニケーション

コミュニケーションの受け手に身体への危険を伝えて、恐怖という感情を引き起こすコミュニケーションである。その内容は危険についての記述とその危険をどのように避けるかという行動の2つの部分からなる。

## 7. 放射線のリスクの難しさ

この世の中で何をしてもリスクを伴うことは上記のように理解されている。それならば、そのリスクを知りたいと考えるのが当然である。通常望ましくない結果の大きさの数学的期待値、すなわちその事象の確率と結果との積を知りたい訳である。ICRPの基礎はこの考えである。世の中の人々はこれだけでは理解出来ない。困難ではあるが、容易に理解できるような工夫が必要である。

喫煙やアルコール依存症に対してアメリカ人は敏感であるといわれている。リスクに対する感じ方は、民族、文化、経験などによって異なるといえる。その道の専門家と一般の人々でもリスクの重みに対する感じ方は異なってくる。

このようにリスクに対する感じ方、科学的評価、社会的評価の違いが、リスクの判定結果に違いとなってあらわれ、評価に大きい差をもたらす。この感じ方の差が大切である。適切な指針の設定が必要な所以である。

専門分野が極端に細分化されている現在、自分の狭い専門分野は判断できる。しかし専門以外の分野は、素人と同じ程度であまり分からない。いろいろの事件がひっきりなしに複雑に起こる。報道姿勢の影響も著しい。結果として、多くの人々は誤った印象をもち、適切な判定が困難となる。

世の中、忙しく一つのことに対応できる時間には限界がある。問題の本質が分からないまま、やむなく時間切れとなり生半可な処理のまま、次の問題に移る。このような不完全な処理が重なったままの知見を「物差し」として物事を判断すると公正ではない結論となる。

放射線や放射能は私たちの目にも見えない、匂いもない、触れても手応えがない、味もない、音も聞こえないため、世間の人たちは気味悪がり実際以上に怖がっている。

私たちは、放射線や放射能に関する分野で長期間過ごしてきたが、その間に得られた知識なり経験を伝え、放射線等のありのままの姿をできるだけ多くの人たちにご理解いただけるよう努力したいと考えている。

#### 8. 若年時に放射線のリスクを学習する必要性

最近、ポジトロン CT (陽電子放射コンピュータ断層撮像装置)、機能的 MR (機能的磁気共鳴撮像装置)、光トポグラフィなどによって脳を解析して学習と脳機能の関係が明らかになりつつある。

小泉氏は、「学習」と「教育」は、「脳」を育むことと密接な関係があると生物学的な視点から考察している。「脳」は、環境からの刺激によって新たな神経を接続し、環境に適応できるようになるという。

「学習」では、環境に適応した情報処理回路とデータベースを構築するように、脳が刺激に反応して新たな神経回路網をつくるという。

「教育」では、このような脳の情報処理機構の基本的な骨格が構築される時、脳への入力刺激を準備し制御することによって、新しい神経回路を生成し刺激する過程であるという。

神経細胞、グリア細胞、脳血管などの脳組織や、大脳、小脳、脳幹などの基本的構造は、遺伝子情報に基づき作られる。しかし、遺伝子で決定される要因以外に基づく発達、すなわち環境からの刺激によって初めて構築される部分も多い。

脳は基本的機能をもつように遺伝的につくられ、適切な環境によって健全に発達する。「教育」とは「脳」の適正な発達と機能を確保するために正しい学習を行い最適な適応を可能にする過程である。

この「教育」が効果的に進行するのは、小、中、高校など若い年代である。雛鳥が羽化し最初に見つけた動きものを母親と認識し、その後について行動するインプリンティング (刷り込み) の動作からも理解できる。

若いときの適切な指導によって、放射線、放射能の利点、欠点は容易に身につけることができる。総合的な学習の時間では、それぞれの教科を横断するような総合的な学習を、生徒の興味や関心に基づき行うように提案されている。

