「放射線教育」別冊

# 放射線教育で社会の安全・安心を

## 放射線教育フォーラム2006年度活動報告書

NPO法人放射線教育フォーラム

2007年3月

# 序　文

われわれが、国民の核アレルギーを軽減させたいとの悲願のもとに放射線教育フォーラムを設立してから満１３年になる。この間、主に小・中・高等学校の学校教育で放射線・放射能・エネルギー問題の正しい知識を教えて頂くことが最も大切と考えて、学習指導要領の改善を要望するなど、種々努力を重ねてきた。また毎年新しく発行される教科書における放射線・原子力関係の記述をしらべ、不適切な記述について指摘してきた。その効果あってか、また文部科学省の教科書検定官の適切な指導のゆえか、最近の教科書は以前よりもかなり、特に理科ではほぼ充分に改善されていることは大変喜ばしい。

放射線教育は、放射線・放射能、エネルギー、原子力とその応用などの純然たる自然科学的な事象ばかりでなく、これらの社会への応用における価値判断的な要素をも含む点が大きな特徴であるが、基本は低レベルの放射線影響に関する科学的事実である。ところがこの分野の学問的な研究において種々の新しい知見が得られているにも関わらず、法規による規制は、未だに「放射線は微量でもリスクがある」とするいわゆる「しきい値なしの直線的モデル」が採用されている。このことが、いつまでも一般人の放射線アレルギーは解消されないでいる大きな原因であることは否定できない。放射線教育がゆきわたれば、少量の放射線に対しても「正しく怖がる」事ができ、安心して医療が受けられる。また、近くに原子力施設があるからといって、根拠のない風評被害に巻き込まれなくてすむ。

「原子力施設からすこしでも放射能がもれれば危険である」との考え方は間違っている。それは、この自然の環境に自然放射線として、自分の体の中にさえも、少量の放射線・放射能が存在しているからである。もしこの量の数百倍、数千倍もの量を浴びるようなことになれば危険かもしれないが、この量の何十、何百分の１くらいの少ない量が増えても全く心配はないと考えねばならない。放射性廃棄物の最終処理場が見いだせなくて困っているようであるが、廃棄物処理に関する考え方も、「絶対に放射能を漏らさないように」ではなくて、「厳重に管理はするが、万一不慮の地震等の事態が起こって仮に放射性物質が漏れても住民の人体への線量の増加が現在の自然放射線量より僅かに増える程度であれば差し支えない」との考えで設計し、そのことを社会一般にもっと理解してもらわねばならない。

４年前のこの欄で意見を述べたように、最近の国際情勢は「核テロ」が決して起こりえないことではなくなっている。もし万一、日本で放射性物質が撒き散らされるような事態が発生したとき、国土と国民の安全を確保するためには、自衛隊員や警察官、あるいは消防隊員が出動してその処理に当たらねばならない。したがってこれらの人々は、放射線や放射能に関する基礎的知識と簡単な放射線の測定方法などを知っており、どのような事態にもパニックになることなく、人命救助などの必要な行動が取れることが望ましい。われわれは、これらの組織からの要請があれば、学校教員や一般社会人を対象にするのと同じくこれまでの経験を生かして、これらの方々の教育活動に協力することにやぶさかでない。

本冊子の刊行は、２０００年３月から過去１年間の活動の記録として毎年度末に行っているものである。ここには、放射線教育の参考になるようにと、主にこの１年間に行われたセミナーや勉強会の配付資料の幾つかを収録した。この冊子が、従来の同種の刊行物同様に、関係者各位にとり何らかのお役に立つことを切に希望するものである。

２００７年３月

NPO 法人放射線教育フォーラム
（文責）　事務局長　松浦辰男

# 放射線教育で社会の安全・安心を

## 放射線教育フォーラム２００６年度活動報告書

目　　次


序文

目次

第１章　２００６年度の活報告及び２００７年度の計画　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1

１．２００６年度の活動について　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3

２．２００７年度以降の活動について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4

３．２００６年度役員名簿・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5

４．２００６年度の理事会・勉強会等の記録・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 6

５．文部科学省への要望書（補足文書）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8

６．青森支部設立関係資料・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・16

第２章　「エネルギー・環境・放射線セミナー」の実施報告と２００７年度の実施計画・・・・ 19

１．２００６年度の実施報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・21

２．２００７年度の実施計画・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・32

第３章　専門委員会の報告又は関連資料・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 33

１．教育課程検討委員会・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 35

２．実験教材検討委員会・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 43

３．リスク問題検討委員会・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 45

４．低レベル放射線の影響検討委員会・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 49

５．教科書記述調査委員会・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 53

第４章　勉強会・セミナーの資料その他・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 61

１．目本のエネルギー問題の現状と今後の教育課題（有馬朗人）・・・・・・・・・・・・・63

２．地域におけるエネルギー資源（南條宏肇）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 75

３．新エネルギーへの期待と解決すべき課題（渥美寿雄）・・・・・・・・・・・・・・・・85

４．原子力と政治(中村政雄)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 98

５．低線量の放射線影響の実態　(松原純子)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・110

６．エネルギー教育における放射線の正しい理解を目指して　(谷口裕美枝)・・・・・・・120

７．医療における放射線の利用について(加藤幸弘)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・135

８．環境・食料問題と“食品照射”（多田幹郎)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・144

９．放射線を見よう ―霧箱の作成と飛跡の観察―（高橋郁子)・・・・・・・・・・・・・・155

あとがき・奥付・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・160

賛助団体に関する資料

# 第１章　放射線教育フォーラムの２００６年度の活動及び２００７年度の計画

この章では、フォーラムの２００６年度の活動と２００７年度の計画の要約、現在の役員名簿と２００６年度に開催した種々の会合の記録、並びに２００６年度の主要な実績として２００５年度にひきつづき文部科学省へ提出した要望書（補足文書）の内容、さらに２００７年度からフォーラム青森支部を設立するのでその準備に関する資料を紹介する。

## １．２００６年度の活動について

NPO 法人放射線教育フォーラムは、放射線、放射能、原子力の専門家及び学校教員の有志により構成され 1994 年 4 月に発足し、2000 年 11 月に NPO 法人の認証を受けたボランタリー組織である。当フォーラムは、社会一般の人々が科学技術の最近の進歩で恩恵を受けているのにもかかわらず若い人達に「理科離れ」、「理科嫌い」が見られること、また現在有識者を含む多くの方々が放射線や放射能に対して科学的な事実以上に過剰の不安感をもっており、そのことが原子力や放射線の平和利用を大きく妨げている現状を憂慮している。この現状を打開するため、特に小学校・中学校・高等学校の学校教育において、エネルギー環境問題・放射線・原子力に関する正しい教育が理科教育の中で行われるように、教育システムを改善し教員を育成することに重点をおいて勉強会の開催や幾つかの専門委員会を開催し、定期刊行物を刊行しまた当局に政策提言を行うなど種々の方法で活動をしている。また、社会におけるこの分野の正しい知識の普及を図るべく努力をしている。フォーラムの会員は、2007 年 2 月 14 日現在、個人会員 212 名、団体会員は 57 団体である。

事業活動実績

フォーラムの定款では事業は（1）放射線教育に関する国内及び国際シンポジウム、勉強会の開催、（2）放射線教育に関する調査研究並びに情報発信、（3）放射線教育に関する政策提言の 3 つに分類されている。以下に、これらの各項について 2006 年度の実績を要約する。

（1）勉強会（会員を対象）については、本年は 3 回（6 月、11 月、3 月）東京で開催したが、参加者に好評であった（講師・テーマについては本章 4 項に記載）。主に文系の学校教員を対象とするセミナー（「エネルギー・環境・放射線セミナー」、文部科学省主催、（財）放射線利用振興協会に協力）については、2001 年度より毎年全国 10 箇所で開催されている。今年度の参加者総数は 488 名であった（第 2 章で本年度開催実績及び来年度の実施計画が述べられている。）

（2）専門委員会開催ならびに情報発信　（専門委員会の活動の成果は第 2 章で報告）「教育課程検討委員会」は本年度に 4 回開催した。「リスク問題検討委員会」は 3 回開催。「教科書記述調査検討委員会」と「低レベル放射線影響検討委員会」は今年度に委員会は開催しなかったが委員が個人的に活動した。「実験教材検討委員会」、「マスコミ報道調査委員会」、「加速器利用調査・検討委員会」に関しては委員会は開催されていないが資料を収集中。

定期・不定期印刷物については、ニュースレターが 3 度（35、36、37 号）発行された。「放射線教育」誌と「年度末報告書」はいずれも 3 月末に刊行。（編集委員会を 4 回開催した）。

フォーラムの広報活動については、ホームページ（http//www.ref.or.jp）が開設されている。

（3）政策提言　　昨年度提出した文部科学省への要望書「エネルギー・環境教育の充実のための学習指導要領の改善について」を補足して、特に小学校・中学校の義務教育段階で放射線の基礎的知識を、以前のように学習指導要領の中に入れていただくための文書を文部科学省・初等中等教育局へ提出した。

（そのほかの対外活動）第 43 回アイソトープ･放射線研究発表会にパネル討論「社会的観点から放射線教育を考える」（2006 年 7 月 7 日（金））を提案し実行した。（提案者：田中隆一理事、座長：松浦辰男事務局長）

フォーラムの運営のための会合　（会合の記録については別項）「通常総会」を 6 月に開催。「理事会」・「理事連絡会」を 2005 年度は計 6 回開催。「セミナー運営委員会」を（理事会または理事連絡会の都度）合計 6 回開催。セミナー開催のための「ワーキンググループ」を（(財）放振協との合同で）2 回開催。「将来計画検討委員会」を 6 回開催。「顧問会」を 3 月に 1 回開催。

## ２．２００７年度以降の活動について

### ２．１　フォーラムの運営についての計画

財政状態の改善のために経費節減が努力されているが、従来の活動を継続し、新事業の展開を行うために個人及び団体会員数の増強、寄付金の依頼、収入を図る活動などが計画されている。

２００７年度中に次年度役員（理事・監事）の選出を行うための委員会を立ち上げて、年度末に役員選挙が実施される。

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

機関紙等の出版の在り方については、ホームページの改善と充実を図り、出版した論文・報告をホームページ上でも公表することを検討する。

専門委員会の在り方については、これまでに開設された委員会の中には現在活動を休止しているものがある。これらの委員会活動の運営の見直し、また、関心のある一般会員の委員会への参加についても検討する。委員会活動を存続するための財源などの問題点についても討議する。

経常的な会合の開催予定は従来とほぼ同じく、「通常総会」を６月に開催。「理事会」・「理事連絡会」を2007年度は計６回開催予定。「セミナー運営委員会」を（理事会または理事連絡会の都度）合計６回開催。セミナー運営のための「ワーキンググループ」を（(財）放振協との合同で）2回開催。「将来計画検討委員会」を約５回開催。「顧問会」を３月に１回開催。選挙管理委員会を２回開催。

### ２．２　フォーラムの対外的な活動計画（継続のものを含めて）

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

（2）「リスク問題」に関する教育テキストの作成（学校教育及び社会教育の両方において使用可能なもの）（「原子力安全基盤研究」として、（独）安全基盤機構に提案の予定）

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

（4）「第４回放射線教育に関する国際シンポジウム（ISRE０８）」（2008年２月台湾（台北市）にて開催予定）の支援　（フォーラムに委員会を設立（委員長：長谷川圀彦副会長））

（5）「放射線測定実践支援」（財）日本科学技術振興財団が文部科学省の委託事業として平成12年度より実施していたもの）への支援の継続

（6）一般社会への正しい知識普及活動

フォーラムの会員が広く一般社会の方々と接触して、知識・経験を伝え意見交換をする機会を作る。フォーラム会員が講師となって話題提供できるテーマのリストを現在作成中である。

（7）一般からの放射線に関する質問の回答・相談への対応

（8）学校における放射線教育内容の整備　（これは文部科学省への要望書に関連するもので、「エネルギー」と「放射線」に関して、小学校、中学校、高等学校の各段階で具体的にどのような内容をどのように教えるかを検討し、要望書の補足資料（第２次）として提出する。これは以下の（8）とも関連）

（9）教育用資料の制作

①　放射線・エネルギー等に関する用語解説集の制作（教育課程検討委員会で作成中）

②　放射線Q&A　（教育課程検討委員会と事務局で作成中）

③　リスク問題パンフレット（教える教員が理解するための解説書を作る。「リスク問題検討委員会」で作業中）

（10）ホームページの充実と整備を実施する。

# NPO 法人 放射線教育フォーラム 2006 年・2007 年度役員名簿

2006 年 7 月 11 日現在 （五十音順）

| | | |
|---|---|---|
| **会長：** | 有馬朗人 | （日本科学技術振興財団会長･科学技術館長･元文部大臣兼科学技術庁長官･元東京大学総長） |
| **副会長：** | 飯利雄一 | （広領域教育研究会代表幹事） |
| | 河村正一 | （神奈川大学総合理学研究所名誉研究員・日本防護服研究会理事長） |
| | 長谷川圀彦 | （静岡大学名誉教授） |
| **理事：** | 朝野武美 | （医療法人清恵会第二医療専門学校非常勤講師） |
| | 石黒亮二 | （北海道大学名誉教授） |
| | 伊藤泰男 | （元東京大学工学部教授） |
| | 岩崎民子 | （放射線医学総合研究所名誉研究員） |
| | 江田 稔 | （青森大学大学院教授） |
| | 大島 浩 | （佐野日本大学中学高校教諭） |
| | 大野新一 | （理論放射線研究所長） |
| | 加藤和明 | （高エネルギー加速器研究機構名誉教授） |
| | 金子正人 | （放射線影響協会顧問） |
| | 黒杭清治 | （元芝浦工業大学教授） |
| | 小高正敬 | （立教大学理学部化学科兼任講師） |
| | 田中隆一 | （元日本原子力研究所高崎研究所長） |
| | 堀内公子 | （大妻女子大学社会情報学部教授） |
| | 松浦辰男 | （立教大学名誉教授） |
| | 森 千鶴夫 | （愛知工業大学客員教授） |
| | 吉田康彦 | （大阪経済法科大学客員教授） |
| **監事：** | 笹川澄子 | （環境科学技術研究所主任研究員） |
| | 播磨良子 | （CTC ソリューションズ技術顧問） |

**理事・事務局長** ：松浦辰男（立教大学名誉教授）

**幹事：**荒谷美智（青森県六ヶ所村教育アドバイザー）、井上浩義（久留米大学医学部教授）、菊池文誠（元東海大学理学部助教授）、木村捷二郎（大阪薬科大学教授）、斉藤 直（大阪大学アイソトープ総合センター教授）、佐伯邦子（元秋田経済法科大学附属高校教諭）、佐伯正克（元日本原子力研究所特別研究員）、佐久間洋一（核融合科学研究所助教授）、佐藤正知（北海道大学大学院工学研究科教授）、白形弘文（日本エクスクロン（株）技術顧問）、下 道国（藤田保健衛生大学衛生学部教授）、砂屋敷 忠（放射線影響研究所臨床研究部顧問）、竹田 満洲雄（東邦大学理学部教授）、田村直幸（元日本原子力研究所ラジオアイソトープ・原子炉研修所長）、鶴田隆雄（近畿大学原子力研究所教授）、唐木 宏（元攻玉社高校教諭）、中尾祐次（元長野県伊那北高校教諭）、中西 孝（金沢大学大学院自然科学科教授）、中西友子（東京大学大学院農学生命科学科教授）、西尾信一（埼玉県立本庄高校教諭）、坂内忠明（放射線医学総合研究所主任研究員）、広井 禎（元筑波大学附属高校副校長）、古屋廣高（九州大学名誉教授）、三門正吾（千葉県立柏高校教諭）、峯岸安津子（神奈川大学理学部研究員）、宮澤弘二（元東京家政大学付属女子高校教諭）、村石幸正（東大教育学部附属中等教育学校教諭）、渡部智博（立教新座中学高校教諭）、渡利一夫（放射線医学総合研究所名誉研究員）

**顧問：** 安 成弘（東京大学名誉教授）、今村 昌（理化学研究所名誉研究員）、久保寺昭子（東京理科大学名誉教授）、斎藤信房（東京大学名誉教授）、佐々木康人（元放射線医学総合研究所理事長）、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）、伏見康治（大阪大学・名古屋大学名誉教授）、松平寛通（元放射線医学総合研究所長）、山口彦之 （東京大学名誉教授）、山寺秀雄（名古屋大学名誉教授）

## 4．２００６年度の理事会等会合・勉強会等の記録

講演者に関して、フォーラム会員は所属・肩書きを省略

２００６年

４月　６日（木）　第１回理事連絡会・第１回セミナー運営委員会（尚友会館８階、１３名）
４月２５日（火）　第１回将来計画検討委員会（尚友会館８階、５名）
５月１１日（木）　第１回リスク問題検討委員会（尚友会館８階、６名）
５月１９日（金）　第１回理事会・第２回セミナー運営委員会（尚友会館８階、１５名）
５月１９日（金）　第１回セミナーワーキンググループ（八重洲富士屋ホテル、１５名）
５月２７日（土）　第１回編集委員会（大妻学院、８名）
６月１３日（火）　第２回将来計画検討委員会（尚友会館８階、４名）
６月１７日（土）　第２回理事連絡会・第３回セミナー運営委員会（科学技術館６階、１３名）
６月１７日（土）　第１回総会・勉強会（科学技術館６階、総会３０名、勉強会３８名、懇親会２３名）
(勉強会プログラム)
「放射線利用：日本の偏見は教育改革から急げ」　竹内哲夫（元原子力委員）
「チェルノブイリの現状」　金子正人
「私たちはものごとを適切に怖がっているであろうか」　河村正一
「学校における放射線実習についての一提案」　播磨良子
７月７日（金）　（日本アイソトープ九回主催、第43回アイソトープ・放射線研究発表会、日本青年館）
パネル討論会「社会的視点から放射線教育を考える」
座長：　松浦辰男
(1) 放射線を中心とするリスクコミュニケーション　住田健二
(2) リスクコミュニケーションの視点からみた診断医療の放射線被ばく
古賀佑彦（藤田保健衛生大名誉教授）
(3) 低レベル放射線影響と安全規制についての社会人への放射線教育　金子正人
(4) 社会的コミュニケーションの視点からみた食品照射問題
碧海酉葵（消費生活アドバイザー）
(5) 放射線とその利用についての社会的コミュニケーションの実践で得たもの
浅田浄江（ウエメンズ・エナジーネットワーク代表）
７月１８日（火）　第１回教育課程検討委員会（科学技術館５階、８名）
８月　２日（水）　第２回リスク問題検討委員会（尚友会館８階、５名）
８月　３日（木）　第２回理事会（新・旧合同）・第４回セミナー運営委員会（尚友会館８階、１９名）
８月３１日（木）　第３回将来計画検討委員会（霞ヶ関東海倶楽部、６名）
９月　９日（土）　第２回セミナーワーキンググループ（霞山会館、２３名）
９月　９日（土）　第３回理事連絡会・第５回セミナー運営委員会（霞山会館、２３名）
９月２０日（水）　第３回リスク問題検討委員会（尚友会館８階、６名）
９月２３日（土）　第１回青森支部設立準備セミナー（六ヶ所村文化交流プラザ（スワニー）、３０名）
主なプログラム　来賓挨拶　古川健治（六ヶ所村村長）
青森支部設立準備セミナー開催までの経緯　荒谷美智
講演　放射線防護「放射線の安全管理　仕組みと考え方」　加藤和明
９月２６日（火）　第２回教育課程検討委員会（科学技術館５階、９名）

１０月　６日（金）　第２回編集委員会（霞ヶ関東海倶楽部、８名）

１１月１９日（日）　第２回青森支部設立準備セミナー（日本原燃（株）環境管理センター、３０名）

主なプログラム　　来賓挨拶　古川健治（六ヶ所村村長）

環境管理の解説と見学

「ひとくち講座・γ線スペクトルとイメージングプレート」　笹川澄子

放射線教育フォーラムの活動について　松浦辰男

１１月２５日（土）　第５回将来計画検討委員会（科学技術館、５名）

１１月２５日（土）　第２回勉強会（科学技術館６階、４０名）

(勉強会プログラム)

「国際核不拡散体制と日本の対応―北朝鮮核実験の背景と影響」　吉田康彦

「ハンセン病と放射能」　清水彰直

「チェルノブイリの実情について――ヤオロウスキー氏の評論の紹介」　岩崎民子

「海外における中学・高校の教科書記述について――イギリス・オーストラリア・アメリカほか」　渡部智博

１２月　５日（火）　第３回教育課程検討委員会（科学技術館５階、７名）

１２月１２日（火）　第３回編集委員会（霞ヶ関東海倶楽部、１０名）

１２月１５日（金）　第３回理事会・第６回セミナー運営委員会（尚友会館８階、１０名）

１２月１５日（金）　第３回セミナーワーキンググループ（東京国際フォーラム、１５名）

２００７年

１月３０日（火）　第６回将来計画検討委員会（第一白川ビル、５名）

２月　７日（水）　第４回編集委員会（霞ヶ関東海倶楽部、９名）

２月１６日（金）　第４回理事連絡会・第６回セミナー運営委員会（内田洋行会議室、１０名）

３月　２日（金）　第４回教育課程検討委員会（第一白川ビル、９名）

３月１０日（土）　第１回顧問会（科学技術館６階、１３名）

３月１０日（土）　第３回勉強会（科学技術館６階、勉強会４３名、懇親会２２名）

(勉強会プログラム)

専門委員会の活動報告など

(1-1)フォーラムの活動に関する総合的報告

(1-2)教育課程検討委員会の報告（要望書を含む）　江田　稔

(1-3)中・高校において扱われるべきリスクに関する教育について　田中隆一・河村正一

(1-4)他の各専門委員会（実験教材・低レベル・マスコミ報道）の報告

(1-5)放射線・放射能・原爆などに関する教科書記述について　松浦辰男

最近の大学入試問題における放射線・原子力関係の出題の状況について　岡　多賀彦(清風南海学園高校)

国連科学委員会（UNSCEAR）報告書の変遷とICRP勧告との関連　笠井　篤

核テロ対処に関する資料（NCRP資料）の紹介　加藤　和明

2006年10月31日

**「義務教育課程において学ばせたい「放射線教育」の内容についての提案」**

（要望書「エネルギー・環境教育の充実のための学習指導要領の改善について」（平成17年8月15日提出）に関する補足資料）

NPO法人放射線教育フォーラム

1．まえがき

われわれは1年前に「エネルギー・環境教育の充実のための学習指導要領の改善について」という要望書を文部科学省（初等中等教育局）に提出した(1)。その際、担当官から、要望書の趣旨は理解したので、次回には、この要望の趣旨を現行の学習指導要領（2,3,4）のもとで（すこし修正する形で）進めるための教育内容について、児童・生徒の発達段階に応じてどの段階でどのような教育を行うべきかについて具体的な資料を提出することが求められた。

その後、本年秋から、中学校（及び小学校）の教育課程に関して、特に理科について、内容の検討が始まることが伝えられた。以下において、昨年提案した諸項目のうち、標記のように、義務教育課程（小学校及び中学校）において、特に放射線に関して、教室での授業及び実習によって学ぶことの必要性とその内容について述べる。

2．放射線に関する教育の必要性

これは必ずしも日本人のみに限るのではないが、社会一般の人々は、放射線のわずかな被曝や少量の放射能を重大なものとして考える。しかし、人類は太古の昔から自然放射線を被曝している。自然放射線は宇宙線や、地殻に存在する天然放射性同位体から放出されている。さらにX線診断のような人工的な放射線や放射性同位体の利用による被曝も受けている。

日本人に「放射線」・「放射能」(以下放射線等と省略する)を強烈に印象付けたのは、第二次大戦の終結時に広島と長崎の市民が悲惨な経験をさせられた原爆の投下である。その後には、水爆実験の犠牲となったマグロ漁船の第5福竜丸乗務員の被曝であった。さらに近年では、1986年のチェルノブイリ原発事故や1999年に発生したＪＣＯ事故である。

しかし、X線をはじめとする放射線等は現代の医療利用において、さまざまな疾患の診断や治療には欠くことのできない技術となっている。1997年度における日本での放射線利用による経済的規模の総額は、8兆6千億円（ＧＤＰの1.7%）となっており、このうち工業利用が7兆3千億円で大半を占め、医療利用は約1兆円である。工業利用の73%は半導体加工で群を抜いている（5,6,7)。

人々の中にはラジウム温泉などの放射能泉を自然の恩恵として有難く感じる人も少なくないが、日本と外国人を問わず、大多数の一般的な意識としては、放射線・放射能は危険で恐ろしいもので、少量でも後になってがんの発生や遺伝的な影響を引き起こすという思い込みを根強く持っている。しかし、この二つの「晩発的影響」のうち、後者については、原爆の被災者のデータから遺伝的影響は全く現れていないので、400ミリシーベルト程度（現在日本人が年間に自然放射線その他から被ばくしている量の約200倍）までの被ばくであれば、事実とし

て心配する必要がないということが専門家の意見として確立されている（8,9,10）。また、前者の、がんや白血病の発症については、現在の放射線防護の考え方は「受けた放射線量に比例してリスクがある」とする仮定（いわゆるＬＮＴ仮説）に従って厳しい法規ができていて、これも国民の放射線を怖がる傾向を助長している。ところが事実は、最近の動物実験や英国の放射線医師や航空線パイロットに関する疫学的研究などから、年間数ミリシーベルト程度の低線量・低線量率の放射線は刺激となって生体に有益であるとの考え方もあり（11）、少なくとも200 ミリシーベルト程度までは影響がないらしいとする考え方が徐々に専門家の間で広まりつつある。

日本のエネルギー問題の解決には原子力の役割を重視せねばならないが、原子力の社会受容のためには、「エネルギー教育」をもっと進めるとともに(12)、大多数の日本人が持っている、放射線等に対する科学的事実に基づかない不安や恐怖心を取り除かねばならない。そのためには、義務教育のときから放射線・放射能などについて正しい教育をする必要がある。

３．小学校・中学校の教科書における放射線等の記述（イタリック体は原文の引用）

小学校の社会の教科書では、6 年生の歴史的分野で、第二次世界大戦終結の際の原爆の投下を現行の教科書 8 点すべてが取り上げている。そのほとんどにおいて、原爆投下後廃墟となった広島や長崎の写真などとともに、例えば、「*原爆は、人類がこれまで経験したことのない悲惨な被害を引きおこしました。いっしゅんのうちに建物は破壊され、数週間のうちに、両市を合わせて約 21 万人の人々がなくなりました。*」（大阪書籍）、「*・・・放射能をあびて、今なお苦しんでいる人が多い*」（日本文教出版）のように、原爆の悲惨さが記述されている。しかし小学校の理科の教科書では、放射線や放射能に関して何も触れられていない。恐らく一般社会人と同様な放射線等に対する意識をもつ先生の説明から、当然ながら子供たちには放射線等は怖いものという科学的事実に基づかない意識をこの時代の教育において受けることになる。

中学校の社会（歴史）の最近の 8 冊の教科書について調査した結果では、「日本の敗戦」に関して、ポツダム宣言とかソ連の参戦などのキーワードが加わっているが、原爆投下の際の状況については、街の廃墟やキノコ雲、あるいは「原爆の図」の写真とともにその惨状を小学校の教科書と全く同様に記述しているものが半数以上である。1954 年 3 月の水爆実験による第五福竜丸の被曝を取り上げているものもある。

一方、中学校の理科「第一分野」の教科書では、学習指導要領の指示のもとに、「科学技術と人間」、「エネルギー資源」の大きな項目の中で原子力発電の長所・短所が水力・火力発電と対比されて記述されている。ところが、原子力と関連の深い放射線に関しては、理科の教科書(平成 14 年度から使用)でも、自然放射線の存在や放射線の利用に関する記述が以前より少なくなっている(13)。「地理」の教科書でもエネルギー資源に関連して原子力に関する記述が比較的に多い。中学社会（公民的分野）では「世界平和と人類の福祉の増大」の項目で、「日本国の平和主義」「核兵器に脅威」「地球環境・資源エネルギー問題など」について考えさせることになっている。ここでも原爆の被害とともに、資源・エネルギー問題における原子力発電の役割が取り扱われているが、1986 年に起こった旧ソ連のチェルノブイリ原発事故やそのほかの原子

力事故が取り上げられることが多い。その際、「*放射能は、あらゆる生物にとって、その生存をおびやかすような影響をあたえる。*」（教育出版、平成 14 年地理）、「*原子炉の事故が発生したとき、原子力の宿命である放射線が人体や環境に大きな影響をあたえる。*」（日本書籍新社、平成 14 年地理）、という風に、中学の理科以外の科目で原爆や原子力発電所の事故による放射線の影響の恐怖や放射性廃棄物の危険性が強調される反面、理科で放射線・放射能の正しい知識を与えることをしていない。ただし、昨年 4 月に公表された、平成 18 年度より使用予定のほとんどの出版社の(中学公民科)教科書に対する検定結果において、種々のエネルギー源の比較で原子力発電が利点に比べてその危険性や問題点が強調されている一方で、自然エネルギーについては普及のために克服すべき課題が記述されていない点で改善が指示されるなど、適切な指導がされていることは評価に値する。

4．学校教育における放射線関係の知識を形成する上での問題点

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

高等学校ではエネルギーの問題が重要なテーマとして取り上げられており、デイベート形式の両論併記の議論も教科書ではされているが、原子力の価値判断に対して重要な関連を有する放射線等の知識が小・中学校において不十分である現状は改善する必要がある。とくに、身の回りに少量の自然放射線が存在する事実を義務教育課程において常識として知ることは極めて重要である(14)。

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

（小学校では）

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

教材が用意されている。(15,16)

(中学校理科)

(教室での授業で)放射線に関する基礎・基本的な内容として、放射線・放射能の基本的知識、並びに自然放射線、放射線による人体影響、及び放射線利用の基本的知識を扱うべきである。

放射線・放射能の基本的知識については、原子構造の理解をベースとした放射線・放射能の本質、ウラン・ラジウムなどの放射性元素、放射能の半減期、原子核の分裂、放射線の種類と性質、放射線・放射能の数量的単位を含める。自然放射線については、それが大昔から環境に存在していること、その発生源はなにか、それがどの程度の量であるか、などの内容を含める。放射線による人体影響については、放射線の発生源が天然か人工的かの差はないこと、人体が受けるとどのような影響が出るか、大量に受けたときと少量受けたときとどう違うか、また、放射線がその場にあるとき、受ける放射線の量を軽減するにはどうすればよいか、などの内容を含める。放射線利用については、医療、産業、農業、及び学術分野でどのように利用されているか、利用において放射線のどのような性質が利用されているのか、などの内容を含める。

これらに関して、以下に述べる放射線の実習を含めて、種々の良い教育資料が出版されている(17,18,19,20,21,22,23)。また、「付録」として、ある委員会の報告書にあった、放射線と放射能に関する小・中学生への説明文(案)に少し手を加えた文案を添付する(24)。

(理科の実習で)身の回りに自然放射線が存在していることを実感する経験を積むことは放射線教育にとり必須である。それには、①「はかるくん」、②「霧箱」、③「GM 計数管」という3つの計測方法がある。これらにはそれぞれ特徴があるが、学校教育では、生徒の発達段階に応じて適切と思われる少なくとも1種の計測器を利用して行うことが望ましい。これらの計測器は、市販もされているが、手作りも可能であるものもある(25)。

放射線の実習については、すでに教育支援事業交付金を活用した事業により、全国各地でその実績が上がっているところである(26)。もしこの提案(義務教育課程において放射線実習をおこなわせること)が採用されれば、教育支援事業交付金の制度を更に拡大させて、小・中学校のすべての学校に放射線計測器を備えることができるようにしていただきたい。

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

(1)原爆投下直後の惨状について、教科書で、前述のような「*原子爆弾(原爆)が投下され、いっしゅんにして数万人もの人々がなくなりました。・・・*」(光村図書、社会6年上巻)(東京書籍、同)の記述があるが、これは正確ではない。一瞬に大勢の人が死亡するわけではない。「*両市とも、数千度の高熱と猛烈な爆風を受けて一瞬のうちに壊滅し、大量の放射線をあびました。犠牲者は、数週間のうちに、広島で14万人、長崎で7万人に達しました。*」(大阪書籍、中学社会歴史的分野)のほうが正しい。被爆者は、文字通り筆舌に絶するような、「*それは生きながらの「地獄」といったらよいのだろうか、・・・*」(清水書院、新中学歴史、長田新「原爆の子」からの引用)という、非戦闘員である大勢の一般市民が、戦争とはいえ、世界の歴史で始めて、非人道的な兵器の犠牲になった、という事実を、教科書は科学的にできるだけ正確

に記述すべきであり、教師も生存者の口述で始めて知るのではなく、充分に認識すべきである。

(2) その半面において、原爆の被害を大きく伝えたいとの意図は理解できなくもないが、「*この残虐な兵器により、被爆者は、今なお放射線による障害に苦しみ、犠牲者は増え続けています。*」(大阪書籍、中学社会)という記述が教科書や新聞報道などによく見られる(チェルノブイリ事故の報道についても同様である)。原爆の被爆者が、幸い死亡を免れても社会的にも苦労をされ、現在も健康に不安をもって生きておられることは事実であり、同情に値する。しかし、原爆投下後数十年を経た現在、生存しておられる被爆者と一般の方との健康状態を客観的に比較すると、確かにがんによる死亡率は被爆者が高いが、がん以外の死亡率や全死亡率が被爆者のほうが有意に低くて、被爆者のほうが長命であるらしいことが長崎大学その他の研究で明らかになっている(27)。この理由は、国の被爆者援護の制度で被曝者の健康管理が行き届いていることなどがある。問題は、一度健康に悪影響がある、と思い込み、またそのような情報を絶えず注入されると、そのことによる心理的効果が実際に健康に悪影響を与えることである。このことは、チェルノブイリの周辺の住民や事故の後始末に従事した人々について報告されている。被爆者の苦痛を少しでも緩和してあげるためには、放射線の影響に関する間違った情報をマスメデイアが報道し、学校でそのように教えることは、早く改善する必要がある。これは文部科学省への要望というより、国の行政への要望である。

(3) 放射線・放射能・原子力ついての客観的・科学的事実を、タブーにせず、例えば原子力の軍事利用と平和利用に関して、同じく原子核分裂の連鎖反応でありながらどこが違うのかなどについて正しく教えるべきである。原爆の構造などに関するごく基本的な知識、たとえば、ウラン爆弾とプルトニウム爆弾の種類があること、原爆では連鎖反応を速中性子により短時間の間に起こさせるのに対し、原子力発電では熱中性子を用いてエネルギーを少しずつ発生させていること、など。また、原爆の被害はすべて放射線によると考えている人がいるが、放出されたエネルギーは爆風と熱線によるものがそれぞれ50%、35%であり、残りの15%が放射線のエネルギーであることを知らねばならない。

(4) 戦後60年経過したのに、日本からの「核廃絶」への願いも空しく、原爆を持とうとする国が後を絶たない。このことをどのように生徒に説明するか、教師は自分の考えを持たねばならない。上記の「原爆の子」の手記でも(清水書院、中学校社会)も「・・・*最後にいいたいと思うことは、「戦争とは何か」「平和とは何か」「平和を守るのに、なぜあの恐ろしい原子爆弾がいるのか。*」と問いかけている。今回の北朝鮮の核実験に関して、日本の総理大臣は日本は核武装をしないと明言している。

(5) しかし、あってはならないことではあるが、万一、放射性物質がテロリストによって撒き散らされるようなことが起きた場合に、社会的パニックを防ぐためには、「放射線・放射能を正しく怖がる」ための実際的な知識を日本国民が常識として持っていることが必要である。それと同時に、原子力の平和利用を世界的に指導的立場で完遂しようという、確固たる信念と専門的技術をもつ若い人々を育てることが必要ではないかと思う。

(6) 一般に放射線・放射能について、またその人体への影響について、すでに紹介したが、わかりやすく書かれた著作が出版されているので、一部をここに記載する(27,28,29,30,31)。

文献


１．要望書「エネルギー・環境教育の充実のための学習指導要領の改善について」、平成 17 年 8 月 15 日、NPO 法人放射線教育フォーラム

２．中学校学習指導要領、平成 10 年 12 月

３．中学校学習指導要領（平成 10 年 12 月）解説―理科編―

４．中学校学習指導要領（平成 10 年 12 月）解説―社会編―

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

６．「放射線に対する意識と学校教育の影響」、西谷源展、日本放射線技術学会雑誌、第 60 巻、第 11 号、1555－1563　（2004 年 11 月）

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

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

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

１０．「放射線と健康」、舘野之男著、岩波新書、2001 年

１１．「低線量放射線の健康影響」、近藤宗平、Proceedings of Third International Symposium on Radiation Education, JAERI-Conf 2005-001, 175-182, 2005

１２．「エネルギー情報研究会　中間とりまとめ」、平成１８年６月

１３．「中学校社会科地理･公民・理科の教科書における原子力関係の記述について」、関本順子、高木伸司、松浦辰男、「学校における放射線教育放射線教育－－放射線教育フォーラム 2001 年度成果報告書」、2002 年 3 月

１４．（改訂）中学校学習指導要領の展開、理科編（1989 年 8 月

１５．「小学生のための原子力ブック」、茨城県、平成 13 年 3 月

１６．「わたしたちのくらしを支える原子力」、原子力ポスターコンクール　授業テキスト、対象学年：小学 3 年以上、2006 年 6 月 20 日、エネルギー教育全国協議会

１７．「中学生のための原子力ブック」、茨城県、平成 13 年 3 月

１８．「わたしたちのくらしを支える原子力」、原子力ポスターコンクール　授業テキスト、対象学年：中学生以上、2006 年 6 月 20 日、エネルギー教育全国協議会

１９．研究報告書「原子力に関する学習と防災」、東海村教育委員会、平成 13～15 年度

２０．「わたしたちのくらしと放射線」、WEN「くらしと放射線」プロジェクト、平成 15 年（第 3 版）

２１「高等学校　新しい理科教育　－理科教育現代化講座指導資料―」、1974 年、文部省

２２．「エネルギー・環境教育　教師用ガイドブック」（データ解説・ワークシート）高等学校用、NEDO,ICEE,　平成 10 年 3 月

２３．「放射線の豆知識――暮らしの中の放射線」、大学共同利用機関法人　高エネルギー加速器研究機構　放射線科学センター、2005 年 3 月　（第 3 版）

２４．「初等・中等教育における合理的な放射線・放射能の教育法に関する調査研究」、（研究代表者：安斎育郎）平成 11 年 3 月

２５.「紙筒ガイガー計数管を用いた放射線の測定」、三門正吾、Isotope News, 2006 年 9 月、31－34
２６.「平成 17 年度　自然環境・放射線 Web ～自然を測ろう～ http://hoshasen.jsf..or.jp/「測定実践報告書」」、平成 18 年 3 月、財団法人日本科学技術振興財団
２７.「長崎市における原爆被爆者の死因ならびに死亡率の解析」、三根真理子、中村剛、森弘行、近藤久義、岡村俊三、日本公衆衛生学会誌、第 28 巻、337-342；「人は放射線になぜ弱いか―少しの放射線は心配無用」、近藤宗平著、講談社ブルーバックス、1988 年 12 月
２８.「放射線元素物語」、松浦辰男著、研成社、1992 年
２９.「放射線と放射能――宇宙・地球環境におけるその存在と働き」、Ivan G. Draganic 原著、松浦辰男、今村昌、長谷川圀彦、橋本哲夫、朝野武美、小高正敬　共訳、学会出版センター、1995 年 10 月
３０.「放射線の影響がわかる本」、(財)放射線影響協会、2000 年 11 月
３１.「みんなで考えよう、身近な放射線利用と、人への影響とリスク」、松原純子著、エネルギー情報研究会議、2005 年 3 月

## （付録）　放射線と放射能に関する小中学生への説明文（案）＊

小学校 5 年生～中学 2 年生前半

放射線：　今から約１００年前にレントゲンが発見したＸ線は、人類がはじめてその存在を知ることになった放射線でした。その後、放射線はウランやラジウムなど多くの物質から放出されていることや、宇宙から絶え間なく地球に降り注いでいることも分かりました。これらの放射線は、人類がその存在に気付くはるか以前、地球が生まれたときからあったものです。大量の熱がやけどやけがを引き起こすように、大量の放射線も人にとって有害です。しかし、大昔から私たちの周りにある程度のわずかな放射線ならば、それによる人体への影響は問題ありません。

**（注）最初に最も身近な放射線である X 線の歴史に触れ、放射線が生活環境の一部であることを説明する。放射線が“特別なもの”という印象を避けるために、定型的な“α線・β線・γ線”の名称列記を排した。**

放射能：　今から１００年ほど前、天然の物質の中に、ウランやラジウムなど常に放射線を出しているものがあることが発見されました。ラジウムの発見者であるキュリー夫妻は、このひとりでに放射線を出す性質を、「放射能」と名付けました。その後、ウランやラジウム以外にも、放射能を持つ物質がたくさんあることが分かってきました。私たちの周りにある放射能をもつ物質のほとんどは、地球が生まれたときからあったものや、宇宙から降ってくる放射線が、日々つくり出しているものです。

**（注）原子核の壊変ではなく、“放射線を出す”という歴史的な表現で“放射能”を規定する。現在“放射能”という言葉が、三種類の意味で用いられていることには、あえて触れない。環境に**

**は、種々の天然放射性物質があることを説明し、放射能も自然の一部であることを理解させる。**

中学２年生後半～3年生

放射線：　放射線には、レントゲン装置で発生させるＸ線や、ラジウムなどの放射性物質から放出されるアルファ線・ベータ線・ガンマ線のほかにも、さまざまな種類のものがあります。放射線はいずれも目にはみえませんが、放射線で照射されたものの内部にイオンが作られることを利用して、化学的あるいは電気的な方法で観察することができます。最も広く利用されている放射線であるＸ線は光（可視光線）の仲間ですが、光より物体を透過し易い性質があります。水中に届く太陽の光が水深とともに弱くなるように、物体の厚さが増すほど、それを透過したＸ線は弱まります。

私たちの身の回りにある岩石や動植物（人間も含む）、水や空気などは、どれもわずかな放射線を出し続けています。また、宇宙からは絶え間なく放射線が降り注ぎ続けています。これらの放射線は、地球に最初の生物が発生する以前からあったもので、生物はその放射線を受けながら進化の道をたどって来ました。大量の熱線や紫外線がやけどや皮膚の炎症を引き起こすように、大量の放射線は、人体にとって有害です。しかし、生物は環境の放射線から受ける影響をやわらげる能力を進化の過程のなかで自然に身につけて来たので、わずかな放射線からは害を受けることはありません。

**（注）“電離作用”を“照射されたものの内部にイオンが作られる”と表現する。“写真作用”や“蛍光作用”などの非科学的用語は用いず、“イオンが生じること”を利用して観察できると説明する。生物の進化と、自然放射線環境とから、少量の放射線被爆が無害であることを説明する。線量の単位の説明は、あえて省略する。**

放射能：　ウランやラジウムのように、物質が自発的に放射線を出す性質のことを「放射能」と呼びます。放射能は物質元素に固有の性質ですが、ウランやラジウムなどのまれに存在する元素ばかりでなく、水素や炭素やカリウムなどごくありふれた元素の中にも、わずかの割合で放射能をもつ成分が含まれています。放射能をもつ物質を「放射性物質」と言いますが、私たちのまわりにあるさまざまな放射性物質の大部分は、地球が誕生したときからあったものや、宇宙から降り注ぐ放射線が日々作り出しているものです。放射性物質に熱を加えたり電流や磁石を働かせたりしても、放射能の強さを変えることはできませんが、放射能の強さは時間と共に弱まる性質があります。例えば、ラジウムの放射能の強さは約１６００年で半分になりますし、岩石やコンンクリートからしみ出して空気中を漂っているラドンの放射能の強さは約４日で半分になってしまいます。