このとき生徒の自主性に任せすぎると、生徒は単なる知識を中心に本やインターネットから集めるだけで、あまり自分で考えなくなるおそれがある。

基本となる問題点は、予め授業で教え、生徒の興味が湧いてきたところを見計らって、生徒に課題を選ばせることも大切と思われる。この基本となる問題点を集めた本を、NPO 法人放射線フォーラムから発行するために現在検討中である。

#### 9. リスク認知とリスクコミュニケーション

リスクの定義は、研究者によって異なるとよく言われている。しかし中心概念は、危険や障害など望ましくない事象を発生させる「客観的」な確率または「不確実性」である。

これに対して「リスク認知」とは、それら望ましくない事象を発生させる「主観的」な確率または「不確実性」の認知である。

客観的なリスクと主観的リスクの間には、食い違いを生じる。3. で記したように日本の大学生を対象とした研究によると、主観的リスクと客観的リスクの差が少ないのは食品添加物、自転車、エスカレータなどであり、主観的リスクが客観的リスクを上回るのは原子力を筆頭に鎮痛剤の服用、大気汚染などである。逆に主観的リスクが客観的リスクを下回るのはコーヒー、スキー、電車などである。

人文・社会の科学者はこの分類に異議を唱える人がいる。その理由は、リスクは実体概念ではなく、社会的に構成された概念である。従って個人的・社会的価値からは本質的に自由になれない。

客観的リスクといってもそれは専門家集団で共有されている価値に基づいたものに過ぎない。客観的リスクなるものは本来あり得ないという。この議論は何を対象として望ましくない事象と考えることによって結論が異なる。

喫煙による余命損失を例にとると、喫煙による余命損失は確率的な生物現象で、望ましくない事象の典型だから、そこには価値や主観性は入らないとすれば客観的リスクは存在する。しかし、喫煙による余命損失は、生物現象であると同時に社会現象であり、時には余命損失を上回る大きな生活の質を得ることもある。

したがって、余命損失が不利益かどうかは人によって異なるという立場にたてば、普遍的な客観的リスクは存在しない。

#### 10. 災害に対するリスク・イメージ

スロビックは、81の事象に対するリスク・イメージを、米国の一般人を対象として測定した。その結果、3. で示したように恐ろしさ因子、未知性因子、災害規模因子の3つが抽出された。このうち前二者の因子が作る直交空間上に81の事象をプロットしたところ、恐ろしい既知の事象を拳銃、ダイナマイト、核兵器など、恐ろしくない未知の事象を抗がん剤、飲料水のフッ素添加、電子レンジなど、恐ろしくない既知の事象を自転車、自家用船舶、送電線などと区別できた。

リスクの認知と客観的リスクとの間には、大きなずれや歪を生じることが多い。その理由は、リスクという確率的で不確実性を含んだ概念は、人々が認識し難いところにある。

スロビック(1986)によれば、できごとの記憶しやすさや想像しやすさによって認知は影響を受け、単にリスクの存在を指摘するだけでは反って恐怖を感じるという。また、最初に形成された認知はなかなか変りにくく、同じリスクでも表現法が変わると認知は変化する。

客観的リスクと主観的リスクの差、すなわち認知バイアスには、

- ① ある範囲内では認知された異常性をなるべく正常な状態で見ようとする正常性バイアス、
- ② 異常事態なのに、楽観的で明るい側面から見ようとする楽観主義バイアス、
- ③ 極めて希にしか起こらなくても、起これば大きな被害をもたらす災害を過大視するカタストロフィー・バイアス、
- ④ 経験が豊富なことから反って生じやすいベテラン・バイアス、

⑤ 未経験のために起きるバージン・バイアスなどがある。

災害の特性に基づく認知バイアスでは、

- ① 災害へのかかわりが自発的か否か。自発的なかかわりで生じた災害のリスクは過小視される、
- ② 災害を個人でコントロールできない災害のリスクは過大視される、
- ③ 災害が誰にでも平等にかかるか、特定の人やグループのみか。不公平なリスクは過大視される、
- ④ 災害の範囲の広いリスクは過大視される、
- ⑤ 一度に多くの被害者が出る災害のリスクは過大視される、
- ⑥ 死につながる災害はそうでない災害より過大視される、
- ⑦ 滅多に起こらない災害にリスクは、しばしば起こる災害より過大視される、
- ⑧ 次の世代への影響の可能性がある災害のリスクは、そうでない災害より過大視される。
- ⑨ 進行過程が見えない災害のリスクは見える災害より過大視される、
- ⑩ あまり知られない災害のリスクはよく知られた災害より過大視される、
- ⑪ 人為的災害のリスクは自然発生的なリスクより過大視される、
- ⑫ 新しい災害のリスクは古くからある災害より過大視される。

ただし、これらの認知バイアスは、互いに独立ではないことに注意する必要がある。先に述べたスロビックの3因子は、この認知バイアスを構造化したものである。

### 1.1. リスクに対する専門家バイアス

専門家は事象のメカニズムをよく知っているので、その専門分野に限って、リスク認知は技術的に正確であり、情緒的な見方をしがちな市民のそれと食い違うことも多い。

一般的に、市民は被害の重大さでリスクを判断しがちであるのに、専門家は、事態の生起確率で判断する。ある研究によると、市民がリスクを過大視する方向で専門家と食い違うのは原子力、警察業務であり、反対に、市民がリスクを過小視する方向で食い違うのは、X線や食品保存物質である。

ところが、専門家は市民のリスクのとらえ方に冷淡である。その理由は、技術は小さいトラブルを何回も経験して、それを改良し克服する中で発展するので、少々のリスクは必要悪だという技術観をもっているからである。

また、専門家は視野が専門分野の技術的側面に偏りがちで、その技術を用いる人間や組織のエラーを反って見落としやすい。かれらは、技術も社会との関わりあいの中ではじめて意味をもつことを忘れがちである。

そしてこれらの価値観は、閉鎖系である専門家集団の中で増幅されて、市民の素朴な不安感を無視することになる。これが市民には、専門家の独善性、閉鎖性として受け取られるのである。

最近、このような専門家バイアスが原因で発生する事故やトラブルが増え、その反省から技術者の倫理とか、組織規範の見直しとかリスクコミュニケーションの必要性が主張



されるようになった。

## 1.2. リスクに対する立場の違いと文化的要因

同じ事象に対して、評価する個人の立場によってリスク認知は異なる。例えば原子力関連の事象に対して、同じ原子力関係者が評価するときでも技術者、企業関係者、行政関係者は、リスク／ベネフィットの認知に関して積極的に支持するのに、学者、研究者、評論家、ジャーナリストは、消極的な支持に留まることが多い。同様の結果は、化学物質のリスクに関して認められている。

リスクの認知バイアスは、国や文化の違いを超えて、かなり普遍的な情報処理過程だといわれている。先に述べたスロビックの二次元構造はアメリカだけではなく、ハンガリー、ノルウェー、日本でも同様に確認できた。しかし一方では、それぞれの次元に組み込まれる事態の構成や、二次元の相対的重要度において分化差が認められる。

例えばアメリカでは恐ろしいリスクは、未知性を感じる人が多いのに、日本では恐ろしさの低いリスクに未知性を感じるという。因子の基本構造は同じなのに、因子に含まれる構成要素が異なる。

また原子力発電、レントゲン撮影、喫煙、麻薬に対して、日本、中国、アメリカのリスク認知を比較したが、麻薬のリスク認知には分化差がなかったが、原子力発電に関しては、日本が他の2国に比べて著しく高いリスク認知を示すことが分かった。喫煙に関しては、逆に日本は他の2国よりリスク認知は低かった。

## 1.3. 反復事故とリスクの心理的許容値

大きい事故が発生したとき、殊に大きい事故が反復して発生すると客観的リスクの値は高くなり、リスク認知も危険性の大きい方にぶれる。スリーマイルやチェルノブイリの原子炉事故の後で、原子力発電所のリスク認知が厳しくなったのはそのためである。