**（注）放射性物質が、自然界で“特異な”存在でないことを強調する。放射能量の単位に関する説明は省略する。**

＊　この説明文（案）は、フォーラムの会員である多田順一郎氏の原案（文献 23）にもとづいて、修正を加え作成したものである。《注》については原著者の意見を尊重してそのまま残した。

# メッセージ

このたびこの青森の地で、NPO 法人放射線教育フォーラム会員の有志が、放射線やエネルギー・環境問題に関する正しい知識を学校および社会において普及する活動を本格的に始めるために当フォーラムの青森支部の設立を計画し、その準備のための第 1 回セミナーが開催されるに当たり、フォーラム会長としてひと言ご挨拶を申し上げます。

青森県、広くは東北地方の人々が、その厳しい自然環境で培われた勤勉さと忍耐力、自然と調和する心によって、また力強い表現にあふれた祭りに象徴される豊かな伝統・文化の上にたって、着実に地域の発展のために努力されてこられたことに敬意を表するものであります。

六ヶ所村では、将来を見据えたわが国の持続的発展のために必要不可欠であるエネルギーの安定供給を最終目的とする新技術を確立するための核燃料再処理施設、等を積極的に誘致され、その本格的稼動の時期を迎えられたことは誠に慶ばしいことであります。この施設は、豊かな石油時代が終わりつつありながら、世界的にエネルギーが急増している現在において、その成功は地球上の利用可能なエネルギー資源の効果的利用に大きく貢献するはずであり、その成果を世界中が待望していると言っても過言ではありません。この上は、高い技術力を基礎に、施設の技術者、管理者のたゆまない努力と責任感によって充分その目的を達成されることを大いに期待するものであります。

この大型の原子力施設には使用済み核燃料が今後とも大量に搬入され取り扱われますが、その取り扱いについては、すでに国外において技術的に充分に確立され、東海村でも経験が積み重ねられてきました。また、種々の安全確保のために整備された規則、等に基づいて行われるので、安全性において周辺の住民や環境への影響はない、すなわち施設の設置は基本的にそのように行われてきた、と私は、理工学分野の専門家の一人として申し上げたいのであります。

しかし、わが国の電力の多くを依存している原子力の安全性に不安を感じる人々が、たくさんおられることはご存知の通りです。放射線・放射性物質が少量でも危険だと聞かされているので、怖い、近づきたくないと思ってしまうことが原子力への不安のかなりの部分を誘引していると思います。大量の放射線・放射性物質を一度に浴びれば人を死に至らしめることは確かですが、身の周りに在る程度の放射線・放射性物質の量であればそれが天然のものであれ人工のものであれ何ら健康に影響はないのであります。また、放射線が医療をはじめ種々の分野で我々の日常生活に密接に関係し役立っています。

私は、NPO 法人放射線教育フォーラムの会長として、放射線の性質やその利用の現状を社会全体に、特に子供たちに学校でもっと教えるように、と文部科学省に働きかけております。放射線を象徴的なキーワードとし、市民の皆様方が自然を理解し、環境に気を配りながら科学技術を有効活用して地域社会の発展に繋げていただきたいのであります。フォーラム支部の設立が地元の方々をはじめとする青森県民にとって何らかのプラスになることを希望しております。

これをもちまして、簡単ながら本日のセミナー開催へのご挨拶といたします。

2006 年 9 月 23 日

NPO 法人放射線教育フォーラム　会長　有馬朗人

# メッセージ

このたび NPO 法人放射線教育フォーラムの青森支部の設立準備のためのセミナーが開催されるに当たり、フォーラム事務局長として一言ご挨拶を申し上げます。

私ども放射線教育フォーラムは、放射線・放射能・原子力および教育の専門家の有志により 1994 年 4 月に発足し、2000 年 11 月に NPO 法人となったボランティア組織であります。その目的は、放射線や原子力に対する正しい知識を普及することであり、特に国民の放射線に対する過剰な不安感を軽減して、放射線利用や原子力技術の社会的受容を高めることを、学校教育の改善および社会に対する働きかけを通じて行うことにあります。

私どもは種々の活動を行っています。その内容は、(1)（文部科学省などに学校教育の改善に関する要望書を提出するなどの）政策提言、(2) 勉強会・シンポジウムなどの定期的開催、(3) 教員対象の「エネルギー・環境・放射線セミナー」の全国各地の開催、(4)「放射線教育に関する国際シンポジウム」の開催（すでに 2 回の実績あり）、(5) 教育課程の検討などの専門委員会による調査活動、(6)「ニュースレター」等の定期的出版物の刊行、(7) その他、放射線に関する質問への回答、放射線教育に関するコンサルティング、などに分かれています。

私どもの活動の基本的な考え方は、原子力推進のための知識を教え込むというのではなく、正確な科学的事実とエネルギー・環境問題に関するバランスの取れた考え方を広めることにあります。教育とは、つまるところ、人と人との信頼関係に基づく知識・情報の伝達でありますので、情報の送り手と受けてが、ともに真摯であり、謙虚でなくてはならない、と私どもは考えております。この意味で、科学技術の社会的受容のためには、良い面も悪い面もすべて情報公開する、ということが基本的に大切であると思われます。

フォーラムの青森支部を設立したとして、その存在が地元の方々をはじめとする青森県にとってプラスになることを希望しております。ここでの活動の具体的な方法としては、(1) 今回のようなコミュニケーションの場を設けて、住民と原子力・放射線の専門家との意志疎通の橋渡しの役を務めることによって、地域の皆様のご理解を深めることに役立たせる、(2) 急速に発展しつつある青森県における地域性の特色を持たせた学校教育の内容を考えて、地元の教育委員会のご理解を得て実行する、(3) 将来は、青森県で「エネルギー・環境・放射線に関する国際的な市民の集い」を開催し、青森県の方々が、国際的交流の場を通じて、蓄積された経験を世界に発信することができれば、との願望を持っております。

これをもちまして、簡単ながら本日のセミナー開催へのご挨拶といたします。

2006 年 9 月 23 日

NPO 法人放射線教育フォーラム　事務局長　松浦辰男

デーリー東北

2006年（平成18年）9月24日（日曜日）（3）

# 放射線防護に理解を深める

## 六ケ所、NPO支部設立準備セミナー

放射線防護について学ぶ村民ら

特定非営利活動法人（NPO法人）放射線教育フォーラム青森支部設立準備セミナー（主催・放射線教育フォーラム青森支部設立準備デスク）が二十三日、六ケ所村文化交流プラザ・スワニーで開かれ、村民ら約三十人が放射線防護について理解を深めた。同準備デスクは本年度内に、全国で二番目となる青森支部の設立を目指す方針だ。

セミナーでは、環境科学技術研究所の笹川澄子主任研究員が放射線防護の歴史を説明したほか、高エネルギー加速器研究機構の加藤和明名誉教授が「放射線防護・管理の仕組み」について紹介した。

放射線教育フォーラム（有馬朗人会長、本部東京）は一九九四年、放射線や放射能、原子力の専門家有志で放射線や原子力に関する正しい知識の普及を目的に発足。二〇〇〇年十一月にNPO法人化した。地方組織としては千葉支部がある。

六ケ所村の使用済み核燃料再処理工場は本格操業を目指して試運転（アクティブ試験）を行っている。同準備デスクは「フォーラムがこれまで活動対象としてきた学校教育の分野だけでなく、広く一般にも放射線や原子力について理解を深める場をつくっていきたい」と話している。

# 第２章　「エネルギー・環境・放射線セミナー」の実施報告と２００７年度の実施計画

この章では、フォーラムが（財）放射線利用振興協会と共に主に文系の教員を対象に２００１年度から開催している「エネルギー・環境・放射線セミナー」の２００６年度の実施報告と、２００７年度の計画について紹介する。

# 第２章　２００６年度「エネルギー・環境・放射線セミナー」の実施報告と２００７年度実施計画

## １．２００６年度実施報告

（１）はじめに

ＮＰＯ法人放射線教育フォーラムは、文部科学省と財団法人放射線利用振興協会（ＲＡＤＡ）主催の「原子力体験セミナー文系コース」に、２００１年度から２００５年度まで共催団体として協力し実施してきた。今年度からは文部科学省主催、財団法人放射線利用振興協会と企画・運営団体として実施した。このセミナーは、主に中学校・高等学校の文系の教職員等と小学校の教職員等を対象にエネルギー・環境問題を正しく学校教育に取り入れていただくために、全国１０地区で企画・運営を行い実績を積み重ねてきた。２００６年度セミナーが実施され６年間が経過した。

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

（２）　セミナー開設の経緯

原子力・放射線に関する正しい知識の普及を図ることを目的として、全国の中学校及び高等学校の教員等を対象とする「原子力体験セミナー」が、科学技術庁からの委託事業として平成２年度から日本原子力研究所によって実施された。１９９８年度からその事業のすべての業務を財団法人放射線利用振興協会が科学技術庁から受託事業として実施し、１９９９年度から「原子力体験セミナー」と名称を改めた。

２００１年度から主に文系の教職員を対象とする「原子力体験セミナー文系コース」が実施されに当たって、ＮＰＯ法人放射線教育フォーラムがこの事業に協力し、「エネルギー・環境・放射線セミナー」を開設した。このセミナーは、教職員等のエネルギー・環境。放射線などに対する理解を深めることにより、２００２年度から始まっている「総合的学習」の時間などを通じて、正しい知識を生徒に普及することを目的とした。

（３）セミナーの概要

① コースの内容

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

② 開催場所及び募集人数

セミナーは全国１０地区（北海道地区、東北地区、北関東地区、南関東地区、静岡・山梨地区、愛知・岐阜・三重地区、富山・石川・福井地区、近畿地区、中国・四国地区、九州・沖縄地区）で開催した。このうち１日開催のコースと２日開催のコースをそれぞれの地区で実施した。２００６年度の参加者目標は、合計５００名であったが、目標人数をやや下回る応募者があり、実際の参加者総数は４８８名で、参加者によるアンケートによる評価は、各地区とも総じて好評であった。

## 平成１８年度 北海道地区
## 「エネルギー・環境・放射線セミナー」実施報告

１．**期日**：平成１８年7月２６日（水）～平成１８年7月２７日（木）

２．**開催場所**：ホテルポールスター札幌および北海道電力（株）泊原子力発電所

３．**日程**：７月２６日（水）泊発電所見学会、７月２７日(木)　講演会

４．**受講者数**：見学会　参加申し込み数２８名　内欠席２名
　　講演会　参加申し込み数４０名　内欠席１名

５．**実施状況**：

見学会会場までの移動時間が無駄にならないように、往路のバスの中では杉山憲一郎氏による講演「異常気象と２１世紀のエネルギー」を行い、復路には「質問と意見交換の会」を行った。発電所の見学はセキュリテイ対策のための制限が厳しい中ではあったが、発電所側のご好意で第３号炉建設現場に始まり、第１号炉の制御室、タービン室、燃料交換貯蔵室などを見学した。

講演会の最初の講演は中村政雄氏による「原子力と政治」、続いて住吉　孝氏による「霧箱の製作と放射線観察」と題する実験を伴う講演を行った。また、この日の午後には、パネル討論「学校教育におけるエネルギー・環境・放射線をめぐる諸問題」が行われ、パネラーとして江田　稔氏の「教科横断的な環境・エネルギー教育への取り組み」、松浦辰男氏の「最近の中学・高等学校の教科書における記述調査からのコメント」、一口芳勝氏の「『青少年のための科学の祭典』とエネルギー環境教育」と題する話題提供が行われた後に討論を行った。

６．**自己評価**：

本年度は、従来にも増して参加者に魅力的な内容を盛り込みたいとの思いから、昨年までのアンケート結果を尊重し、パネル討論の時間数に配慮すると共に、見学会を行うことで内容の充実を計った。また、受講者の時間的な便宜を配慮し夏休み中の開催を計画したが、８月中には２日間の日程が取れないため７月２６日、２７日の開催となった。北海道における夏休みの開始についてかなり綿密な調査を行ったが、セミナー日程の決定時期には教育委員会や学校でまだ夏休みの日程が確定しておらず、結果的に２６日は終了式当日になってしまった市町村も少なくなく、そのような原因からか、参加者の応募状況が芳しくなく、募集作業に大変な努力を払ったにも拘らず結果的に定員割れとなった。来年度は日程について一段の配慮が必要である。

プログラムの内容は、見学会も含めて、受講者に大変好評を戴いた。特に、中村政雄氏の講演と、原子力発電所の見学内容については、受講者の評価が高かった。最近の原油価格高騰が市民の生活に影響をあたえ始めていることが受講者の心理に影響を与え、受講態度にも真剣さが加わったと感じている。

７．**報告書作成**：　石黒亮二（世話人代表）

# 平成18年度 東北地区セミナー実施報告書

1．事業名：東北地区エネルギー・環境・放射線セミナー

2．主　催：文部科学省

企画・運営：財団法人放射線利用振興協会、NPO法人放射線教育フォーラム

後援団体：青森県教育委員会、弘前市教育委員会

3．期　日：平成18年10月28日

4．開催場所：弘前大学医学部 保健学科　第21講義室

5．実施状況

参加希望者63名の中で1名の欠席者があった。会場は、定員の50名を予定していたので手狭な会場になった。

講演Ⅰの「日本のエネルギー・環境教育の現状と今後の課題」では 20 世紀が如何に資源を多量に消費してきたかが資料で紹介され、これから子孫にも豊かな生活を保障していくために何をなすべきかについて様々な提言があった。

講演Ⅱの「地域におけるエネルギー教育」では、これからはエネルギーも地域自立型の再生可能エネルギーの開発が必要であること、特に青森県では、風力・バイオマス・海洋エネルギーが豊富であり、その利用促進が望まれる旨の講演であった。講演Ⅰ、Ⅱともアンケートの結果も好評で、もっと時間をかけて聴きたい旨の意見が多かった。

講演Ⅲの「エネルギーに関する教育支援事業の本件の取り組み状況について」では、青森県以外からの受講者から、他県出身者にも配慮したものを、との意見もあった。

講演Ⅳの「やさしい放射線の話」は一般向けの初歩的な話で、学校教員向けには、放射線の単位､放射線障害などもう一段レベルの高い内容が必要でなかったかと思われる。パネル討論会は、各パネラーが 10 分の発表時間をオーバーして話し、質疑応答の時間が充分とれなかった。

実習「霧箱の作成と放射線の観察」は、そろそろマンネリ化してきた実験かとも思っていたが、アンケートでも好評であった。しかし、霧箱に替わる新しい実験テーマも試行すべきであろう。

参加者の所属分布は小学校(56%)、中学校 (19%)、高等学校(22%)および他(3%)で、小学校の先生方がエネルギー問題にも積極的に取り組もうとする姿勢が伺われた。

地域分野では青森県(60%)、岩手県(5%)、秋田県(11%)、宮城県(6%)、山形県(3%)、および福島県(14%)で、青森県が最も多かった。

6．自己評価

1日(約6時間)のセミナーで、エネルギー・環境・放射線を理解してもらうことは不可能であるが、このような企画を繰り返し繰り返し実施していくことで、理解度のアップを図ることはできよう。アンケートの結果では、講演内容を妥当とするものが講演Ⅰ(95%)、講演Ⅱ(95 %)、講演Ⅲ (80%)、講演Ⅳ (89%)、パネル討論会(91%)および実習(100%)と好評であったことから、今回の企画は成功であったと評価したい。

7．報告書作成責任者

世話人代表　山寺　亮　(弘前大学　医学部)

# 平成18年度 北陸地区セミナー実施報告

世話人代表　森　厚文（金沢大学教授）

セミナーの名称：エネルギー・環境・放射線セミナー
開催日時：平成18年8月11日（金）　10時30分開始　17時終了
開催場所：高志会館「2階 嘉月」（富山市千歳町1-3-1）

セミナーのプログラム

講演1　「豊かな石油時代が終わる ―人類は何処へ行くのか」
　　講師　石井吉徳（東京大学名誉教授）
講演2　「ポジトロン断層撮影（PET）―「がん」・「認知症」の早期診断」
　　講師　松田博史（埼玉医科大学国際医療センター教授）
実験　「自然放射線の飛跡を見てみませんか？」
　　講師　戸田一郎（北陸電力エネルギー科学館サイエンス・プロデューサー）
実践報告「エネルギー問題を「総合的な学習の時間」に組み込んだ授業展開例」
　　講師　原田忠則（広島市立観音中学校教諭）

実施状況

富山県・石川県・福井県教育委員会，富山市・金沢市・福井市・小松市・能美市・敦賀市教育委員会の後援を得て開催した。受講参加者は33名（申込み35名、2名欠席）であった。その内，小学校教員は16名，中学校教員7名，高等学校教員7名，その他3名であり、富山県12名、石川県9名、福井県12名であった。

講演1「豊かな石油時代が終わる ―人類は何処へ行くのか」　有限地球では石油文明は終焉しつつある。問題なのは石油枯渇ではなく、その質（出力エネルギー/入力エネルギー）の悪化が問題であり、日本も真剣に脱石油戦略を考える必要があることを、その具体的戦略も合わせて言及され好評であった。

講演2「ポジトロン断層撮影（PET）―「がん」・「認知症」の早期診断」　ＰＥＴは万能検査ではないが、その弱点を知って利用すると、「がん」、「認知症」などに非常に有用であることを、実際の症例を示しながら解説がなされ、放射線が医療にいかに役立っているかがよく理解できた。

実習「自然放射線の飛跡を見てみませんか？」　1グループ2名で、小型霧箱の製作及び飛跡の観察が行われた。この霧箱は講師の長年の試行錯誤の研究成果であり、小型にもかかわらず、宇宙線を見ることができる。さらに空気中の塵を掃除機で採取した試料、モナザイト、ランタンにかぶせるマントル、燐灰ウラン鉱などを観察することにより、自然放射線が本当にあることが実感できるだけでなく、半減期、透過力の違いが観察できることがわかり、好評であった。

実践報告　「エネルギー問題を「総合的な学習の時間」に組み込んだ授業展開例」　エネルギー問題を始めとして、二極対立的な価値観を含む現代的な課題について合意形成が求められている。妥協による合意形成でなく、「より高い視野に立った新たな打開策を創造する」問題解決能力の育成を目的として、エネルギー問題の中核となる「原子力発電」を「総合的な学習の時間」に組み込んだ授業展開例の紹介があり、好評であった。

総括

昨年と比較して参加者は少なかったが、講演、実習、実践報告ともに内容が充実しており、また実習を行うのに適当な人数であった。参加者にとって有意義なセミナーであり、当初の目的は達せられたと考えられる。

平成18年度 関東・信越地区(1)
「エネルギー・環境・放射線セミナー」実施報告書

1. 主　催：文部科学省
企画運営：財団法人 放射線利用振興協会、NPO法人 放射線教育フォーラム
後　援：新潟県教育委員会、群馬県教育委員会、長岡市教育委員会
2. 期　日：平成18年11月18日(9:50ー17：00)
3. 開催場所：アトリウム長岡（〒940-0047　長岡市弓町1-5-1）

4. 実施状況
(1)受講申込者数，46名、受講参加者数、46名オブザーバおよび講師、4名）
内訳　小学教員9名、中学教員15名、高校教員15名、養護学校　5名
理科センター職員と実験助手　2名
(2)セミナー内容
基調講演”我が国のエネルギー・環境問題と教育について”　有馬朗人会長
講演“「つながり感」を育てる「学校の森」づくり”山之内義一郎氏
教育実践報告(1)”小中7年間の系統性を重視した「エネルギー概念」の指導”藤島圭氏
教育実践報告(2)地域性を生かし体験から学ぶエネルギー教育”朝賀草乃氏
実習　「霧箱の製作と放射線飛跡観察」
関連講義　講師：橋本哲夫、実習と放射線飛跡観察（(財) 放振協）

5. 実施状況
受講者46名は早朝から終了まで熱心に講義及び実習に励み、講師及び参加者の両サイドからこのセミナーが満足度の高いことを聞くことができた。このことは多くのアンケート結果からも伺うことができ、今回のセミナーは予想以上の成功であった。全ての講演者がプレゼンテーションを時間内に要領よくまとめて話しており出席者を飽きさせない配慮が随所に見られた。特に最後に出席者参加型の実習を行っていただき、お持ち帰りいただいたのも好評だったようだ。運営も会場側のアトリウム長岡の配慮と世話人の惜しまない協力で滞り無くスムーズであった。
反省点としては、参加者募集を公文書としてのみならず、教員個人宛にも最初から配付して、周囲の人の勧誘を行っていただくこともすべきだった。上司からの勧誘のみでは、近年の教員は研修に参加しない傾向が強いと感じた。

6. 報告書作成者（世話人代表）橋 本 哲 夫

平成18年度関東・信越地区(2)エネルギー・環境・放射線セミナー実施報告

世話人代表　黒杭　清治

セミナーの名称：**エネルギー・環境・放射線セミナー**

開催日時　平成19年2月11日（日）12:50～17:00　12日（月）　10:00～16:20

開催場所：日本科学未来館

セミナーのプログラム

**第1日目**

【実践報告】「豊かな心と学びの礎を育む環境教育」―　学校全体で取り組んだ環境教育の実践

静岡県袋井市立浅羽中学校教諭　倉島　茂見

【講演1】「意外に知られていない川・海での野外観察安全指導の心得」

独立法人海洋研究開発機構　医学博士　竹内　久美

【講　義】「放射能・放射線用語の基礎講座」　千葉県立船橋高等学校教諭　舩田　優

【実習1】「霧箱を自作し目で見る放射線」　放射線利用振興協会　望月　民三

**第2日目**

【基調講演】「日本のエネルギー問題の現状と今後の教育課題」　会長　有馬　朗人

意外に知られていない放射線の利用

【講演2】「ヒトに優しいがん治療　－　21世紀、がん治療の決め手は放射線

放射線医学総合研究所重粒子医科学センター病院　加藤　博敏

【講演3】「21世紀、その真価が発揮され、生活の質を高める放射線」

元日本原子力研究所高崎研究所長　田中　隆一

【実習2】「放射線測定器の自作と自然放射線の測定」千葉県立柏高校教諭　三門　正吾

**実施状況**

東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県各教育委員会の後援を受け、受講申込数は65名、うち58名を受付けた。当日の欠席2名、2日目に児童指導の急務で欠席が1名　聴講者1名。

**倉島先生**は環境には自然の他、社会、文化も含める形で全教科の先生が「総合的な学習の時間」で自分の得意分野に引き込ませて成功させた実践を紹介し好評であった。

「総合的な学習の時間」で野外観察の機会が多くなり事故が増えている。竹内先生は川・海に転落した児童・生徒を救出する正しい方法、着衣泳法などを具体例を挙げて紹介した。

**用語基礎講座**は2年目になり、パワーポイントを使い、昨年度よりかなりやさしい解説になったが、文系の先生からは用語が理解できず、まだ難しいという意見が多かった。

**霧箱実習**は指導する側も年々慣れてきたためか、組立てに要する時間が短くなってきた。

**基調講演で**有馬先生はエネルギー問題全体だけでなく食糧問題にも触れ、中国がダイズの輸入国になり、トウモロコシと共にバイオエタノールの原料にも使われて価格が高騰していること、これからはReduce, Reuse, Recycle の時代、もったいない運動で結ばれた。

教育問題にも言及し、大学生の質は低下したが、児童・生徒の学力は落ちていない、「総合的な学習の時間」では産業革命を社会と理科の先生が受け持つと良いなどの例を挙げた。

意外に知られていない放射線の利用では、講演2の加藤先生が放射線がん治療は手術より身体を損なわず、特に重粒子治療でががんの患部に集中して照射でき、治療日数を短縮できたことなどの優れている点を紹介された

講演3の田中先生は放射線が医療だけでなく、工業、農業に広く利用されていることの紹介だけでなく、放射線がなぜ他の物理的手段や化学的手段より優れているのかを具体例を挙げて解説した。

**本年度も放射線測定器の**自作希望者が多く、38名の申し込みがあり30名を受け付けた。放電箱組立セットを利用し時間は短縮できたが、在庫が無くなり同一方法は本年限り。

総括

変化に富んだプログラムで大いに勉強になった、参加してためになる内容が予想以上に多くて良かったというのがあり感想があり、全体に好評であった。

# 平成 18 年度 静岡・山梨地区セミナー実施報告

世話人代表　奥野　健二（静岡大学教授）

**セミナーの名称**：エネルギー・環境・放射線セミナー
**開催日時**：平成 18 年 11 月 11 日（土）　開始 8：55、終了 16：45
**開催場所**：東海大学海洋調査研修船「望星丸」（静岡市清水区静開 1 丁目 7 番街区）
セミナーのプログラム
講演Ⅰ「21 世紀のエネルギー・環境問題－暮らしは、教育は、どうあるべきか」
山寺　秀雄（名古屋大学名誉教授、大同工業大学名誉教授）
講演Ⅱ「海のしくみと地球環境」　加藤　義久（東海大学海洋学部教授）
船内の見学　望星丸乗組員
実習（霧箱の作製と空気中の自然放射能の観察）、演示（火力、原子力発電の模型による発電）
指導：吉岡濶江（前静岡大学教授）、矢永誠人（静岡大学助教授）、大矢恭久（静岡大学助教授）
自由討論会　司会　熊野善介（静岡大学教授）
話題提供：「原子力ルネサンス」　工藤博司（前東北大学教授）
「エネルギー教育における放射線の正しい理解を目指して」
谷口裕美枝（静岡県焼津中央高等学校教諭）
「海洋生態系の未知数を探る－同位体からのアプローチ－」
鈴木款（静岡大学大学院教授）

実施状況

文部科学省の主催、財団法人放射線利用振興協会の企画運営、静岡県および静岡市教育委員会の後援により開催した。受講応募者は 63 名、2 名欠席、受講参加者は、61 名であった。その内、小学校教員が 20 名、中学校教員が 14 名、高等学校教員が 19 名、その他大学関係教員が 5 名であった。なお、文系教員は、中学校教員及び高等学校教員 33 名中 8 名であった。昨年と同程度であった。なお、セミナー実行委員として、長谷川圀彦、熊野善介、中澤俊和の各氏及びオブザーバーとして、石黒氏が参加した。

講演Ⅰ（山寺秀雄氏）現在の人類の活動は地球生態系の受容能力の 120%以上の負荷を地球に与えており、人類が量的経済成長を続けるならば、地球環境の破壊が人類の滅亡に導くとの懸念から、温暖化の問題を中心に、環境･エネルギー問題の実情とそれに対する国際的ならびに国内的取り組みについて話された。特に当該地区に関係する話題を鏤めながらのお話は秀逸であった。その後活発な質疑応答があった。

講演Ⅱ（加藤義久氏）地表の 71%を占める大量の海水は計り知れない恩恵を生命と地球環境に与えていること。二酸化炭素の増加による地球環境の変貌に対する懸念を払拭するうえで、海洋における物理的、化学的、そして生物的しくみが果たす役割の大きさについて話された。そのご質疑応答がなされた。

実習　指導者から霧箱の説明を受けた後、受講者全員が個々に霧箱を製作し、ウラン鉱石・空気のダストからの放射線の飛跡を観察した。その後、この実習について解説もあり、さらに自然放射線の平易な話があり理解を深めた。

自由討論会　熊野善介氏の司会で始められ、初めに、工藤博司氏から、二酸化炭素の削減の遅れ、原油の高騰等により原子力の再評価が進んでいる現状、すなわち「原子力ルネサンス」の動きを紹介され、わが国の進めむべき方向に関しての話があった。次に谷口裕美枝氏から、エネルギー・環境問題に関連して放射線教育を学校教育においてどのように展開し、それを「プルサーマル」、「核燃料サイクル」などの現実の問題に対する意識につなげるといった観点からの具体的な実践事例に関する話があった。鈴木款氏からは、地球温暖化等の環境変動に伴い海洋生態系がどの様に変化あるは応答するか同位体を用いることで理解することは重要であるとの話があった。その後、活発な討論を行った。

総括

このセミナーに応募した中学校・高等学校の文系教員は、全体の 1 割強と少なかった。アンケートの回答結果から、セミナー全体的としては、好評であった。講義 1 及び講義 2 についての評価は文系教員にとっても好評であった。自由討論会については、3 人のパネリストの話題が散漫であり、議論の方向付けがあればよりよいものになったのとの指摘があった。また、理屈と教育現場の乖離を感じたとの感想もあった。今後、同様の企画を行う際の反省にしたい。望星丸の見学会も好評であった。会場について、座りにくかったとか、画面が見づらかったとの感想があったが、船内であることを考えればやむ終えないことと考えている。なお、当日のセミナーの運営には、毎年行っているように現地の小学校、中学校、及び高等学校の教員それぞれ 2 名、計 6 名が携わり、進行役、座長等の役割を果たし、会を盛り上げるとともに、柔らかな雰囲気で行うことができ盛会であった。

平成18年度 原子力体験セミナー文系コース

愛知・岐阜・三重地区「エネルギー・環境・放射線セミナー」実施報告書

1．事業名：「岐阜・愛知・三重地区 エネルギー・環境・放射線セミナー」

2．主催：文部科学省

企画・運営：財団法人放射線利用振興協会、ＮＰＯ法人放射線教育フォーラム

後援：三重県教育委員会、四日市市教育委員会

3．期日：平成１８年８月１７日（木）、9：30～16：45

4．開催場所：四日市市総合会館　〒510-0085 三重県四日市市諏訪町2番2号

5．受講者数：49名。小学校は全科目担当なので人文系に含めれば約半数は人文系であった。

6．セミナーのプログラム

講演１「21世紀の暮らし　―環境・エネルギー・教育―」

山寺 秀雄（名古屋大学名誉教授、大同工業大学名誉教授）

地球環境の劣化は人類社会の存続を危うくしている。人類が滅びないためには、どのように暮らし、どのような教育をすればよいのか、を基本的なテーマとして、生物・人類の歴史と地球環境、20世紀の暮らし、地球温暖化、エネルギー事情、原子力の役割を豊富なデータをもとに、倫理観、道徳観をも包含した内容を、熱意を込めて分りやすく語られ、参加者に大きな感銘を与えた。

講演２「自動車産業への放射線の利用」山本 匡吾（帝国ピストンリング㈱、元豊田中央研究所）

自動車産業は、極めて広範な関連産業・技術に支えられた総合産業である。この関連技術として放射線利用技術が多用されている。自動車関連の基礎研究における放射線利用の重要さにも触れた内容で、参加者は日常生活における隠れた放射線利用の多さ、重要性について、認識を新たにした。

講演３「医療における放射線の利用」　加藤 幸弘（名古屋西クリニック病院）

放射線を用いた診断に関して、参加者になじみのある診断から、高度な診断に至るまで分りやすく説明した。近年の医療には欠かすことのできない重要な技術であることを強調して、参加者に改めて、健康と放射線利用の密接な関係を認識させた。

実験１「放射線を見よう！」　高橋 郁子（名城大学薬学部）

放振協側が用意したラドンガス線源、空気中のゴミ線源などは極めて有効であった。

実験２「放射線を測ろう！」　杉本 勇二（㈱イング）

野外測定の様子などをデジカメで撮影し、まとめの時間にそれらの様子をスクリーンに映しながら説明したので、大変分かりやすかった。

教育実践報告　「出張授業の活用体験」鈴木 高廣　（名古屋経済大学高蔵高等学校教諭）

出張授業団体の一つである中部原子力懇談会の授業を受け入れた体験、および共同での新しいテーマの開発などを発表し、出張授業を受け入れるメリットについて述べた。

7．アンケート結果：セミナーの評価は高かったが、ことに実験は評価が高い。詳細は省略する。

8．自己評価：セミナー後のアンケート結果によれば、セミナーの目的は十分に達成できたと考えている。

報告書作成者（世話人代表者）氏名：森 千鶴夫

# 平成18年度近畿地区セミナー実施報告書

実行委員会委員長　　鶴　田　隆　雄

Ⅰ．テーマ：21世紀のエネルギー・環境・放射線…「総合的学習」のさらなる発展のために
Ⅱ．開催日時：平成１８年８月２２日（火）１０－１７時
Ⅲ．開催場所：たかつガーデン（大阪府教育会館）（大阪市天王寺区東高津町7-11）
Ⅳ．プログラム：

10:00-10:10　開会挨拶
10:10-10:55　講演１：平和教育から原子力・放射線教育へ
講師：原田忠則　（広島市立観音中学校教諭）
11:05-11:50　講演２：これからのエネルギー・環境・放射線教育
講師：斎藤　直　（大阪大学ラジオアイソープ総合センター教授）
12:30-13:30　グループ討論会
13:40-16:40　講演とパネル討論
講演３：核燃料サイクルと核不拡散
講師：中込良廣　（京都大学原子炉実験所教授）
講演４：放射線利用の進展と放射線被曝への不安
講師：古田雅一　（大阪府立大学理学研究科助教授）
講演５：新エネルギーへの期待と解決すべき課題
講師：渥美寿雄　（近畿大学理工学部助教授）
16:40-17:00　修了証授与、閉会の挨拶

Ⅴ．実施状況：

受講申込者は36名、受講者は32名、受講者の府県別内訳は、滋賀1、京都5、奈良3、和歌山1、兵庫6、大阪16、学校別内訳は、小学校11、中学校8、高等学校13であった。当日の招待講演者は2名、さまざまな役割を分担した近畿地区セミナー実行委員は11名、放射線利用振興協会から3名、放射線教育フォーラムから田中隆一氏と井上浩義氏の参加があった。

【講演1】では、講演者の創意工夫による平和教育から原子力・放射線教育へのカリキュラムの紹介があり、生徒一人ひとりの思考力を養うためには、「教え込む」教育から「引き出す」教育への転換が必要であるとの指摘がなされた。【講演2】では、放射線と原子エネルギーの発見と開発の歴史を概観したのち、将来を展望し、それらの有効利用を進めてゆくためには長期的視野に立ってものごとを考えることが必要であるとの見解が示された。【講演3】では、先ず核燃料サイクルの必要性についての説明があり、次に核燃料サイクルを進める場合の核不拡散と核物質防護に対する十分な配慮の重要性が指摘された。【講演4】では、工業、農業、医療などさまざまな分野での放射線利用の進展の状況が紹介され、また、人々が放射線に不安を感じる要因についての分析結果の報告があった。【講演5】では、太陽光、風力、燃料電池など新エネルギーの開発は大切であるが、残されたいくつかの課題があり、また、それらの課題が解決されたとしても一定の限界が予測されることなどの分析結果の紹介があった。

今回、新たな試みとして、昼休み後に、受講者を6つの班に分け、招待講演者、フォーラムからの参加者、実行委員も加わり、グループ討論会を実施した。各班の代表者が、その班のまとめをパネル討論会で発表し、討論の出発点にした。また、別の新たな試みとして、あらかじめ講演者の了解を得た上で、講演の際に使用するパワーポイント図表等をCDに収録しておき、当日受講者に配布した。

Ⅵ．考察と評価：

前回までの意見交換会は、それを夕刻に行っていたために、受講者の全員が出席することはなかった。今回は、グループ討論会を昼休み後に実施したため、夕刻会場に残るという時間的負担をかけることなく、受講者全員に討論に参加してもらうことができた。グループ討論会ではかなり活発な意見交換がなされ、その結果がパネルに報告されたため、パネルの議論が受講者にとってより身近なものになった。実行委員にとっては、グループ討論会が小中高の教室の実情を知るよい機会になった。アンケートの結果から見る限り、セミナー全般に対して、また、グループ討論会に対して受講者の評価はほぼ良好と考えられる。

以　上

## 平成18年度 中国・四国地区セミナー実施報告

世話人代表　砂屋敷　忠

**セミナーの名称**：エネルギー・環境・放射線セミナー　ー総合的な学習の時間のための情報提供ー
**開催日時**：平成18年8月19日（土）　9:30ー18:00
**開催場所**：倉敷市芸文館（岡山県倉敷市中央1丁目18-1）
**プログラム**：

基調講演　エネルギー・環境問題と教育
有馬　朗人（日本科学技術振興財団理事長、東京大学名誉教授）
講　演1　原発は是か非かを例にした総合的な学習の時間指導法の一考察
黒杭　清治（元芝浦工業大学（教職）教授）
講　演2　環境･食料問題と“食品照射”　多田　幹郎（元岡山大学教授・中国学園大学教授）
実　験　放射線を見てみよう、聞いてみよう　宮崎　英雄（ニュークリアサロン広島）
実践報告1　「青少年のための科学の祭典」における「放射線」の扱い
加藤　一孝（広島市こども文化科学館専門員）
実践報告2　「星空を伝えたい」移動プラネタリウム出前授業の取り組み
三島　和久（倉敷科学センター天文技師）

**実施状況**：

主催：文部科学省　企画･運営：放射線利用振興協会、放射線教育フォーラム　後援：倉敷市教育委員会、鳥取県、島根県、岡山県、広島県、徳島県、香川県、愛媛県、高知県の各教育委員会

参加者は60名（1名は任意参加）で、小学校18(35%)、中学校16(27%)、高校21(35%)、その他5(8%)であった。教諭36名(60%)、管理職17(28%)、その他7(12%)で、文系13(21%)、理科系29(48%)、小学校教諭の場合などどちらともいえないもの18(30%)であった。（申込者数　64名　辞退と欠席4名）

実行委員の高橋忠義、向井景昭、宮崎英雄、加藤一孝、坂田祐司、砂屋敷忠が参加、事務局から飯利雄一副会長が出席し、放射線利用振興協会担当者・地区の協力者と共同して運営した。

基調講演は、わが国とアジア地域の環境・エネルギー問題について、①拡大するエネルギー消費　②新エネルギー（バイオマス）の開発促進　③環境問題（ごみと廃棄物、酸性雨）　④食料自給問題　⑤地球温暖化　⑥自然災害　など、アジア全域の将来問題として、この地域が一体となって取組む必要を提言された。

講演1は、「総合的な学習の時間」が、日本の教育としては真の創造力を育成できる画期的な教育改革であるにもかかわらず、一部では無用論すら出ていることから、従来の指導法とどのように異なるのかを芝浦工業大学での指導法教育実践例「原発は是か非か」を例に、真の目的と情報機器を活用した方法を述べられた。

講演2は、食品照射について、安全で十分な食料の確保と快適な環境の維持という人類の基本に関わる問題に応える一方策で、食品の貯蔵期間の延長と衛生化を図る技術であること。諸外国に比べ、たち遅れているわが国の現状とその背景を、食品照射の歴史を振り返りながら、今後の展望へと解説された。

実験は、放射線の種類と発生源を概説し、簡易霧箱の作成とキットの添付線源、室内の塵埃試料による観察を指導された。また、放射線測定器による検出と計測についても紹介した。

実践報告1は、　全国的に展開されている「青少年のための科学の祭典」広島の放射線関係出展について、「身の回りの放射線をはかってみよう！」のテーマで、GMカウンターを用いた測定、霧箱での軌跡観察の実施状況、低学年から放射線についての裾野を広げるため、過去12回の祭典から問題点などを紹介された。

実践報告2は、　移動可能な直径4メートルのプラネタリウムシステムを活用し，出前授業を展開している様子や、人工的な星空を通し，本物の夜空に誘う働きかけをする、演者の4年間の試みを紹介された。

休憩時間に、大型霧箱、発電模型（原子力・火力）、サーベイメータの供覧を行った。

**総括**

積極的に放射線問題を組み入れてプログラム編成を行った。実験は、放射線の存在を驚きをもつて実感させるものであった。実践報告はセミナーの主題に関連が薄いものの、授業で環境・放射線問題を取り入れる際の間接的な参考となったようである。今後は出来るだけ、現実の教室の実践例を組み込みたい。

アンケート調査でも各講演とも好評であり、内容について肯定的な回答がよせられた。さらに、参加者は、原子力関係の講演や原子力発電所などの見学、実験の拡充を望んでおり、会期についても2日間を希望する回答が少なくなかった。これからは放射線関連のテーマを増やすこと、日程と会場・設備共、ゆとりのあるセミナーで、参加者の交流も図りたい。

# 平成18年度 九州・沖縄地区
# 「エネルギー・環境・放射線セミナー」実施報告

期　日：平成18年11月3日（金）10：00～17：15

開催場所：ビーコンプラザ（大分県立別府コンベンションセンター）会議室

大分県別府市山の手町１２－１　ＴＥＬ：0977-26-7111 ＦＡＸ：0977-26-7100

後　援：福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県、宮崎県、鹿児島、沖縄県、大分県、大分市、別府市、日田市　各教育委員会

セミナープログラム

講演１「日本の教育の現状と課題」　講師　有馬　朗人（東京大学名誉教授、元文部大臣）

講演２「九州電力の地熱開発の現状と今後の取組み」講師　秋好　真人（九州電力株式会社 火力発電本部火力部地熱グループ長）

実習「放射線を見てみたい？」　指導　久留米大学医学部研究員

講演３「放射線教育における小中高等学校と大学との連携」講師　島崎　達也（熊本大学生命資源研究・支援センター助手）

講演４「学校で教えられるべき放射線教育について」――（追加トピックス）「原爆の被災者の疫学的データからわかる重要な事実」講師　松浦　辰男（放射線教育フォーラム事務局長；立教大学名誉教授）

総合討論「学校で放射線をどのように教えるのか？」　進行　井上　浩義（久留米大学医学部教授）

受講者の内容：

受講者数　定員50名、応募者数　53名、参加者数　50名

・地域別：福岡県 17名（34%）、佐賀県　1名（2%）、長崎県　11名（22%）、大分県　0名（0%）、熊本県　8名（16%）、鹿児島県　7名（14%）、宮崎県　2名（4%）、沖縄県　4名（8%）

・学校別：小学校　10名（20%）、中学校　23名（46%）、高等学校　16名（32%）、その他　1名（2%）

・年齢別：20歳代6名(12%) 30歳代15名(30%) 40歳代19名(38%) 50歳代9名(18%) 60歳代1名(2%)

・性　別：男性　42名（84%）、女性8名（16%）

世話人評価：

本セミナーでは、講演として、有馬先生、秋好先生、島崎先生、そして松浦先生からお話を頂いた。これら講演については、主催者側の意図として、広く原子力・放射線、エネルギー、そして教育の問題について話題を提供し、実際に、それら知識・認識を如何に学校現場で利用していただくかをテーマに構成を行った。講演間に、簡易型霧箱の実習を行い、天然放射性同位元素からの放出される放射線の軌跡を観察頂いた。この簡易型に加え、放射線利用振興協会が準備頂いた大型霧箱は放射線を身近なものにするのに大きな役割を果たした。放射線利用振興協会からはこのほかにもふんだんな資料の配布や発電模型の展示などを行って頂き、セミナーの活動と相まって相乗効果を得たように感じられた。また、最後に上記と関連して、総合討論の時間を設けたが、時間が足りなかったとのアンケート結果が多数出るなど、世話人が意図した「他校の事例伝授・新規な教育実践への手掛かり発見」は未達に終わった部分が少なくない。少なくとも2時間程度は必要な活動であり、討論参加者には、活動目的を十分に認知して頂く事が重要であった。

また、内容以前にも、セミナーの構成立案が悪く、午前中に2時間半の連続講義を行ったために、休憩がなく、受講者に多大な苦痛を与える結果となった。今後、改善すべき事項である。一方で、セミナー終了後、参加された2名の先生方から問い合わせを頂き、具体的な教育実践の相談を受けた。いずれも新たに授業実践を行う予定であると聞き、教育効果の拡がりを実感するものであった。

運営は必ずしも万全ではなかったが、セミナーの開催は、アンケートの結果からも十分に意義深いことが明らかである。今後も改善を重ねてよりよいセミナーとすることが世話人会の役割と心するものである。

報告書作成者：井上　浩義（世話人代表）

## ２．２００７年度実施計画

２００６年度は前年度のセミナー参加者から寄せられた意見・感想・提案および現場教職員等の意見とニーズ情報調査を行ってセミナー実施内容の一層の工夫と充実を図って行った。