逆に長期にわたって無事故実績をもつ新幹線のリスク認知は、きわめて低いのはそれが最大の原因である。

世の中のあらゆる事象にはリスクがつきものであるから、技術者は製品の開発にあたって、コストとのバランスを考えながらリスクの目標値を設定する。

また、放射線や化学物質は、法令によって一定の許容値が決められている。しかし大事なものは心理的許容値である。

ある調査によると、日本人の場合、ゼロリスクでない科学技術は受け入れないという者が43%もある。年間100人以下の死亡者しかださない技術以外は認めないという者も30%に達する。

もし、これが市民の本心であるとする、年間1万人の死亡者を出す自動車などは許せない技術ということになる。ゼロリスクを主張する者はアメリカでも49%と高いが、中国では21%とかなり低く、文化によって差があることが分かる。この数値の背後には、許容リスクという概念になじみがないこともあるが、人為的な災害死は認めるべきではないという建前からきているのかもしれない。

#### 14. 環境リスクの重篤度の分類

米国環境保護庁（US EPA）科学諮問委員会の報告書「リスクの低減化：環境保護の優先順位と戦略」はその一例である。旧来、米国の環境政策は、大気浄化条例や水道水浄化条例といった媒体ごとの規制をしてきたが、環境問題の殆どが多様な媒体によって生じることにより鑑み 1987 年には初のコンパラティブ・リスクプロジェクトが計画され、この具体的実行案としてコンパラティブ・リスク解析を強く環境政策決定に推奨したのがこの報告書である。

この報告書では人間のみならず自然生態系への影響を重視し、環境の負荷の大きさと広さ、媒体の多様性や回復機能といったことを指標として、下記のように環境リスクの重篤度を3段階に順位づけしている。

1. 高度の重篤度（自生生物の変化と破壊。種の絶滅と生物学的多様性の喪失。オゾン層の破壊。地球気候変動。）
2. 中度の重篤度（農薬。水中の有毒物。大気中の有毒物。）
3. 低度の重篤度（石油の漏れ。地下水汚染。放射能。酸性雨。熱汚染。）

この「コンパラティブ・リスク解析による環境保護政策の決定」は環境政策の一貫性と環境対策のための資源配分と効果の問題を提起した点で高く評価されたが、現実には生態学的なリスクも有毒物質も十分対策がされていない段階で優先順位をつけ、「あれかこれか、どちらか」式の対応をしていると批判された。特に環境保護団体からの反発は強かった。

環境保護団体等が反発した最大の原因は、公衆にとって身近で最も関心があるリスクほど「低いリスク」に順位づけられ、対策を先送りする結論が導きだされたためと思われる。

#### 15. 主観的コンパラティブ・リスク

そこで今日では、科学的根拠を基に順位づけられたリスク（客観的コンパラティブ・リスク）と個々の人々が感じるリスクの大きさに基づく順位（主観的コンパラティブ・リスク）が大きくかけ離れている場合には、政策決定は主観的コンパラティブ・リスクも考慮する必要があるとされている。

主観的コンパラティブ・リスクについては1970年代以降各国で、種々のリスク項目について被験者が感じるリスクの大きい順に順位をつける「リスク順位づけ法」で意識調査が行われてきた。

その結果、対象とする集団の国民性、性別、年齢や職種によって順位が変動することが分かっている。これは年間死亡率、次世代への影響、カタストロフィック性といったリスク特性の何を重視したかにもよる。また調査したときの社会情勢によっても結果は大きく異なる。例えばチェルノブイリ事故以前より以後の方がはるかに高い。

看護学校生に対する健康リスク源の認知リスク順位調査では、HIV/AIDS を主題とするテレビドラマ放送のあった1998年が最高位（最も危険）に認知されたが、2000年には

低位になった。

このように時々刻々変化する主観的コンパラティブ・リスクに対応して政策決定するのは合理性に欠けるので、適切なリスクコミュニケーションを行い、客観的コンパラティブ・リスクと主観的コンパラティブ・リスクとの間のずれを少なくする努力が必要である。