２００７年度セミナーは、次に示す企画で実施される予定である。

（１）　予定開催場所（括弧内は、開催地、開催日、世話人代表）

北海道地区（札幌市、７月３０日（月）、３１日(火)　講演会、見学会、石黒亮二）、東北地区（仙台市、１１月１７日（土）、山寺亮）、北陸地区（敦賀市、１２月１日（土）、森厚文）関東・信越（１）（前橋市、１１月１０日(土)、田中隆一）、関東・信越（２）（東京都、２月１０日（日）、１１日(月)、黒杭清治）、静岡・山梨地区（甲府市、８月１１日（土）、奥野健二）、愛知・岐阜・三重地区（東海市、８月１７日（金）、森千鶴夫）、近畿地区（吹田市、８月２７日（月）、斉藤直）、中国・四国地区（高知市、８月２０日（月）、砂屋敷忠）、九州・沖縄（那覇市、１０月１９日（金）、２０日(土)、工藤和彦）の１０地区

募集目標人数は各地区５０人を標準とし、合計５００人とする。参加者募集に当たってはできる限り早く各都道府県の教育委員会、市町村等の教育委員会ならびに高等学校、義務教育系のそれぞれの校長会にこのセミナーの趣旨、開催日、開催場所を説明し、協力と支援の要請を行う。

（２）　留意点

セミナーのプログラムの内容に「総合的な学習の時間」の授業の実施に直接役立つような教材か、大いに参考となるものを盛り込む。各地区のセミナーの特色を生かすこととし、全国１０地区のプログラムを画一的な内容とせずに、創意工夫なものとして充実させる。このためにも各地区のセミナー企画に際しては、地区世話人だけでなく現地の学校教職員等を含めてニーズ情報調査を検討すると共にこれまで行ってきたアンケート結果と、これに加えて世話人等からの情報提供により、できる限りマッチングさせたプログラムをつくる。また、休憩時間を入れ全体的に時間のゆとりを持ったものにする。

講演に関しては、本セミナーの趣意から講演名とその内容をエネルギー・原子力・放射線・環境（環境のみのテーマについては、その内容に原子力及び放射線に関わるものを入れる）とし、基礎的な問題あるいは文系と理系との境界領域にまたがる問題などの講演が「総合的な学習の時間」に役立つものと考えられる。しかし実際には、講師と教員との知識・意識、理系の教員と文系の教員との基本的な知識の格差、あるいは個人的な能力の相違、講演時間の不足などによりそのままセミナーを終了しているのが現状である。概括的な「総合的な学習」の内容にとどまらず、総合学習の理念から教科間の連携などにより具体性を問題として重点を移し、総合的な学習の時間における実践のあり方や事例をまとめていくことが必要である。

実験に関しては、手製の簡単な測定器で自然放射線が観察できる実習は、理系教員に限らず、文系教員にも大変好評で各地区のセミナーでは、定番化している。なお、再受講者はごく少人数ではあるが、このような教員に対しては別の実験を用意する必要がある。

交流会あるいは意見交換会については、各地区の工夫によって好評であるが、現代的な風潮として集団的な行動を好まない人もあり、このような人に対しては、世話人、講師およびオブザーバーから積極的に話しにのるきっかけを作るなどの配慮が必要である。なお、交流会を行う場合は、少人数のグループに分けて実施すると効果的である。

# 第３章　専門委員会の報告

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、「実験教材検討委員会」、「リスク問題検討委員会」、「低レベル放射線の影響検討委員会」、および「教科書記述調査委員会」に関する報告を収録した。

平成19年(2007)3月

# 平成18年度の教育課程検討委員会活動の記録

委員長　江田　稔

## 1. 設立趣旨

放射線は学校教育（初等中等教育）のいろいろな教科・科目で取り扱われており、一部では効果的な実験も発表されているが、大部分は取り扱いが断片的で、かける時間は少ない。また、放射線の重要性に反して、一般には怖い、危ないとの印象が定着している。

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

## 2.委員名簿(2007年度)

| | | |
|---|---|---|
| 委員長 | 江田　稔 | 青森大学大学院教授 |
| 委員 | 飯利　雄一 | （社）日本原子力産業会議常務相談役　元信州大学教授 |
| 同 | 黒杭　清治 | 元芝浦工業大学教授 |
| 同 | 広井　禎 | 元筑波大学附属高等学校副校長 |
| 同 | 船田　優 | 千葉県立船橋高等学校教諭 |
| 同 | 矢田貝秀雄 | 文京学院大学女子中学校校長 |
| 同 | 松浦　辰男 | 本フォーラム事務局長　立教大学名誉教授 |
| 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 |

## 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・意識の実状を調査し「第1回放射線教育に開する国際シンポウム」で「放射線教育カリキュラムの課題と現状と題して講演した。

19999年度　9月に発生したJCO臨界事故に対する生徒（卒業生を含む）の疑問を集め、初年度の意識調査に加え、そこから放射線教育のあり方を検討した。

200年度　2年間の調査をもとに、小・中・高等学校における各教科・科目での放射線リテラシーとは何かを検討し、この検討をもとに放射線教育の授業展開例の作成を試みた。

2001年度　前年度の授業展開例をもとにして放射線教育を「総合的な学習の時間」の中にどのように取り組むかということについて検討した。

2002年度（財）科学技術振興財団が主催する「エネルギー・環境問題総合教育用地理情報データwebシステムの構築と活用」に対して本委員会が協力し成果をあげた。

2003年度　委員長黒杭清治

1）放射線リテラシー育成資料作成のための基本資料収集。昨年度までに調査した放射線教育の実情資料を25ページにまとめた。

2)三門委員が紹介した自作放射線測定器を南関東地区エネルギー・環境・放射線セミナーで演示する計画を立てた（2004年度のセミナーで実施し2005年度以降も継続実施)。

3)村石委員より、「データハンドリング」と命名した授業の紹介があり、この手法を「総合的な学習の時間」に組み込むことを検討。

2004年度　委員会を3回開催し、以下の活動を行った。

1）「学生・教員の放射線に対する知識・意識と学校教育での放射線リテラシー育成」大学生、教員を対象に「放射線に対する知識・意識アンケートを行い、「第3回放射線に関

する知識・意識と学校教育に関する国際シンポジウム」でポスター発表。また、教員のアンケート集計結果についての意見･感想を約100名の理科教員に再アンケートの形で尋ね、これまで成果と共に16ページの報告書にまとめた。

２）放射線モジュラー教材の検討・自作放射線測定機器による実験

教材（原子核の崩壊　放射線と人体など）　実験（原子核崩壊の模擬実験　身近な放射線の測定など）について検討した。また、室内の浮遊帯電微粒子を風船で集め、自然放射能（主としラドンの崩壊生成物）を三門委員自作の放射線測定器で計測できることを確認した。更に、各委員からの意見をもとに三門委員が演示方法を工夫し、その成果を「平成16年度南関東地区エネルギー・環境・放射線セミナー」の演示実験（平成17年3月5日実施）として受講者に披露し大変好評であり当分の間毎年実施することになった。

2005年度は

①「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」

を作成することとした。

このねらいは、一般市民も含めて、全ての児童・生徒と教員が教科にかかわりなく原子力・放射能・放射線について、この程度の知識・意識をもってもらいたいと思う資料集を作成することである。考えた構成は以下の通りである。

序章　一般教員が最低限知っておきたい放射能・放射線知識

**Ⅰ章　放射能・放射線用語の基礎知識**

**Ⅱ章　放射線の健康への影響**

**Ⅲ章　誤解しやすい原子力・放射能・放射線の知識「Q＆A」**

**Ⅳ章　理科教員のための放射能・放射線モジュール教材**

このうち②については概ね達成できたが(ただし、Ⅱ章は独立した章にしないことに決定 ) ①の資料が完成できなかった。

**（２）2006年度の活動**

そこで、2006年度は、年間３回ほど検討委員会を開いて①の原案を作成し、原子力体験セミナーに参加した教師や、放射線教育セミナーの役員からも意見をいただきまとめた。この資料は､現在進行中の学習指導要領改訂に際して､ぜひ参考にしてもらいたいと考え、文部科学省にも提出した。今年度は、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」とし、2005年度の構成を以下のように変更した。

**『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』**

資料集作成の趣旨

**第１章　原子力・放射線について小・中・高校生が卒業時までに身に付けてもらいたい知識**

**第２章　放射線・放射線用語の基礎知識**

**第３章　放射線教育のための教員用Ｑ＆Ａ**

**第４章　理科教員のための放射能・放射線モジュール教材**

以下は「資料集作成の趣旨」と「第１章」である。第２～４章は前年度に紹介ずみなので省略した。

# 資料集作成の趣旨

## 1. 原子力に対する一般市民の懸念

2005年6月原子力委員会策定会議より発表された「原子力に関する政策大綱（案）」に対しての一般からの意見をまとめてみると、多くの市民が下記のような懸念をもっていることがわかる。

『スリーマイル、チェルノブイリ原発事故を背景にして、スウェーデン、ドイツなどでは原発の段階的廃止を決め、イタリアは全廃した。わが国でも「もんじゅ」のナトリウム漏れ、JCOウラン加工工場での臨界事故、関電美浜原発で死者を出す事故を始め、東電のデータ改ざんなど一連の不祥事によって、一般市民の原子力に対する安全性への懸念が高まり、信頼が損なわれている』。

しかし、上記のような意見には科学的に正しい知識が乏しい、あるいは誤った知識をもとにした誤解によるものが多い。

## 2. 教育の背景・社会環境

また、一般市民（含青少年・教員）が原子力・放射能・放射線などについてどのような社会環境下のもとで情報を得ているのかをまとめてみると次のようになる。

① 学校では教えない。家庭でも話題にならない。
② 知識をもっていても、もっていなくても、関心がなくても日常生活に支障がない。
③ 情報源は大部分がマスメディアやインターネットである。
④ 「原発は危険」「高レベル核廃棄物処理が確立されていないから原発反対」「新エネルギーを開発すればよい」「日本もヨーロッパに習い脱原発を」と考えている一般市民が多いのは、多分にマスメディアの報道姿勢の影響を受けた結果と考えられる。
⑤ 誤った情報を正しいと信じている教員・親がそのことを口にすれば、青少年は二重、三重に誤った情報を正しいものと信じ込む。

## 3. 教員の問題意識

この傾向は日本原子力文化振興財団が行ったアンケート調査や本委員会が2003年度南関東地区エネルギー・環境・放射線セミナーの受講者に行ったアンケート調査の結果ともよく一致している。

それでは、学校現場の教員はどのような感想や問題意識をもっているのだろうか。我々の教育課程検討委員会の活動に関心をもつ小・中・高校の教育現場の先生方から、放射線教育について次のような問題意識や希望・感想が寄せられている。

●小学校の学習指導要領には原子力・放射線を指導できる教科がない。理科で放射線は扱わないし、社会科では発電や水道などに関係する事項が少しあるだけ。エネルギー・環境教育を指導する関連で、小学校でもぜひ原子力・放射線教育をしたい。

しかし、小学校では評価基準を設定するために、学年内で各クラスが統一した指導内容をする学習計画をたてている。そのため、1人だけ他クラスから離れて原子力・放射線を指導することはできない。放射線が理科や社会で扱えないので「総合的な学習の時間」の「環境」というテーマで扱う以外にない。「総合的な学習の時間」で指導するだけでなく、理科・社会・保健体育などの教科中に位置づけられることを望む。

●一般の教員には放射能と放射線の区別がつかず、放射線は止めてもいつまでも存在するように思っている人が多い。また、原爆と原発の区別がつかず、放射線は無味無臭、無痛、無衝撃であるためなのか、危険・怖いというイメージばかりが強く、なぜ、どのように危

険なのかもわからず、がん治療で放射線治療を行うとすべて副作用として頭髪が抜け落ちる、吐き気が伴うと思っているものも多く、放射線が人類の福祉に多大の貢献をしていることも理解できていない。

JCOウラン加工工場で臨海事故が起き3人が被曝したが、これなどは作業員が知識をもっていれば回避できたはずである。現在の教員養成制度のままで、たとえ原子力・放射線が学習指導要領の中に位置づけられたとしても正しく指導できないであろう。小学校で全科を担当する教員には大学の教職課程で理科を必修にするべきである。

以上のように、一般市民をはじめ教員でさえ放射線の性質や利用に関する正しい知識や判断力が不足しているのが現状である。
そこで、本委員会では、児童・生徒の放射線教育の在り方や教員の知識や指導力向上をねらいとした資料集を作成することとした。

# 第１章　原子力・放射線について小・中・高校生が卒業時までに身に付けてもらいたい知識

## 1. 小学校

ア．放射能は自然界にあること
イ．放射線は役立てられていること
ウ．原子力は発電に使われること

**（内容の取り扱い）**

「ア．放射線が自然界にあること」では、放射能は地球が誕生したときから紫外線などと同様に自然にあったことを理解させる。石や食品、人のからだからも放射線が出ていることを実際に放射線測定器を使って測らせてみることが望ましい。放射線は「はかるくん※」などによって小学生でも簡単に測定できる。

「イ．放射線は役立てられていること」では、放射線にはものを通り抜ける力や、ものの性質を変える力のあることを利用して役立てられていることに気づかせる。具体例としては、胸・胃・歯・骨折などの診察に使われているレントゲン検査のエックス線（レントゲン線）も放射線であること、ジャガイモの芽が出るのを防いだり、品種の改良（お米の性質や、花の色などを変える）、注射器など医療器具の殺菌、タイヤの性能向上などに使ったりしていることを挙げるとよい。

「ウ．原子力は発電に使われること」では、日本の電気は、およそ３分の１を原子力によって発電することによってエネルギー資源の利用バランスを保っていること、大電力を安定供給するための基幹電力として重要な役割を果たしていること、太陽光発電や風力発電などでは少量過ぎて代替できないことを理解させたい。ウは「イ．利用」の１部であるが、エネルギー源としての利用であるから項目を独立させた。

**（発展的な取り扱い）**

ア．では、生物は放射線を浴びながら育ち、命を受けついできたのであるから、自然に出ているくらいの弱い放射線は生物が育つのに影響がないといえることに触れるとよい。

イ．では、１回の診察に使われる放射線の量は健康への影響がないくらい少量であること、また、ジャガイモ発芽防止、殺菌、タイヤの製造などに照射する放射線は、自然放射線より強いが、明かりを消せば光が残らないように、放射線を当てた農作物や器具に放射線は残らないこと、放射線は正しい知識をもった専門家が厳しい管理のもとで使っていることに触れるとよい。

ウ．では、原子力で発電する炉（原子炉）の中では多量の放射線が出ているが、炉は放射線を通さない容器（圧力容器）に入れられ、さらに配管などと共に格納容器に収められ、安全のために発電設備全体は厚いコンクリートの壁でできた建物の中にあるので、原子力発電所の運転室やまわりでも自然にある放射線の量と変わらないことに触れるとよい。

全体として、放射線についての正しい知識がないと、ただこわがるだけになることを理解させたい。教員の基本姿勢としては、溢れる情報の中から科学的に正しい情報を選択できる判断力をつける指導が大切である。

※「はかるくん」は（財）放射線計測協会業務部より一定期間（基本は２週間）無料で借用できる。
借用方法：専用の申込書に必要事項を記入してFAXで申し込む。　申込書は電話で希望を伝えると送ってもらえるが、同協会ホームページ http://www.irm.or.jp/から「はかるくん」借用のページを開きダウンロードすることもできる。また、最近 Web による直接申し込みもできるようになった。
〒319-1106　茨城県東海村白方白根 2-4　TEL：029-282-0421　FAX：029-283-2157

## 2. 中学校

小学校の知識を踏まえて、中学校卒業時までに、次の知識を身に付けさせたい。

| |
|---|
| ア．放射線は人為的に発生させることができること<br>イ．放射線は医療、工業、農業などで広く利用されていること<br>ウ．原子力発電はエネルギーの安定供給に役立てられていること |

**（内容の取り扱い）**

「ア．放射線は人為的に発生させることができる」では、利用する放射線を自然放射能から得るほか、人為的に発生させて使っていること、X 線も人為的に発生させているが、最初は偶然発見されたという歴史にも触れる。放射線が 1896 年ウイルヘルム・レントゲンによって発見されたこと、レントゲンは、肉眼では見えないが物質を透過する能力をもって放射されている「未知のもの」に X 線と名づけたことに触れるとよい。放射線の種類や発生させる方法に触れる必要はなく、単に「放射線」という取り扱いにする。

「イ．放射線は医療、工業、農業などで広く利用されていること」では、放射線が医療のほか、身の回りの工業製品や農産物に利用されていることに気づかせる。単に多種類の具体例を列挙するのではなく、医療のほか、身の回りの工業製品や農産物で多く利用され、生活の質を高められていることに気づかせるような具体例を示す。

医療では、X 線透視（胸部・胃・歯科・骨折の診断など）、CT などによる診断のほか、医療技術の進歩に伴いがん治療に放射線照射が広く使われるようになったこと、工業では半導体製造の工程や非破壊検査（鋼板の厚み検査など）に使われて、科学技術立国を支えていることが理解できるようにさせたい。農産物では食品の殺菌、保存に放射線照射が有効であり多くの国で利用されているが、わが国ではジャガイモの発芽防止に認められているのみであることにも触れる。

「ウ．原子力発電はエネルギーの安定供給に役立てられている」では火力、水力などのほか、原子力発電を加えなければ、わが国のエネルギー需要を賄えないことを理解させる。火力、水力、原子力、新エネルギー（太陽光、風力、地熱、バイオマスなど）の長所、短所を比較しながら、これらをバランスよく混合させて発電している（ベストミックス）ことを理解させる。

原子力発電の長所は大電力を安定供給するための基幹電力として重要な役割を果たしていること、地球温暖化の原因と言われている二酸化炭素の発生が極めて少ないこと、使用済み核燃料は再処理によって再び核燃料として利用できることに触れる。また、高レベル核廃棄物最終処分場が決まっていない（技術的には解決済み）などの問題点も残されていることにも触れる。

**（発展的な取り扱い）**

ア．ではマリー・キュリーの伝記などを扱うことも考えられる。

イ．では 1 つの事例を詳しく紹介することで放射線が人類の福祉に役立てられていることに気づかせる方法も考えられる。一例を挙げると沖縄でのウリミバエを撲滅した話などがある。

「ゴーヤーが大好物のウリミバエを、放射線を利用して撲滅した。放射線を直接ウリミバエに照射したのではなく、もっと巧妙な方法が用いられた。原理は簡単で、大量に人工飼育したウリミバエのさなぎに放射線を照射して不妊化させ、野外に大量にばらまき、野生のウリミバエを絶やしてしまったのである。ウリミバエの飼育法、放射線量、さなぎの大量散布方法、効果の確認法・・・どれ 1 つとしてマニュアルがなく、このプロジェクトがいかに試行錯誤の繰り返しであり、ヘリコプター散布から、人海戦術まで加わった、壮大で、しかも繊細、全沖縄を挙げての知恵の集結の賜物であった。それからは沖縄産のゴーヤーが沖縄以外でも買えるようになった」。

ウ．ではエネルギー消費量、発電方法別発電量などさまざまなデータを用いるとよい。

## 3．高等学校

**理系を除く高校生に対して、卒業時に次のような知識を身に付けさせたい。**

| |
|---|
| ア．放射能と放射線<br>イ．放射線の特性とその利用<br>ウ．放射線の身体への影響 |

**（内容の取り扱い）**

**「ア．放射能と放射線」では、**放射能と放射線の用語の意味を理解させる。**放射線を出す物質を放射能（または放射性物質）ということ、**放射能は放射性物質の量を表す用語でもあることを理解させる。

「イ．放射線の特性とその利用」では、なぜ放射線を使うのか、他のものでは代替できないのかが理解できるようにする。放射線を使う理由として、医療では、例えばがんは単に治ればよいというだけでなく臓器や身体をあまり損なわずに治療できることが求められている。放射線照射治療は、手術（切除）などと比べ、その点が優れている。工業分野**での**放射線照射の利点は、照射された物体の深部まで高速に処理できること、物体を加熱せずに処理できること、有害な薬品の使用や排出を少なくできることなどに気づかせるようにしたい。

「ウ．放射線の身体への影響」では、医療などで使われる放射線が身体にどのように影響するかが考えられるようにし、どのように管理されているのかを理解させる。

生物（細胞）が高いエネルギーの放射線照射によって死ぬのは強い紫外線、熱、高圧などで細胞が働かなくなるのと同じであるが、そのようなことを起こさないために放射線は専門家によって管理されていることに触れる。また１回の診断に使われる放射線量はわずかであり、日本の自然放射線量の 200 倍以上の自然放射線量がある国があるが、そのような地域の人々も健康で生活していることを理解させる。

自然放射線は安全で、人工放射線は危険というような違いはない（放射線の危険・安全は放射線量と身体が受ける部位に依存する）ことにも触れるとよい。

**（発展的な取り扱い）**

イ．では、次のような取り扱い方も考えられる。ただし、シーベルトのような単位を用いずに、日本で受ける年間自然放射線量の平均値を１とし、他の値を相対的な値で表す方法もあってよい。

日本での年間自然放射線量は平均 2.4 ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄ（空気から：1.3 ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄ、大地から：0.5 ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄ，宇宙から：0.4 ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄ，食物から：0.2 ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄ）であり、医療で使われる放射線は１回あたり、CT 胸部：6.6～14.6 ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄ、胃の X 線集団検診：0.6 ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄ，　胸部 X 線集団検診：0.05 ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄ，歯科用 X 線撮影撮：0.014 ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄである。１年間の自然放射線量が 10.20 ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄ、多いところでは 200 ﾐﾘｼｰﾍﾞﾙﾄの地域の人々でも健康に異常なく生活している。胃、胸部の集団検診で受ける放射線量を気にする必要はない。

また、数値だけを比較すると、CT 検査で受ける放射線量は自然界から１年間に受ける放射線量より多いが、１回限りの検査で受ける放射線量と、年間を通して受ける放射線量を一概に比較することはできず、１～２回程度の CT 検査で健康への悪影響が出ている事例はない。

医療には使用する放射線量に制限はないが、がんの病巣があって CT 検査で発見できれば早期治療・治癒の可能性が高くなるから、放射線障害を心配している人でも（実際に傷害は起きない）、CT 検査を受けないで病気が進行する可能性が高くなる道を選択する人は稀であろう。

しかし、病気の種類と、進行状態の程度によっては、普通の診断より多量の放射線照射が必要になる。成人になると、医者から病気内容と治療方法の説明を受け、例えばがん治療で放射線照射による副作用がある場合、その影響がどの程度であるかについて理解した

うえで、副作用を恐れて手術を選ぶか、手術の苦痛を嫌って放射線照射を選ぶか、または自然体を選んで治療そのものを止めるかは、納得（インフォームドコンセント）したうえ、自分で選択し決めることになる。

未成年のうちは保護者の同意を必要とするが、成年になってから突然考えるのではなく、このような自己責任を未成年のうちから考えられるように指導することが望まれる。

しかし、最近の放射線照射技術は進歩し、照射する放射線の種類によってはがん組織に局所的に高いエネルギーの放射線を照射して短期間で消滅させ、副作用もほとんどない方法が取れるようになってきている。

また、ウでは、**放射線から身を守る３原則（　①遮蔽　②離れる　③短時間　）**を次のように体系的に扱うのもよい。

①遮蔽：原子力発電所の原子炉は遮蔽が十分にできているので、敷地内であっても、放射線の管理区域外では自然界の放射線量レベルと変わらない。

②離れる：明るい電灯でも遠ざかれば距離の二乗に反比例して暗くなるのと同様、放射線の強さは放射線源から**遠ざかる**ことによって弱くなる。たとえ JCO ウラン加工工場での臨界事故のようなことがあったとしても、離れることにより影響はなくなることを知っていればパニックを起こすこともないであろう。

③短時間：放射線量レベルの高い管理区域で作業をする人は被曝線量が定められた値を越えないように管理されている。定められた値を超える恐れがあるときは作業時間を制限（**被曝時間を短く**）する安全対策がとられている。

更に、ウでは原爆と原発の違いを扱うことも考えられる。

わが国の商業用原子力発電（電力会社が発電用に使っている原子炉）は、燃料にウランを使っている。ウランには燃料になる（核分裂を起こす）ウランと、そのままでは燃料にならないウランがある。原子爆弾は燃料になるウランを 100％近くにして使っているが、原子力発電所で使うウランは燃料になるウランが３％程度しか含まれていない。原子炉がたとえどのような状態になっても原子爆弾のように核爆発を起こすことはない。

# 実験教材検討委員会報告

堀内　公子

本委員会は学校における放射線教育が重要であるとの視点に立って、教師と生徒が安心して実験出来るように、学校教育における教材用放射線源の安全性と開発、放射線実験時における被ばく線量の評価、法規上の規制緩和を阻む諸問題等の解決の道筋を探ることを目的として組織された。

また高等学校などでは放射線実験の普及・拡大を図るため、放射線実験用教材を線源のみを研究対象とするのではなく、測定器、線源、コンピューターソフト、周辺機器の開発などの課題に取り組むことを目的とした。

活動は1996年～2004年まで9年間存続し、二ヶ月に一回の割合で会合を開き活動をかさね、その成果は国内・国際学会・研究会等で報告し、「放射線教育」に論文を投稿したり年度末には報告書を提出し、一応の成果を果たして第一期は終了した。

一方（財）放射線計測協会は小・中・高等学校で自然放射線測定実習を簡便に行えるように無料で簡易放射線測定器「はかるくん」（注1）を貸し出し放射線教育の実践的な普及活動を行っている。協会は、「はかるくん」の貸し出しに当たって、

「はかるくん」による放射線測定一実習テキストー、
「はかるくん」による実験手引（教師用）、
「はかるくん」を活用するために一副読本・1（放射線）

等を併せて配布し、放射線測定に馴染みのない人にも「はかるくん」を正しく扱えるよう配慮しており、利用者達の測定結果をまとめた実践報告書も数多く出されている。しかし、実践報告書の中には、これらの資料を十分生かしきれていない指導報告やバックグラウンドや逆二乗則の概念など、放射線を正しく認識した上で指導が行われているのかどうか疑わしい事例あることがわかった。よって「はかるくん」を利用した教育現場における放射線測定について単なる操作のマニュアルではなく正確な理論に基づいた適切な指導要領を作成し、普及する必要性が浮上してきた。

このような事情に鑑み、NPO法人放射線線量解析ネットワーク（遮蔽研究の専門家集団）の有志が集まって専門家の立場から検討を行なっていくことが話し合われた。同法人の呼びかけにより、学校教育の場を中心にエネルギー・環境及び放射線・原子力の正しい知識の普及を目的に活動を行っている当 NPO 法人放射線教育フォーラムからも元実験材料検討会委員長や高等学校の先生等が参加して2006年6月に第一回会合が開かれた。両NPO法人は、同様に放射線に関する正しい知識の普及を目的としており、学校における放射線教育を改善するための要望の提起や政策提言を国に対して行っており、同時に学校現場における放射線実験の指導のあり方に問題のあることを指摘していた。

会合ではこの様な現状を踏まえ、両NPO法人がそれぞれの専門の立場から、共同して小・中・高等学校における放射線教育のあり方を検討することは非常に有意義であり、正しい理論に基づいた放射線測定指導要領の作成とそれに基づく現場指導の方向性が話し合われた。

現在、検討会の名称を「放射線教育実習検討会」とし線量解析ネットワークから７名、フォーラムから３名（内１名は両法人に所属）が検討会に参加し、理科・数学教育の現状の把握、「はかるくん」を用いた基礎的な測定実験の実施と理論的裏付けを行う為のモンテカルロ計算による検証、高校生を対象としたガンマ線測定に限定した４時限程度の指導要領書の原案作成などが行なわれている。

現場指導のあり方の基本として下記の事柄に眼目を置いている。

① 学校現場では「はかるくん」を用いた自然放射線の測定や霧箱の実験を通じて、子供達は放射線場（パッウグラウンド）の中で暮らしていることを実感として体験させる。さらに、放射線の物理的な性質を正しく認識させるような実験、放射線被ばくからどの様にして身を守るかという実際的な教育を行う。

② 放射線は、点線源の場合は距離の逆２乗則で減衰すること、物質中で散乱・吸収されること、放射線の減衰は物質の性質（密度など）によって異なることなどを正しく認識させるような実験計画を立案する。

③ 放射線安全は、i） 被ばく時間を短くすること、
ii） 線源から離れること、
iii）線源と観測点（人間）の間に物質（遮蔽体）を置くことによって守ることが出来る。
この三原則が守られれば、放射線は安全に取り扱えることを、正しく認識させる実験計画を立案する。

④ 上記②～③の実験を行うため、実験に用いられる線源の大きさと種類、遮蔽体の種類や広がりと厚さの検討、「はかるくん」だけではなく、使い易いその他の放射線測定器や測定装置の検討を行う。

などとしている。

こうした他組織、研究機関を含めての動きを見るとき、改めて放射線の知識の普及、放射線教育の難しさが痛感される。学校教育において、生徒たちは目で見たり、手で触れたりすることで単なる耳学問のみの場合より、実感としての知識を得て理解を深めることが出来る。しかし放射線に馴染みの無い人が手軽に扱えることに安心して安易に間違った測定法を指導したり、報告したりしては、放射線の知識の普及どころか誤った情報が独り歩きすることになり、大変に危険であると同時に教育上の弊害ともなる。

今後、実験材料検討委員会においても単なる放射線の知識の普及、手軽な放射線実験の検討・紹介だけでなく、放射線を考えるとき、放射線を扱うとき、守らなければならない、ルールや操作があることを指摘していく必要がある。そうした操作が放射線のどう言った性質・理論に基づいているのかをきちんと踏まえた形の操作マニュアル、教案作り等を検討することを目的に活動再開を考慮すべき時が来たと言えよう。

（注１）「はかるくん」：（財）放射線計測協会から無料で貸し出されている簡易放射線測定器。「はかるくん」にはガンマ線のほか、ベータ線も測定できる「はかるくんⅡ」がある。

# 不慮の事故のリスクと原子力事故のリスクの比較

## (主観的リスクの相違)

河村　正一、田中　隆一、松浦　辰男

## 1．はじめに

(財) 全国安全会議 発行の小冊子「図説国民安全」平成１７年版によると、平成１５年の我が国の死亡者数は1,014,951で、このうち、不慮の事故による死亡者は38,714という。この不慮の事故とは、交通事故(10,913)、窒息(8,570)、転倒・転落(6.722)、溺死(5,716)、天災その他(5,295) 煙・火・火炎(1,498)を指すが、かなり多くの人々が貴重な生命を失っているのに驚くとともに、人々があまり重大な問題として取り上げていないことにも驚く。

一方、放射線、原子力発電、遺伝子組み換え、食品添加物、農薬などに対しては敏感すぎるくらい強く反応し、余分な神経を使い過ぎていると思う。このような反応の違いがどうして生じるのか、考察する必要がある。

リスクは至るところに存在し我われは、さまざまなリスクに囲まれて毎日生活している。全くリスクのない生活はできないともいわれている。ここに、日本リスク研究会の「リスク分析の考え方とその手法(1993)によるリスクの分類」があり、同じ種類のリスクをまとめられており、次に示す。

①地震や洪水などの自然災害のリスク、
②火事や爆発、輸送機関の事故などによる都市災害のリスク、
③建設業、製造業などによる労働災害のリスク、
④食品添加物と医薬品のリスク、
⑤大気、水、土壌、生物などを媒体とする環境リスク、
⑥人間の健康や環境に都合の悪い生物種によるバイオハザードや感染症リスク、
⑦化学物質による環境汚染と、人体、生態系、地球気候への影響などを対象とする化学物質のリスク、
⑧放射線による健康リスク、
⑨廃棄物そのものによる本源的結果、廃棄物処理による結果、物質循環上の結果に分かれる、廃棄物のリスク、
⑩高度な技術の開発と産業化によって生じる高度技術のリスク、
⑪人間活動が地球的規模に拡大することにより環境負荷や災害の影響が地球のすみずみまでに広がっている様子のグローバルリスク、
⑫社会経済活動に伴うリスク、すなわち家計・個人分野、企業分野、国家分野、全地球分野で取り扱われている不確実性や先見不可能性に根ざす不利益や犠牲に関連するリスク、
⑬投資リスクと保険などで企業等の投資にともない生じる金銭的、経済的リスク、およびその経

済主体に対応して形づくられる保険などである。

このように分類できるが、リスクで重要なことは「リスクとは災害や危険そのものをいうのではなく」、「リスクは災害や危険が起こる可能性をいっている」ということである。

２．リスクの定義

木下富雄氏によれば、リスクの定義や術語は、学問分野によって違いがある。すなわち学問的「方言」があるという。そういえば、（１）.で分類された各分野の術語は、同一分野内では統一がとれているが、分野を変えると意味が分からない場合がある。

①最も伝統的な定義の方言は、「リスクとは生命の安全や健康、資産や環境に、危険や障害など望ましくない事象を発生させる確率又は期待損失」というものがある。この定義は生物学、医学、化学、工学、経済学などの分野で使用されることが多いという。この定義は、確率で表現するという意味で客観的であるが、現実の世界は複雑すぎて、望ましくない事象の発生を確率値で表現できない場合がある。そこでこの定義を和らげて、

②「生命の安全や健康、資産や環境に、危険や障害など望ましくない事象をもたらす可能性又は不確実性」をリスクと定義する場合がある。政策科学、環境科学、行動科学のように、評価する対象が複雑で関連する要因が錯綜して確率分布を明確に定義できない分野で使用されることが多いという。また別の方言として、

③災害の発生確率や可能性だけでリスクを定義するのではなく、災害が発生したときの障害の大きさを考慮した定義がある。このリスクの定義は、「災害が発生する確率と、障害の大きさの積」として定義される。式で示すと、（障害の大きさ）×（災害が発生する確率）となる。この定義は、発生の確率又は不確実性よりも、引き起こされる障害の可能性に重点をおいたものである。また、この定義は、災害が時間的、空間的な広がりをもつ対象を扱う環境汚染や原発の事故などに関連してよく用いられるという。このようにリスクの概念は学問分野や対象によってかなり異なるが、これらの方言の共通部分、すなわち「標準語」としてのリスク概念を強いて取り出すとすれば、「ある不確実な事象が生じる結果とその可能性」又は、「不確実な事象に対する影響の予測」程度のものになるかと木下富雄氏はいっている。前述したようにリスクの定義で重要なことは、リスクは災害や危険そのものではなく、その発生の可能性としている。

一方、ISO（国際標準化機構）/IEC（国際電気標準会議）　GUIDE 73:2002（TRQ 0008:2003)のリスクの定義は、「事象の発生確率と事象の結果の組合せ」と規定している。この定義には次の５つの備考がついている。

備考１）「リスク」には、適切な日本語訳はなく、一般に少なくとも好ましくない結果を得る可能性がある場合にだけ使う。

備考２）未だ発生していない時点での不確定性を常に基本的な性質とする。起こるかどうかは分からないが、少しでも起こる可能性が否定できなければ、又は明らかに起こら

ないといえなければ、「リスク」は必ず存在する。これが、「リスク」の本質といわれている。

備考３）「危険」は一般的に目に見えるレベルでの感覚で、ほぼ起こることが確実といった内意がある。英語では danger であり risk ではない。

備考４）「リスク」は性質を現し、「危険」は状況を表す。備考５）「リスク」は「抽象的な概念」なので、「管理の対象」にはできない。管理には具体的に把握できる実体としての対象が必要である。今まではリスクの把握のための表現として likelihood 又は、probability とその結果の severity の combination として表されるのが多かった。今回は severity ではなく、単に結果としたのが特徴である。

３．リスクで使われる語句

① リスクアセスメント(risk assessment)　(ISO/IEC Guide 51)　１．{リスク分析及びリスク評価からなるすべてのプロセス}　２．(TR Q　0008)「リスク分析からリスク評価までのすべてのプロセス。」３．(OHSAS　18001)「リスクの重大度の見積もり」そのリスクが許容可能か否かを決定する全体的なプロセッス。」。これらをまとめて簡潔に定義すると、「リスクアセスメントとは、リスクの大小又は高低を推測する方法」である。リスクアセスメントは、職場に点在する危険有害要因（職場の災害に発展する源）を探しだし、災害になる可能性の大小を推測し、災害リスクをより小さくするための改善対策を提示する手法である。この手順を有効に進めるには、危険有害要因の特定、リスクの評価、リスク低減対策の検討の３つの柱が必要である。

○危険有害要因の特定　　職場にあり災害要因は無数にあり、その中からリスクの大きいものを選び、危険有害要因を特定する。

○リスクの評価　　リスクの評価やリスクレベルは、企業や職場に適した基準を選ぶ。事業場独自の基準をつくることも１つの方法である。

○リスク低減対策の検討　　リスクを完全に排除するのではなく、能力に見合った改善対策を検討する。したがって、「残留リスク」として相当部分のリスクが残ることがある。安全、衛生に関する法令は、災害の貴重な教訓として十分活用する。

なお、災害や事故の場合、如何に対処するかを「リスクマネジメント」と誤解されている傾向があるが、これは「クライシスマネジメント」の誤りである。

② 「リスクマネジメン」は災害が起こる前に、その危機を予測した上で、事前に防止対策をとることである。しかし災害を完全に防止するのは難しいから、そこで得られた教訓をフィードバックし次の再発防止に役立てることになる。これがリスクマネジメントの循環構造である。

③「リスクコミュニケーション」とは、「対象のもつリスクに関する情報をリスクに関係する人々（ステークホルダー）に明示することである。関係者する人々とは、行政、企業、住民、研究者などさまざまである。この定義で重要なポイントが二つある。

一つは、関係者に情報を与えるときは、対象のもつ利便性すなわちポジティブ面だけではなく、リスクすなわちネガティブ面も出すことである。対象がもっているあらゆる情報、関係者が欲しがっている情報のすべてをフェアに提示する必要がある。

もう一つは、リスクコミュニケーションは宣伝ではないということである。つまりリスクコミュニケーションとは、関係する人々の間で双方向的な情報交換を行うことであり、それによって問題点を共有する。それを基いて共通の土俵で問題点を一緒に考えることを最終目標としている。したがって政府や企業が一方的に消費者や住民に情報宣伝することをリスクコミュニケーションとは言わないし、反対派の人々が反対キャンペーンを張るのもリスクコミュニケーションとは言わない。ではリスクコミュニケーションで伝えるべきリスクは具体的にどういうものか。それは例えば、災害がどういう性質のものか、その災害がどういう形で測定されているか。どういう形で表されているか、その災害から逃れるためにはどのようなやり方があるか、などに関する情報である。これらは、一般住民にとって非常に重要な情報なので、最小限伝えなければならない。いずれにせよ、このようなコミュニケーションは自然科学の技術ではなく、人文社会科学的な技術といえる。したがって、効果的なリスクコミュニケーションを行うには、それなりの専門的知識を必要とする。「リスクコミュニケーション」を支える思想が人文社会科学的技術ということは、自然科学とは違って背景にそれなりの思想があることを意味する。それは一言でいうと「民主主義」である。法律的な用語でいうと、公民権、自己決定権、知る権利、情報開示などの概念であり、法の前、神の前には全ての者が平等という精神に基づいているという。

## ４．まとめ

ゼロリスクの状態は存在しないこと。日本リスク研究会によるリスクの分類項目、リスクの定義、リスクの分野で使われている語句及びリスクコミュニケーションの重要性などについて言及した。

## 参考文献


（1）　木下富雄「リスク認知の構造とその国際比較」安全工学 41(6), 356-53(2002)

（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 260(2000)

（3）　P. Slovic「Perception of Risk」Science, Vol. 236, 280(1987)

（4）　P. Slovic [Perceived Risk, Trust, and Democracy] Risk Analysis, 675(1993)

（5）　R. V. コルル著、平石次郎外訳「リスクアセスメント・ハンドブック」丸善(1999)

（6）　H. W.ルイス著、宮永一郎訳「科学技術のリスク」昭和堂(1997)

（7）　E. M. フェラン著、菅原努監訳「創られた恐怖」昭和堂(1997)

（8）　V. M. コーエン著、近藤駿介訳「私はなぜ原子力を選択するか」ＥＲＣ出版(1997)

（9）　吉川肇子「リスクとつきあう」有斐閣(2000)

（１０）向殿政男、中嶋洋介「安全とリスクのおはなし（安全の理念と技術の流れ）」　日本規格協会(2006)

# 「低レベル放射線影響をいかに理解し教えるか」

低レベル放射線の生体影響に関する検討委員会

今日では、放射線、原子力の利用は、国民の生活や福祉になくてはならないものとなっていますが、国民の間には放射線の影響についての過度の不安感があり、放射線や原子力の恩恵を十分に享受できない原因ともなっています。国民の不安感は、原爆の被災経験や原子力関係の事故・トラブルの報道によるところが大きいと言えますが、放射線防護の分野で、放射線による発がんや遺伝的なリスクは、大線量から極低線量まで「しきい値」のない直線的な比例関係にあると仮定していること（いわゆるLNT仮説）が、一般には「放射線は、どんなに少なくても有害」と受け取られ、放射線に対する不安感を助長していると思われます。

近年、放射線により傷ついた遺伝子DNAの修復、アポトーシスによる不良細胞の排除といった生体の防御機構や「適応応答」などの知見が増すとともに放射線業務従事者や高自然放射線地域に住む人々の疫学的調査のデータなども蓄積されております。

本検討委員会は、こうした情報を収集し、一般環境や職場で遭遇する低レベルの放射線の健康影響という観点から検討し、一般の方々が放射線を「正当に怖がる」ことができるような教育に役立つ資料を作成することを目的としており、放射線を規制する立場での考え方と低レベル放射線の健康影響の実際との相違を、一般の人たちによく理解していただく必要があると考えています。

## 1．国際放射線防護委員会（ICRP）勧告の改訂

わが国をはじめ各国が放射線の安全規制のよりどころとしている国際放射線防護委員会（ICRP）は、放射線影響に関する最近の知見を取り入れ、基本勧告（1990年勧告）の改訂を行っており、改訂案を2006年6月5日付けでホーム・ページで公開し、一般から意見を求め、2007年1月12日には最終案を公表しました。3月の委員会で決定する予定といわれています。

この改訂案での低レベル放射線の健康影響は、つぎのようになっています。

### （1）がんと遺伝的影響（確率的影響）の線量反応

しきい値のない単純な比例関係は、放射線防護の実際的な目的のための慎重（prudent）な基礎（base）であり、国連科学委員会（UNSCEAR）の2000年報告や米国科学アカデミー（NAS/NRC）のBEIR VII委員会報告の見解と一致するが、フランスの科学・医学アカデミーの報告は、放射線のがんリスクに関する実際的なしきい値を支持して反論していると述べています。また、広島・長崎の被爆者のような高線量・高線量率で得られた発がんリスクを低レベルの放射線被ばくに当てはめる場合に使用する低減ファクター（線量・線量率

効果係数）については、1990 年勧告と同じく、２としています。

なお、ゲノム不安定性、バイスタンダー効果、適応応答といった最近わかってきた生物学的現象は、放射線防護目的のために取り入れるには知識がまだ不十分であるとして考慮しないとしています。これまでの疫学調査データにはこれらの影響のすべてが盛り込まれているとも考えています。

（２）確率的影響に対する名目リスク係数

新勧告案を 1990 年勧告（Publication 60）と対比して次表に示しますが、最大の変更点は、遺伝的影響に関する名目リスク係数が６分の１から８分の１にまで減少したことです。これは、放射線による突然変異の影響が誕生までの間に大部分が回復する効果を考慮したこと、さらに、遺伝的影響は淘汰されるので２世代（子、孫）までを考えればよいとしたことによります。

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

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

名目リスク係数は、若干減少したが大きくは変わらないので、作業者や一般公衆に対する線量限度は変更しないとしています。

（３）集団線量の扱い

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

２．低レベル放射線の健康影響の実際

（１）放射線生物学の進歩

しきい値なし直線（LNT）仮説が取り入れられた１９６０年代、７０年代は、細胞生物学が未熟であり、電離放射線による細胞 DNA の損傷は回復できずに、細胞分裂を通じて娘（子孫）の細胞に伝えられ、DNA 損傷の蓄積によって最終的にはがんを生じるだろうと信じられた。細胞は受身で、放射線の攻撃には反撃できないとみなされていたのです。DNA の修復やアポトーシス（細胞の自殺）のようなことは知られていませんでした。太陽からの紫外線や電離放射線に対して細胞には防御機構が存在することは後から発見され、今では、ヒトの細胞にある３

万の遺伝子のうち、数百は紫外線や電離放射線に対する防御機構に貢献していることがわかっています。防御機構が存在することはLNT仮説を支持している人たちも認めていますが、線量と影響（effect）の比例関係が線量、線量率によって変わるのかどうか、ということが議論の対象になっています。

主な防護機構としては、少なくてもつぎの４つがあります：

① 活性酸素に対する防御機構
② DNAを修復する機構
③ 損傷したDNAを持つ細胞の除去（特に、がん抑制遺伝子ｐ53の関与によるアポトーシス＝プログラムされた細胞死）
④ 正常な細胞が将来、臨床上の腫瘍になる悪性細胞に転化するのを妨げる代謝あるいは免疫によるハードル

DNAの損傷は、それを検出するセンサー分子がATMとかATRというような分子を活性化し、細胞分裂サイクルを停止させ、DNAの修復やアポトーシスを起こさせる。修復の効率や正確さは、細胞内のDNA損傷の量が少ないほど高く、修復の効率は線量、線量率および被ばくの履歴によって変わることも分かってきています。

＜適応応答＞

低線量の事前照射によって、数時間から数日後に細胞の放射線感受性が低下する「適応応答」とよばれる現象が存在することもわかってきました。「適応応答」は、細胞レベルだけでなく、マウスのような動物でも認められています。線量や「適応応答」を示す時期などに条件があるため、低線量の事前照射がどんな場合でも生体にとって有益だとはいえないかもしれませんが。

＜バイスタンダー効果＞

マイクロビームを用いたアルファ線による細胞実験から、照射された細胞の近隣にある放射線のあたらなかった細胞に突然変異などの影響を与える現象（バイスタンダー効果）があることが分かりました。バイスタンダー効果は、近隣の放射線を受けていない細胞に発がん効果をもたらすが、（線量が大きいと影響を受ける近隣の細胞が重複するため無駄になるとの考えから）低線量では単位線量あたりの影響が中線量よりも大きくなる（直線より上に凸の曲線になる）という仮説を主張する人もいます。しかしながら、バイスタンダー効果は、ガンマ線のような低LET放射線での証拠はほとんどなく、低線量で起こるという証拠もありません。高LET粒子についていえば、低線量でしきい値があるという事実によって、この仮説は否定されます。すなわち、ダイアル・ペインターのRa-226による骨肉腫では、10グレイというしきい値がありますし、また、トロトラスト患者のトリウムによる肝臓がんでは、２グレイというしきい値があります。

（２）疫学的研究

低レベル（低線量かつ低線量率）の放射線被ばくを受けている放射線業務従事者や高自然放射線地域住民についての大規模な疫学的調査でも、有害な健康影響を検出することは困難となっています。実際、フランス科学アカデミーの報告書もBEIR VII委員会報告の著者たちも、約100 mSv未満の線量では、疫学的研究によって有意な発がんの増加をヒトで検出することは困難と考えています。しかしながら、低レベル放射線でがんリスクを検出したという研究報告をしばしば目にします。これは、影響がなかったというネガティブな結果よりも学術誌に採用されやすいこと、LNTを前提としたモデルを用いて低線量域まで外挿して統計的に有意としていること、さらに調査・解析にバイアスがあったり、放射線以外の発がん要因の考慮が不十分だったこと、などが原因と思われます。

3．低レベル放射線影響をいかに理解し教えるか

放射線の安全規制の立場から採用されている「しきい値なし直線仮説」と、生体防御機構によって低レベル放射線の有害な健康影響の発生が抑制されている現実との相違をよく理解し、「微量の放射線は心配する必要がないこと」を一般の人たちにどのようにして伝えていけばよいのか、具体的な手段を検討していく必要があると考えます。

（文責）金子正人

# 教科書記述調査報告書（その１）
## —高校「理科総合Ａ」、“不適切な記述例”、中学「理科」—

松浦辰男　関本順子　田中隆一

１．**はじめに**　われわれは過去 10 年以上にわたり、現行の高等学校や中学校の教科書の中でのエネルギーや原子力、放射線に関する事項に関する記述について調査してきた。

当初は、理科の教科書でさえ科学的な誤りが少なくなかったが、最近は大きく改善された。高校の公民などの科目でも、最近まで専門家から見て不適切と思われた記述が大分改善されている。これは、文部科学省が、「高等学校教科用図書検定基準」（平成 11 年文部省告示第 96 号）の条文、「図書の内容に・・・特定の事柄を特別に強調し過ぎていたり、一面的な見解を十分な配慮なく取り上げていたりするところはないこと。」に従って、申請のあった教科書の内容について、「原子力発電について、利点に比べ、その危険性や問題点を特別に強調し過ぎている。」といった具体的な指示を検定結果として教科書製作者に指示していることも大きな理由であると考えられる。

平成 18 年 4 月に、高等学校低学年で平成１９年度から低学年で使用される教科書についての検定結果が発表された。原子力に関する記述のある理科「理科総合Ａ」、公民「一般社会」を中心に 40 点について調査した。また中学の理科のうち、エネルギーや原子力に関する記述のある「理科第一分野」5 点を調査したので報告する。

## ２．高等学校理科（「理科総合Ａ」）の教科書について

この科目の教科書は、どの出版社のものもほぼ良くできている。以下、現状を具体的にコメントをする。

○（Ｔ書籍、理Ａ 012）(p.105) 核分裂を示す図（図 13）に、中心から 2 個の核分裂生成物と 2 個の中性子が飛び散っている外に 3 本の矢印があり、核分裂の瞬間にエネルギーが中心から放出されているように表されているが、エネルギーは核分裂生成物の運動エネルギーとして生まれるので、この矢印は不要であり、ここで核分裂で生成した原子核の運動エネルギーがほかの原子や分子との衝突で熱エネルギーに変わることを教えるべきである。この図に関して、4 年前(現行, p.73)はさらに核分裂生成物として実際に存在しない核種名が書かれていた(スズ 131 とモリブデン 103)。このことを出版社に指摘したのでこの点は訂正されている。

またこの本では、放射線の説明のところに以前は「身のまわりの放射線」」の数値の表が加わったこと、原子力発電の説明でも、*「日本でも、電力供給の約 35％をこの原子力発電でまかなっている。しかし、核分裂の際に大量の放射線が生じることや、使用済みの燃料からも放射線が生じることから、よりいっそうの安全対策・廃棄物処理が求められる。」*となっていたのが、新本では「・・・*電力供給の約 3 分の 1 を・・・、放射線が生じることから、被ばくを避けるための厳しい管理がなされている。」*となっている。また、「臨界」の囲み記事も以前より良くなった。

○（Ｋ館、理Ａ　016）では、核分裂の図の説明で（p.150）「*分裂した核などの運動エネルギーは熱エネルギーとなる。*」と正確に書かれているのはよい。しかし、「放射線と人間」(p.151)　の説明の中で利用のところはよいのであるが、放射線影響の説明で、「・・・*急性障害が起こらない量の放射線*でも、*浴びた放射線の量に応じて、後になってがんや遺伝子障害を発病する危険が増えると考えられている。*」は規制の考え方であって事実ではない。このような認識を教科書に記載されていては、いつまでたっても国民の放射線恐怖症の改善することはできない。

また、この出版社の別の本で「放射線とその利用」（p.118-119）で比較的詳しく数値が示された形で自

然放射線の存在や実効線量の単位、放射線の種々の利用が詳しく書かれているのはよい。「放射線の研究」という、実習による放射線の性質を調べるところはよいが、1箇所、「*なぜ放射線は人体に危険なのだろうか。*」の設問は適切ではない。「放射線は、なぜ場合によっては危険であることがあるのか」という質問とし、大量はたしかに危険であるが少量では危険度は高くないことを教えねばならない。

○(S研、理科A 0198)、(p.104) 「放射線の影響と利用」で、「*放射線は、その電離作用（物質を透過するときに原子中の電子をはじき飛ばし、イオンにするはたらき）によって生物の細胞に影響をおよぼす。とくに、細胞分裂の盛ん造血器官（脊髄、リンパ節）や生殖腺などが大きな影響を受ける。この影響を最小限にするには、放射線源から離れる、浴びる時間を短くする、鉛で遮蔽するなどの対策を採る必要がある。・・・*」

これは大変適切な記述である。強いていえば、「*鉛で遮蔽する*」を「鉛などで」とすべきであろう。

3．**理科以外の教科書（公民「一般社会」「政治経済」など）** 以下に、2006年3月の時点で不適切な記述であり改善する余地があると考えた例文のみを示す。(このうちの一部はその後の改訂でこの様な記述が見出せないものもあり、2007年3月現在詳しく調査中。)

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

○「*原子力発電は、大量のエネルギーを安定的に比較的安く供給でき、二酸化炭素を排出しないという利点があるが、人体に危険な放射能を大量に発生させるウランの核分裂エネルギーを使用しているため、その安全性が問題視されている。*」(S出版「改訂版高等学校現代社会」)

○「*原子力発電は決して安全ではない。・・・日本は地震が多いのに、本当に安全なのだろうか。現実に事故もしばしば起きている。たとえば、1997年の東海村再処理工場内での火災・爆発事故では少量ながら放射性物質が施設内にもれた。・・・増え続ける低レベル放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物の安全な管理や処分の問題も大きい。特に高レベル放射性廃棄物の保管には数万年は必要といわれ、・・・安定した地層中に埋設処分するというが、それも研究段階である。*」(D社「新現代社会」)

○「*原子力は人体に有害な放射能を大量に発生させるため、その安全性が問題になる。*」(T書籍「現代社会」)

○「*放射性物質は極めて有害なため処理が難しい。*」(T書院、「地理B」)

○「*原子力は核分裂により生ずる「死の灰」（放射性廃棄物）の処理など、安全性をめぐる問題が他のエネルギーとは決定的に異なる。*」(H出版「現代社会」)

○「(チェルノブイリ原子力発電所の写真の説明で)「*広島型原発の500倍の放射能汚染をひきおこした。汚染地域は北半球の広い範囲に及び、被曝した人々は現在も後遺症に苦しんでいる。*」(T書籍「現代社会」)

○「*ＪＣＯ事故で周辺住民など700名が被曝した。*」(同)

○「*いったん原子力発電所で事故が起こると、広大な範囲が放射能に汚染され、長期間にわたって人体や生態系に甚大な悪影響をおよぼす。*」(S書院「新現代社会」)「*日本では・・もんじゅや臨界事故などが生じ、原子力発電に対する不信が高まっている。*」(同)

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

○(チェルノブイリ事故の写真の説明に)「*チェルノブイリ事故による今後のがんの死者は世界全体で十万～数十万人にのぼると推定されている。*」(K出版「現代社会」)

## 4．中学校「理科第一分野」

われわれは、本報告書第１章第５項に示したように、中学校の課程において、エネルギーと同時に、放射線・放射能の基礎的知識をも取り扱うように、現在の学習指導要領を改訂していただくようにと要望をしているところである。本節では、現行の中学校の理科第一分野で、「科学の進歩とわたくしたちの未来」というところで「さまざまな発電のしくみ」の中で、原子力発電が水力発電、火力発電とともに記述されているのでその実態を報告する。調査した教科書は、すべて平成17年2月検定済み、平成18年1月発行、18年度より使用が開始されているもの５種である。以下に、原子力エネルギーに関する記述について、できるだけ原文を引用して、最近の実態を述べる。(原文をそのまま引用したものをイタリック体とした)

○ K出版社のもの　(第104～105ページ)

***原子力発電***　*核分裂という反応によって得られる熱エネルギーを利用して発電するしくみを原子力発電という。原子炉の中で、ウランなどの核燃料に核分裂を起こさせて高温・高熱の水蒸気をつくり、その水蒸気の力で発電機のタービンを回し発電する。　原子力発電では、少量の核燃料で大きなエネルギーが得られる*[1]ことや、大気を汚染する排出ガスが発生しないなどの利点がある。しかし、生じるエネルギーの制御に高度の技術を必要とすることや、ウランなどの核燃料や発電によって生じる核廃棄物が有害であることなど、解決しなければならない問題も多い。*

*[1]石油（重油）1ｇの燃料で生じる熱エネルギーは、約4万Ｊである。一方、ウラン1ｇの核分裂で生じる熱エネルギーは約800億Ｊで石油の約200万倍のエネルギーが得られる。

(「さまざまな発電のしくみ」として水力・火力、及び原子力発電の図が示されている。)

○T書籍のもの　(第94～95ページ)

ページの上部に図3として「日本のエネルギー資源別発電量の割合（2002年)」の円グラフがあり火力・原子力・水力・その他の数値がそれぞれ56.6%、35.1%、8.0%、0.4%となっている。その下の本文に水力発電、火力発電、原子力発電の説明がそれぞれの発電所の写真とともにあり、写真に隣接して、図4、図5、図6としてそれぞれの発電の仕組みの図と説明がある。原子力発電の本文の説明は以下の通り。

***原子力発電***　*原子力発電では、放射線を出すウランなどの物質が燃料として用いられる。ウランなどの核燃料は、少量でばく大なエネルギーを得ることができる反面、放射線が人体や作物に多量に当たると危険なので、常に厳しく監視して安全を確保する必要がある。万一事故が起きた場合の放射能汚染の防止や、使用済み核燃料の安全な処理など、今度さらに研究して解決しなければならない問題が残されている。また、ウランの埋蔵量にも限りがある。*(鹿児島県薩摩川内市の原子力発電所の写真が添えられている。)

次ページの上部には図7として「エネルギー資源別可採予測年数（2002年)」があり、石炭、ウラン、天然ガス、石油のそれぞれの残りが204年分、61.1年分、60.7年分、40.6年分となっている。その隣の図8には「温室効果」の説明がある。その下の図4、図5、図6の説明で、水力発電では「・・・*熱エネルギーを経ないためエネルギー変換効率が高く、一エネルギーの80%あまりが電気エネルギーに変換される。*」、火力発電は、この効率は「*高温のガスタービンと、より低温の蒸気タービンを組み合わせて50%を越えるものが登場している。*」とあり、原子力については、「*熱源の温度が高くないので、エネルギーの変換効率は35%程度が上限である。*」となっている。

○G図書のもの　(第92ページ)

***原子力発電***　*原子力発電は、原子炉の中でウラン原子を分裂させ、そのときに発生する熱エネルギーで得た高温・高熱の水蒸気の力で発電機を回し発電する方法である。　ウランからは、石炭や石油に比べてはるかに少ない量で多くのエネルギーが得られ、また、二酸化炭素や大気汚染物質を出さないという長所が*

ある。　しかし、ウランの量にも限りがあるし、原子炉の中では生物に害がある放射線が放出される。多量の放射線を人間などの生物があびれば、生物の細胞や遺伝子がそこなわれたり、生命に危険を生じることもある。　そのため、原子力発電では、放射線が外へもれないようにしたり、使用済みの燃料棒などの廃棄物や冷却水の処理に、慎重で万全な管理が必要である。

（福島第一原子力発電所の写真と原子力発電所の図とが添付されている。）

○K館のもの　（第100～101ページ）

（本文「いろいろな発電方法」で）電気エネルギーは、主に火力発電、原子力発電、水力発電などによって得られている。（「電気エネルギーに変換されるエネルギー資源の種類と割合」の円グラフあり。）そして、「**話しあってみよう**」で、「火力、原子力、水力、風力、太陽光による発電には、どんな長所、短所があるのかを調べ、話し合ってみよう」ということで、種々の発電方法に対してその長所、短所を調べて記入する欄が設けられている。その次のページで、

図のように、水力発電ではダムにためた水を落下させて発電機を回転させる。火力発電と原子力発電は、どちらも水を高温・高圧の水蒸気に変えて、これで発電機を回転させるが、火力発電では石油や石炭、天然ガスを燃やしたときに出る熱エネルギーを、原子力発電ではウランなどの原子の核が分裂するときに出るエネルギー（核エネルギー）を熱エネルギーとして利用している点が異なっている。

もっとも依存度の高い火力発電には、二酸化炭素や汚染物質の排出という問題があり、原子力発電には、安全性や廃棄物の処理などに課題が残っている*1。また、どちらも限りある資源を使っている。一方、水力発電も生態系への影響や、ダムにたまる大量の土砂の扱いなどの問題がある。

*1原子力発電には、二酸化炭素をほとんど発生しないという長所はあるが、燃料のウランや発電後の廃棄物から人体に有害な放射線が出るという短所がある。そこで、放射線が外部にもれないように厳重に管理するとともに、放射性の廃棄物の管理も万全にしなければならない。また、放射線は外部に漏れると危険なだけに、発電機の故障などの情報を積極的に公開し、地域の理解を得ることも重要である。

（アンダーラインは原文にはないが、やや問題となる記述であると考えるので筆者がつけた。）

○D図書のもの　（104～105ページ）

「電気エネルギーをつくる方法を調べよう」という見出しであるが、

「原子力発電では、ウラン原子が核分裂して出すエネルギーで高温の水蒸気を作り、タービンを回す。」

というように、比較的簡単に書かれている。「日本で1年間に発電された電気エネルギー」の1970年、1980年、1990年、2002年のグラフとともに、本文において、「日本で1年間に発電される電気エネルギーの量は増えている。内訳をみると、火力発電と水力発電の割合が小さくなり、原子力発電の割合が大きくなっているのがわかる。」と書かれている。「発電のしくみ」として、火力・水力、原子力の発電の仕組みの図のそれぞれの方式の発電所の写真がある。原子力発電所の写真は愛媛県伊方町のものである。

中学校の理科の教科書記述について、とくにコメントすることはしないが、これらの記述の現状は、原子力の果たしている役割についてさほどの無理なく理解できるのであるが、放射線に関してその危険性が強調されているようなのが、筆者には気になる。この問題に関する記述が改善されることを希望するとともに、是非、自然放射線が身の回りに存在することを実習で学ぶ教育課程を中学で取り入れていただいて、放射線に対して妥当な考え方を義務教育課程のうちにすべての生徒に身に付けていただく必要があると考える。

終わりに、教科書の閲覧に関して、科学新聞社から好意的なご配慮を頂いたことを感謝する。

教科書記述調査報告書（その２）

# 中学校社会科教科書におけるエネルギー･原子力関係の記述について

○田中　隆一、　松浦　辰男　（NPO 法人放射線教育フォーラム）

## １．はじめに

エネルギー・原子力に関わる学校教科書の記述については、当フォーラムを含むいくつかの団体からの不正確な記述の指摘などを通して、科学的に不正確な記述は最近の教科書では減少しつつある。平成 18-21 年度用の教科書検定では新エネルギー源の短所も併記を促す修正意見が検定申請された多数の教科書についた結果、原子力のリスクを一方的に強調するような記述の偏りについては、部分的に改善が進んだ。しかし、社会的な視点からの記述の客観性及び中立性の偏りは依然として残っている。このことは日本原子力学会から文部科学省へ昨年に提出された「初等・中等教科書および学習指導要領におけるエネルギー・原子力の扱いに関する要望書」のなかで社会科教科書における問題点としても指摘されている。本研究では、記述に偏りがないことを評価する一つの試みとして、エネルギー問題についての国民のバランスのとれた判断のベースとして安定供給･確保、環境適合性、及び市場経済生の３つの視点が必要であるという考え方に立ち、18 年度から中学校で使用されている公民及び地理分野の教科書を中心に記述の傾向を調査し考察した。なお、17 年度まで使用していた教科書についての調査・考察は日本原子力学会ですでに報告している[1]。

## ２．調査の視点

記述に偏りのないことを客観的に評価する明白な社会的な基準はないが、エネルギーに関するバランスのとれた知識の普及には、エネルギー政策基本法に謳われている三本柱としてのエネルギー安定供給･確保（エネルギー安全保障、自給率向上、対外依存の緩和、供給源多様化等）、環境への適合性（エネルギー消費、地球温暖化防止、廃棄物・再生対策等）及び市場経済性（消費者の利益、市場自由化等）の視点が記述に取り入れられるべきであり、このことがエネルギー問題についての社会的な合意形成に欠かせない公正な判断力の育成に重要であると考える。この考え方に立って、18 年度から使用されている新しい公民科(8 社)及び地理科(6 社)の教科書を中心に記述の傾向を調査し考察した。ここでは、17 年度まで使用されていた教科書との対比を含めて調査結果及び考察の概要を示す。

## ３．調査結果

**(1)エネルギー問題全般について**　エネルギー問題についての公民教科書における図表も含めた記述量は、環境問題の２分の１以下であり、10 分の１程度という極端なケースさえある（公民Ｔ書院）。また、その記述内容は新エネルギーを中心に環境への適合性の視点からの記述に主眼をおく傾向が強い（公民Ｋ出版、Ｔ書院、Ｔ書籍等）。この環境適合性偏重の傾向は地理教科書よりも公民教科書において特に顕著である。

これに反して、広い意味でのエネルギー安定供給･確保については、「限りある資源」の現状を型どおり述べるに止まり、どの教科書でも軽く扱われている。多くの教科書でエネルギー資源及び消費分布の偏りが概して地球的な視点から指摘されている一方、エネルギー安定供給・確保や自給率の向上という国家的要請の視点が特に公民教科書では希薄である（公民Ｎ出版、Ｔ書籍、Ｋ出版、Ｏ書籍等）。平成 17 年度まで使用された地理Ｎ出版の教科書については安定供給･確保の視点が例外的にバランスよく記述されていたが、18-21 年度版ではその部分の記述が大幅に削除された。

自給率が低いという問題は指摘されているが、それによって国民生活にどんな影響が懸念されているのか、この問題で原子力がどんな役割を担っているのかが明瞭に述べられていない。一般に地理教科書では資源問題の記述が重視されており、わが国のエネルギー供給構造の変化にも記述が及んでいる例（地理Ｎ出版、Ｋ出版等）も見られるが、近年の世界的な需要増大、安く豊富な石油時代が終り

を迎えつつあるというエネルギー需給の厳しい現実を直視するには至っていない。

**⑵原子力について**　原子力に関する記述については、その利点を簡単に述べた後に安全上のリスクについて詳しく記述するという型どおりのパターンが依然として見られるが、全体として図表や写真を含むエネルギー問題の記述量は減少する傾向にある。しかし、原子力のリスクのみを過大に強調する傾向は、18･21 年度用の教科書検定における具体的な修正意見に基づく新エネルギー源の長所、短所の併記や原子力の利点の過小評価是正によって改善された（公民 T 書籍、T 書院、K 出版、O 書籍、地理 T 書籍、N 出版、N 新社）。長所･短所の両面を記述するように修正されたことは、各エネルギー源についての市場経済性を配慮する視点が強調されたと見なすこともできる。一方、「原子力の宿命である放射線が･･･」という表現に見られるような否定的な価値観を滲ませる例（地理 N 新社等）は依然として残っている。

18･21 年度用の教科書に見られるもうひとつの特徴的な変化は、チェルノブイリや JCO などの事故写真が 17 年度まで使用された公民及び地理の 7 教科書に見られたが、18･21 年度用の教科書については、6 教科書（公民 T 書籍、K 出版、N 出版、O 書籍、地理 K 出版、O 書籍）において削除されたことである。新エネルギーについては、先行的な開発努力が生むクリーンなイメージをマスメディア等の報道をもとにして強調するあまり、エネルギー問題のなかでの包括的な位置づけが理解しにくい弊害を生んでいる。

全体の印象として、旧版教科書に比べて記述の偏りは改善されつつあるが、本来は本文の補足的な役割をもつはずの図や写真の数が多すぎる傾向が依然として見受けられる（公民 K 出版等）。

## 4．考察

社会的な合意形成の資質育成の立場から考えると、エネルギー問題は地理分野以上に公民分野において重視すべきであると考えるが、上述の偏りがなぜ生ずるかについては学習指導要領にも一因があると考える。エネルギー問題が「国民生活と経済」ではなく「世界平和と人類の福祉の増大」のテーマのなかで記述するように指導されていることである。エネルギー問題が国民生活よりも世界の平和や福祉にとって重要であるという指導的な位置づけのもとでは、地球的観点からの資源･環境論に偏る結果となり、わが国のエネルギーの安定供給･確保の視点軽視は避けられない。エネルギーの確保が国民生活にとって死活問題であることを義務教育の場で学習するべきであると考えるが、それが難しいという背景の一因がここにあると考える。

## 5．結論

(1) 中学校の社会科教科書では環境問題に比べてエネルギー問題の記述量が少なく、社会的なバランスを欠いている。また、エネルギー・原子力については環境への適合性の視点が特に重視され、エネルギー安定供給･確保（エネルギー安全保障）の視点が軽視される傾向が顕著に見られる。しかし、これまで指摘されていた原子力リスクの過大な強調や事故写真掲載によるソフトな差別は是正される方向にある。

(2) この記述の偏りを改善するためには、エネルギー資源の不確実性という状況における世界的なエネルギー需要の増大、国民生活から見たエネルギー供給の対外依存問題、わが国特有のエネルギー事情のもとでの原子力の役割と実績などを記述に積極的に取り入れるように強く要望するべきである。

(3) 中学校公民的分野の学習指導要領において、「世界平和と人類の福祉の増大」のテーマのなかで記述するように指導されているエネルギー問題を「国民生活と経済」にテーマに移し、原子力がわが国のエネルギー安全保障に重要な役割をもっていることを適切に学習させるべきである。

(4) 中学校社会科教育における「公民的資質」の認識の偏りを直視し、「公民」とは何かについてバランスのとれた認識をもてるように学習させるべきである。

終わりに、本調査研究を通して調査対象の資料閲覧にご協力をいただいた科学新聞社に感謝する。

1)　田中、松浦：日本原子力学会 2006 年春の学会要旨集 E7

教科書記述調査報告書（その３）

# 高校公民科教科書におけるエネルギー・原子力関係の記述の傾向

○田中隆一、　松浦辰男

## １．はじめに

エネルギー・原子力に関わる最近の学校教科書の記述については、これまでの改善要求などによって科学的に不正確はかなり改善されてきた。また、18-21 年度用の中学校教科書検定では、社会科教科書のなかで、新エネルギー源の長所とともに短所も併記し、原子力リスクに対する過大な評価を是正させる修正意見がいくつかの教科書に出され、記述の偏りが部分的には改善が進んだ(1)。しかし、この偏りに限らず、記述の偏りには様々な視点があるので、エネルギー・原子力関係の記述内容をより多角的に調査し考察する必要がある。今回は、前報における国民生活にとってのエネルギー問題の重要性はエネルギー政策基本法で謳われている３本柱にあるという基本的な考え方に立ちながら、さらに記述の偏りを考察する視点を広げることによって、19 年度から使用される高校公民科の「現代社会」（10 社）及び「政治・経済」（6 社）の教科書について、特に記述内容のバランスに重点をおいて旧版と対比して記述の全体的な傾向を調査した結果を報告する。

## ２．調査の視点

記述に偏りのないことを客観的に評価する明白な基準はないが、社会科教科書の場合、広く社会的見てバランスがとれた内容であること、先入観や通説による偏向の排除、公民・国民としての良識などが要求される。教科書によるエネルギー問題の知識普及では、特にバランスのとれた内容であることが重要である。そのため調査における視点として、前述３本柱のうち特にエネルギー安定供給・確保と環境適合性との間のバランス(エネルギー問題の枠内)を基本にして、エネルギー問題と環境問題あるいは食糧問題との記述のバランスという視点も含めた。

## ３．結果・考察

### ３．１　記述量の新旧比較

18 年度から使用する予定の新版の「現代社会」及び「政治経済」の教科書について、エネルギー、環境、食糧・農業の各分野の記述量（頁数）の平均値及び原子力施設事故の写真掲載数を調査した結果を表１に示す。

表１ 公民科教科書記述量の新旧比較
(旧版:18年度まで使用、新版:19年度から使用)

| 「現代社会」の平均頁数 (新旧比較可能な12社対象) | 旧版 | 新版 | 「政治･経済」の平均頁数 (新旧比較可能な6社対象) | 旧版 | 新版 |
|---|---|---|---|---|---|
| エネルギー | 4.5 | 4.6 | エネルギー | 1.0 | 1.4 |
| 環境 | 8.2 | 8.5 | 環境 | 4.8 | 4.9 |
| 食糧･農業 | 1.1 | 1.6 | 食糧･農業 | 2.5 | 2.8 |
| 事故写真数 | 1.0 | 0.8 | 事故写真数 | 0.5 | 1.2 |

一つの教科書で記述が2箇所以上にわたる場合は、その合計量で表した。「環境」の定義は曖昧であるが、公害や廃棄物それ自体を主題とする記述は「環境」には含めなかった。各分野の記述量の比較では、両教科書とも「環境」の記述量が圧倒的に多く、「現代社会」では「エネルギー」の約2倍、「政治経済」では約4倍である。食糧・農業については、「現代社会」では「エネルギー」の3分の1あるいは4分の1であるが、「政治経済」では約2倍である。新旧比較では、「エネルギー」は、「政治経済」は新版で増加しているが、「現代社会」では変動は見られない。「食糧・農業」は、逆に「現代社会」新版の増加が見られる。また、中学校の「公民」及び「地理」の教科書と比べると、「エネルギー」について高校「現代社会」の記述量が多いが、逆に「政治経済」の記述量が少ないことがわかる。

原子力施設事故の写真掲載数については、「現代社会」では新旧の変動は小さいが、「政治経済」では顕著に増加している。これは中学校の「公民」及び「地理」では新版で激減している事実とは全く異なっている。このことは、概して高校教科書のほうが原子力についてより強く否定的に記述する傾向があることを示すと考えられるが、「政治経済」の場合は、記述量が増えたことによる影響があると思われる。

平成18年の高校公民科教科書の検定に関して、その指摘事由（検定意見）から見た特徴を表2に示す。指摘の対象分野は新（自然）エネルギーと原子力エネルギーに関する記述に集中する傾向が見られる。新エネルギーの記述については、中学校教科書と同様に、普及のために克服すべき課題が存在しないとのように誤解される表現が多くみられるとともに、その課題に比べて実用化や普及の動きを強調しすぎる傾向が広くみられる。今回の検定意見は平成17年の中学校社会科教科書の検定意見の考え方を受け継ぐものであり、その結果6社の教科書の記述が、部分的ではあるが、バランスのとれた表現へと修正されることになった。

原子力エネルギーの記述についても10件の検定意見が出されたが、その多くに共通していることは、明らかに間違いとは言えないが誤解を招くおそれがあることが指摘されている。記述の偏りという問題に対して、バランスのとれた内容であると同時に、通説や先入観を排除した客観的な記述を目指して、検定意見の考え方がこれまでよりも一歩踏み込んだ厳しい客観性を追求する姿勢があることを評価したい。

1） 田中、松浦：日本原子力学会 2006年春の学会要旨集 E7
2） 田中、松浦：日本エネルギー環境教育学会 第1回全国大会（2006 9月 八戸）

**表2 H18年高校公民科教科書検定の指摘事由**

新(自然)エネルギーの記述(7件)

抱える課題に比べて実用化や普及の動きを強調しすぎている。
普及のために克服すべき課題が存在しないのように誤解されるおそれ...
推進策において原子力発電と排他的であるように誤解されるおそれ...

原子力エネルギーの記述(10件)

石油代替の最も有望なエネと考えられた理由について説明不足。
石油代替エネルギー源としてどの条件を満たしているか理解できない。
利点に比べ、その危険性や問題を特別に強調し過ぎている。
わが国が原子力を推進する理由が誤解されるおそれがある。
発電コストの記述が断定的で誤解されるおそれがある(放射性廃棄物)
二酸化炭素の排出量が少ない方法でないように誤解されるおそれ...
米国の原子力発電政策の現状に照らして誤解されるおそれがある。
東海村での臨界事故が原子炉の事故のように誤解されるおそれがある。

# 第４章　勉強会・セミナーの資料その他

この章では、学校での放射線教育に役立つような種々の分野の資料を収録した。このうち１～４、６～９は、第２章で報告した２００６年度の「エネルギー・環境・放射線セミナー」のテキストとして作成され使用されたものである。

# 日本のエネルギー問題の現状と今後の教育課題

有馬朗人　　NPO法人放射線教育フォーラム　会長
（東京大学名誉教授・前参議院議員・元文部大臣兼科学技術庁長官）

## 1．はじめに

20世紀は豊かさの追求に伴い、地球の資源が減少し、環境悪化が一段と進んだ世紀でした。21世紀がこれらを更に加速させず、子孫にも豊かな生活を保障するためには、何をなすべきでしょうか。最近は企業にも環境経営というような言葉が生まれ、一般市民も環境問題に関心をもつようになってきましたので、環境問題を考える力のある児童・生徒を育成するために「総合的な学習の時間」は恰好の場です。

「総合的な学習の時間」はテーマを自由に選べるのですが、学習指導要領解説で「例えば国際理解、情報、環境、福祉・健康などの課題」についてと例示されていることもあって、環境問題は比較的しばしば取り上げられているようです。しかし環境問題はエネルギー問題と密接に関連しているので、環境問題だけを扱うのではなく、エネルギー問題も同時に取り扱うことが望まれます。そのためには、教員が環境問題と同時にエネルギー問題について科学的に正しい知識をもっていなければ適切な指導ができません。また、正しい知識をもってさえいれば、適切な指導ができるかというと、そうではありません。「総合的な学習の時間」がなぜ、どのような経緯で新設されたのか、何をねらいにしているのかについての正しい理解をもっていなければ、従来からの調べ学習に終わり、学力のつかない非能率な学習法として消し去られてしまいます。そこで「総合的な学習の時間」の真の趣旨をお話ししてみようと思います。

本講演では、（1）エネルギー・環境問題の基礎知識、（2）「総合的な学習の時間」新設の背景と今後の課題の２つについてお話をします。このテキストでは、誌面の都合で主にエネルギー問題を記載しました。その他のことは本講演でお話します。

## 2．人口増とそれに伴う深刻な問題　――　食料、水、そしてエネルギー

最初に人口問題を考えてみます。予測どおり2000年の現在、世界人口は60億に達しました。

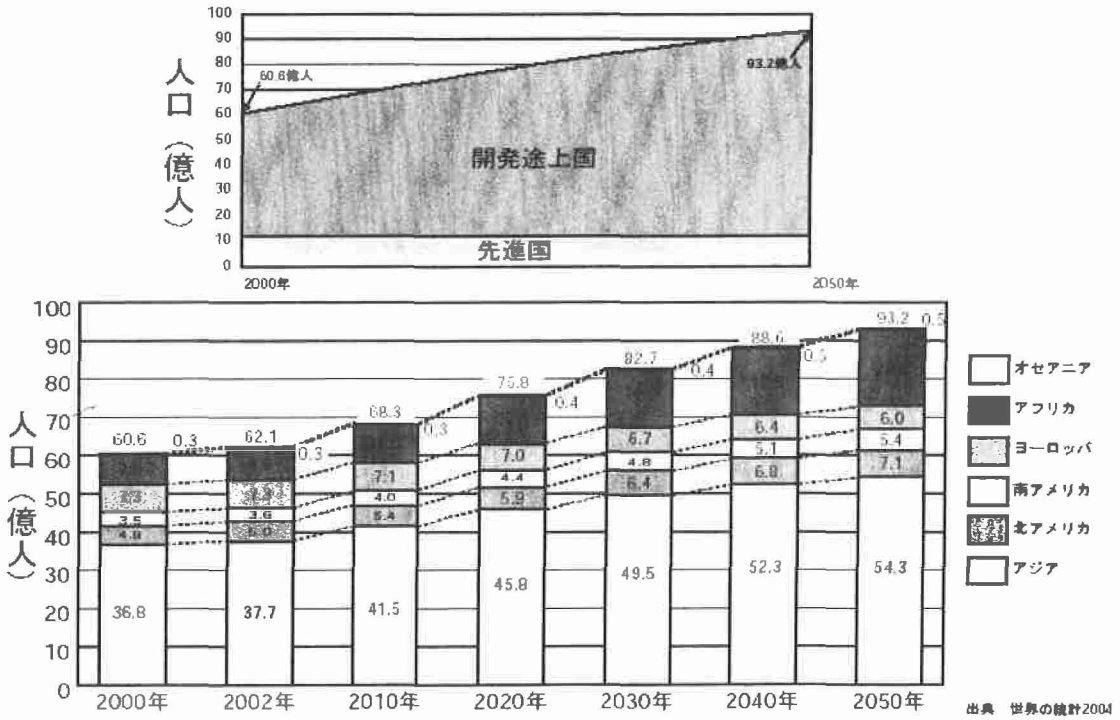



図１　世界の人口の推移と予想

これから30年ぐらい先には86億、そして今世紀の半ばには100億になるだろうと言われてきました（図１）。幸い最近のユネスコの予測では、そうではなく今世紀半ばには約80億になるであろうと考えられています。中国の産児制限などの影響で、人口爆発にはならずにすみそうです。しかしいずれにせよ、現在60億の人口が80億になります。

人口増の前に、もっと悲惨なことが起こるでしょう。まず第１に食料不足がおこります。もうすでに食料不足が起きている国もたくさんあります（表１、表２）。この食糧不足の対策に、転写調節遺伝子を用いた環境ストレス耐性植物の研究が始まっています。植物の乾燥や塩害、凍結等に対する耐性機構で働く遺伝子群を調節している遺伝子を突き止めたのです。この遺伝子を導入した植物では、これまでにない高いレベルの乾燥・塩・凍結耐性を示しました。この方法が農業に導入されれば、食料不足は大幅に改善されると考えられます。

| 国名 | 穀物自給率 |
|---|---|
| タイ | 158 |
| ミャンマー | 126 |
| ベトナム | 125 |
| ラオス | 124 |
| カンボジア | 116 |
| インド | 107 |
| パキスタン | 99 |
| バングラデッシュ | 97 |
| 中国 | 95 |
| インドネシア | 87 |
| フィリピン | 82 |
| 韓国 | 36 |
| 日本 | 28 |

表１　2001年アジア諸国の穀物自給率

| 国 | 年 | 穀物生産 | 穀物消費 | 収支 |
|---|---|---|---|---|
| アメリカ | 1990 | 290 | 214 | 76 |
| | 2030 | 377 | 295 | 82 |
| 中国 | 1990 | 329 | 335 | −6 |
| | 2030 | 263 | 479 | −216 |
| インド | 1990 | 158 | 158 | 0 |
| | 2030 | 222 | 267 | −45 |

表２　食物大国における穀物収支の動向（単位百万ｔ）

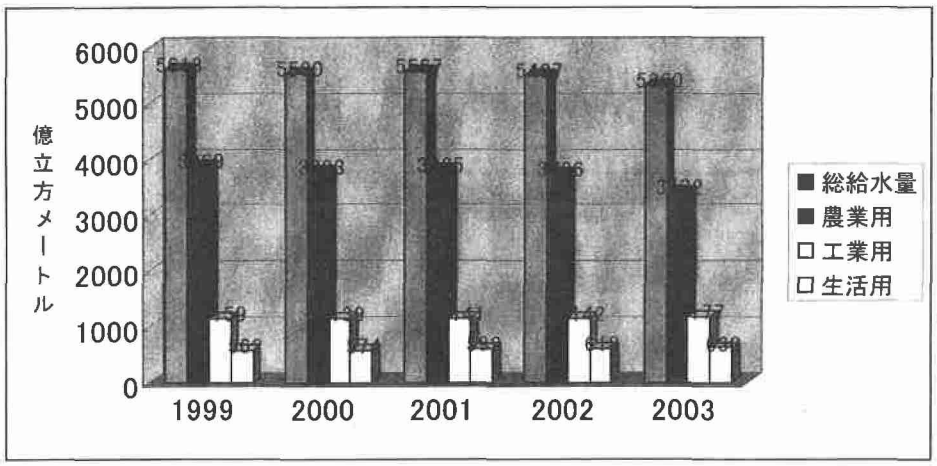



図２　中国の水資源の制約

第２に水不足の問題があります（図２）。中国では、人口一人当たりの水資源量は世界平均の１／４しかありません。工業・生活用水の需要は拡大しているにもかかわらず、国土・経済成長速度にくらべて水資源が少ない。農業用水はさらに不足しています。特に、中国のとうもろこし生産の１／３、小麦の生産の１／２を担う華北平原で地下水位が低下し、井戸枯れが進行しています。反対に、黄河流域では頻繁に洪水が起きています。インドでも、穀倉地帯であるパンジャブ州の大部分で地下水位が低下しています。

食料不足のため今でもアフリカあたりでは、一生懸命に砂漠の緑地化をしています。中国でも黄河の水や揚子江の水を使って緑地化をして、いろいろな穀物が取れるようになりました。しかし緑地化する際、排水を十分に行わずに灌漑を行うと、塩類を多く含んだ地下水面が上昇し、水

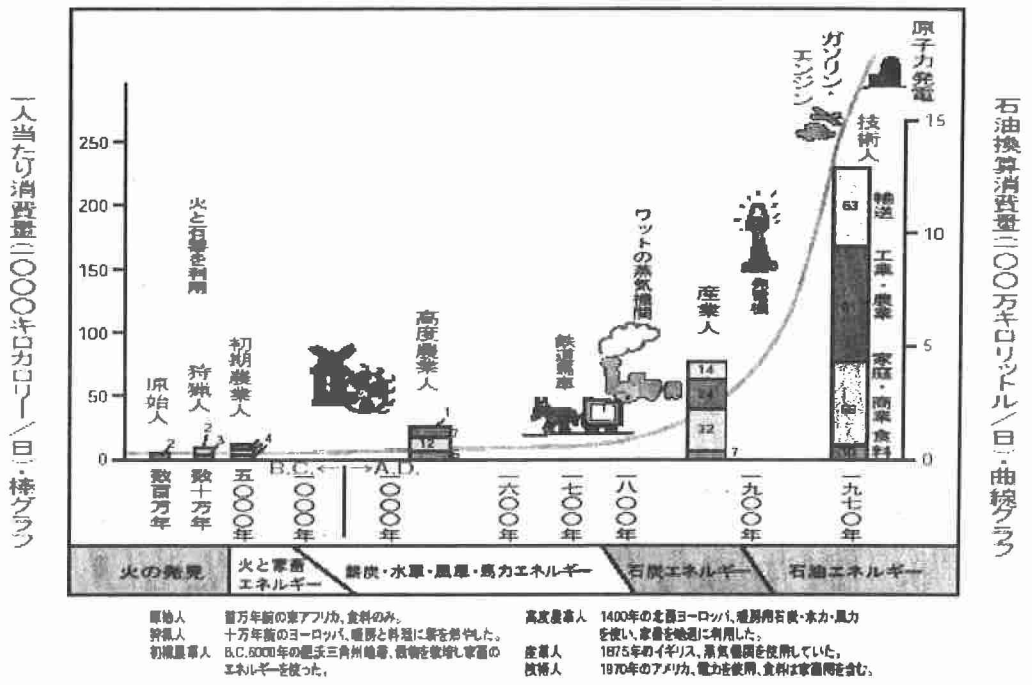
分が蒸発して塩類がのこるといった塩害がおこります。パキスタンでは1400万 ha の耕作面積のうち600万 ha が塩害で耕作不能になっており、インドでも不完全な灌漑のため毎年100万 ha の農地が減少しています。ですから水があればいい、というわけではありません。

さらに砂漠化のもう一つの要因として、家畜の増加も考えられます。中国青海省東部、共和権の370万頭の牧養力をもつ草地では、1998年末までにヒツジが550万頭に達し、結果として急速に草地が劣化して砂漠化してきています。