## 16. 現場での対応の難しさ

1) ある地方の行政機関に勤めていた友人が、県内に作る放射線施設の説明に訪れた中央からの担当者の話が不親切で横柄といていた。

質問に対して、このような簡単なことさえ分からないのかとの態度だけが記憶に残って説明の内容はすっかり忘れたという。

いったい我々地方の人を何とと思っているのだという気持ちにもなったという。その説明のせいばかりではなかろうが、その施設はスムーズに建設できなかったようである。一般社会のご理解をいただくための説明は、難しいものである。世間の情緒的な反対ムードの中ではなおさらである。

専門分野が極端に細分化されている現在、自分の分野は判断できる。しかし、それ以外は、素人同然と考えた方が安全なようである。

しかも世の中にはいろいろなことが同時に複雑に起こる。報道による著しい影響もある。その結果、大衆は誤った印象をもち、適切な判定が困難となる。

世の中、次第に忙しくなり一つのことに対応する時間は短くなってくる。ある問題の本質が分からないまま時間切れでやむなく処理して、次の問題が起こる。

この間の時間が不足する。こうなると詳しく事実を調べないで、五感によって判定するようになる。このとき誠意の伴わない説明を思い出し、判定を左右する影響を与える。

最近の調査によると国民の約60%は、原子力発電を必要と考えているという。しかし、その約80%は不安と感じ、できれば自宅に近い立地は好まないという。

交通事故では年間1万人近くの人が、労災事故では年間2千人近くの人が不幸にして亡くなっている。この現状を、どのように考えればよいだらうか。原子力や放射線に対する社会的な受容性は、きわめて困難な側面を含んでいる。

周知のように原子力の問題は、複雑な技術の問題のほか、社会的な問題もはらんでいる。これに対応するには、原子力、放射線のもつ本当の姿を、有用性と怖さの両面から検討して十分理解した上で説明して国民の判定を仰ぐ以外に道はない。

簡単に安全とか危険とか言い切れない個々の難しさがある。その違いを知っていただくためには、誠心誠意行き届いた説明、対応が必要である。

説明会などで聴衆は、原子力の本質を理解しようと神経を集中して、説明者の挙動を注目している。いい加減な説明は許されない状態にある。

2) 最近、低線量の人体への影響のシンポジウムが開催された。内外の一流の講師を集めての話で、分かりやすかった。さすがによく気配りされ準備されたと感心しながら聴講させていただいた。

筆者は若い頃、医薬品食品衛生研究所で長沢佳熊部長の下でビキニの「まぐろ」の放

射化学分析を行っていた。薬学者の長沢先生は、低線量で閾値があると信じて、当時、閾値がないとする物理学者の田島英三先生との間で何回か激論を交わされたと直接伺った。あれから何十数年を経ている。「放射線の低線量に関する問題」は、現在でも完全に解決されているとはいえない。この問題の難しさを今更身に沁みながら伺っていた。

その会場には大勢の人がこられたが、一般市民の参加は少ないようであった。このような地道な議論の現場こそ、一般市民の方々に見ていただければと思いつつ会場を後にした。

## 17. まとめ

リスクの推定には、自然科学の手法のほかには社会学や心理学の手法が必要であり、両者の総合的な解析、考察が必要と考える。

## 参考文献

- 1) 小泉英明「脳を育むー学習と教育の科学」 科学 70(10), 878~884 (2000)
- 2) 木下富雄「リスク認知とリスクコミュニケーション」 リスク学事典,  
日本リスク研究学会編 p.260~265, TBS ブリタニカ (2000)
- 3) 小林定喜「コンパラティブ・リスク」 リスク学事典,  
日本リスク研究学会編 p252~253, TBS ブルタニカ (2000)
- 4) 平石次郎他訳「リスクアセスメント・ハンドブック」 丸善株 (1999)
- 5) 宮永一郎訳「科学技術のリスク」 昭和堂 (1997)
- 6) 近藤駿介訳「私はなぜ原子力を選択するか」 ERC 出版 (1994)
- 7) 吉川肇子「リスクとつきあう」 有斐閣 (2000)