この食料不足・水不足を一体どうするか、そして今日お話いたしますエネルギー資源不足を一体どう考えるか、さらにまた人口がふえれば自然破壊が進むし、地球温暖化の大問題が起こる。これらのことについてみなさまと一緒に考えてみたい、と思います。

「一体エネルギーをどうしたらよいか」ということですが、結論を先に申しますと、「省エネルギーをしなければならない。」「自家用自動車はやめよう。」という提案をいたします。それにいたるまでの考えを、これからいくつか申し上げます。

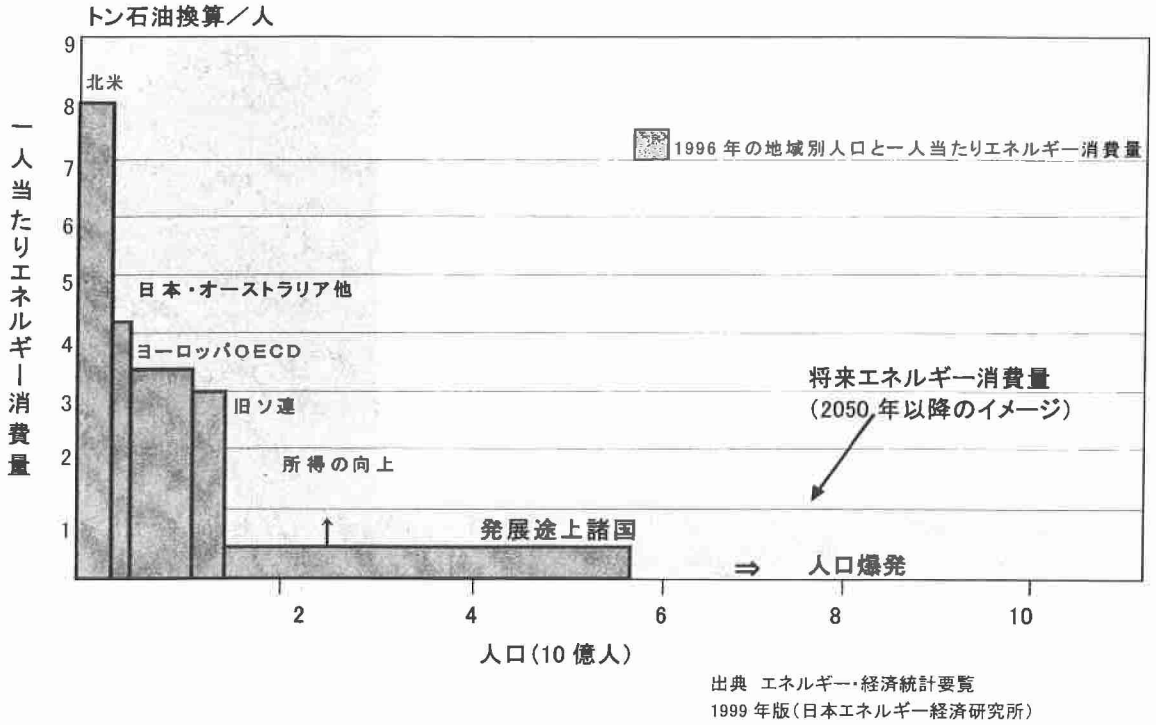
世界のエネルギーはどういった状況であるか，復習をしてみます（図３）。現在の人類はエネルギーの使いすぎです。１人の人間は最低限どのくらいエネルギーが必要か、と申しますと一日2000キロカロリーとればよいのです。1000キロカロリーを１単位として、原始時代の人類は２単位食べていれば十分でした。狩猟人になるとエネルギーがいるので３単位になりました。農業をはじめるころになってさらにエネルギーがいるようになり、12単位ぐらいまで消費するようになりました。ここで動物を使ったりするので随分消費エネルギーが増えました。高度農業人になりますと、さらに多くのエネルギーを使うようになります。




出典：総合研究開発機構「エネルギーを考える」

図３　人類とエネルギー消費の歴史

問題が起こってくるのは、19世紀に入り第１次産業革命あたりからで、ご存知のようにこの頃から大量にエネルギーを使うようになりました。現在は最低限必要な量の100倍以上を使っています。誰が使っているのでしょうか（図４）。一番たくさん使っているのはアメリカです。アメリカでは１人あたり使うエネルギーを石油に換算して８単位です。日本は４～５単位で、これは発展途上国の５～10倍以上です。このように、北米、日本、オーストラリア、OECD 諸国が多く使っています。

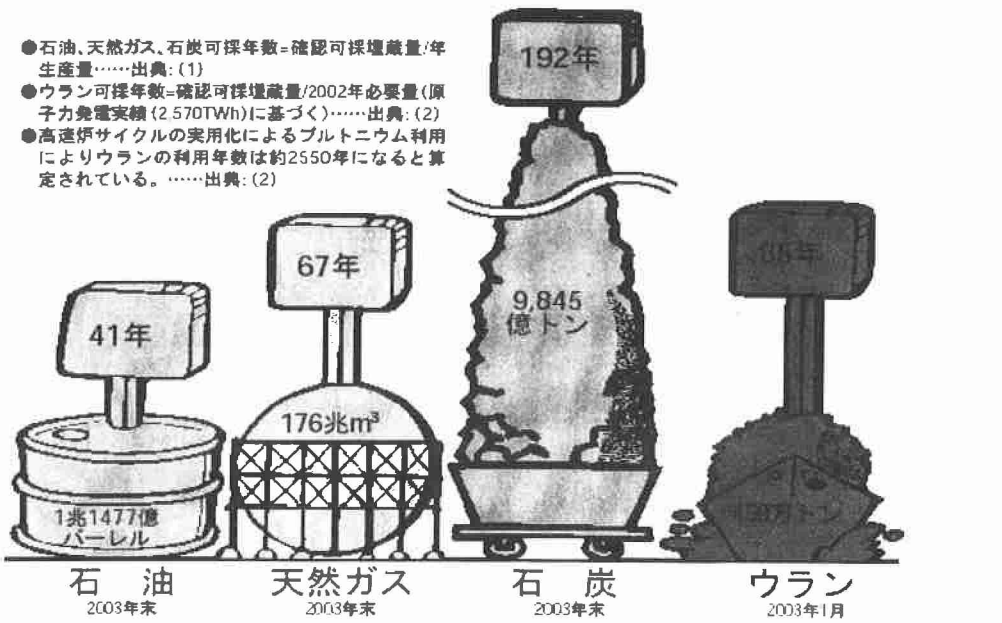



出典 エネルギー・経済統計要覧
1999年版(日本エネルギー経済研究所)

図４　地域別人口と一人当たりエネルギー消費量

３．世界のエネルギー

次に資源の問題を考えてみます。図５に示すように、現在知られている採掘可能なエネルギー資源の量は、石油は40年、石炭は230年、天然ガスは62年です。原子力も64年するとウラン235はなくなりますが、ここの注にあるように、プルトニウムを利用すれば、その資源としての利用年数はこれの10倍も100倍も延びるのです。




出典：(1)BP統計2004
(2)URANIUM2003

図５　世界のエネルギー資源の確認可採埋蔵量

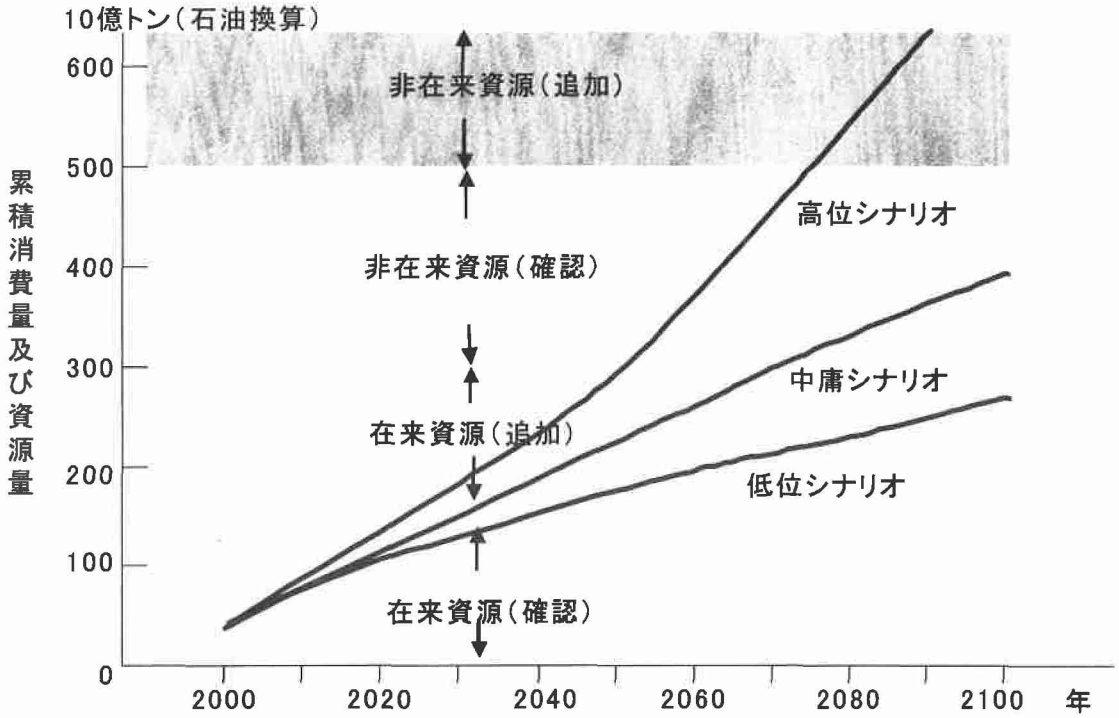



図６　世界の石油消費量の見通しと資源量

図６には石油の消費量について、見通しと資源量が書いてあります。現在の経済事情を延長すると、このように石油を消費していくでしょう。抑えて「低位シナリオ」、使いすぎれば「高位シナリオ」も予測されます。仮に中庸シナリオを取るとして、在来資源の石油は2030年になくなるでしょう。高位シナリオでは2025年、努力して低位シナリオでも2040年にはなくなります。しかし掘っていない在来資源の追加もあるので、2060～2070年まではもつでしょう。しかしそれ以後はなくなるでしょう。天然ガスについても同じようなシナリオで、2040年になる前になくなるだろうと予測されています。

30年ぐらい前から、このようなエネルギーの問題が大きな話題になっていました。その時も30年か40年たったらエネルギーなくなる、と予測されていました。しかし、「石油はない」と思っていたところからまた出てくる、ということでまだまだ残っているでしょう。今は石油の採掘費は１バレル10ドル以下ですが、20ドルまでだせばさらに増えます。技術もすすむ。天然ガスなど見つかってないものがある。あるいは図６に示した非在来資源を考えに入れるべきです。例えば、海底にメタンハイドレードという液状化したメタンもあります。

こういうことを考えていきますと、私は化石燃料はあと100年ぐらいはもつ、と思います。ですから40年ぐらいしかもたないということをあまり信じすぎる必要はないけれども、ただ資源が有限であることは事実です。化石燃料を使ってしまうことは、我々の子孫に対して負の遺産となります。地球が50億年かけてためてきた資源を使いきることに、私は反対です。天然資源で合成繊維が作れたり、さまざまな材料が作れる、その天然資源を全部使わずに残しておくべきです。そのためには科学技術の発展が極めて重要です。

次に、どのように世界のエネルギーが使われているか、ということを見ていきましょう（図７）。現在は一番エネルギーを使っている国は、日本も含めOECDの諸国です。半分以上を使っています。それに対して、アフリカとか、中国をふくむアジア諸国（ここに日本は入っていません）では、まだ20%の使用量です。当然どういうことが考えられるかというと、アフリカとか、中国、インドなどの開発途上の国々がもっとエネルギーを使うようになるでしょう。そして2020年の頃には先進諸国が44%ぐらい、そして中国が14%、アジアが16%というふうに、半分以上をそういう国々が使うでしょう。図８は、中国の石油の輸入量の最近の様子を示します。開発途上国が先進諸国と同じところにいこうと思えば、当然こういうことになります。まずいえることは、先進諸国がエネルギーを使わない努力をしなければなりません。それにもかかわらず、アメリカや日本を含むOECD諸国がエネルギーをふんだんに使っていることが問題です。

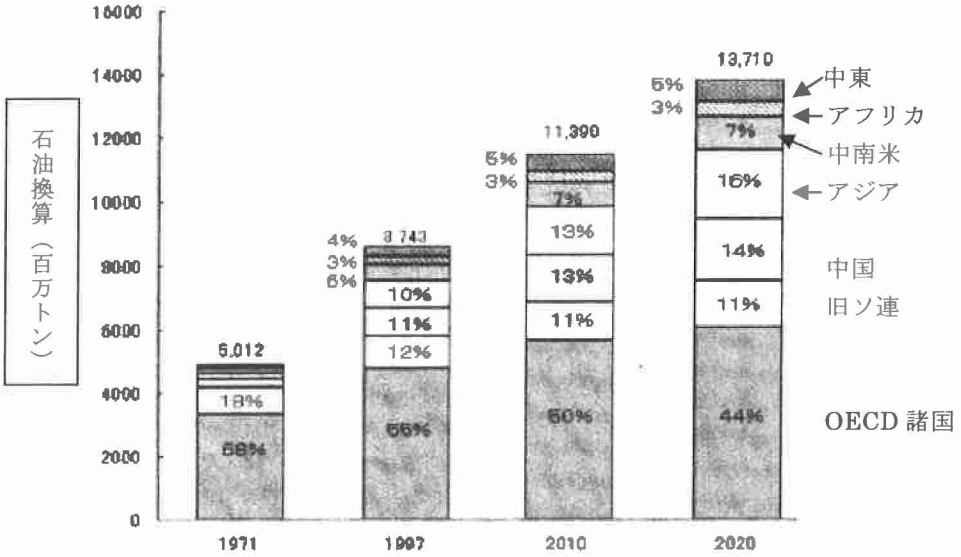
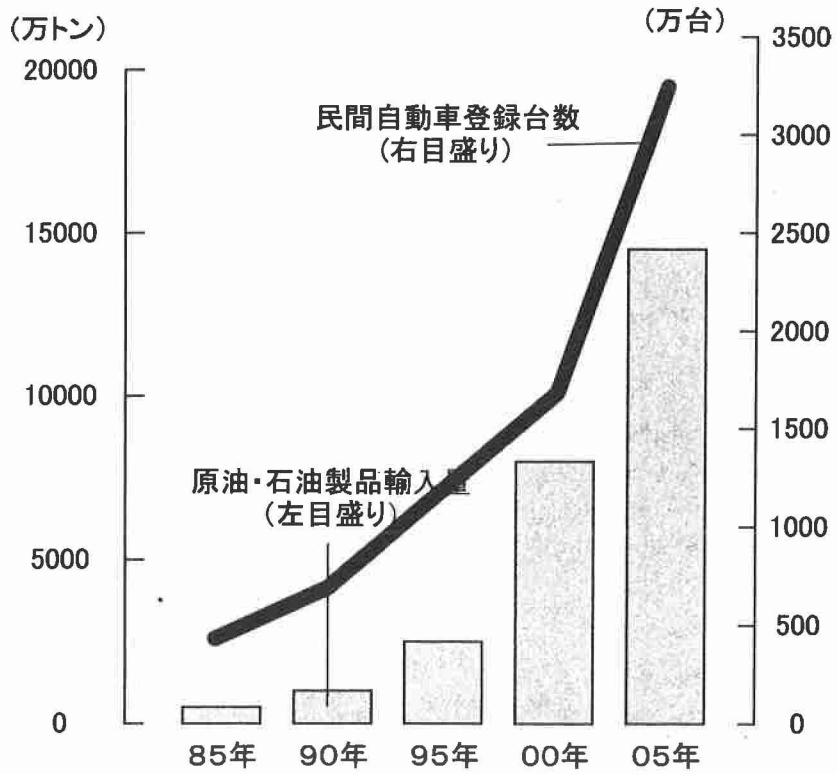



図７　世界のエネルギー消費の推移と見通し（地域別）




（アジア経済研究所資料から）

図８　中国のモータリゼーションと石油の輸入

図９は日本の例ですが、これまでエネルギーをもっともたくさん消費したのは産業界です。産業界は1960年から1970年の高度成長期にはエネルギー消費を大きく増やしました。しかしその後大きな努力をして、現在は省エネをはかっています。問題は民生と運輸、特に民生です。冷房、さまざまな電気器具（冷蔵庫、テレビ）、パソコン、自動車の普及。この中には必要なものがありますが、我慢できるものもあります。お薦めしたいことは、「自家用車をやめよ」、「冷房を切れ」、そして「普段の交通は公共交通機関を使え」ということです。

これからは一般家庭の省エネも考えていかなければなりません。

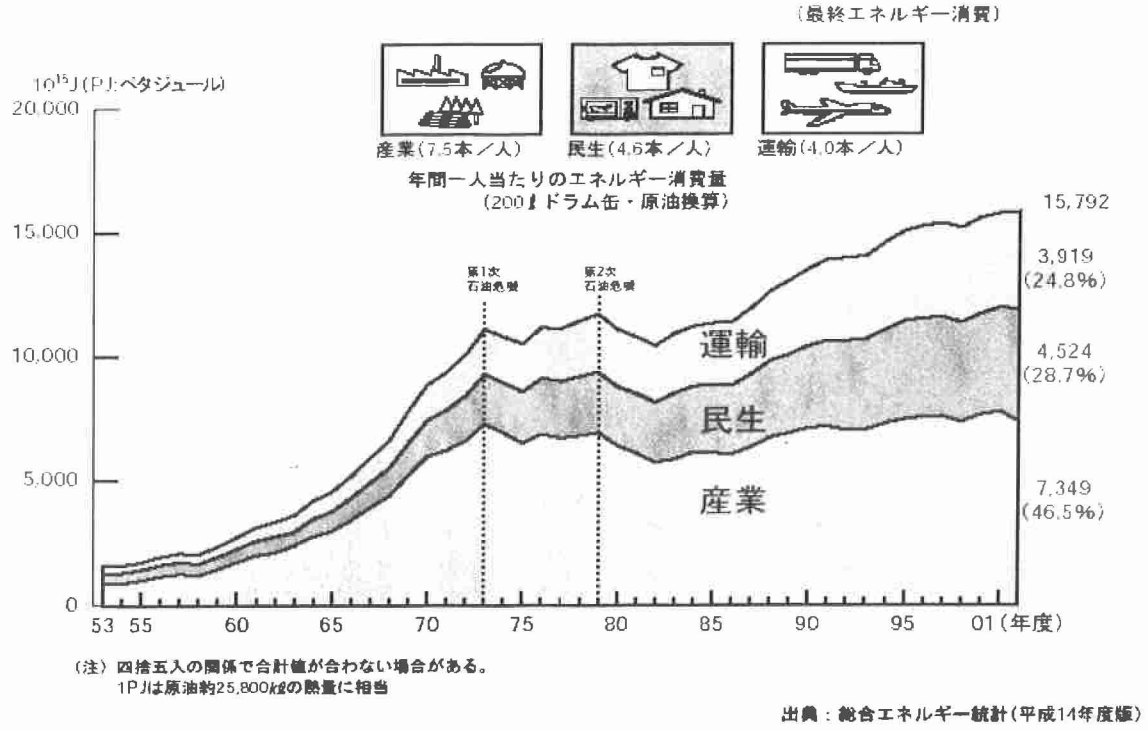



図９　エネルギー消費

## ４．地球温暖化 —— 温室効果

さらに大きな問題は化石燃料を燃やすと何が起こるか、ということです。ご存知のように工場や自動車から排気ガスがでます。空気中に硫黄酸化物とか、窒素酸化物、二酸化炭素がどんどん排出されます。この硫黄酸化物や窒素酸化物は空気の中の水と化合して、硫酸や硝酸になります。それが酸性雨となって地上に降ってきます。特に中国では酸性雨が大きな問題です。日本でも日本海側の林などは、今のまま中国が大量に石炭を燃やせば、そのうち木が枯れてくることになるかもしれません。もうすでにそういう兆候があります。また東京では、環七公害、環七喘息という病気も起こっています。これらは窒素化合物の影響です。そのため日本の電力会社と産業界は大変努力して、石油や石炭を燃やす前に、あるいは排ガスから硫黄化合物、窒素酸化物を取り除くようになりました。脱硫・脱硝装置、またその技術は、日本が一番進んでいます。昔のように鉱山で硫黄を掘ってくる必要はなく、現在は石油などから取り除いた硫黄ですべて賄っています。

その次の大きな問題は、二酸化炭素による温暖化です。人類は1900年頃から急激に極めて多量の二酸化炭素を放出するようになりました（図10）。過去の大気中の二酸化炭素濃度は南極の氷に溶けている空気を分析することにより、100年や200年、500年ぐらい前まで簡単にさかのぼれます。温暖化によって地球がさまざまな問題を起こしています（表３）。

| 指標 | 観測された変化 |
|---|---|
| 平均気温 | 20世紀中に約0.6度上昇 |
| 平均海面水位 | 20世紀中に10～20cm 上昇 |
| 暑い日（熱指数） | 増加した可能性が高い |
| 寒い日（霜が降りる日） | ほぼ全ての陸地で減少 |
| 大雨現象 | 北半球の中高緯度で増加 |
| 干ばつ | 一部の地域で頻度が増加 |
| 氷河 | 広範に後退 |
| 積雪面積 | 面積が10%減少（1960年代以降） |
| 気象関連の経済損失 | 10倍に増加（過去40年間） |

表３　顕在化する温暖化影響

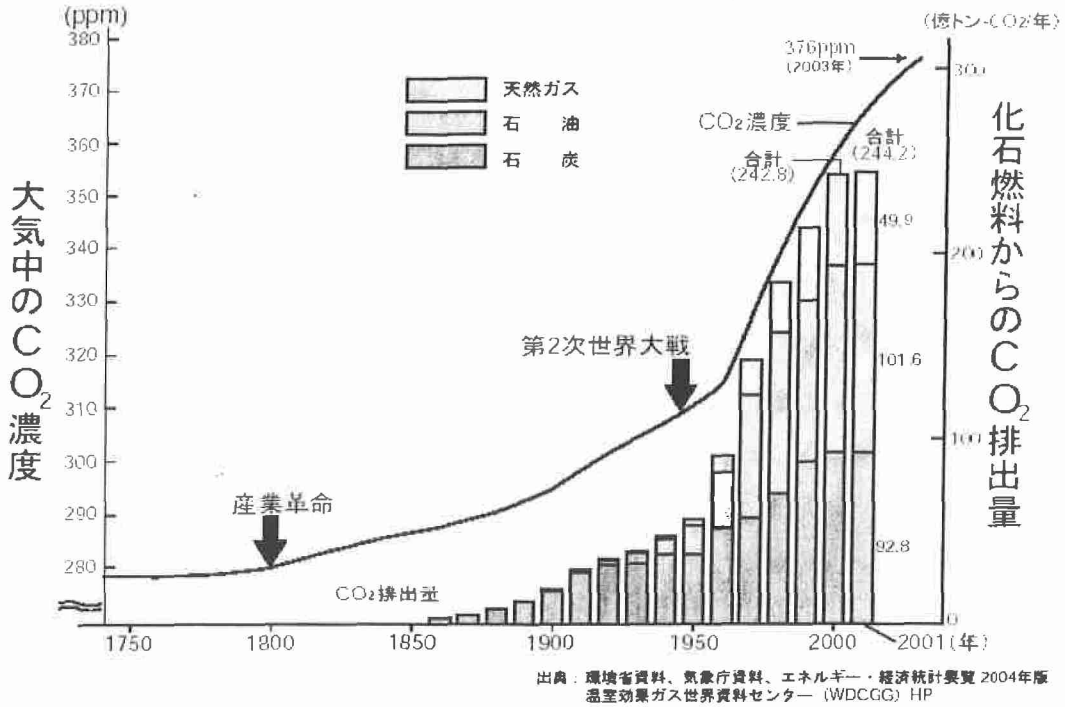



図10　化石燃料からのＣＯ$_2$排出量と大気中のＣＯ$_2$濃度の変化

日本では、１ｍ の海面上昇で砂浜面積の90.3%が消失し、渡り鳥の餌場となっている干潟なども消失してしまいます。海面の１ｍ の上昇に対しての対策としては、港湾施設に7.8兆円、海岸構造物の対策に3.6兆円必要となると予想されます。世界でも、2080年までに海面が約40cm上昇すると、その被害人口は7500人から２億人になると予想されます。

人間の健康への影響としては、熱波の影響による熱中症患者の増大、特に高齢者への影響が大きいと予測されます。マラリアの潜在地域は西日本まで広がる可能性もあります。世界的にも熱波による健康影響が増大すると予想されます。マラリア患者が5000万～8000万人も増加し、コレラなどの感染症も増えるでしょう。

降水量が変われば河川の水量にも影響が現れ、雪解けの早期化により１～３月に流量が増え、４～６月に流量が減るということも予想されます。世界でも高緯度地地域や東南アジアでの河川流量の増加が懸念されます。反対に中央アジアや地中海沿岸、南アフリカ、オーストラリアでは降水量が減少し、水不足の人口が17億人から50億人に増加する（2025年）と予想されています。

二酸化炭素がなぜ困るのかというと、これは地球温暖化があるからです。昼間太陽から降ってくる光には紫外線とか青い光とか黄色い光とか、熱線もありますけれども、いろんな成分を持った光が含まれています。それらの光のエネルギーはみんな地上に吸われて、いったんは全部地上を暖めることに使われます。夜になると地上からそのエネルギーが熱線や赤外線として放出されます。しかしもしガラスやビニールでおおわれていると、熱線や赤外線は通りぬけられずに押し返されてしまいます。空気中の二酸化炭素は、ガラスやビニールの働きをします。こういうことで、二酸化炭素が増えてゆくと、二酸化炭素に当たって赤外線が反射して戻ってくる割合が増えていきます。すなわち一度暖まった地球が、夜　宇宙へ赤外線を放出して冷えようとする時に冷えられないわけです。これが温暖化の原理です。

地球上で本当に温暖化が起こっているのだろうか、ということはだれでも気になります。温度を測るということを人間が知ったのは、19世紀も半ば以後でせいぜい150年以前からでありますが、この100年の間に明らかに世界でも日本でも１度近く気温が上がりました（図11)。二酸化炭素の増大と温度上昇との関連性はまだはっきりしていませんが。これが大問題なのです。この図に示したように、この100年間の平均値を０にした時に、1860年とか1880年はマイナス0.5度であったのが、今はプラス0.5度になっています。現状を放置して、50年後に危機的になってしまっては大変です。

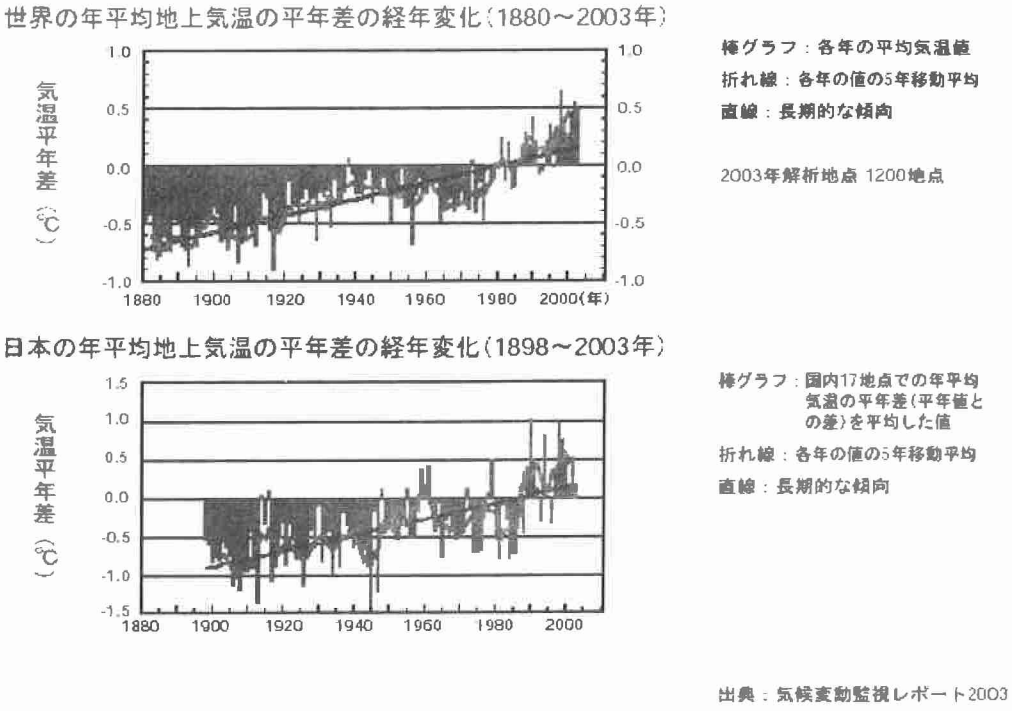



図11　世界の平均気温の移り変わり

そしてその中で、なんといっても北米と欧州、日本、旧ソビエト、これらの国が圧倒的に空気中に二酸化炭素を増やしている元凶です。特にアメリカからの量は多いです。次にどの燃料から二酸化炭素をだすかというと、いちばん出しやすいものは、石炭の火力です。それから石油、次に天然ガスも結構、二酸化炭素をだします。では二酸化炭素発生が少ないものは何か、水力・原子力・地熱・太陽です。水力でも二酸化炭素をださないわけではないのです。要するにこれは水力発電の装置を作るために材料の製造をしたり人間がいろいろ働いたりする、そういうことで、直接水力発電から二酸化炭素でてくるわけではないけれども、発電装置を建設するために、二次的に二酸化炭素がでてくる。でも石炭や石油に比べたらゼロに近いといっていいくらい、原子力・水力・地熱・太陽光・風力等は二酸化炭素発生が少ないです。これらの二酸化炭素の発生量の少ない新エネルギーなどの開発を進める必要があります。

## ５．新エネルギー・再生可能エネルギーの開発戦略

私もなんとかして新エネルギーを開発しようではないかと主張しています。ここで新エネルギーと再生可能なエネルギーを本当は分けて考えたほうがいいのです。どうしてかというと再生可能なエネルギーの中には水力が入っているから、見かけ上再生可能なエネルギーの量は多くみえるからです。スウェーデンなどは相当の水力発電をしていますので、再生可能なエネルギーでみますとスウェーデンは優等生です。日本も結構水力発電による再生可能なエネルギーはもっています。

どんなものが新エネルギーであるかということを、もう一度みてみることにいたします。新エネルギーは太陽光、太陽熱、風力、廃棄物、温度差エネルギー、そしてバイオマス、こういうもので発電したり湯を沸かしたりします。現在のところはまだ非常に少ないのですが、もっと積極的にのばしていかなければならないので、国は2010年の達成目標を決めています。それによりますと太陽光発電については2002年の発電量を１とすると、約7.6倍になるよう努力しよう。風力も現在の約7.1倍までもっていこう。廃棄物発電とバイオマス発電を合わせて3.4倍にもっていこうというわけです。それ以外に温水を太陽で沸かすのを5.9倍。それから氷などをなんとか科学技術を進めて使おうとしてこれを12.6倍にするとか、いろいろ考えます。しかし、現在量的に最も多い「黒液・廃材」の利用は殆ど伸びません。このような努力をして、2010年には発電・熱利用を含めてこの新エネルギーの利用総量は2002年の約2.1倍になる予定です。これはしか

し、総エネルギーの中の３％にすぎません。現在は1.6％です。ですからこれだけ努力をしてもせいぜい今の２倍しかいかないという現実を、我々は厳しく見ていかねばなりません。

新エネルギーは今申しましたようになかなか思うように伸びていきません。それは当然でありまして、太陽の光は非常にさんさんと地球上に注いでいるけれども、地球上でも人間の住むようなところに１㎡あたりくる太陽のエネルギーはごくごくわずかなのです。さっき申しましたように、現在新エネルギーを全部集めても全一次エネルギーの1.6％しかありません（**表４**）。水力エネルギーの利用はそれの約２倍です。水力とか地熱までいれますと、現在の再生可能なエネルギーとして日本は発電では10％、一次エネルギーとしては全体の５％程度です。**表５**をご覧下さい。世界的にはどうでしょうか。**表２**は新エネルギーに水力も含めた再生可能なエネルギーの各国におけるエネルギー総供給量に占める割合ですが、前述のように現在日本では水力を入れて５％レベルであるものを2010年に7.5％までのばそうとしています。アメリカは７％で変わりません。

アメリカはあまり新エネルギーに熱心ではありません。EU は5.3％を２倍にしましょうとしています。EU は、ドイツやスウェーデンは熱心にやっているけれども、ほかの EU 諸国はそれほど熱心ではありません。なぜそんなに伸びが悪いかというと、一番の理由はまだ高価格だからです。ですからここに技術革新が必要です。太陽光発電は以前より技術が進んで随分安くなりました。それでも普通の電力にくらべて３倍くらい高くなります。風力も安くなりましたが、まだ1.4倍から２倍程度です。もし燃料電池がもっと大量に成功すれば、普通の電力並みになります。再生可能エネルギーの価格が高い問題を解決するにはためにも、みんながもっと新エネルギーを使うことです。

再生可能エネルギーは公害を撒き散らさないし、化石燃料を燃やしません。水力以外で人気があるのは、日本では太陽光発電、世界では風力発電です。日本ほど太陽光を使っている国はありません。**表６**のように日本は太陽光発電で20.9万 kW も発電していて、これはアメリカの２倍、ドイツの３倍です、しかし最近ドイツが太陽光発電でも世界一になりました。日本も努力しなければなりません。日本は場所の問題が多く、風力発電はまだ少ないです。現在、経済産業省の目標は、先ほど申しましたように、太陽光発電を7.6倍、風力発電を7.1倍にしようとしています。最近新エネルギーに大きく貢献しているのは、かつての悪名高かったヘドロ（黒液）です。これを乾燥させて燃料として使います。これからは廃棄物の焼却、バイオマスなども積極的にやっていくべきです（**表４**）。

| | 2000年度実績 | | 2010年度目標 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 現行対策維持ケース | | 目標ケース | | |
| | 原油換算 (万kl) | 設備容量 (万kW) | 原油換算 (万kl) | 設備容量 (万kW) | 原油換算 (万kl) | 設備容量 (万kW) | 2010/2000 |
| （発電分野） | | | | | | | |
| 太陽光発電 | 8.1 | 33 | 62 | 254 | 118 | 482 | 約15倍 |
| 風力発電 | 5.9 | 14.4 | 32 | 78 | 134 | 300 | 約23倍 |
| 廃棄物発電 | 115 | 103 | 208 | 175 | 552 | 417 | 約5倍 |
| バイオマス発電 | 4.7 | 6.9 | 13 | 16 | 34 | 33 | 約7倍 |
| （熱利用分野） | | | | | | | |
| 太陽熱利用 | 89 | － | 72 | － | 439 | － | 約5倍 |
| 廃棄物熱利用 | 4.5 | － | 4.4 | － | 14 | － | 約3倍 |
| バイオマス熱利用 | － | － | － | － | 67 | － | － |
| 未利用エネルギー（雪氷冷熱を含む） | 4.5 | － | 9.3 | － | 58 | － | 約13倍 |
| 黒液・廃材等（＊） | 490 | － | 479 | － | 494 | － | 約1倍 |
| 合　計（1次エネルギー総供給/構成比） | 722 (1.2%) | － | 878 (1.4%) | － | 1,910 （約3%） | － | 約3倍 |
| 1次エネルギー総供給 | 約6.0億kl | | 約6.2億kl | | 約6.0億kl程度 | | |

＊ バイオマスの1つとして整理されるものであり、発電として利用される分を一部含む。

表４　供給サイドの新エネルギー

| | | 一次エネルギー総供給 | | 発電電力量ベース | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1998年　実績 | 2010年　予定 | 1998年　実績 | 2010年　予定 |
| 日本 | | 5.2% | 7.5% | 9.7% | 11.3% |
| アメリカ | | 7.0% | 6.9% | 10.9% | 9.2% |
| カナダ | | 17.1% | — | 61.8% | — |
| EU | | 5.3% | 11.6% | 13.9% | 22.1% |
| | イギリス | 1.0% | — | 1.7% | 10.0% |
| | フランス | 6.4% | — | 15.0% | 21.0% |
| | ドイツ | 1.7% | — | 4.5% | 12.5% |
| | イタリア | 4.8% | — | 16.0% | 25.0% |
| | デンマーク | 8.5% | — | 8.7% | 29.0% |
| | スウェーデン | 28.1% | — | 49.1% | 60.0% |
| | オーストリア | 22.2% | — | 72.7% | 78.1% |

表５　各国におけるエネルギー総供給量に占める再生可能エネルギーの割合（水力を含む）

| | 設備容量(万kW) | |
|---|---|---|
| | 太陽光発電<br>(99年度末) | 風力発電<br>(2000年12月末) |
| 日本 | 20.9 | 14.4 |
| アメリカ | 11.7 | 255.5 |
| ドイツ | 7.0 | 611.3 |
| デンマーク | 0.1 | 229.7 |
| イタリア | 1.8 | 38.9 |
| スイス | 1.3 | 0.3 |
| オランダ | 0.9 | 44.8 |
| スペイン | 0.9 | 240.2 |
| スウェーデン | 0.3 | 23.1 |
| イギリス | 0.1 | 40.9 |
| 世界合計 | 52.0 | 1770.6 |

表６　太陽光発電と風力発電の世界比較

## ６．新エネルギー・再生可能エネルギーの利用上の問題点

これだけ努力をしても新エネルギーはせいぜい今の約２倍しかいかないという現実を我々は厳しく見ていかねばならない。なんとかして新エネルギーの量を約２倍にふやした時に、水力等々もともと再生可能なエネルギーとして使っていたものを足しても、一次エネルギー総供給中に占める再生可能なエネルギーの割合は７％程度にしかなりません。

新エネルギーをともかく最大限利用していかねばならないのですが、しかしそれでは足りないということを認識せねばなりません。いかにも足りるようなユートピアを描くことは大変な罪なことです。足りない現実をどうするか。そのためにはもっと新エネルギー発電装置を増加すべく、我々自身が寄与しなくてはいけません。

ここで原子力について少し考えて見ます。例題として、日本で原子力やめるとしてみましょう。3割の電力をなんとか、どこかから供給してもらわなければなりません。隣の韓国なり中国は原子力でわっと発電する。それを買ってくる。そのことによってみなさんは自分の国は原子力をやらないから万歳とお思いですか。欺瞞だとわたしは思います。もしやめるなら、すべての国は平等に原子力やめるべきだと思います。だからヨーロッパで、ある国が原子力をやめたいというのはよいとしても、フランスだけにまかさずに、イギリスも、スイスも、ドイツも、イタリアも、原子力による電力をフランスから買わない覚悟をしなければ欺瞞であると私は思います。今は多量に買っているのです。こういう現実を忘れてはいけません。

我々人類にとって重要なことは、新設をしなくてもあと50年は原子力に頼らざるをえないという現実を見据えていかねばならないことです。その中で一番の問題は，使用済み核燃料とくに

核廃棄物をどこにどう処分するかという問題です。最近シベリアに引き取りましょうとロシアが言いはじめているとのことで、それも一つの考えであるけれども、いずれにしても人類としてこの廃棄物の処理をどう考えていくかということを考えていかなくてはなりません。

原子力は事故防止対策さえすれば、かなり技術的には、特に軽水炉は安全だと思っています。多少のトラブルはどんな分野でもおこっていることです。しかし最大の問題は、最終的な放射性廃棄物を処分する場所がない、ということです。世界ではアメリカがユッカ・マウンテンに決め処理場を既に建設中です。またフィンランドが初めて、政府と地域住民が一緒になって最終処理場を決定しました。しかしそれ以外の国では使用済み核燃料をどこに保管するか、廃棄物をどこに処分するかということが大問題です。これがこれから原子力に関して考えていかなければならないことです。ドイツでは実は、電力の30%が原子力によって発電されています。日本は34～35%が原子力です。ですから原子力発電の安全性を徹底的によくしていかなければなりません。その中で一番の問題は，今申しましたように使用済み核燃料とくに核廃棄物をどこにどう処分するかという問題です。アメリカのユッカマウンテンが2010年に完成します。フィンランドでは2020年に完成します。けれども原子力発電の盛んなフランスでさえ、最終処理場がないのです。いずれにしても人類としてこの廃棄物の処理をどう考えていくかということを考えていかなくてはなりません。

もう一つの心配は、いったいプルトニウムをどうしようとしているのかということです。日本は、フランスとイギリスの処理場にプルトニウムを30数トン預けてあります。プルサーマルで消費する、すなわちMOX燃料として使用するべきですが、その方法がまだ確立されていません。安全性は十分だと思いますが、テロなどで持っていかれるかもしれないという不安もあります。MOX燃料を燃やしてどんどん消費していくべきだと、私は思います。

**7．放射線・放射能の教育**

最後に原子力に関連して、放射線・放射能の教育について述べたいと思います。いかに放射線・放射能が人類の役に立っているかを考えてみてください。レントゲンによるX線の発見、ピエールそしてマリー・キュリーによるラジウム・ポロニウムの発見が、いかに分子、原子そして原子核の構造の研究を発展させ、自然科学の進歩に役に立ったでしょうか。そして放射線・放射能は医学でどのように利用されているかも子供達に教育しておかなければなりません。

私は当時の科学技術庁長官として、1999年のJCO事故に直面しました。事故のあとフィルムバッジを持ってくるように会社に言ったのですが、誰も持ってきませんでした。事故当時、従業員30人のうち半分くらいしか着けていなくて、亡くなった方々ももちろんつけていませんでした。彼らはマニュアルを無視し、バケツで濃縮ウランを扱っていたのです。結局その会社では臨界事故というものに対する教育を全く行っていませんでした。自分たちで勝手な違法マニュアルを作っていたのです。事故の再発を防ぐには、技能者・技術者の正しい教育が不可欠です。率直に言って学校教育と社内教育の不十分さが事故を招いてしまいました。

一昨年の福井県美浜原子力発電所の事故は２次系の事故で、原子炉そのものには関係がないとされています。しかし４人もの死亡者がでたことは重大で、火力発電すべてに起こりえる事故であったことは事実です。配管の構造をよく知って異常に注意し直ちにテストするなど、初歩的なことを技術者が身につけておくべきです。やはり教育が大切です。

一般的にいって、日本の巨大科学について、ロケットを含めて原子力でも、政府があまりにもアウトソーシング（外注政策）をやりすぎると私は思います。人の安全に関することは、きちんと政府が責任を持つべきです。国だけでなく産業会でも下請けの会社に任せると、責任体制がとれなくなります。このことを私は非常に心配しております。

# 地域におけるエネルギー資源

弘前大学理工学部　南條宏肇

## §１．何故地域のエネルギーか？
### 現代のエネルギー問題

### １　過度の海外依存

○　供給ストップの危険性

日本はエネルギー資源を海外に頼っており，表1に示すように，自給率は年々減少し，今ではわずか4%に過ぎません。

また日本の一次エネルギー供給量の40%を占める石油については，その90%を中東に頼っています。近年中東を中心にテロ事件が続発しており，さらにマラッカ海峡では3．6分に一隻の割合で船舶が航行しており，内戦などが起きれば，たちどころに石油供給がストップする危険性をはらんでいます。日本のエネルギー供給体制はきわめて脆弱といわざるを得ません。

| | |
|---|---|
| 1960年 | 56% |
| 1970年 | 14% |
| 1980年 | 6% |
| 1990年 | 5% |
| 2000年 | 4% |

表１．エネルギー自給率の推移

○　価格不安定

図1に示すようにここ数年で原油価格はものすごい勢いで上昇し，一時期は1バレル70ドルを越しました。最近中国は10%程度の割合で経済成長を続けており，中国での石油需要は高まる一方です。この成長が続く限り，石油の奪い合いは避けられず，原油価格は当分上昇し続けるものと思われます。 これもエネルギー供給を海外に依存しているからであり、その体質を変える必要があります。

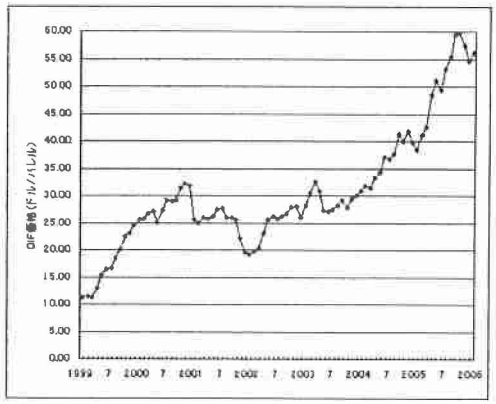



図１．原油価格の高騰

### 2. エネルギー源の枯渇

次の問題は，エネルギー源の枯渇の問題です。右図は、20 世紀の主要エネルギー源であったエネルギー資源は あと何年もつかを示したものです。耐用年数は，石油，天然ガス，ウラン燃料ともに40年から50年程度に過ぎません。ただしこれは確認された埋蔵量から計算されたもので、実際には未

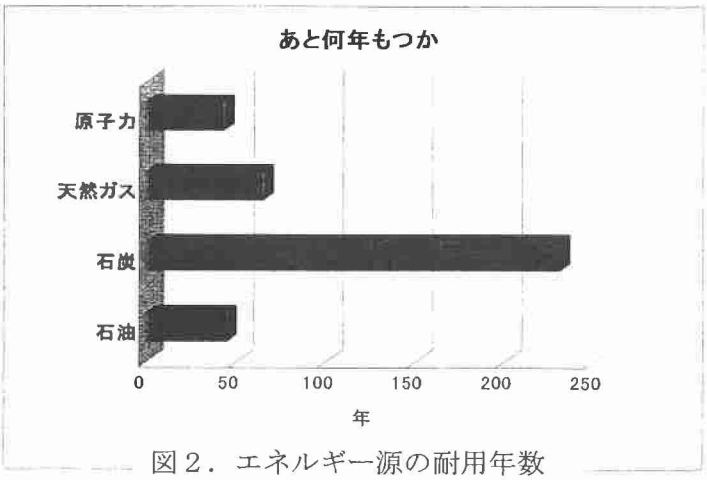



図２．エネルギー源の耐用年数

確認のものが 5 倍程度あるものと推定されています。

しかしいずれにしても数百年のうちに使えなくなってしまいます。

## 3.化石燃料による地球環境破壊

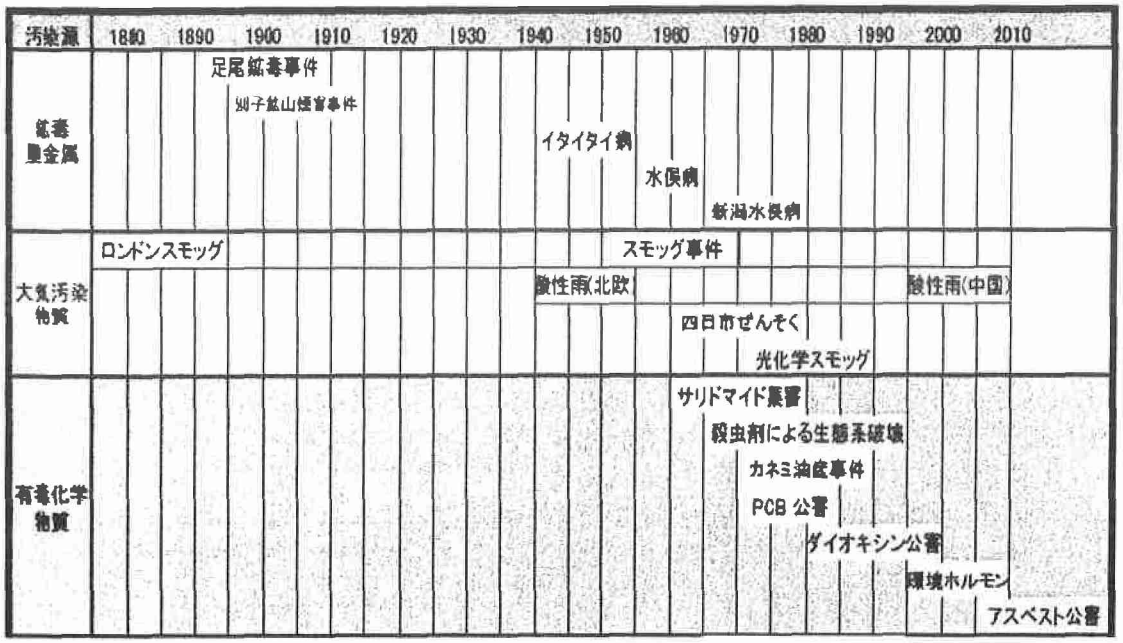
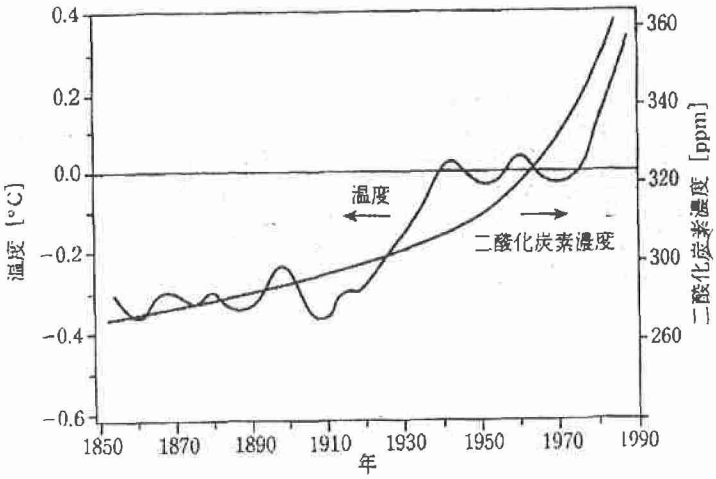



表２　環境破壊の実態

上の表に示すように，戦後石油を大量に使用することになって，急激に大気汚染，有毒物質による環境破壊が進み，深刻な問題になってきています。大気汚染物質や有毒化学物質は，石油の使用によってもたらされたものであります。

さらに，化石燃料による炭酸ガス増大がもたらす地球温暖化の問題は深刻です。図3に示すように、化石燃料を本格的に使い出した産業革命の前より、地球の炭酸ガス濃度は約2倍になり、ここ最近の100年間で気温は0．7度上昇しています。




大気中の二酸化炭素濃度と気温の変化
[服部，電力中央研究所資料より]

図３．二酸化濃度と気温の変化

地球温暖化の兆候はすでに顕在化しつつあります。地球温暖化が一番顕著に見られるのは氷河の減少です。アラスカベーリング氷河では，100 年間で長さが 10～12km 後退し、130 平方 km 消失し，ここ数十年間で、氷河は部分的に、180m も薄くなっているとのことです。南米パタゴニア氷河では，過去７年間、毎年東京ドーム３万４千個分の量の氷が失われていま

す。また過去３年余の間に、南極大陸の氷が東京ドーム約４０万個分も失われています。これは３年で１.２ミリ海面が上昇したことを意味します。さらに青海チベット高原の氷河は、年平均７％の速さで縮小しています。気温は 1980 年代から 0.9 度上昇しており、青海チベット高原の氷河やツンドラの溶解を加速しています。

また近年，温暖化が異常気象として顕在化してきているように見えます。昨年の大型ハリケーン・カテリーナや，日本でも大型化した台風がふえております。また記録にないような大きな竜巻が今年９月に九州でおきました。また記録的な集中豪雨や豪雪があちらこちらで見られるようになってきています。

このままでいくとどのようになるのでしょうか。いろいろな機関がコンピュータを使って予想を立てています。このままの炭酸ガス排出量の増加でいくと、温室効果により、年々気温は 0.03 度上昇し、この気温上昇に伴って、海面は年 0.6cm づつ上昇していきます。この結果、100 年後(2100 年)はどうなるかというと、「気候変動に関する政府間パネル(IPPC)」などが、右に示すような予想を立てています。

| 炭酸ガス濃度 | 200% | 増大 |
|---|---|---|
| 気 温 | 2.5 度 | 上昇 |
| 海 面 | 46cm | 上昇 |
| 砂 浜 | 90 | 消失 |
| 食料 インドの小麦 | 60% | 減産 |
| 中国のとうもろこし | 40% | 減産 |

表３．地球温暖化による１００年後の予想

いずれにしても，このまま放置は出来ないということで、地球温暖化対策として、気候変動枠組み条約締約国会議が設立され、第3回温暖化防止京都会議 (97年12月)で炭酸ガス削減の期限、政策、措置について 削減数値目標が設定されました。その内容は以下に示すようなものです。

A 先進国全体で、温室効果ガス 6 種類の排出量を、1990 年レベルから
　平均 5.2%削減 する。共同達成方式で、日本 6%、米国 7%、EU8%。を削減する。
B 期間は 2008 年から 2012 年まで。
C 削減目標値達成のため、次の方式を認める。
　1. 吸収源として森林などの分を差し引くネット方式
　2. 先進国の間でプロジェクトを行う共同実施(JI)
　3. 途上国とのプロジェクトを通して削減する、クリーン開発メカニズム (CDM)
　4. 排出量取引

この懸案であった地球温暖化防止のための京都議定書の運用ルールが、2001 年 10 月～11 月マラケシュで開かれた第7締約国会議(COP7)でアメリカを除いて、最終合意に達し，2005 年 2 月 16 日 ロシア参加で発効になりました。日本は、2008～2012 年の間に温暖化ガスの排出量を 1990 年の排出量の 6%カットの水準を達成することが義務付けられました。これは、並の努力では達成されない水準です。炭酸ガス削減に意欲的に取り組んでいる EU 諸国では、新エネルギーへの転換が大きく進んでいます。

しかし，石油消費量のダントツ一位のアメリカと世界第二位の中国がこの京都議定書に

参加していないということは，温暖化防止への有効性に大きな疑問を投げかけることになっています。New York Times の中国駐在記者からの報告（June 11, 2006）によると，「もし中国が今のペースで石炭を燃やし続けると、今後２５年間で、先進工業国すべての合計よりも多い $CO_2$,$SO_2$ などを排出するだろう、その結果京都議定書が達成しようとしている全排出削減量の５倍以上になるだろう。」と報じています。

## ４．自然エネルギーによる地域の活性化

### ○　高度経済成長の終焉と地方分権・地域分散化

少子高齢化の進行、長期にわたる財政構造の悪化など私たちをとりまく状況は大きく変わろうとしています。これまでの中央集権的国家運営は、現在の我が国の財政状況からするときわめて困難になっており，いわゆる大きな政府から小さな政府への転換，中央集権型から地方分権型への転換が迫られていると言えます。

現在，地方の財政再建、地方分権を推し進めるものとして、三位一体改革が進んでいます。すなわち都道府県向け国庫補助金を廃止し、代わりに税源の移譲と地方交付税の見直しを行うというものです。今や地方は、地方分権を支えるために、今までの国からの補助金依存体質から脱却し、自立した産業構造を打ち立てなければならない状況にあります。今まで地方自治体は、政策・財源を「中央政府」に依存する体制で進んできましたが、これからは中央から独立した「地方政府」として、自立した体制で進んでいかなければなりません。

地域に自立した産業構造を打ち立てるには、産業を支える自立した自前のエネルギー供給を確立することが重要です。幸いなことに、青森県などの東北地域は風力エネルギー等、大都市に比べて自然エネルギーが非常に富んでいます。このように青森・津軽海峡地域に豊富にある再生可能エネルギーを使った、地域における自立したエネルギー供給システムの確立は、地域の自立のための緊急課題といえます

### ○　環境破壊を起こさない再生可能エネルギー、海外に依存しないエネルギー

環境破壊を起こさない再生可能エネルギー、海外に依存しないエネルギーとして期待されているのが自然エネルギーです。

化石燃料や原子力は、蓄積・凝縮されたエネルギーであり、高温度・高密度の状態で一気に使えることができるため、20 世紀の「大量生産、大量消費、使い捨て」の文明を支えることができました。その代わりに地球を痛めつけることになり、また枯渇の問題を引き起こしました。一方、再生可能エネルギーは密度が薄いから、一気に使用することはできず、したがって大量消費文明を支えることはできません。しかし密度が薄いから地球を痛めつけることもなく、循環が可能になり枯渇しません。再生可能エネルギーは自然に適った利用法によってしか有効にはなり得ません。そしてこの再生可能エネルギーへの転換によって、今までの「大量生産、大量消費、使い捨て」の中央集中エネルギー供給システムから、「少量消費・低成長・リサイクル」の地方分散型システムへの転換がもたらされるのです。その意味で「再生可能エネルギーの利用」は、21世紀のエネルギー問題を解くキーワードといえます。

風力など再生可能エネルギーはどちらかというと、生活環境の厳しい地域すなわち大都市から離れたところに多く分布しています。しかし、このエネルギーを電気で直接大都市へ送るのはロスが大きいし、送電線建設費（数十億から数百億円）もバカになりません。すなわち分散した地域から密度の薄い再生可能エネルギーを電気に変えて送電線で大都市の変電所まで運ぶのは、

「割り」に合わないのです。大規模発電所で集中発電し、送電線で遠隔地へ電気を送る方式は、化石燃料や原子力が高温・高密度のエネルギーだから可能なのです。しかし、逆にいえば再生可能エネルギーの利用は、産業基盤の弱い地方にとって、その地域を活性化する大きなチャンスを与えてくれます。たとえば津軽海峡地域からエネルギーを電気で直接大都市へ送るのは、上に述べたようロスが大きすぎるし、また売電では地元に雇用も生み出しません。地元で電気を製品（たとえば、魚保存用海水の氷やアルミのリサイクルなど）に変えた方が効率がよいし、また風力エネルギーを直接摩擦熱に変えれば、冬の温室農業が強風地域のどこでも可能になります。そうなれば地元での雇用も生み出せるし、その地域の産業の活性化に繋がります。

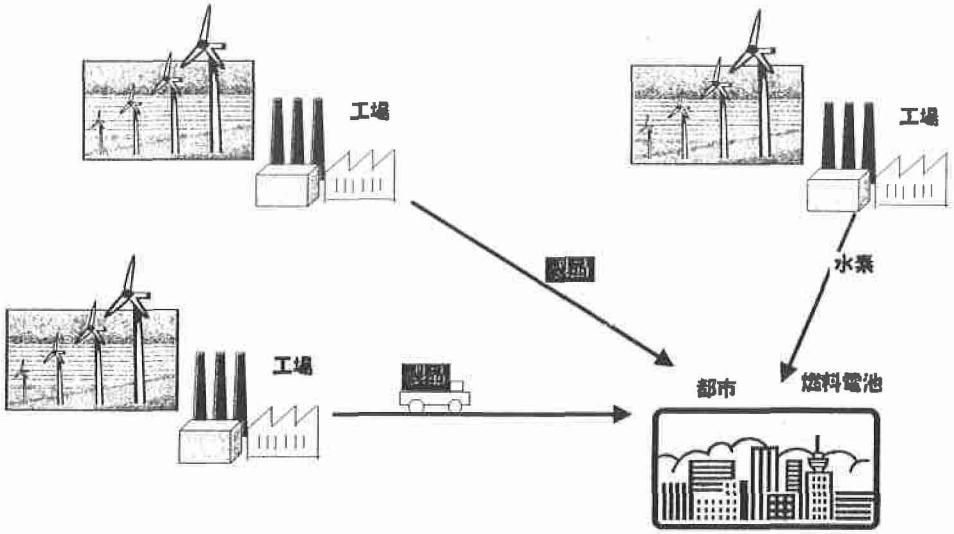



図４　分散型エネルギー源とそれにあった供給システム

## §２．地域のエネルギー利用

### １．　地域の自立を支える再生可能エネルギー

再生可能エネルギーには

太陽熱　太陽光　風力　水力　バイオマス　波力　海洋温度差　　海流　潮汐　地熱エネルギー

のようなものがあげられます。

これら再生可能エネルギーは、前に述べたようにどちらかというと、生活環境の厳しい地域すなわち大都市から離れたところに多く分布しています。またその潜在量も地域差が大きいのです。青森県は、太陽熱・太陽光エネルギーには乏しいといえますが、風力・バイオマス・海洋エネルギーいついては日本最大級の自然エネルギーの宝庫といっていいといえます。

図5に地上30mでの年平均風速（NEDO）を示す風況マップを示しまし

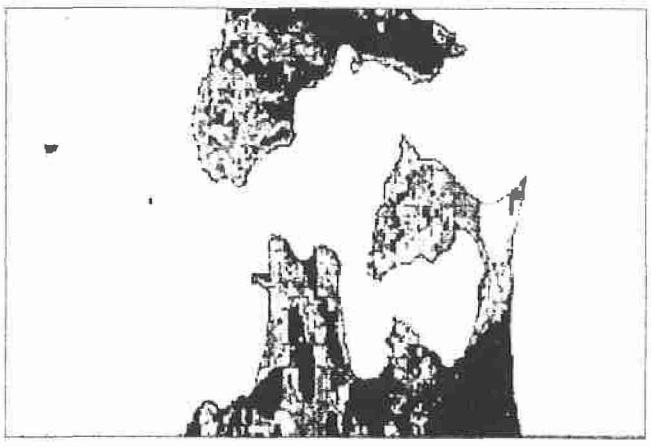


図5．年平均風速（地上30m）風況マップ
（NEDO技術情報データベース）

た。

図に示されていますように一般的に風の強いのは山岳地帯に集中しています。しかし津軽海峡地区では、海岸線沿いにまで風速の高い地域が広がっています。すなわち利用可能な地域で高い風速が得られるという大きな特徴を持っています。

風力発電では図6に示すように青森県では、2004年では全国一位でしたが、2005 年では北海道についで 2 位になっています。

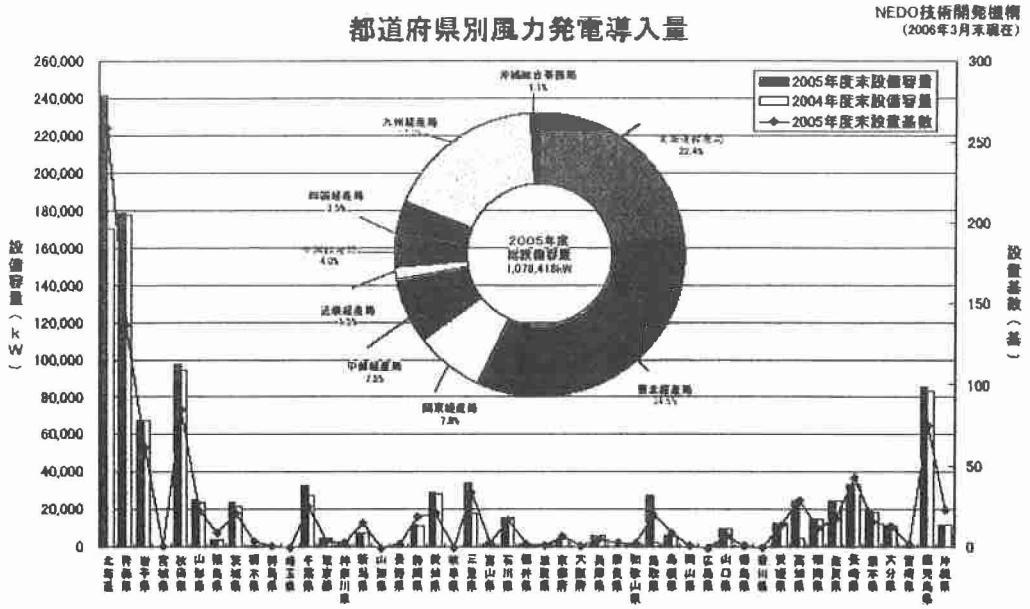



図５　都道府県別風力発電導入量

バイオマスエネルギーについては、青森は農業県であると共に森林県でもあるので、森林の間伐材やりんごの剪定枝などの木質系バイオマスおよび食品廃棄物系バイオマスエネルギーは豊富であるといえます。

特に青森県はりんごの生産量では日本一であり、日本全体の50%を占めています。このりんごの剪定で出てくる剪定枝の量は非常に多く、それを全部集めると青森県の総エネルギー消費量の67%にも相当する量になります。最近の石油高騰に伴って、この剪定枝を使ったチップボイラーの利用が注目されてきています。

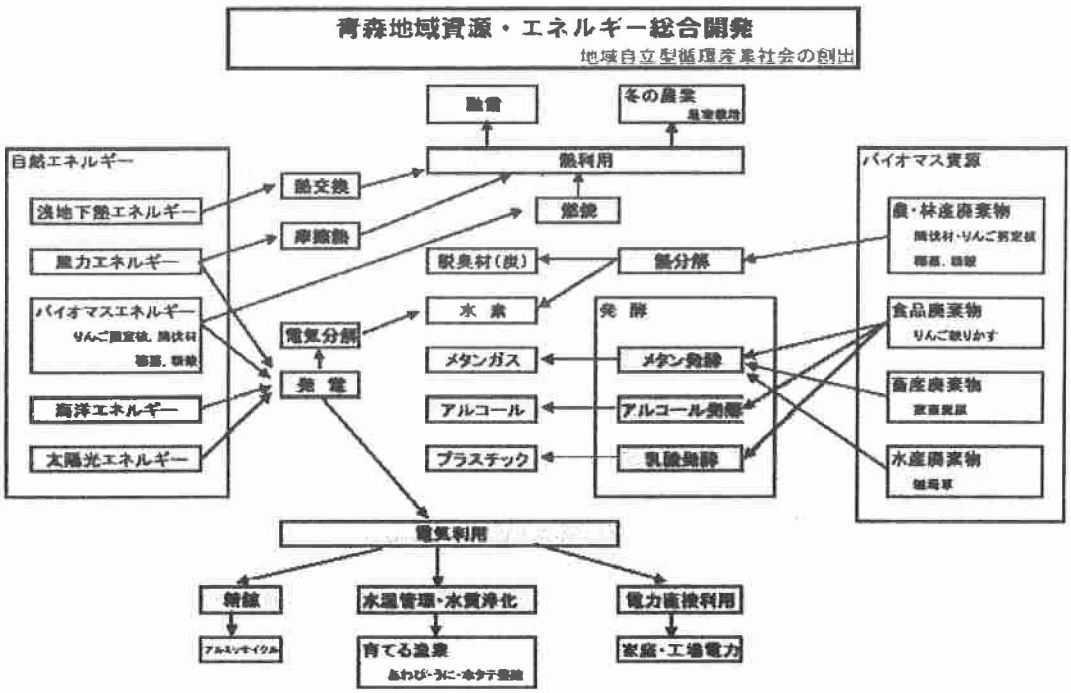
また弘前大学で津軽海峡海流発電の開発研究を進めていますが、津軽海峡の流れは、

1. 年間を通じて流速および流れの方向がほぼ一定して得られるので、安定した電力の供給が得られる。
2. 津軽海峡全体の供給エネルギーは 670MW であり、その包蔵量は非常に豊富である。
3. この流れは黒潮などと異なり、海岸近くの流れということでその利用も容易であり、利用コストの面でも他の自然エネルギーと比べて低く、経済的に成り立ち得る。
4. 今までの火力発電などに対抗できるに足る発電量を得るためには、大面積の大型化が必要になるが、水中設置ということにより、浮力が利用でき、景観を損ねることもない。

という特徴を持つており、特に 3 の特徴を兼ね備えた海流は、世界にも例がない特殊なもので、

津軽海峡は最も海流発電に適した場所といえます。もちろん波力エネルギーも豊富です。

このように青森県は、再生可能エネルギーに関しては、特に豊富な地域ということができます。下図に示すように、バイオマスを資源とし、豊富な再生可能エネルギーと組み合わせた総合開発を行なえば、地域の活性化は多いに期待されます。




青森県では、21 世紀のエネルギー戦略を見据えて、「環境・エネルギー研究開発センター」「アグリバイオ研究拠点」つくりを進めています。

弘前市でも、弘前地域新エネルギービジョン」を策定し、再生可能エネルギーをベースにしたエネルギー対策に乗り出しました。

地域との連携を重視する弘前大学でも、地域のエネルギー利用のための研究開発として「地域自立型エネルギー資源リサイクル利用システムの開発」をテーマとして、概算要求を行ないました、残念ながら今年は採択されませんでしたが、実質的にこの開発を進めていくことにしています。弘前大学で進めようとしている開発研究プロジェクトは以下のようなものです。

① 風力発電－燃料電池ハイブリッド型エネルギー供給システムの開発

風力発電の不安定さを克服するために、強風時の余剰電力を利用して製造した水素を燃料電池に結びつけて、電力供給の安定化を図るシステムを開発する。

② 未利用バイオマスの高温ガス化による燃料電池用水素の製造

③ 津軽海峡海流エネルギーの電気エネルギーへの変換システムの開発

津軽海峡海流でプロペラを回転させて電気エネルギーに変換する潮流発電システム

④ 熱交換井による浅地下熱利用融雪、冷房およびハウス栽培応用の研究

温度の季節変動が少ない浅地下にパイプを巡らせて水を循環し、汲み出される地熱を融雪や冷房、ハウス栽培熱源として利用する。

⑤ 風力運動エネルギーの摩擦による直接熱変換の研究

風力により円板を回転させて生じる摩擦熱を、流体に蓄熱させて利用する。

⑥ 中低温廃熱の貯蔵・輸送に適した中低温で相転位する物質の開発および

それを利用した蓄熱・熱輸送の研究

これらのプロジェクトの根底にあるものは、いままでの 20 世紀を支えたエネルギー利用のあり方ではだめで、発想を大きく転換させたものでなければならないということです。たとえば

○ 東北地方の寒冷、積雪に対処する、暖房や融雪における熱の利用では、何も石油の燃焼のように高い温度はいらない。低い温度で利用すれば 効率は高く、また環境破壊も起こさない。

○ 今までは熱エネルギーを電気エネルギーや、運動エネルギーに変える形でエネルギー利用を行ってきたが、自然エネルギーや廃熱のエネルギーを直接熱エネルギーとして利用する方式は、 寒冷地北東北においては、新しい有効な方法となる。

というものです。

## 2．再生可能エネルギー利用のあり方

青森県は、いままで述べたように、風力、海洋いずれをとっても日本最大級の自然エネルギーの宝庫といえます。いままで厄介者であったものが、逆に地域に恩恵を与えてくれる福の神に変わり得るチャンスであり、また今まで生産基盤の弱かった北東北地域にとって自立できるチャンスであります。しかしどうやってこのチャンスを生かすかが問題です。

京都議定書が採択され、RPS 法（電力業界による新エネ利用割り当て）が導入されるに及んで、中央の大手業界はにわかに青森の豊富な風力エネルギーを狙って金儲けに動き出しています。風力発電機の設置では送電線で電気が送れる地域ではすでに大部分が手がつけられたと聞いています。急速に青森県の風力発電が増えたのは、ここにその理由があります。

下に鰺ヶ沢町に NPO 法人が建てた風力発電機の概要を示します。

- 総事業費 3億8千万円
- NEDO 補助 1億9千万円
- 予想年間発電量 370万kWh
- 東北電力購入単価 11．5円／kWh
- 年間売電収入 4255万円
- 固定資産税 300万円

この概要によりますと、設置には4億円近くかかりますが、そのうち半分は国から補助が出るので、売電によって維持費を入れても5年程度で元が取れる計算になります。あとは純収入になります。これが大手が殺到する理由であります。一方地元に落ちるお金は、年間 300 万円程度の固定資産税と土地借用量20万円程度であり、せっかくの地域のエネルギーが地域活性化に生かされていないという言うことになります。

前に述べたように RPS 法は、電気事業者に対し、販売電力量に応じた一定割合以上の新エネルギー電気の利用を義務付けたものであり、その義務を達成した東北電力は買電価格を 11 円50銭から一気に3円50銭に下げてしまいました。気まぐれな風力を使った発電の電気は、不安定で買取義務がなければ電力会社は買いたくないという事情があります。これは地球温暖化防止のための再生可能エネルギー利用促進という観点からは大きいなマイナスであります。これは利用義務の割り当てがヨーロッパから比べれば大幅に少ないということによるものであり、政策として

も遅れたものといえます。しかし、この東北電力の通達によって、中央大手の風力発電機設置ラッシュは足踏み状態になっておりますが、逆に青森県にとっては、地域活性化に利用するためのチャンスを与えたことにもなっています。

さらに、送電線の来ていない場所での強風地域は多くあります。これら地域では以前に述べたように、風力エネルギーは密度が薄いので、送電線を設置してまで使うのは割りに合わないので、大手業者も手をつけることはできません。いわゆる20世紀の儲け主義が及ばないところに、再生可能エネルギーの特徴があるということになります。

### 3. 不安定な再生可能エネルギーをどう克服するか。

風力発電など再生可能エネルギーの最大の欠点は、一定した供給が得られないということです。風は特に気まぐれで、発電できない日が5日くらい続くときがあります。これにはどう対処したらよいのでしょうか。下に述べるように、幾つかの方法が考えられます。

1. 発電が不足するときだけ電力会社から買う。

この方式が一番容易な方法です。特別に設備やシステムを用意する必要がありません。ただし本当の自立のためにはやはり、独自の対応策をとるべきと考えられます。

2. バイオマス発電など、ほかの自前の発電方式を採用する。

最近バイオマスマスなど、新エネルギーを使った小型発電機の開発が急激に進んできました。また夜の電気は使われないので、発電しても無駄になります。この電気を使って電気分解により水素をつくり、タンクに貯めておいて、風のないときに燃料電池で発電して使う方式はきわめて有効です。この自立型発電システムは、発展途上国には有効な方式で、輸出も可能になるでしょう。

3. 発電しているときだけ使う体制を確立する。

工場などで大電力を使う場合は、不安定な再生可能エネルギー供給に対応したシステム、すなわち自然に即応したシステムを構築することも大切です。

20世紀は大量生産・大量消費のため、大電力・安定供給が必須条件でしたが、21世紀ではその方式を改めなければなりません。電気は保存が効かないので、電力が供給されているときだけ利用するような方式の確立は、地域のエネルギー利用にとって非常に重要です。これは単に技術などのハードの側面だけでなく、風の予測に基づいた運転など、ソフトの側面による開発がこれから求められると思います。

### 4. 地域活性化は地域住民の自からの手で

自然エネルギーは薄く広く分布するので、少量を分散して使用する自給自足型利用に適しています。このことはかなり本質的なことであります。自分たちの地域のエネルギーを自給自足し、さらに自分たちで作った地元の工場で使うという方式が極めて有効ということになります。そうすれば

1. 雇用も生み出されるし、住民参加の地域の自立を生み出します。
2. 設置に風力発電機以上に費用のかかる送電線が不要で、風のある地域ではどこでも可能です。
3. 電気は貯蔵は効きませんが、製品という形で貯蔵できます。
4. 今や送電線が近くにあったとしても電力会社は1kwh3円でしか買ってくれません、私たち

が使う場合は、家庭用で 23円、業務用電力18円です。絶対に発電した分は自分たちで使ったほうが得です。
また豊富にあるバイオマス資源・エネルギーは、林業・農業・畜産・食品加工などからの廃棄物のリサイクル利用ということで、資源を外国からの輸入に頼らないで済み、21世紀型産業の中心となることが期待されます。またこのバイオマス利用の技術は、中国・ロシアなどに輸出することが可能です。

このように、地域の自己調達可能なエネルギー源と資源を使い、地域住民の自律的且つ自立的参加によって、可能となります。そしてこのことによって、地域の特色ある産業が生み出され、地域での雇用の場が生み出され、地域住民が生き生きとして暮らせる新しい社会が実現します。青森県の豊かな自然エネルギーとバイオマス資源は、この社会の創出を可能にする鍵を握っています。

今までの地域の産業は、とか<中央の後追いという形で進められてきましたが、21世紀に入った今、地域置き去りの、中央集権的大量生産、大量消費そして使い捨ての社会に代わって、地域の特色を生かした、真の意味での豊かさをもたらす、地域自立型社会の創生が可能になります。

エネルギー・環境・放射線セミナー
平成18年8月22日
於：たかつガーデン

Department of Electric and Electronic Engineering
Faculty of Science and Engineering
Kinki University

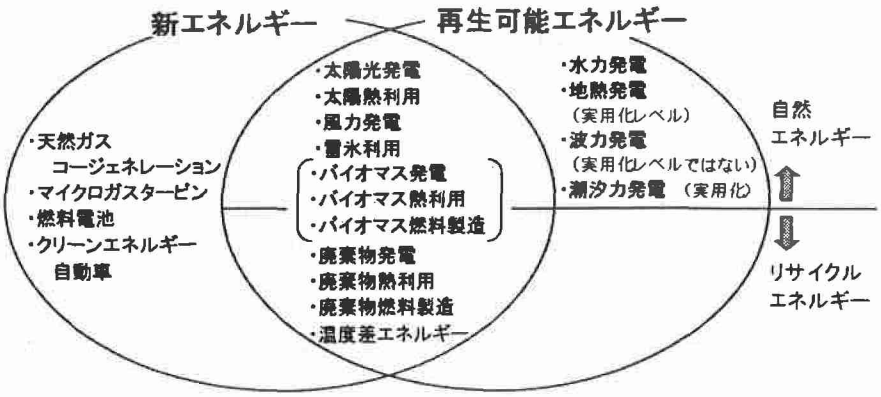
# 新エネルギーへの期待と解決すべき課題

近畿大学 理工学部 電気電子工学科
助教授　渥美　寿雄

## 「新エネルギー」、「再生可能エネルギー」、「自然エネルギー」とは

新エネルギー(New Energy)：技術的に実用化段階に達しつつあるが、経済性の面での制約から普及が十分でないもので、石油代替エネルギーの導入を図るために特に必要なもの。

再生可能エネルギー(Renewable Energy)：エネルギー資源が次々と再生され、利用が継続できるエネルギー。欧米では、この言葉の方が多く使われる。




クリーンエネルギー自動車：天然ガス自動車、ハイブリッド自動車、電気自動車、メタノール自動車、燃料電池自動車、水素ガス自動車

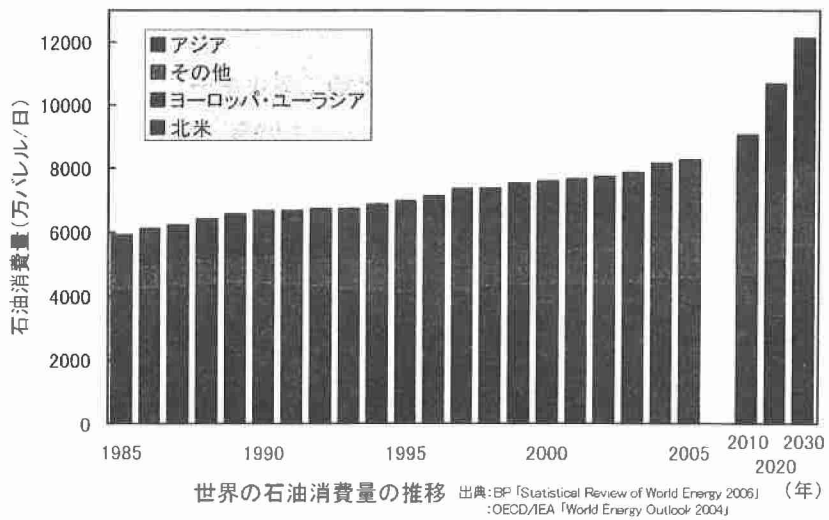
（資源エネルギー庁、新エネルギー財団、新エネルギー・産業技術開発機構の資料をもとに作成）

## 今日の話題

1. 新エネルギーへの期待
2. 太陽光発電
3. 風力発電
4. 水素エネルギー・燃料電池
5. まとめ

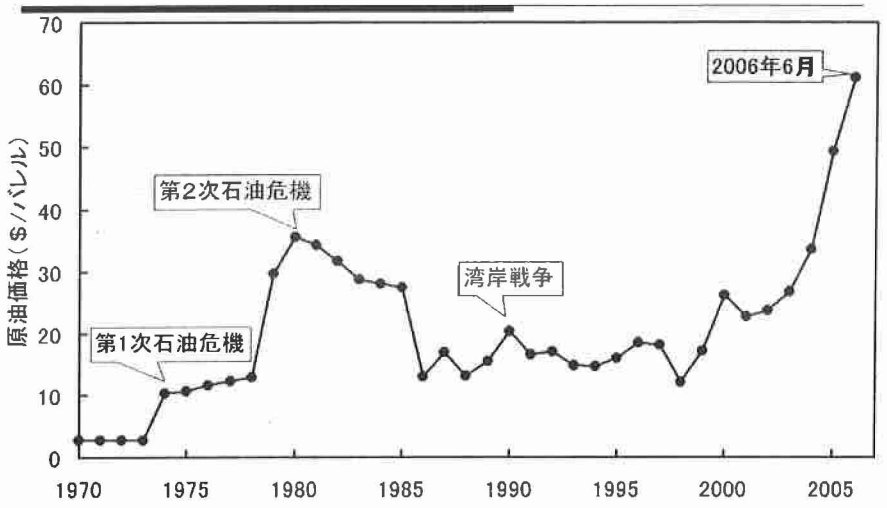
## 1. 新エネルギーへの期待

### 原油消費の増大



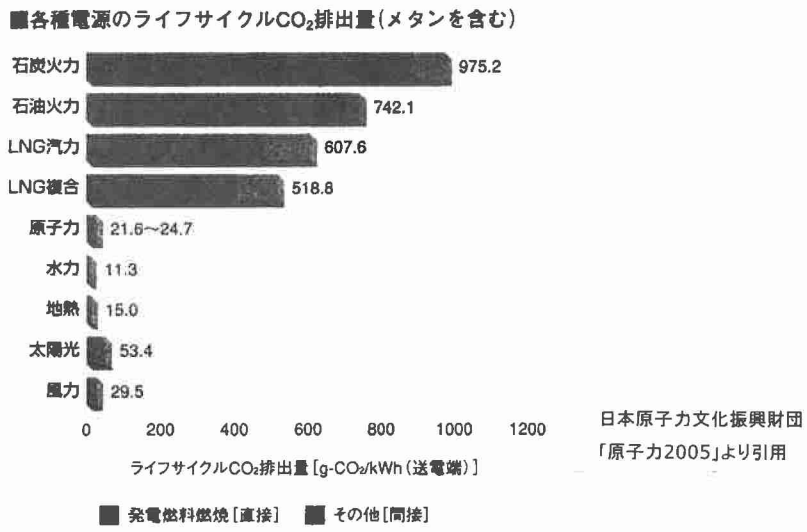

世界の石油消費量の推移　出典：BP「Statistical Review of World Energy 2006」
：OECD/IEA「World Energy Outlook 2004」

## 原油価格の高騰




原油価格の変遷（ドバイ原油） 出典：BP「Statistical Review of World Energy 2006」

## 二酸化炭素の排出削減



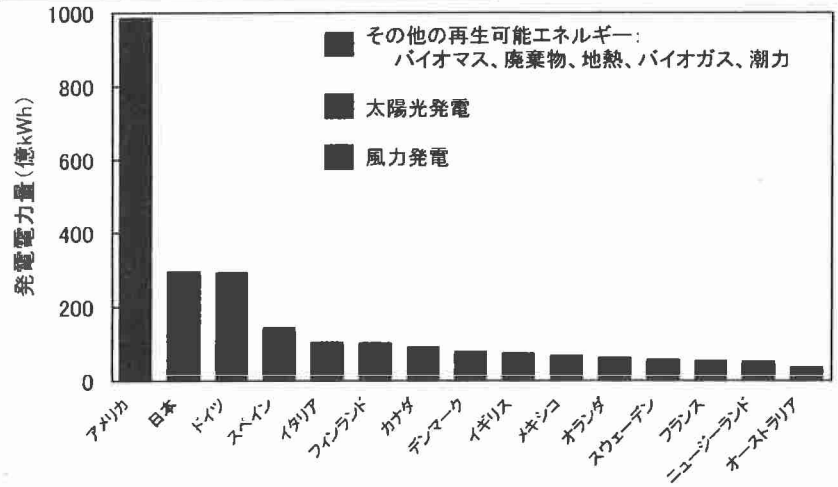

日本原子力文化振興財団
「原子力2005」より引用

## （問題1）

日本は、新エネルギー（再生可能エネルギー）の導入で欧米諸国より遅れている。

| ○ | △ | × |
|---|---|---|

## 日本は、「風力発電」の導入量は少ないが、再生可能エネルギー全体では、かなり健闘している




OECD加盟国の水力発電以外の再生可能エネルギーによる発電量（2002年）

（出展：World Energy Outlook 2004）

## 2. 太陽光発電

### 太陽光発電の長所・短所

□ 長所
- 利用できるエネルギーが無尽蔵で資源枯渇の心配がない
- 発電時に環境負荷となる物質を出さず、二酸化炭素排出削減に有効(クリーン)
- 出力のピークが電力需要のピークと一致し需要に対応しやすい
- 可動部がないため保守が容易
- 国産のエネルギーとしてエネルギー自給率向上に貢献できる
- 長寿命(15年～20年)
- 設備が比較的簡単に作れる(各家庭で設置できる)
- 用途や地形に合わせて設置できる
- 量産性が高い

□ 短所
- 発電量が、時間、季節、気象条件に左右され、不安定な電気となる
- 太陽のエネルギー密度が低く、大面積を必要とする
- 発電効率が低い(約15%)
- 夜間は発電できず、設備利用率が低い(11～15%)ため、期待できる発電量が低い
- 得られる電気は直流であるため、交流に変換する必要がある
- 現時点では高価である
- 日本では、将来の供給力が十分でなく、電力供給の主役になることは極めて難しい

## 3. 風力発電

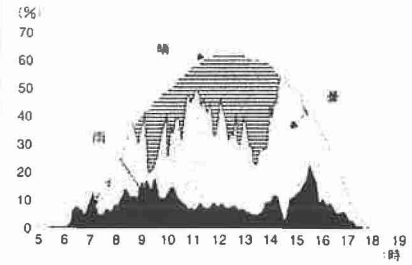
### 風力発電の長所・短所

□ 長所
- 利用できるエネルギーが無尽蔵で資源枯渇の心配がない
- 発電時に環境負荷となる物質を出さず、二酸化炭素排出削減に有効(クリーン)
- 発電効率が比較的高い(最大40%)
- 国産のエネルギーとしてエネルギー自給率向上に貢献できる
- 再生可能エネルギーの中では、比較的安価で、風況によっては、既存電源と十分に競合できる

□ 短所
- 発電量が、風速によって変化し、不安定(不規則で間欠的)な電気となる
- 計画的な発電ができない
- 年間平均風速6m/sの場所が求められるが、日本ではこれに適する地点は多くない
- 設備利用率が低いことが多く(10～30%)、期待できる発電量が低い
- 設備が高価であるため、稼働率が20%を超えなければ発電コストが高くなる
- エネルギー密度が低いため、大面積を必要とする
- 風車が回転する際に騒音(ギア音、風切音)や振動を発生し、民家の近くに設置できない
- 低周波ノイズや干渉により、電波障害の原因となることがある
- 鳥やこうもりが衝突して死傷する問題がある(バードストライク)
- 台風の際には停止せねばならず、超大型台風や落雷で損壊することがあり、安全性で問題がある
- 景観を損なう
- 設置および風速確保のために付近の森林を伐採したり、自然環境を変えてしまうことがある
- 夏期に電力需要のピークが来る日本の電力事情と合いにくい
- 日本では、将来の供給力が十分でなく、電力供給の主役になることは極めて難しい