## プレスリリース

社団法人 日本原子力学会

2011年3月11日に発生した東日本大震災において、多くの方々が犠牲となられ、また被災されましたことについて心からお悔やみとお見舞いを申し上げます。

(社)日本原子力学会は、社会的関心の高い科学技術である原子力の広範囲にわたる学術・技術専門家集団として社会への情報提供を行うため、本会の主要な活動等について、随時プレスリリースを行っています。

この度、この激甚災害のなか、東京電力(株)福島第一および第二原子力発電所において、放射性物質の環境への放出があり、各地の放射線測定値が通常の何倍にも上がっていることに深く憂慮しております。そこで当学会におきまして、下記のとおり今般測定された放射能レベルについてまとめましたので、ご参考にしていただければ幸いです。

### 東京電力福島第1/第2発電所の事故について 放射線のレベルについて(公表されている放射線量はどのような意味を持つのか)

- ・ 3月15日午前10時に福島第1の3号機周辺で 400mSv(ミリシーベルト)/h という高い線量が計測されました(1mSv=1000  $\mu$  Sv)。しかし、これは敷地内の局所的な値であり、敷地境界では15日午前9時に正門で観測された 11930  $\mu$  Sv/h が最大です。
- ・ 3月15日午前9時に東京電力福島第1原子力発電所正門のモニタリングで測定された 11930  $\mu$  Sv(マイクロシーベルト)/h の意味を説明します。
- ・ Sv は放射線の人体への影響をはかる単位で、マイクロは 100 万分の 1 の意味です。11930  $\mu$  Sv(マイクロシーベルト)/h は、11930  $\mu$  Sv(マイクロシーベルト)毎時ということです。
- ・  $\mu$  Sv 毎時と  $\mu$  Sv の関係は、自動車の速度と距離に相当すると考えれば分かり易いでしょう。例えば 100km 毎時で一時間走ると、100km の距離を走ることになります。50km 毎時だと 100km を走るために 2 時間かかります。
- ・ 11930  $\mu$  Sv 毎時は、一時間その場所にいると、11930  $\mu$  Sv という放射線量を浴びるという意味です。注意する必要があるのは、11930  $\mu$  Sv 毎時は、最も大きな値で、平均的にはずっと低い値で推移していることです。つまり、スピードが出ていたのは少しの時間で、ほとんどの時間はゆっくり走っている状態ということです。
- ・ 国連科学委員会の報告には、自然界から受ける一人当たりの平均の放射線量は、1 年間で 2400  $\mu$  Sv であるとしています。自然界から受ける放射線の量は場所によって違いがあり、年間で 10000  $\mu$  Sv~20000  $\mu$  Sv に達する自然放射線を浴びている人もかなりいるといわれています。
- ・ また、東京-NY 往復で 200  $\mu$  Sv、胃のレントゲン撮影で一回 600  $\mu$  Sv、CT スキャンでは 6900  $\mu$  Sv 程度の放射線を浴びています。(裏面へつづく)

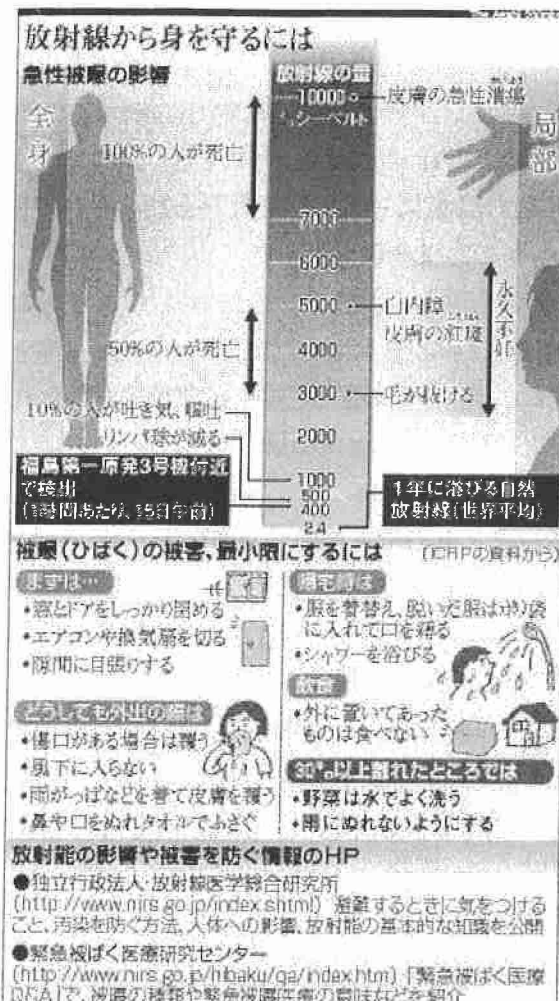
日本原子力学会への取材等お問合せ担当：広報情報委員会  
E-mail: QandA@aesj.or.jp