# 不安定な電力

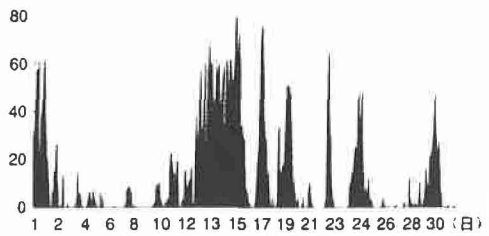
出力比：発電出力／定格出力




資料：資源エネルギー庁調べ

太陽光発電の天候別発電電力の変化

出力比（発電出力／定格出力）%



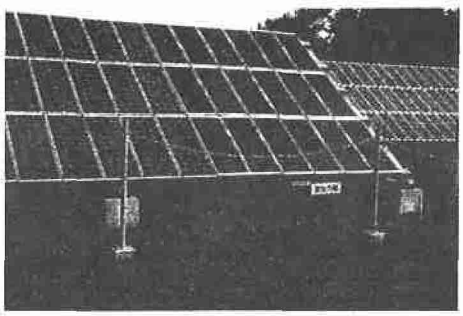

資料：資源エネルギー庁調べ

風力発電の発電電力の変化

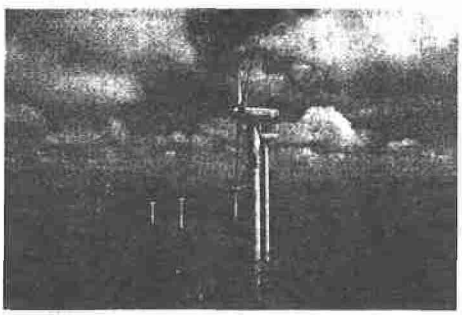
（青森県竜飛ウィンドパーク1999年8月のデータ）

経済産業省「エネルギー白書2005年版」より引用

# 設備利用率（止まっていたり低出力で動いている時もある。実際にどれだけ働いたか）



松山太陽光発電所（愛媛） 300kW
（太陽電池パネル6300枚、9000m²）



瀬戸風力発電所 合計1万1千kW
（タワー高50m、プロペラ長30m、1000kW発電機11基）

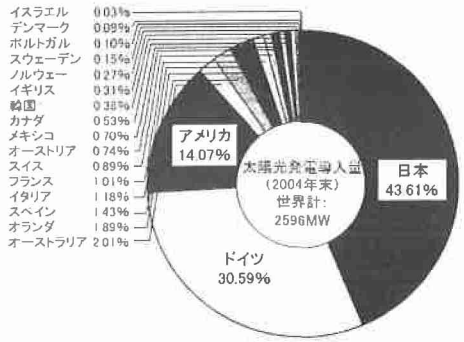
この施設の3656倍で、110万kWの原子力発電所1基に匹敵する

300 kW ×0.15（設備利用率）
110万kW×0.85（設備利用率） ⇒ 20777倍

風力発電機100基で、110万kWの原子力発電所1基に匹敵する

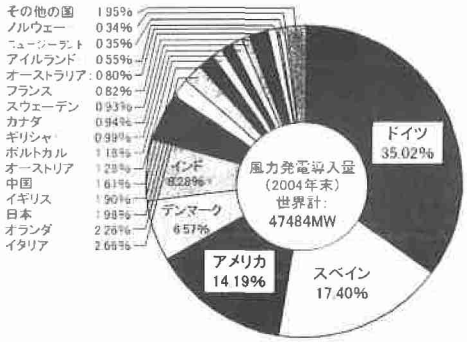
1000 kW×0.30（設備利用率）
110万kW×0.85（設備利用率） ⇒ 3116倍

## 世界の太陽光発電、風力発電の導入状況




太陽光発電の導入量(設備容量)(2004年末)

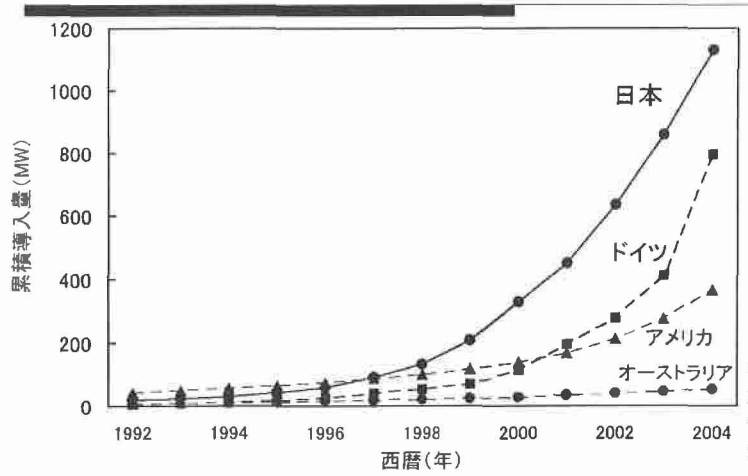
出典:IEA-PVPS「Trends in Photovoltaic Applications」(2005)




風力発電の導入量(設備容量)(2004年末)

出典:IEA「Renewables in Global energy Supply」(2006)

## 太陽光発電で、日本は頑張っている




*2005年末データ:2006年8月公表予定。1位はドイツが逆転

太陽光発電の導入量(設備容量)

出典:IEA-PVPS「Trends in Photovoltaic Applications」(2005)

## （問題2） 太陽光発電と風力発電

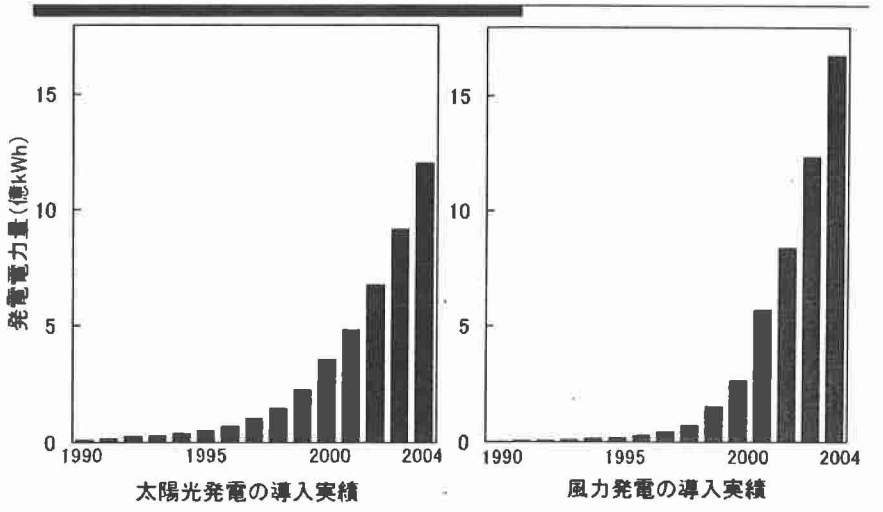
□ 2004年末現在、太陽光発電と風力発電は、それぞれ電気の0.2%、0.15%をまかなっています。

では、これから国や自治体、国民自身が最大限の努力を払ったとして、2030年頃に、この2つで日本の電気の何%がまかなえると思いますか？

| ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
|---|---|---|---|---|
| 5～10% | 10～20% | 20～30% | 30～40% | 40～50% |

参考：デンマークでは、現在風力発電で電気の20%を生産

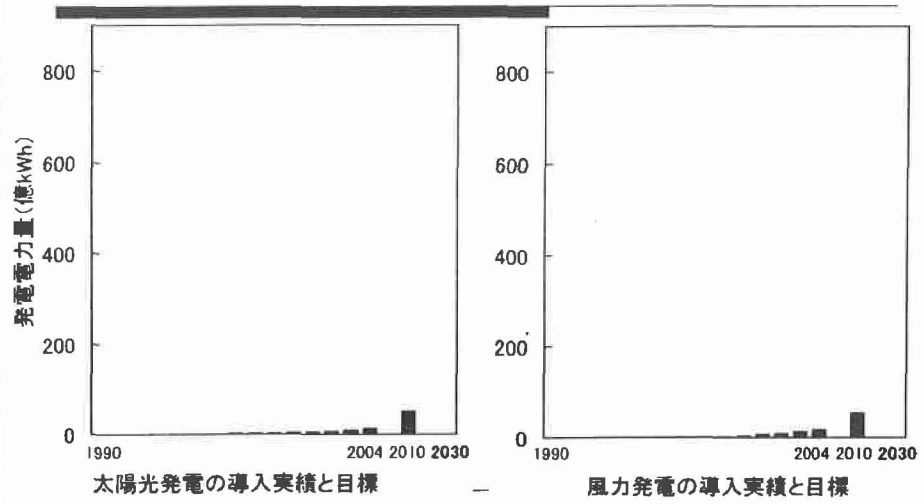
## 日本における太陽光発電と風力発電の実績




出典：IEA-PVPS「Trends in Photovoltaic Applications」(2005)

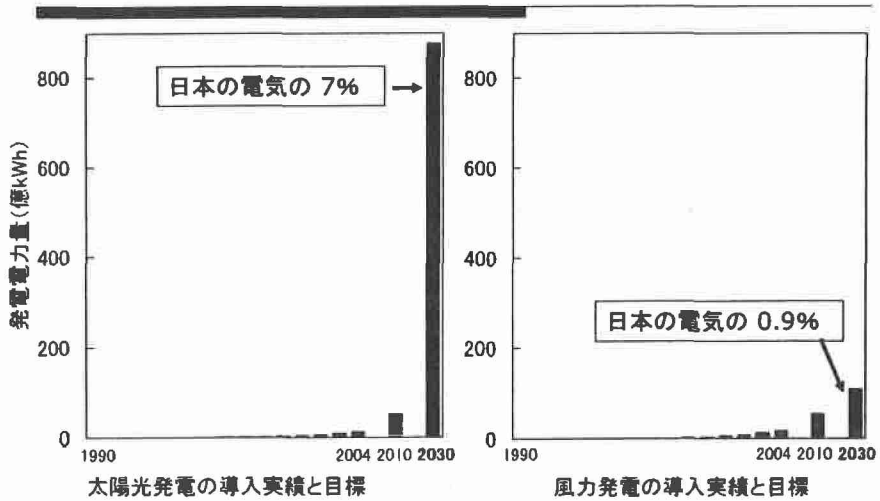
IEA「Renewables in Global energy Supply」(2006)

## 日本における太陽光発電の実績と目標(2010年)




出典:IEA-PVPS「Trends in Photovoltaic Applications」(2005)
IEA「Renewables in Global energy Supply」(2006)

## 日本における太陽光発電の実績と目標(2030年)




出典:資源エネルギー庁「2030年のエネルギー需給展望」

## 太陽光と風力発電の「潜在導入可能量」

新エネルギーは、合計で10%？、残り90%は？

□ さまざまな試算がある
- ・電力中央研究所
  - 太陽光発電　2～5%
  - 風力発電　　1%
- ・政府（経済産業省・資源エネルギー庁）の目標（2030年）
  - 太陽光発電　7 %
  - 風力発電　0.9 %

□ 風力発電
- ・年間平均風速6mを超える場所でないと、赤字になる。そのような風の条件に恵まれた場所があまりない。
- ・日本の電力事情に合わない（夏に電気が必要、でも風が無い）

□ 波力発電
- ・日本の沿岸すべてに設置して日本の電力需要の5%

## 4. 水素エネルギー・燃料電池

□ 水素エンジン車、水素ジェットエンジン飛行機

□ 燃料電池
- ■ 自動車用推進システム
- ■ 家庭用電源

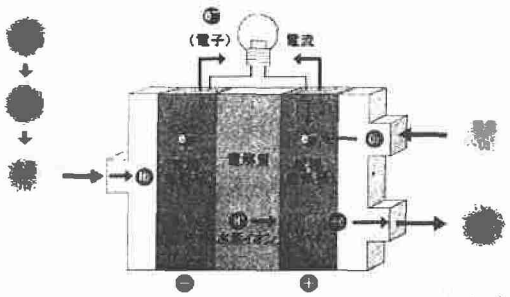
水素の特徴

【長所】
- ・単位質量あたりの燃焼熱が大きい
- ・原理的には、クリーン
- ・資源として無尽蔵

【短所】
- ・単位体積あたりの燃焼熱が小さい（貯蔵方法の問題と実用上の問題）
- ・天然にほとんど存在せず、化石燃料や他のエネルギーを使って生産しなければならない
- ・燃焼温度が高く、そのまま燃やすとNOxを発生する
- ・爆発を起こすことがあり、安全対策が必要

# 燃料電池の原理

●燃料電池のしくみ※



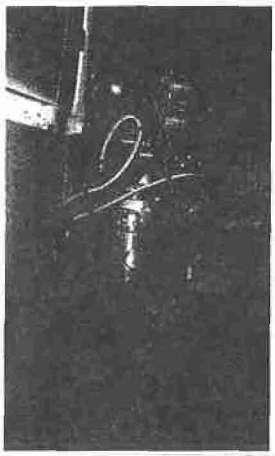

新エネルギー財団ホームページより引用

水の電気分解

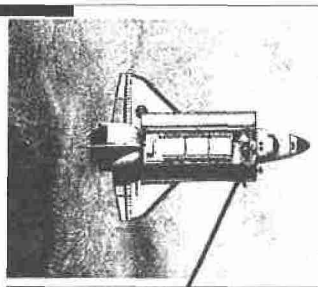
$2H_2O$ +電気エネルギー ⇄ $2H_2+O_2$

燃料電池

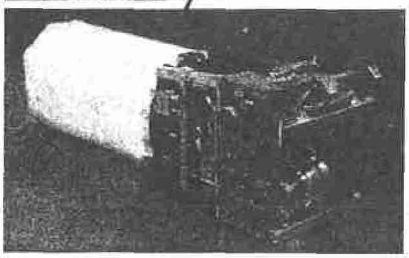
# アポロ宇宙船やスペースシャトルにも搭載



左：月着陸を行ったアポロ宇宙船の「燃料電池」（1960年代）



右：スペースシャトルとスペースシャトルの燃料電池

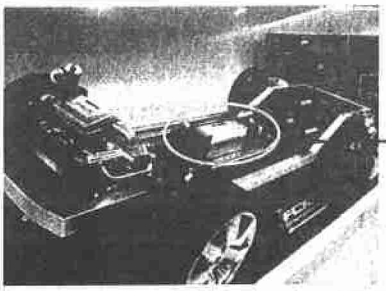


（NASAホームページ、Spaceholicホームページより）

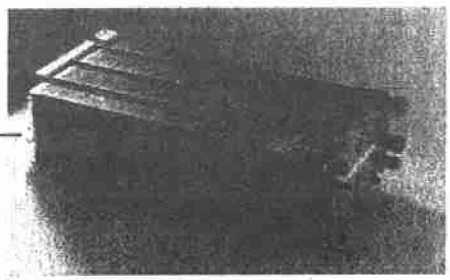
## 燃料電池自動車

ホンダ　FCX

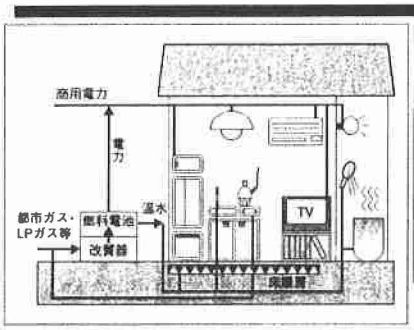
(ホンダホームページより)

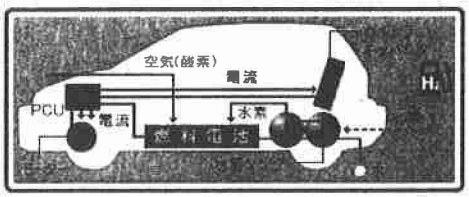


燃料電池スタック(本体)



## 家庭用燃料電池と自動車用燃料電池




■天然ガスを受け取って発電
■温水の貯湯設備が付属して大きくなる
■燃料電池が比較的高温で運転
（高価な触媒があまり必要ではない）
■出力は、1kW～2kW程度

■水素を貯えるタンクが必要
■極力コンパクトにしなければならない
■燃料電池は、100℃以下で運転
（高価な触媒（白金）が100g以上必要）
■出力は、70kW～90kW

図：新エネルギー財団ホームページより引用

## 水素エネルギー普及への課題

- 水素貯蔵技術の開発（車載用燃料電池）
  - 軽量、コンパクト、安全、安価な方法の確立
    （圧縮ガスでは、体積を取りすぎ、十分な走行距離が出せない）
- 水素製造技術の確立
  - 天然ガスからの改質、バイオマス、原子力、風力などを総動員しないと供給しきれない
- 水素インフラ（製造、輸送、貯蔵、供給設備）の整備
- 燃料電池の低コスト化
  （自動車用は、現在1台1億円）
- 固体高分子形燃料電池の耐久性向上
  （自動車用は、現在2000時間）

## 5. まとめ

- 新エネルギーの必要性は非常に高い
- 新エネルギーの供給力は、およそ電力需要の10%
  （残りの90%をどうするかの議論が必要）
- 新エネルギー導入における課題
  - 技術的課題：コスト低減、性能向上、耐久性向上
  - 政策的課題：さらなる導入加速のための施策が必要
    （太陽光発電の首位がドイツに移った）

# 原　子　力　と　政　治

元読売新聞論説委員
中　村　政　雄

イランと北朝鮮の原子力開発が世界各国の注目を集めている。軍事利用が目的ではないかとの疑いである。原子力発電は平和利用だが、平和利用の技術でも軍事転用が可能であり原子力発電が普及すると核拡散になるのではないかという懸念を米国は持っており、日本などの原子力平和利用をしばしばけん制してきた。このけん制策が原発反対運動の背景になっている。

## 超大国による不拡散の身勝手な論理

茨城県の旧動燃事業団に１９７７年、高速増殖炉実験炉「常陽」と再処理工場実験施設が完成した。さあ試運転を始めようというときだった。就任したばかりのカーター米大統領から「待った」がかかった。

再処理とは使用済みの核燃料からプルトニウムと燃え残りのウランを取り出すことで、高速増殖炉はそのプルトニウムを燃料にする未来型の発電用原子炉である。平和利用に限るなら問題はないが、プルトニウムを取り扱う装置が軍事利用されると大変なことになるというのが理由だった。

その前年の１０月２８日に、フォード米大統領も同じ趣旨の「核拡散防止と核平和利用促進に関する新政策」を発表していた。「核拡散の危険を防止できるという十分な結論が得られるまで、プルトニウムの抽出を行うべきではない。核技術および核燃料物質の輸入国は、プルトニウムを抽出する再処理およびウラン濃縮工場の建設をやめるか、延期することを歓迎する」という内容だった。

天然ウランのうち原子炉の燃料になるウラン２３５は0.7%しかない。燃えやすくするため、これを３～５%に濃くする作業がウラン濃縮である。この程度の濃縮ウランでは核兵器に使えないが、９０%以上に濃縮すれば軍事利用できる、という理由で日本独自の濃縮工場を持つことに反対した。

カーター政権はもっと積極的にこの政策を徹底させようとしていた。「米国は開発中の高速増殖炉研究、プルトニウムの発電利用、民生用の再処理工場の建設を止める。米国から技術や核燃料物質の提供を受けている国は止めてほしい」という要請だった。

米国はこのとき日本に対し「プルトニウムの利用はダメだ」と言っていたが、その３年前には使用を強制していた。

１９７４年８月６日、当時のレイ原子力委員長は、米上下両院合同原子力委員会で次のように証言している。

「米原子力委員会の濃縮ウラン供給力は、急増する世界の原子力発電所の建設に追いつかないおそれがある。１０年後には原子力発電所で副生するプルトニウムを、濃縮ウランの代用に使うことを義務づける。日本については、１９８２年までに完成する２７基２８００万ｋＷの原子力発電所のうち８基がこれに該当する」

九州電力などいくつかの電力会社が米国とウラン濃縮業務の契約、つまり濃縮ウラン購

入に当たって、プルトニウムの利用（プルサーマル）を約束させられた。そこへ「プルトニウムの利用はやめよう」という呼びかけである。

米国は濃縮ウランの製造についてもわが国をけん制した。日本でも研究が進んで、濃縮ウランを国産しようという気運が高まった時期があった。そのとき米国は巧妙なけん制球を投げてきた。「濃縮技術売ります」という話を持ち込んだのである。

当時の中曽根康弘防衛庁長官を通じて、まず電力業界の気を引く打診があった。次いで１９７１年３月、東京で開かれた日本原子力産業会議第４回年次大会で、米原子力委員会オークリッジ濃縮工場のＳ．サピアリー運営事務所長が、濃縮工場の写真を初公開し、「濃縮技術は米国依存が得策」と発表して、国産化に水をかけた。

ウラン濃縮技術はトップ機密だ。米国でこの機密を漏らせば最高死刑が待っている。その技術を「提供する」というのだから、青天の霹靂だった。

これを受け、１９７２年８月にハワイで開かれた日米首脳会議で、日米合併のウラン濃縮工場を太平洋地区に建設することが決まった。日本の電力業界と米国企業との間で準備会社が結成され、日本側は３００万ドル（当時９億円）を米国に払い込んだが、この事業はその後立ち消えとなった。

米国の得意の手は「経済性」という甘いささやきである。日本の電力業界がコストに弱いことをよく知っている。「日米合併が最も安上がり」と売り込んできたあの手口で。再び働きかけたのが、２００４年春、経産省の若手官僚の作と巷間伝えられた怪文書「１９兆円の請求書」である。永田町や霞ヶ関に出回ったこの怪文書は、非常にわかりやすい表現で、コスト高だから青森県六ヶ所村の核燃料再処理工場を凍結せよと主張していた。朝日新聞がその宣伝役をつとめた。続いて、使用済燃料の再処理と直接処分の費用比較を経産省はしていたのに隠していた、という記事も出て、朝日新聞は「再処理工場の運転凍結」を求める社説を掲げた。自民党の河野太郎衆院議員が反対派の招きで青森に出かけ、再処理反対の演説をした。

「日本のプルトニウム利用は経済性がない。ウラン・プルトニウム混合酸化物（ＭＯＸ）燃料の価格は濃縮ウランの５倍か１０倍だ。いずれ経済性からやめるのが好ましいことに思い当たる時期がくる。ウラン資源はまだ十分ある。あわてることはない」とクリントン政権以来、米国の核不拡散派は言い続けてきた。

「日本が再処理を中止すれば、日本だけでなくヨーロッパのプルトニウム利用もストップする。北朝鮮やイランなどの国が核兵器を持つ可能性を下げる効果がある」と米国政府は見ていた。「１９兆円の請求書」はこの見方に沿った文書だった。この頃、米国から再処理反対の専門家も来日した。

ドイツは日本以上にきびしい米国のけん制を受けてきた。

遠心分離法によるウラン濃縮技術は１９６０年ドイツのＧ・ジッペ博士が開発した。ただちに米国政府から指示が出て、この技術は凍結された。この技術があれば住宅の地下室程度の施設で原爆の製造が可能だと米国政府は判断した。いま問題になっているイランの

ウラン濃縮技術は遠心分離法だし、南アフリカ共和国が核爆発実験を成功させたのも、この方法で作った濃縮ウランである。

ドイツはこの技術による濃縮工場をどうしても建設したいと米国に要請。西ドイツ、イギリス、オランダ共同出資によるウレンコという会社を設立、工場はイギリスのカーペンハーストとオランダのアルメロに置かれ、ドイツ国内ではなかった。ドイツのグロナウに濃縮工場を着工できたのは１９８２年のことだった。再処理工場はバッカースドルフに建設中だったが、経済性がないという理由で放棄した。フランスの圧力に屈したのである。

国際原子力機関（ＩＡＥＡ）は、原子力エネルギーの軍事利用を防止するため、保障措置という制度を設けて各国の核燃料物質と原子力施設を査察し、監視している。その主目的は日本とドイツに核武装させないことにあった。狙いをつけた日独に核武装の意志はなく、イスラエル、インド、イラク、北朝鮮などが“危険な国”になった。

ドイツは連合国と２度も大戦をしたせいか締め付けがきつい。大型ロケットの製造がいまだに認められていない。

「プルトニウムは核兵器に転用できる」と米国は主張するが、兵器用プルトニウムは分裂性のプルトニウム２３９の割合が９０％以上であるのに対し、原子力発電所の使用済み燃料から抽出されるプルトニウムでは約６０％だ。この程度の濃度では核兵器にならないと日本の専門家は主張するが、米国の専門家は「兵器に使える」という。日本は兵器の設計も実験もしたことがないので反論は弱い。

以前は米国もそのように考えていたのだが、１９７４年５月にインドが研究用原子炉の使用済み燃料を再処理して得たプルトニウムで核爆発に成功、その後米国が同じようなものを使って爆発させることが出来た。このことが米国のプルトニウム政策を１８０度転換させるきっかけになった。

## 核不拡散と反対運動

しっかり押さえつけられていたはずの旧西ドイツが、米国の手を払いのけて立ち上がろうとしたことがあった。１９７６年１月に締結された旧西ドイツのブラジル向け原子力技術の輸出である。

西ドイツの原子炉メーカーであるクラフト・ベルク・ユニオン（ＫＷＵ）が米国の市場勢力圏とみられていたブラジルから原子力発電炉８基、ノズル法ウラン濃縮設備、再処理施設など総額８０億ドル（当時の日本円換算で約１兆４５００億円）を受注した。

米国政府は「うちの裏庭に核兵器工場を作るのか」と驚いた。原子力発電所を運転すればプルトニウムが生まれる。再処理施設でプルトニウムが抽出できる。濃縮工場からは、もちろん濃縮ウランを生産できる。核拡散防止条約（ＮＰＴ）にまだ未加盟だったブラジルが、これらの施設を操業すれば核兵器を持つことが可能だ、と米国は考えたのだろう。

米国は西ドイツ政府に対し、この契約を認可しないよう働きかけた。米国政府の了解を得ようと西ドイツの外相は頻繁に大西洋を往復、ワシントン詣でをした。当時のシュミット首相も訪米し、もう２度としないから今回の契約だけは認めてほしいと懇願した。

その努力は空しかった。１９７７年６月１７日、西ドイツ政府は「当分の間、再処理施設、技術の輸出を承認しない」との声明を出した。シュミット首相は、この措置は同日行われた西ドイツ・フランス定期協議の場で、フランスの同意も取りつけていることを明らかにした。フランスはこの頃、韓国とパキスタンに対し、サンゴバン社の再処理技術を輸出しようとしていた。

韓国は米国から「中止しなければ在韓米軍を引き揚げる」との脅しを受けて、再処理技術の導入を打ち切った。フランスはパキスタンには設計図と資材の８０％を渡していたそうだが、アメリカの圧力によって、「パキスタンが希望してフランスが解約に応じた」という形でけりをつけさせられた。両国とも核兵器を開発する目的があった、と米国政府は判断したからである。

フランス政府は１９７７年１２月１６日の第３回原子力対外政策審議会（議長ジスカールディスタン大統領）で、今後新たに使用済み燃料再処理工場の輸出契約は締結しないという方針を決定した。

こうした一連の動きは、１９７６年１０月にフォード米大統領が掲げた核拡散防止のための原子力政策、そのあとを受けて９７年４月７日カーター大統領が発表した「再処理凍結および高速増殖炉開発延期などを含む原子力政策」によるものである。わが国では茨城県東海村に完成し、運転開始を間近にしていた動燃事業団の再処理工場に「待った」がかかった。

奇妙なことにこの時期、ヨーロッパでの反原発運動は熾烈を極めた。まるでカーター原子力政策の支援運動のように思えた。

１９７７年夏の一か月間だけでも、フランスでは高速増殖炉スーパーフェニックス、スイスのゲスゲン、スウェーデンのバルセベックなどの発電所建設現場へのデモが頻発した。参加者はスーパーフェニックスの２万人をはじめ、５，０００～６，０００人以上のことが多かった。スーパーフェニックスへの反対デモは、カーター政策に逆らって高速増殖炉の大型発電所（１２０万キロワット）を建設したせいか、最も激しかった。死者１人、負傷者１２０人が出た。

スウェーデンで急激な反対運動が起きたのは、軽水炉から出る使用済み燃料を再処理しプルトニウムを取り出して高速増殖炉に使う計画があったからである。再処理工場のサイト選定も行われた。核兵器の研究開発計画があったという説さえあった。（政府の要人何人かに聞いてみたが、はっきりしなかった。）このことが背景になって反対運動が広がった。

スウェーデンの原子力のリサイクル路線は中止になった。ウランの需給が緩和し、高速増殖炉の開発を急ぐ必要性が低下したこともあるが、カーター米政権の提案による不拡散政策で再処理自体が議論の的になったからである。

１９７０年代なかば、ヨーロッパを中心に反原発運動が盛んだった時期、米国と旧ソ連はひそかに核軍縮交渉をやっていたことがあとになって分かった。自分たちが所有する核兵器を減らそうというのだから、ほかの国が持つ可能性を下げようとするのは当然である。原発反対運動の背後に、米国の手が動いたと考えて少しも不思議ではない。

「原子力ジャーナリスト国際会議」が１９８９年３月、東京のプレスセンターで開かれた。フランス、西ドイツ、スウェーデン、英国の４か国の新聞社、放送局から政治部長や科学部長が参加、私も加わって各国の原子力報道について議論したことがある。このとき西欧の参加者が一様に興味を持って質問したことは、日本の反原発運動が弱まったかどうか、彼らの情報がどこからくるかだった。私が「情報の多くは米国からくる」と答えると納得した。

現在、米国はロシアとの間で実際に核軍縮を実行中だ。以前よりいっそう核拡散に神経質になっている。核拡散のポテンシャルを下げたいとやっきになっている。リビアに核開発を放棄させ、イランや北朝鮮の核開発抑止に異常なほど熱心なのはそのせいである。

日本は核兵器を持たない国の中で唯一、再処理工場を保有している。１９８８年の日米原子力協定で米国は日本にＯＫしたから公式には反対しなかったが、腹の中では青森県六ヶ所村の再処理工場は中止してほしいと思っていた。「再処理はコストが高いから止めた方がいいですよ」という表現で、さまざまなルートを通じ日本に情報を流してきた。米国の核軍縮交渉がもう少し早く実っていたら、日本にプルトニウム利用を認めなかったに違いない。

## 再処理工場凍結論の背景

２００４年春、青森県六ヶ所村の核燃料再処理工場凍結論が出てきた。表面上の理由は「コスト高」だが、背後に米国の核拡散政策がある。

私は米国の首都ワシントンを訪れ、ホワイトハウス、国務省、エネルギー省、議会、大学、シンクタンクなどの３０人近い関係者にインタビューし、日本のプルトニウム利用について意見を求めたことがある。東京では考えられない厳しいものがあった。

「ロッカショ」（六ヶ所村）という言葉は私が会った人たち全員、びっくりするほどよく知っていた。「経済性のないプルトニウムを量産する、２００億ドルもかけたムダな施設だ」といっていた。「米国政府は核不拡散のため、プルトニウムを朝鮮半島や中東、東南アジアの諸国に使わせないよう大変な努力をしている。日本は自国のエネルギーのことしか考えていない。それで世界の秩序が成り立つのか」。

一言でいえば、そういう感じだった。それに、「今はいいが、いずれ日本は核武装するのではないか」という懸念も持っていた。

天然資源防衛協会理事トーマス・コックラン博士はこう語った。「米国は核兵器を削減中

で、できれば全廃したいと思っている。だが、日本は核不拡散の水準を下げようとしない。こういう態度では朝鮮半島の再処理にも反対できない。台湾、韓国の核武装を防いだのは米国の軍事的保障によるものだ。そういう努力を理解してもらいたい。」

私が会った大半の人々が、日本のプルトニウム利用計画を好ましくないと答えた。

ホワイトハウス科学技術政策局のスタッフで、日本政府との接触も多いプリンストン大学のフォン・ヒッペル教授の意見はこうだった。

「経済性にも疑問がある。日本の電力会社も選択の余地があればやりたくないといっている。経済性も必要性もないものに熱心であることに疑問を感じる。プルトニウムは自信を持って使えるようになるまで、使用済み燃料の中にそっと置いておくのがよい。使用済み燃料の中にあるプルトニウムなら持ち出せないが、分離したプルトニウムは持ち出せる。プルトニウムの本格利用は高速増殖炉だ。しかし、高速増殖炉はプルトニウムを使いこなす能力をまだ持っていない。」

米国政府の立場は、大統領の安全保障問題担当特別補佐官の語った話に要約される。

「日本に対し再処理をやめろとは言わない。日本の主張を外交的に受け入れようというのが米国の姿勢である。日本と米国とは対立していない。いずれ日本のプルトニウム利用は経済上の理由で、やめるのが好ましいと自ら思い当たる時期がくるだろう。北朝鮮は、日本が再処理工場を持っていることを理由にして、米国はわれわれを妨害していると非難するが、北朝鮮と日本とは全く違うので、米国は北朝鮮の言い分を受け入れることはない。しかし、日本がプルトニウム利用をやめるとクリントン（当時の大統領）は喜ぶだろう。」

ワシントンには日本とドイツにプルトニウムを利用させないことを目的に情報活動をしている団体が２つある。核管理研究所と天然資源防衛協会である。前者はロックフェラー財団や、モルガン財団など２３の財団から活動資金を受けている。後者は１７の財団が支援している。「表向き政府が反対できないから、あなた方は政府に代る裏工作部隊じゃないか」と言ったら否定したが、やっている内容はそうだ。どちらの団体も原子力資料情報室の高木仁三郎とアイリン・スミスに情報を提供していると語った。

## 政治に翻弄された原子力開発

原子力発電に逆風の風潮になると、腹の中では原子力発電が必要だと思っていても、推進派のレッテルを嫌う政治家や政党が増えた。ヨーロッパでは反対運動が活発になった１９７０年代なかばにその傾向が生まれた。原子力を支持すると、選挙でマイナスに働くからである。原子力は政治に翻弄された。その典型がスウェーデンだ。

１９世紀末、スウェーデンは最も貧しい国の一つだった。それが豊かな国になれたのは、エネルギーを大量に使うことが出来るようになったからである。原子力発電にも早くから取り組んだ。１９７１年に私が訪れた時は、ストックホルムから地下鉄で２０分の郊外住

宅のオーゲスタに温水供給用の小型原子炉が動いていた。

１９７０年にスウェーデンの議会は一院制になった。議院の任期は３年。このときを境に政治状況は激化した。議席数の伯仲時代がきた。数１，０００票の差で与野党が決まるほどきわどくなった。

政治の激動期の不満層を吸収して、それまで小勢力だった中央党が１９７３年～７４年に勢力を伸ばしたのは、原発反対をシンボルに掲げたからだ。このため原発反対が政権樹立の条件になった。

１９７６年の選挙で中央党など３党は、それまで３６年間政権の座にあった社会民主労働党に代わって与党となった。原発反対で議席数を増やした。

その３年後、総選挙の直前に米スリーマイルアイランド（ＴＭＩ）原発事故が起きて、原子力問題が再び政治の中心テーマになった。それまで原子力積極推進だった社民党のパルメ党首は、この情勢を利用して選挙を有利にしようと考え、方針を１８０度転向して原子力反対に変わった。それで選挙に勝ち、政権と取り戻した。

社民党が原子力を犠牲にしたのは、党内に分裂の危機があったことと、浮動票を失いつつあったからである。パルメ党首は、原子力を支持することで選挙に負けることだけは避けたかった。社民党は原子力に対する方針変更で、反対派の信頼を高めた。

１９８０年３月、国民投票で原子力発電所の段階的廃止が決まった。スウェーデンの電力は水力と原子力でほぼ半々に生産している。その原子力発電をいきなり廃止はできない。とりあえず現状を維持するための苦肉の策が国民投票だった。廃止の時期は決められていなかった。「いつ廃止にするか」と迫られて、政府は翌年、２０１０年までの廃止を決めた。

社民党が選挙で勝ち、保守党を除く５党中４党が原子力反対となったため、原子力は政治の問題にされなくなったとき、チェルノブイリ原発事故が起きた。政治家は国民の不安に関心を持たざるを得ない。「原発の半分は２０１０年より早く廃止しよう」ということになった。まず２基の廃止が決まったが、労働組合が反対して撤回させた。結局、脱原子力法を制定して９９年１１月にまず１基、５年後にもう１基廃止した。スウェーデンでは半年ごとに世論調査をするが、毎回、約８０％が廃止に反対、廃止賛成は１７～１８％に過ぎない。

「政治家は原子力反対と引き換えに、新たな問題を抱え込んだ」と有力紙スベンスカ・ダググラデットの政治部長だったマッツ・スベッグフォーシュ氏に会った時、そう語った。それは原子力に代わるエネルギー源をどうするかの問題である。代替エネルギー探しに多額の投資がされたが効果は上がっていない。太陽エネルギーを重視しているが、高緯度で日射量は多くない。風力発電もそれほど進まない。電気代を大幅に上げれば電力節約効果は出るが、国民の賛成が得られるかどうか。大規模な石炭利用に住民の支持はない。

最近の世界的原子力発電復活の風を感じたのか、原発反対だった中央党などの野党が、２０１０年までの原発廃止期限を延ばそうと主張し始めた。原発は２基止めたが、発電電力量は変わらない。残る１０基の出力を増加させて運転しているからである。

オーストリアでは完成したばかりの原子力発電所が、１９７８年１１月の国民投票で否定された。それはドナウ川のほとりリツベッテンルクにあるツェルナーフェルド原子力発電所で、いまだに動いていない。政治の犠牲になった。

この発電所が完成して政府が運転認可しようとしたとき、半年後に総選挙が迫っていた。当時、与野党の勢力は接近していた。わずかな選挙民の態度の変化で、与野党が入れ替わる状況にあった。ヨーロッパでは原発運動が活発で、政治家は誰も原子力を推進する責任からくるリスクを負いたくなかった。

与党の社会党は原発推進だが、党首クライスキーは党の責任を避けるため、議会に判断を委せようとした。発電所工事を着工した時の与党は保守党だった。そこで共同責任ということにして超党派で運転認可をしようと提案した。保守党は拒否した。拒否すれば選挙に有利になると判断したからである。

社会党内でも３人の議員がノーで、議決をしても棄権する議員もいることが分かって、国民投票に切替えた。国民に責任を転嫁したのである。投票の結果は 49.5 対 50.0。わずか３万票の差で「ノー」と出た。私は現地で取材したが、原発に賛成の人も反対の人も「イェス」が勝つと思っていたので、びっくりした。

「ノー」の背景はいろいろだった。原子力に反対の人はもちろんだが、スイスに近いチロル地方では「大嫌いなスイスには原発がある。だから反対」という人が少なくなかった。投票した人の１５％は原子力と無関係に政権に反対票を投じた。クライスキー首相は９年間政権の座にあり、すご腕で自信過剰だからこのさい自慢の鼻を折ってやろうということだった。変電所からでる温排水で、美しく青いドナウにワニが泳ぐようになっては大変だという環境派からの反対もあった。

国民投票半年後の翌年５月の総選挙で社会党は圧勝した。ほぼ五分五分だった議会勢力は２対１になった。「誰もがイエスと出ると思っていた原発投票がノーと出た。そんなはずではなかったという国民の気持ちが５月の投票で与党の圧勝となって表れた」という解説を現地で聞いた。

党の方針である原子力推進に失敗したが、党勢拡張は大成功だった。

イタリアでも政治が原子力発電を止めた。イタリアは原子力発電国だった。１９８６年には３基動いていた。社会党も共産党も公式に原子力発電を支持していた。原子力計画が日本レベルの政党間の摩擦におびやかされることはなかった。チエルノブィリ原発事故がこの事情を一変させた。

あとは当日お話します。

かって野党第一党だった日本社会党は、原子力発電に対する目本最大の批判政党だった。「原発反対」をしばしばスローガンに掲げたが、その政党の内情は一枚看板の「絶対反対」では決してなかった。反対から賛成まで、党内には５つの異なる立場があった。

社会党も初期の間は原子力推進だった。１９７１年頃までは、原子力発電所建設反対の

方針はなかった。社会党の原子力政策が変わったのは１９７２年１月の３５回党大会からである。初めて反原発の立場を鮮明にした。

あとは別紙の資料（中村政雄著「原子力と報道」（中公新書ラクレから抜粋）に。

## 社会党が唱えてきた「反原子力」の中身

反対に駆り立てたオイルショック

かつて野党第一党だった日本社会党は、原子力発電に対する日本最大の批判政党だった。「原発反対」をしばしばスローガンに掲げたが、その政策の内情は一枚看板の「絶対反対」では決してなかった。原子力発電に関して党内には五つの異なった立場があった。

①人類とは共存できない

②資本主義体制下での原子力利用には反対

③三～五年間のモラトリアム（凍結）を実施し、再点検を行う

④開発テンポをスローダウンさせる

⑤問題点は解決可能であり、容認できる

この五つのカードが絶えず党内で抗争を続けていた。いったいどれが本当の社会党の主張なのか、見分けが困難だった。

社会党も初期の間は原子力推進だった。１９７１年頃までは、原子力発電所建設反対の方針はまだなかった。新潟県柏崎市や宮城県女川（おながわ）町で、党員が自発的に反対闘争をする程度だった。

社会党の原子力政策が変わったのは１９７２年１月の第３５回党大会からである。青森、福島、新潟、福井など原子力に関係のある１９県本部の共同提案という形をとって「原子力発電所、再処理工場の建設反対運動を推進するための決議」が採択され、初めて反原発の立場を鮮明にした。

この党の方針は、党執行部によって入念に検討されて出来上がったものではなかったようだ。このときの様子を、日本社会党の後藤茂元衆議院議員が著書『険しきことも承知して』（エネルギーフォーラム）に次のように書いている。

「『地元で絶対反対のうねりが起こっている。党はその先頭に立って大衆運動を支持する』と、大きな声で大会の空気がつくられると、多くの代議員は沈黙するしかなかった。

大会が終わると、党執行部はこうした硬直した運動方針を、整合性のある方針に変えようと努力してきた。その中心になって政策を作っていくのは国会議員であった。学者、専門家の協力も求め、抵抗勢力から脱却して政権を担える政党に再生しようとして次の大会に提案する。しかし、地方の活動家代議員が現地の反対運動をとりあげて、眦を決して挑んでくると、執行部は押し切られてしまい妥協するという繰り返しであった」

社会党が原発反対に踏み切ったことには次のような背景があった。

①米国で環境保護世論が高まり、反原発が一躍ポピュラーな運動テーマになった

②同様に、わが国でも各地で反原発住民運動が激化した

③米国でＥＣＣＳ（緊急炉心冷却装置）の信頼性など、大型原子炉の安全性を否定する科学者の主張が現れた

④安保ー沖縄という戦後の革新（左翼）の最大の政治課題が風化し、新たな大衆的政治闘争課題を模索していた時期であった

とりわけ④は決定的であったように思われる。地域に有力な足がかりをもたない社会党にとって、住民運動は党の足腰を強める大きな潜在的可能性であった。

結局のところ、住民運動への乗り移りは事実上失敗に終わり、反原発は地区労、地区党の組織固めの手段に堕落してしまうのだが、日本社会党を反原発に駆り立てた背景として見逃せないのは、第一次エネルギー危機である。

１９７３年１０月に起きたエネルギー危機は、輸入石油に大幅に依存するエネルギー供給構造の不安を国民に認識させ、原子力発電の必要性を周知させるのに貢献したように思えたが、日本社会党の批判は逆だった。エネルギー危機こそ資本主義体制の危機であり、末期的現象だと捉えた。エネルギー危機の到来によって、あと一押しで資本主義体制は崩れると読んだ。

１９７４年１１月９，１０日和歌山県那智勝浦町で開かれた第三回原発反対全国代表者会議基調報告（日本社会党、総評、原水禁国民会議）に、それを読み取ることができる。

「独占資本と自民党政府によって展開された『エネルギー危機』、『電力危機』の大キャンペーンがいかにウソであるかは、もはや誰の目にも明らかになった。資本主義的高度成長が永久に続くことを願った独占資本の夢ははかなくも破れ、今や日本もアメリカも西ヨーロッパ諸国も、激しいインフレーションの中で、戦後最大の不況に陥っている。今年の電力需要は、昨年に比べて大幅に増加するどころか逆に減少している。