- ・ 国際放射線防護委員会が職業上放射線被ばくを伴う業務の従事者や一般公衆に対して勧告している被ばくの上限值を線量限度といいます。この線量限度は次の考えにもとづいています。  
(1) 急性の放射線障害の発生を防止するため、しきい線量(実際に影響が現れる最低の線量)よりも十分低く定める、(2) がんの発生率に関してはしきい線量がないものと仮定した上で、一般社会で許容できる程度の線量とする。この考え方に基づき、一般公衆の線量限度は1年間に  $1000 \mu\text{Sv}$  ですが、職業人は5年間の平均が  $20000 \mu\text{Sv}/\text{年}$  となっており、ある年に  $20000 \mu\text{Sv}$  を超えても他の年に下回っていて平均で  $20000 \mu\text{Sv}/\text{年}$  を超えなければよいという勧告になっています。なお、線量限度には自然放射線と医療による被ばくは含みません。
- ・ 1回の被ばくで  $100000 \mu\text{Sv}$  ( $100\text{mSv}$ ) を大きく超えた場合にはガンの発生確率が被ばく量に比例して増加するとされていますが、それ以下の被ばくではガンの有意な増加はみられていません。

以上

\* 「被ばく」は漢字で書くと「被曝」(放射線にさらされること)であって、「被爆」(爆撃を受けること、原水爆の被害を受けること)ではありません。





## 福島原発関連 Q&A

この項は今回の福島原発事故に関連する疑問・質問を取りまとめた。

Q1 東京で被ばくの可能性はないのですか？

東京の通常の空気線量は  $0.05 \mu\text{Sv}$ (マイクロシーベルト)/h で、3月21日の測定値は  $0.125 \mu\text{Sv/h}$  と報告されていますが、直ちに健康影響などが生ずるレベルではありません。(ご参考までに、 $10 \text{万} \mu\text{Sv/h}$  までは健康に影響が無いと言われています)

Q2 被ばくを防ぐには？

福島原発からごく微量の放射性物質が風で飛んでくるため空気中の拡散により測定地域では極端に低くなっています。その濃度は野外よりも屋内のほうが少なく、何れの場合も健康に影響する量の  $10 \text{万分の} 1$  以下の値に過ぎないため、通常的生活をして問題はありません。

Q3 被ばくするとどうなるのか？

放射線を被ばくすると急性症状として全身倦怠、吐き気等があるとされていますが、 $100 \text{万} \sim 300 \text{万} \mu\text{Sv}$  の大量の放射線を一度に被ばくしないと起きません。 $600 \text{万} \mu\text{Sv}$  を一度に被ばくすると骨髄組織に損傷が起き、骨髄死が起こる可能性があります。なお、今回の福島原発事故で飛来する放射能濃度では、急性症状も将来に悪い影響も起きることはありません。

Q4 発表された位の放射線量を含んだ飲料水を飲んで大丈夫ですか？

飲料水中の放射性ヨウ素の摂取制限指標値は  $300 \text{Bq}$ (ベクレル)/kg で現在の測定値はその約3倍を示している。摂取制限指標値は1年間飲み続けると影響が出る可能性を示したもので、短期間飲んでもなんら健康影響はありません。

Q5 わかめ、のり等のヨウ素を含んだ食品を摂取したほうが良いのですか？

バランスの取れた食事をとることが大切で、必要以上に海藻類を摂取する必要はありません。普通原子炉事故ではヨウ素剤の飲用が奨められているが飲用による副作用が多いので、遠距離に住んでいる人は全く必要がありません。

Q6 今何が起きているのですか？

原発の燃料破損やそれに付随する水素発生が起こり水素爆発や放射能漏れが次々に起こっています。原子炉格納容器の冷却装置が作動しないため内圧下げるために逃がした蒸気と共に放射能が漏れ出ています。この値は放出口では自然界のレベルに比べ何桁も高くなっていますが、遠方に行くと拡散によって薄まっていきます。報道に基づくと、2号機では格納容器下部の圧力制御室で水素爆発が起こり損傷したと見られその部分から少しづつ外部に放射能が漏れ出していると推定されています。燃料及び格納容器破損を防ぐには何とか燃料部分の冷却を確保する必要があります。

Q7 チェルノブイリ事故のようになるのですか？

チェルノブイリ事故は原子炉運転中(核燃料が核分裂連鎖反応中)に核分裂の連鎖反応が起こっている最中に核燃料自体が爆発し、瞬時に  $3000 \text{m}$  上空まで吹き飛ばされたのです。福島第1原発の場合は核分裂連鎖反応は既に止まった状態で、放射性物質の外部への放出は水素爆発か、水蒸気の漏洩によるものです。放射能の多くは固体状核燃料の中に固定されており希ガスやヨウ素など一部の放射性物質のみが気体になっています。水素爆発や、水蒸気の漏洩で漏れるのは殆どが気体状物質でチェルノブイリの燃料自体の爆発とは全くレベルが違います。

(この項執筆にあたり一部自治医科大学放射線管理センター主任 菊地 透先生の資料を参考にさせていただきました。 文責：松浦辰男、堀内公子)

## あ と が き

本資料は、例年のように、NPO法人放射線教育フォーラムの年度末報告書として、2010年度中に開催した会合や勉強会の記録、専門委員会の報告書または関連する資料、2008年度から始まった「北大プロジェクト」関連のアンケートを含む各種資料、及び勉強会の講師の方々の作成されたテキストのほか、放射線教育に有益と考えられる資料などを、フォーラム理事長松浦辰男が中心となって、フォーラム理事田中隆一、理事堀内公子、理事大野新一、フォーラム幹事黒杭清治、ボランティア辻 萬亀雄の各氏らのご協力により編集作業を行って作成したものである。ここに関連する専門員会委員長及び委員各氏、勉強会講師、そのほかフォーラムの役員各位のご努力とご協力に感謝する。また、巻末の広告欄に資料を提供され、本資料の出版費をご支援下さった書団体に御礼を申し上げる。本資料がフォーラム会員はじめ放射線教育にご関心の各位にとりお役に立つことを希望するものである。

なお、中学校・高等学校へのアンケート調査の発送と集計については辻 萬亀雄氏が多大のご労力を提供されたこと、また本資料の序文については田中隆一理事の校閲により体裁が整ったことを感謝する。

(松浦辰男)

|           |                                                                  |
|-----------|------------------------------------------------------------------|
| 発行        | NPO 法人放射線教育フォーラム 事務局                                             |
| 〒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：     | <a href="mailto:mt01-ref@kt.rim.or.jp">mt01-ref@kt.rim.or.jp</a> |
| ホームページ：   | <a href="http://www.ref.or.jp">http://www.ref.or.jp</a>          |
| 発行日       | 2011年3月31日                                                       |

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHYSICS DEPARTMENT

PHYSICS 351

LECTURE 1

LECTURE 2

LECTURE 3

LECTURE 4

LECTURE 5

LECTURE 6

LECTURE 7

LECTURE 8

LECTURE 9

LECTURE 10

LECTURE 11

LECTURE 12

LECTURE 13

LECTURE 14

LECTURE 15

1870

1871

1872

1873

1874

1875

1876

1877