インフレーションと不況のジレンマは、いよいよ解決しがたく、世界の資本主義国をおおっている。

一方、社会主義国ではインフレーションも不況もなく、着実に発展を遂げ、しかもエネルギー危機や電力危機などということは問題にならない」

エネルギー危機は資本主義体制のもたらす危機であって、社会主義体制のもとではあり得ないという判断だった。

エネルギー危機は資本主義か社会主義かの体制を越えた全地球的問題だったが、最初のうちは西側諸国からの“悲鳴”ばかりだった。

ソ連、東ヨーロッパ社会では報道の自由が制約されていたせいか、しばらくは影響が聞こえてこなかったが、私がトルコで会ったユーゴスラビアの科学者はエネルギー危機で計画停電したと話してくれた。ルーマニアを訪問された皇太子ご夫妻（現天皇皇后両陛下）のお泊まりになったホテルは節電で薄暗かった。やがて共産圏からもこのようなエネルギー危機のニュースが伝えられるにつれ、この判断は次第に勢いを失い、表に出なくなった。

だが、日本社会党の原発に対する批判的姿勢は強かった。原子力発電はいまだに実験的段階であり、現時点では運転、建設とも反対だが、研究開発は続ける。今の原発は独占資本のものであって信用できないが、自分たちが管理し所有すれば問題はない。それは安全管理に十分力を入れるからである。

原子力発電を将来、エネルギー源として認めるかどうかは国民が判断することだが、石炭、ソフトエネルギー、省エネルギーを活用すれば原発なしでもエネルギー・バランスがとれるし、むしろ、不安定な原子力に頼るとかえって危機を招く―という考え方を軸にしていたのが７０年代だった。

**賛成反対はどちらが選挙に有利か**

１９７９年３月には米国でＴＭＩ事故があったりしたが、原子力発電はエネルギー供給の中で、確固とした「指定席」を与えられるようになった。一方、１９８０年代に入ると自民党の一党単独支配体制にかげりが見えはじめた。この政治情勢を受けて政権を担当できる党へ脱皮する必要性が生じた。社公民連合で政権をとるには、政策条件として原発反対は許されない。原発反対から部分的賛成へ転回を図ろうとしたことがある。それは１９８５年１月の第４９回党大会が開催される直前のことである。

同党の原発政策は、①安全性が確認されるまで、新増設は一切認められない、②稼働中のものは運転を中止して、安全性を確認する―としてきた。党執行部は、稼働中の原発について「安全性を追求し、これが確認されないときは運転を中止して再審査、再点検する」と運転継続を認める新政策を決め、運動方針、中期社会経済政策案に盛り込んだ。

ところが、反原発闘争に取り組んでいた青森など２２県本部が激しく反発し、１月１７日から始まった第４９回党大会最終日の１９日午後、執行部は「『安全性の追求』は原発容認を意味するものではない」との統一見解を表明して反対派に妥協させられた。

社会党はプルサーマルに反対し、原発反対の裁判を支持し、原発の危険性を訴えてきた。原子力発電を容認すると、そうした反対運動が出来なくなる。原発反対は停滞気味の同党の日常活動の中で、唯一ともいえる地域に根を張った活力ある運動だった。その運動を止めることは活力の源を断つことになる。地域の活動家にとっては承服し難いことだった。「原発反対運動は社会党の財産だ。地域に根ざし、市民運動に支えられたもので、党本部で急に変えようとしても変えられるものではない」と栗原透・党原発対策全国連絡協会長は語っていた。

結局、この党大会でも「原発反対」は変わらなかった。１９７９年９月に「ソフトエネルギーを中心とした３０年戦略」を発表したときも、同じような「認める」「認めない」のゴタゴタがあった。要は、どちらが選挙で社会党に有利に働くかが決め手であって、日本国民のためになるかどうかではなかった。

私は社会党の党利党略体質を痛烈に体験させられたことがある。

東京電力が新潟県柏崎市と刈羽村に原子力発電所を建設しようと計画していたところ、

社会党のＡ衆議院議員が反対運動に精を出していた。私はＡ議員の活動ぶりと話しぶりから判断して「社会党は原子力発電に反対で・・・」と読売新聞に書いたら、社会党政策審議会から抗議を受けた。「社会党は原子力推進だ。次の選挙で社会党が敗れたら、読売新聞は責任を取ってくれるか」というのである。

私が「Ａ議員の発言、行動は原発反対じゃないですか」と反論すると、「実はわれわれも困っている。しかし党の方針は推進。訂正してください」と言い張った。そのすぐ後の総選挙で社会党は議席を増やした。社会党からは何も言ってこなかった。

私は議員会館にＡ議員を訪ね、「あなたの本心を聞かせてほしい。あなたは以前、原子力に賛成だったじゃないですか」と言った。記事にしない約束で聞いた。

「以前は賛成だと当選した。今は反対のほうが当選する」と答えた。「では、反対だと落選する世の中になったらあなたは賛成に変わるのか」と聞くと、「そうだ」と答えた。Ａ議員は一貫して原子力発電賛成なのである。それでも選挙のために反対したのである。洋の東西を問わず、政治家はつらい。

だからこそ、メディアがしっかりしなければならない。新聞記者は販売のことを気にしないで原稿が書ける。本当のことを書ける立場にある。

## 現　状

日本の再処理に反対で日和見的態度だった米国政府が、昨年から態度を一変した。再処理などの核燃料サイクル路線を復活したからである。日本に技術協力を求めるほど変わった。

米国はＮＰＴ（核不拡散条約）加盟のイランに対し厳しい態度をとりながら、不加盟国インドに対し技術提携などの優遇策を打ち出している。中国に対するけん制策としてインドを重視し始めたからである。

原子力の動向を見ると国際政治がよく分かる。大国は利害によって態度をひょう変する。うまくカジをとらないと日本は沈没する。

解 説

# 低線量の放射線影響の実態

（原子力安全委員会委員長代理）松 原 純 子

原子力安全と放射線障害の防止は表裏一体の関係をなしている。放射線影響についての正しい理解と有効な対処が望まれるが，現実はますます細分化した専門的知見のなかで，専門家も公衆も低線量放射線の影響の実態から離れた議論をしがちである。永年の放射線生物学および放射線疫学の研究活動のなかで，放射線影響＝環境（放射線）と生体との相互作用の現実について知り考えてきたことを，総合的に解説し，学際的討論に資したいと考える。

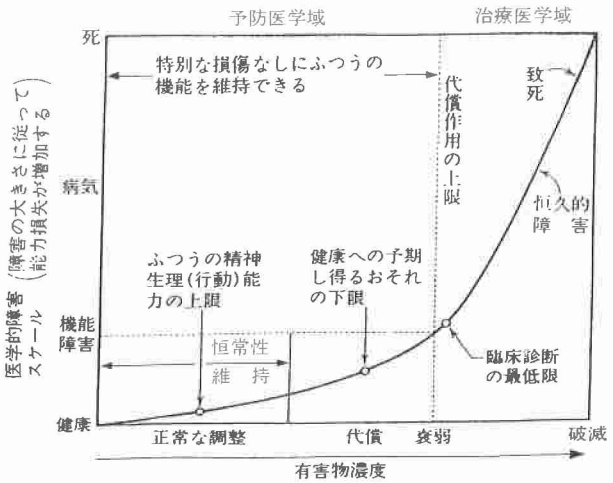
## I. はじめに

生体は環境から与えられるさまざまな刺激との相互作用の中で生きている。都市化や産業活動の進展によって環境汚染が進行し，人々はさまざまな人為的環境有害物質に曝露されることとなり，環境医学の重要性が叫ばれてきた。筆者が永年，環境医学研究者の一人として痛感してきたことは，水や大気や生物（生態系）や人体での環境有害物質の分布や人の曝露に関する化学分析データが集められ，環境物質の毒性学的影響や発ガン性に関する研究は，これまで多く積み重ねられてきたにもかかわらず，化学物質や放射線の生体との相互作用の実態に関する考察が著しく不足していたということである。原子力安全委員会でも環境モニター中央評価専門部会の活動が永年継続していたにもかかわらず，「生体は微量の放射線(有害要因)に対してどのように反応するか」という，生体側の反応(影響)の実態を知ろうという意欲や生物学的情報の収集についてはほとんど無関心であった。物事の実体に対する適切な理解があってはじめて対策は立てられる。放射線防護も例外ではない。

環境有害物質が単独あるいは複合して，微量から致死量に至るさまざまな用量(dose)において，生体にどのような生理学的あるいは病理学的反応を引き起こすかという情報については，Hatchの一般的所説(**第1図参照**)はあるにしても，各要因に対する個体反応の実態や，環境に対する生体反応のメカニズムを科学的に追求する研究は非常に少ないのが現状である。とはいえ現代のバイオテクノロジーの進展とともに，生体のミクロな構造と機能の解析は日進月歩で進みつつある。今こそ，分子レベルから生きた個体レベルにいたる総合的視野からの放射線影響に焦点をあてた学際的研究の推進が望まれる。

筆者は放射線を含む複数のリスク要因に曝露した生体（マウス）の反応性を調べる共同研究[1~4]を行い，その途上で複数のリスク要因は必ずしも生体に相加的あるいは相乗的に傷害せず，むしろ複数のリスク要因の曝露が単独要因の曝露よりも生存にとって有利に作用することがある，という事実を偶然見出した。具体的にはマウスへのカドミウムなどの金属の投与や皮膚剝離などのストレス負荷が，6～9Gyという致死量のγ放射線に対する抵抗性を高めマウスの死亡を著しく減少させる結果が得られた。

なぜこれら複数のリスク要因への曝露が，マウスの生存力を高めたのだろうか。このメカニズムの追求こそ有害要因に対処するための総合的生体防御機構の解明につながると考えて，筆者はその後約15年にわたってさまざまな人々の協力を得ながら，有害要因に対する生体の化学的防御機構と生物学的(免疫学的)防御機構の活性化に関する独自の環境医学的研究を続けてきた。その結果，環境有害要因(例えば一定量の放射線)への曝露に対して生体は，化学的防御機構の活性化のみならず，生物学的(免疫学的)防御機構の活性化を連動させて対応していることが明らかとなっ




第1図　Hatchによる有害物の量と人間の障害・能力損失関係の模式図
有害要因の量に対応した生体側の反応や影響が領域別に図示されている。

*The Effect of Low Dose of Radiation at the Whole Body Level* : Junko MATSUBARA.
（2001年 6月19日 受理）

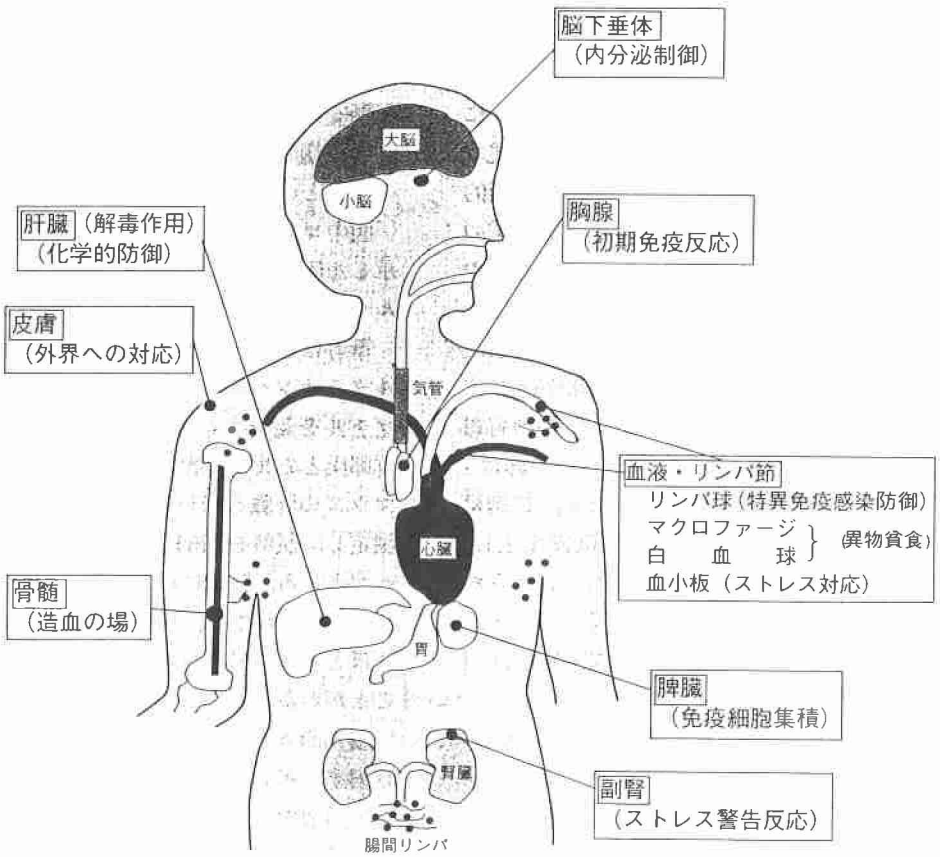
た。

個体の生体防御の場はストレスに対応する脳下垂体・副腎ホルモン系化学物質の解毒を担う肝臓や，外界に接する皮膚などと，免疫反応を担う造血細胞の多い胸腺や脾臓である(**第2図**参照)。筆者は生体防御機構活性化の現象を，環境刺激要因曝露後の個体において，①肝臓中で非常時蛋白ともいわれる抗酸化物質メタロチオネイン(MT)合成が急増すること[1,3~5]，②感染や異物に対抗する末梢血の白血球SOAの増多[6~8]，③胸腺における未熟な免疫細胞のアポトーシスの増加[9]，および④脾細胞の特異的抗体産生能(羊赤血球抗原に対するPFC)の増多[8~10]などの現象の観測を通じて実証することができた。

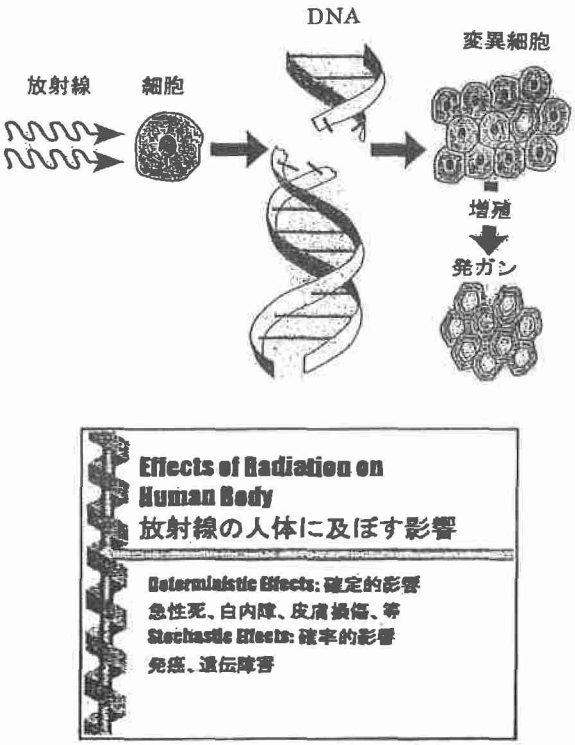
このような生体防御機構の活性化で特筆すべきことは，いみじくもかつてHans Selye博士がそのストレス学説[11]で明らかにしたように，個体は防衛反応として外界の刺激の種類によらず共通の反応(副腎などの臓器でみられる一般警告症候群といわれている)を起こす，およびそれは個体としての統合された反応であるということである。前述の生体防御機構の活性化現象は微量の金属や免疫刺激性の薬剤の投与のみならず，比較的低い量の物理的刺激(例えば50 mGyまたは500 mGyの放射線[10,12~14])，外傷や飢餓などのストレス状態などによっても誘導された。これは近年話題となっている放射線ホルミシスのメカニズムとの接点を提供しているように思われる。

本稿を書いた動機を一言でいえば，放射線の影響については，今まで人々が**第3図**に示すような，放射線—DNA切断—突然変異—発ガンの図式のみに頼り，その下の言葉が示すような単純な固定的表現を脱して，生きた人間と放射線との戦いのありのままの実態を見つめ，そのメカニズムや本質を極めることが重要と考えるからである。今回，筆者は低線量の放射線影響の実態について展望するにあたり，DNAや水分子と放射線，細胞分裂と放射線とのかかわりなど，従来多くの研究がなされてきたミクロな視点からの情報は要点だけに留め，「生命活動を営む個体と放射線とのかかわり」について考察するための生物学的現象について総合的に整理し解説したい。残念ながらこの分野の研究は世界的にも不足し未発達であるが，少数の日本の科学者がこれに挑戦しつつある。

他方，これまで国際的にもなされてきた多くの放射線疫学調査がある。人への環境影響の最終的結果である疾病や死亡について，放射線に被曝した集団と被曝しない集団について比較しながら調査し，人間集団への低線量の放射線影響の実情をある程度推定することができる。低線量の放射線影響に対する理解と判断はこれら各種の情報を総合して行うことが肝要と考える。




**第2図** 個体の生体防御反応の場
外的要因から身体を保護する皮膚，有害化学物質の解毒をする肝臓，およびストレス反応や免疫にかかわる諸臓器を示す。これらは連携して機能を果たす。




**第3図**　放射線影響の固定的パラダイム

## II. 放射線による生体内のフリーラジカルの産生と化学的防御

われわれのからだは環境からのさまざまな衝撃のなかに曝されている。絶え間なく降りかかる宇宙線，岩石や建物からの放射線，日光中の紫外線や気温の変化などの物理的刺激は言うに及ばず，空気中の微量の汚染物質や食品中の有害物の吸収による化学的刺激，目に見えないウイルスやバクテリアやカビなどの微生物の侵入などである。たとえ瞬間的には微量であっても絶え間なく空気を吸入する肺を例にとってみると，成人は1年間におよそ3,000 kgつまり3 tの空気を吸い込み，例えば，吸入する空気中の有毒物質の濃度がわずか1 ppmであったとしても，その肺は1年間に3 gもの有毒物質に曝露されることになる。細胞は日々エネルギー代謝により$10^9$/個/日の活性酸素を生じ，抗酸化物質によりDNA傷害は$10^6$個になり，これらがDNA修復により$10^2$個になり，さらに後述するアポトーシスや免疫機能により最終的にDNA傷害は1細胞あたり1ないし2個になると計算した学者もいる[15]。

われわれの周囲に日常的に存在する上述の刺激因子，すなわち放射線，酸素，オゾン，二酸化窒素などのオキシダント，異物やある種の発ガン物質などは総称して酸化的ストレス因子といわれ，どれも生体内にフリーラジカルの産生を結果する。これらの因子の生体に対する傷害やそれに対する防御のメカニズムは，基本的には共通の部分が大きく，放射線障害，炎症，免疫，老化，発ガン，制ガンなど，一見異なったさまざまな医学的現象の根底にフリーラジカル（不対電子を持った反応性の強い原子または分子種）の生成や活性酸素がからんでいる。

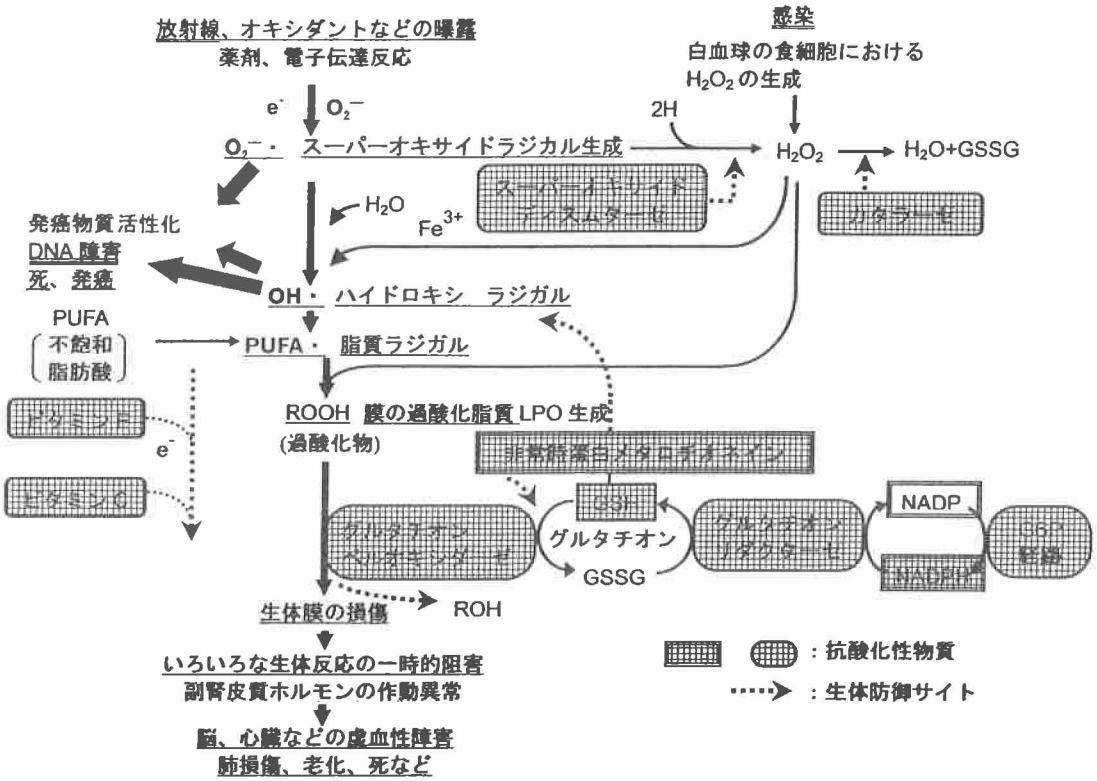
それに打ち勝って生物が生存しているのは，生体が非常に巧妙な防御機構を備えているからである。フリーラジカルはわれわれの体内で，物質代謝の過程で生理的・日常的にも産生されるが，これを一定のレベル以上増やさないために，これを消去する作用のある還元性の防御物質，例えばグルタチオンやビタミンC，ビタミンEなどが体内にあり，これらを抗酸化物質と総称している。

フリーラジカルの生成とそれに対する化学的防御は，大体第4図のような過程を経て進行する。①生体が放射線やオキシダントに曝露すると，②これらは直接にDNAなど生物学的に重要な物質を障害するほかに，空気中の$O_2$と反応して$O_2^-$（スーパーオキシドラジカル）を産生したり，組織中にあるSOD（スーパーオキシドジスムターゼ）により，$H_2O_2$にされ消去される部分もある。$H_2O_2$はカタラーゼにより，水と酸素に変換されるが，③$O_2^-$とさらに反応して非常に反応性の強いOH・（ヒドロキシルラジカル）を生成し，いろいろな生体物質を攻撃する。とくにこれらはPUFA・やLOO・（脂質ラジカル）の生成を介して，④生体膜の成分であるリン脂質の不飽和脂肪酸の過酸化へと発展させる。こうした膜の脂質に発生するフリーラジカルの連鎖反応を断ち切る役目をするのが，ビタミンEである。脂質が過酸化されると細胞の重要な構造物である生体膜の機能障害を来し，⑤いろいろな生化学的反応の一時的阻害や副腎皮質系ホルモン作用の異常をもたらす。⑥かくてこれらの長期的影響が脳や心臓の虚血的障害，肺の損傷や細胞の老化という一般的現象を結果する。

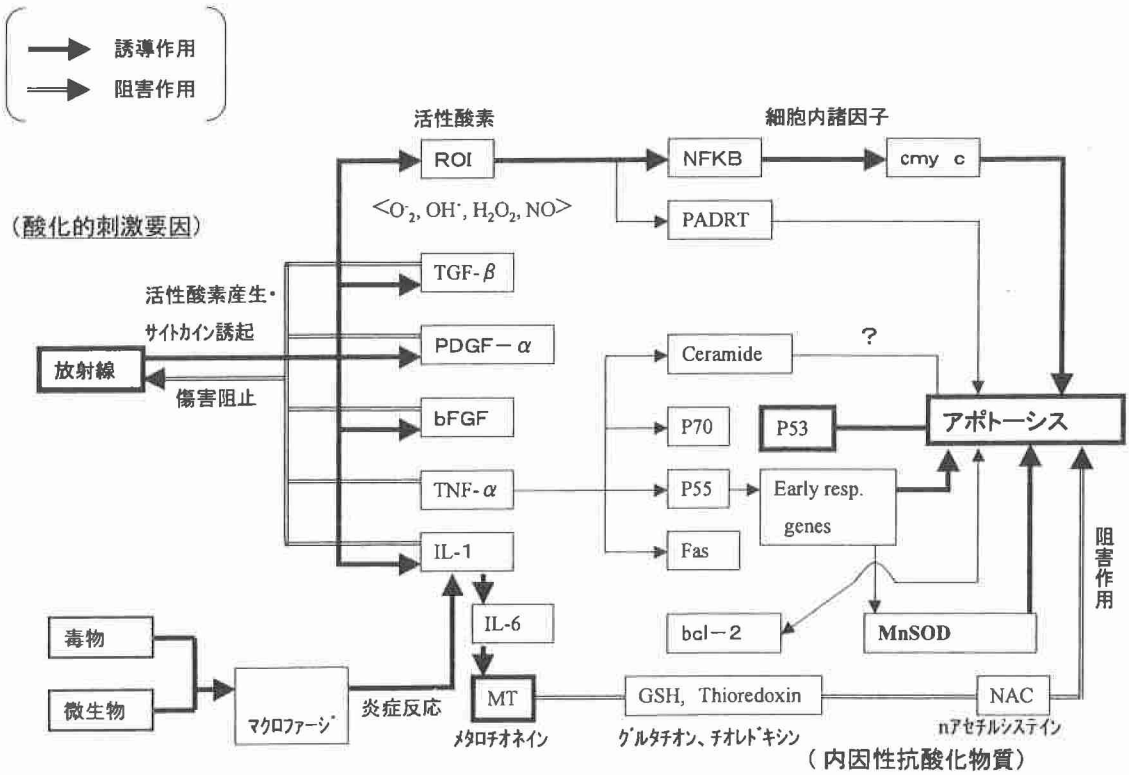
図中ゴシックで示したフリーラジカルに対し，網掛けで示した防御物質が点線の矢印で示した箇所で働き，ラジカルや過酸化物の消去や，生体膜の安定化作用をする。

筆者は亜鉛チオネイン（ZnMT）が銅イオンと共役してグルタチオンペルオキシダーゼ系に働き，NADPや過酸化ブチルを還元する事実を見い出した[1,5]。名古屋大学宮崎哲郎氏との共同研究により，各種のストレス処置を施したマウスの肝臓を用いて，77 KでESRによってラジカルを測定し，試料を275 Kに放置してラジカルの減衰挙動を調べたところ，肝臓にはより寿命の長い有機ラジカルが存在することがわかり，有機ラジカルの減衰速度はMT量が多いほど速く，MTが有機ラジカル消去反応に関与していることがわかった[16]。

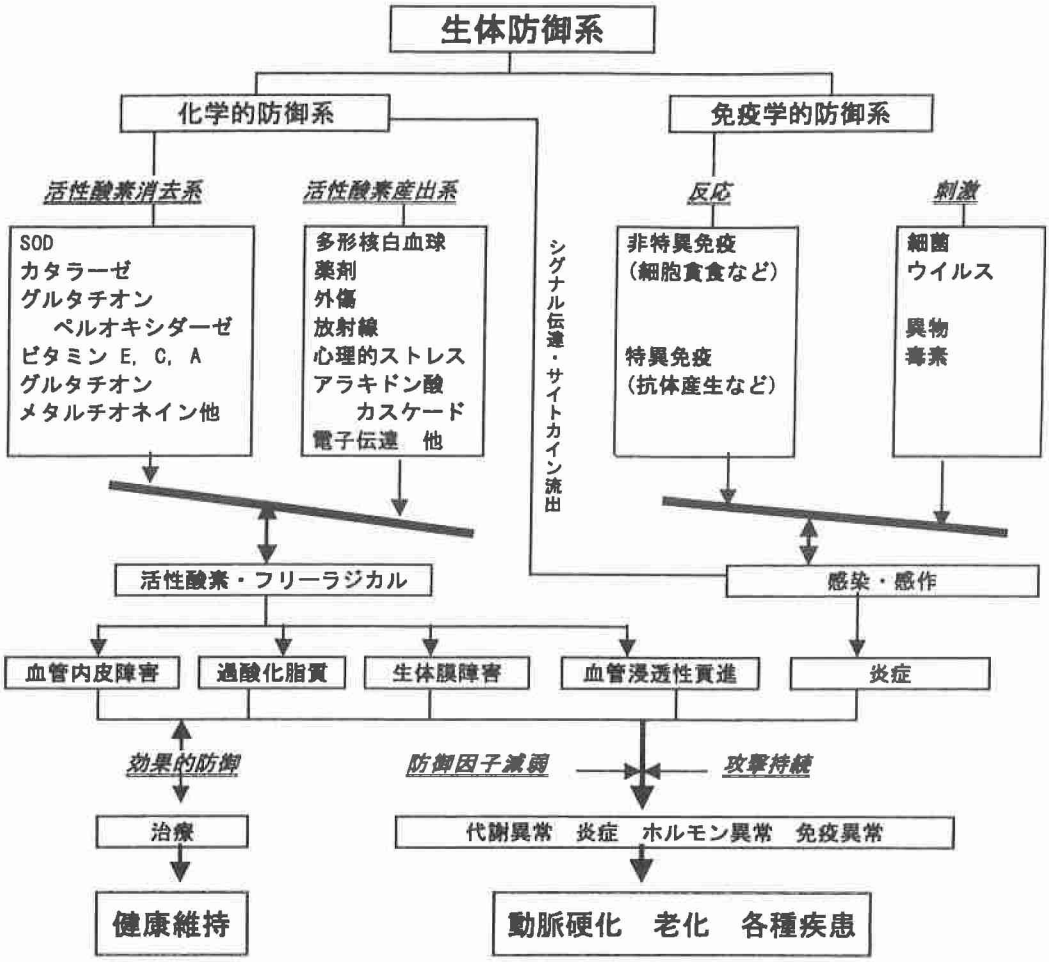
酸化的ストレスに伴って細胞内では各種の細胞因子が動き出す。第5図は，文献17）を参考に，酸化的ストレスとしての放射線が誘起する各種のサイトカインなど細胞因子の活性化と，それに対する防御反応（文献的に報告のあるもの）の関係を図示したものである。放射線やフリーラジカルによって誘起される細胞因子やサイトカイン類はその情報を他の細胞に伝えたり，核内に入り遺伝子を活性化し




第 4 図　生体におけるフリーラジカルの産生と化学的防御機構(松原, 1986)




第 5 図　生体に傷害を与える酸化的刺激要因による活性酸素や各種サイトカインの誘起と，それによって誘導される内因性防護物質(抗酸化性物質)の反応(Weichselbaum *et al.*, (1993) の論文をもとに松原が作成)




第 6 図　総合的生体防御機構（松原, 1992）

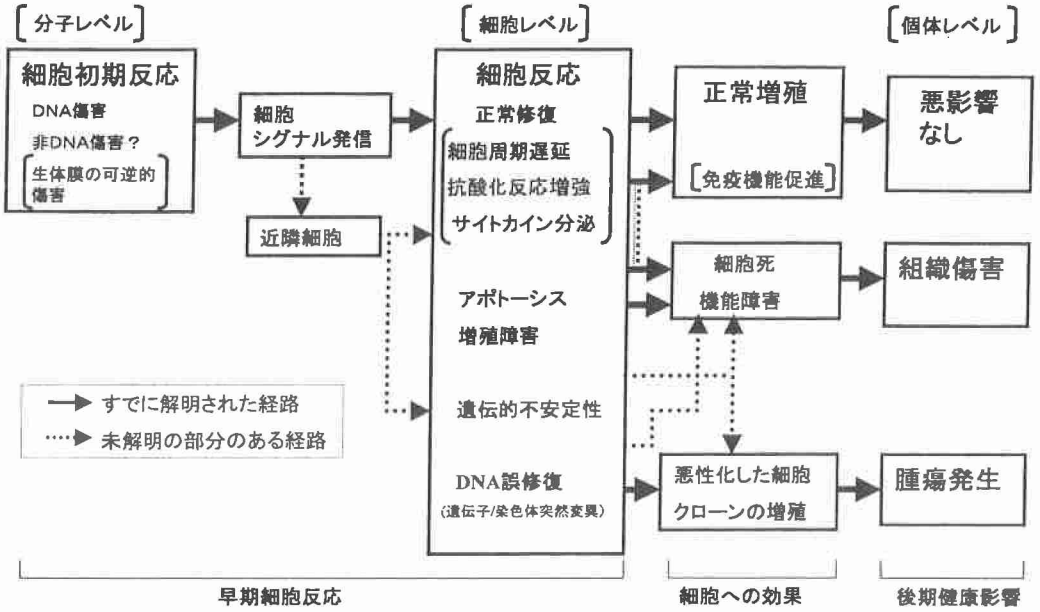
たりする。これらの因子が同時に放射線防護性を示す事実は興味深い。

筆者は人の体内で，有害要因と自身の防御因子とが闘いながらバランスさせている生体防御系の様子を**第 6 図**のようにイメージしている。たまたま2001年 4 月刊行の *Health Physics* 誌に UNSCEAR の第一委員会委員長で NRPB の R. Cox 氏の分子的発ガン機構の過去と未来という論文[18]で，「細胞の生死や変異はストレス関連の生化学的経路の競合のバランスで定まる」という言葉に接した。やっと欧米の学者にも筆者と同じ考えを述べる人が出てきた感がある。

## III. 放射線の細胞への作用

しかしながら，最近出された UNSCEAR の2000年報告書の「放射線の健康影響」のアウトライン・ドキュメントに課題とともに図が提示されているが，それは相変わらず細胞に障害を与える事象に重点がおかれ，DNA 修復とアポトーシス以外は並存する生体側の防御反応が記載されていない。傷害への生体側の反作用も加味して，筆者は原図を**第 7 図**のごとくに補って考えるべきだと思う。そもそも生きた人間の健康を論ずるには，分子や細胞の生物学で得た知見を医学的総合的視野で再吟味すべきで，本来ならば右側へ行くほど複雑な事象がからんでいるはずである。この図は明らかに分子的事象に偏り，個体レベルの生物作用について世界的にも研究が不足していることを反映している。

分子レベルの初期反応として，第Ⅱ章で述べたフリーラジカルによる傷害は，γ線，X 線など低 LET 放射線の DNA 障害の約 2/3 を占めており，これを間接効果といっている。一方，中性子線など高 LET 放射線の場合や高線量被曝の場合は，DNA への直接効果，すなわち切断が支配的となり，DNA の二重鎖切断（DSB）が問題である。DNA 切断に対して NHEJ（non-homologous end joining repair pathway）による修復があるが誤修復しがち（error-prone）であり，非可逆的傷害を結果しやすい[18]。低線量での HR（homologous recombination）修復は（error-free）の可能性大で傷害は可逆的となるとも考えられる。UNSCEAR 2000 年報告書[19]によれば，DNA の DSB 形成率は 1 細胞あたり約40個/Gy であるが，染色体異常の発生率は 1 細胞あたり0.054個/Gy であるので，実に99%以上



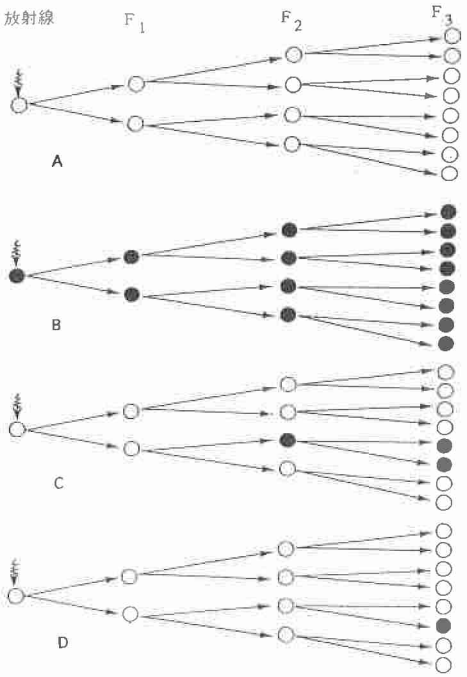

第 7 図　体細胞への初期放射線障害と細胞反応と後期健康影響をつなぐ経路。
(UNSCEAR Outline 2001文書 Fig.1. に松原加筆：〔　〕, ……部)

のDSBが元通りに修復されていることになる。

核(DNA)以外の傷害として，当然，生体膜の過酸化が想定され，これは周囲の抗酸化物質合成促進等で，ある線量まではカバーされる可逆的効果といえる[20]。

次に，注目されている現象として放射線による遺伝的不安定性の誘起がある。Littleの総説[21]によれば，遺伝的不安定性は，高線量放射線特有のDSB切断による傷害(第8図のパネルAやB)とは違って，CとDに示すように後世代の細胞に自然変異率を増やすこと，DNAの部分欠失(点突然変異)が多いこと，2～12 Gyの範囲で線量—反応関係が見られない等の特徴がある。丹羽[22]によれば，精子により持ち込まれた放射線DNA損傷は，これで受精したF1世代において損傷を持っている父親由来の遺伝子のみならず，放射線を浴びていない母親由来の遺伝子の突然変異頻度をも上昇させた。これは放射線によるゲノム不安定性が個体レベルでも生起したことを証明している。一方，Belyakovら[34]は，ミクロビームと多層細胞系を用いて，オリジナルなDNA傷害細胞から数層離れた細胞に至る細胞変異をアポトーシス測定系で観察し，30～500 mGyの線量域でみられる細胞間連絡(By stander)効果と関連が深いことを示した。それらの細胞ではP53～P21介在のシグナル伝達が亢進しており，ある種の機能亢進細胞の除去，すなわち防御機能との関連が示唆されており，今後とも明らかにすべき重要な課題である。

遺伝的高感受性者の存在についてはICRP Pub. 79[23]に詳しいが，少数ながら放射線に抵抗性の弱い遺伝的素因をもつ人がいる。しかし，放射線への高感受性と高発ガン性とは必ずしも同一ではなく，将来，放射線治療を受ける人や放射線取扱者にあらかじめ一律に遺伝子サーベイをすることは，利点よりも派生する問題の方が多いのではないかと思われる。




第 8 図　遺伝的不安定性の考え方(Little, 2001)

10 mGy程度のX線の前照射はそれに続く再度のX線照射をされた細胞の染色体異常の数を減少させることが早くからOlivienやWolffら[24]によって報告され，これは放射線適応応答と呼ばれ，放射線ホルミシスを主張する学者に歓迎された。これは細胞レベルの現象であり，これから述べる一定量の放射線照射による個体レベルの免疫系活性化現象と区別するために，筆者はそれらの発生条件を第1表

第1表　これまでに確認されている放射線適応応答と，その発生条件

| | 前照射条件(線量) | 適応応答の発生時期 | 観察指標 |
|---|---|---|---|
| 細胞レベルの適応応答 (Olivien, Wolff *et al.*) | 10～20 mGy, ＜100 mGy | 照射後5～24 h | 染色体異常 |
| 固体レベルの適応応答 | | | |
| (Yonezawa *et al.*) | 50～100 mGy | 照射の8 wk後 | マウス生存率 |
| (Yonezawa *et al.*, Matsubara *et al.*) | 500 mGy | 照射の2 wk後 | マウス生存率 |
| (Matsubara, Liu) | 75または500 mGy | 各照射8, 2 wk後 | 脾臓免疫反応 |
| (Matsubara *et al.*) | ＞1 Gyまたは金属投与などのストレス刺激 | 処置24～48 h後 | マウス生存率 |

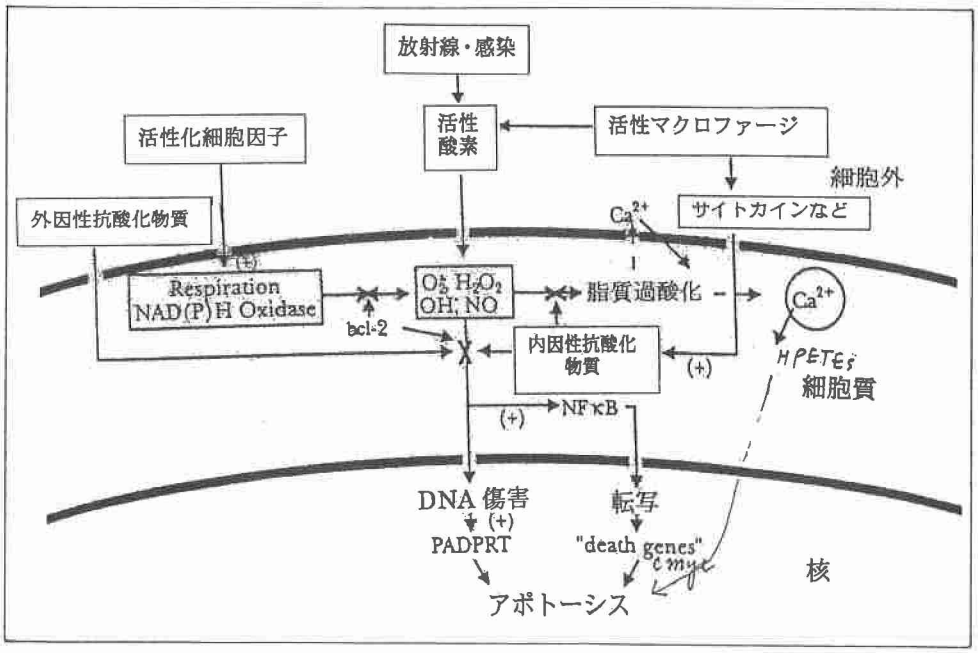
のごとく整理した。

## Ⅳ. 特定の刺激による免疫系の活性化

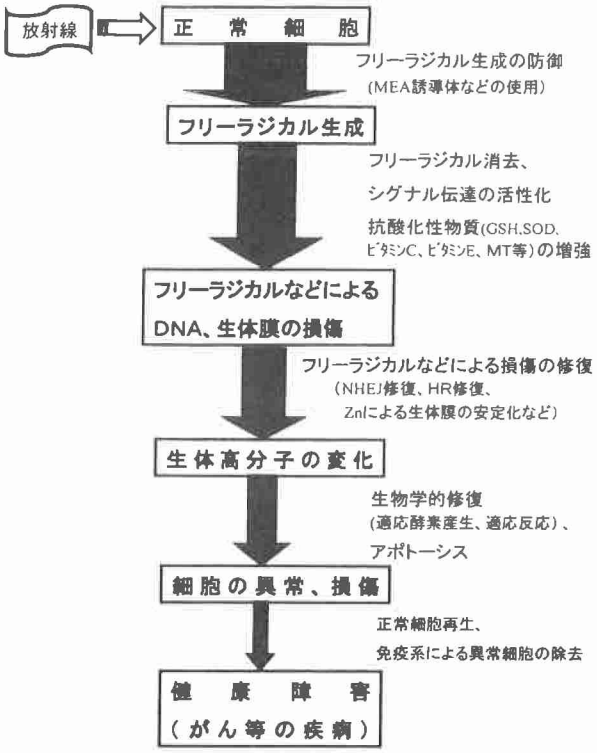
1990年代より，細胞の生化学的反応の制御機構としてのシグナルトランスダクションの解明とともに，活性酸素の産生やDNA傷害のメッセージがNfKBを介してP53やその他の因子を活性化させ，アポトーシスを結果することがわかってきた(第5図，**第9図**参照)[25]。アポトーシスとは細胞が自身で他の細胞に害を及ぼすことなく自滅する生理的な現象で，その生体防御上の役割は後述の免疫系の活性化との関係を含め大きいと思われるが，とりあえず詳細は成書にゆずる(山田[26]，近藤[27]など)。

前述の各種の酸化的ストレスも，P53などを介してアポトーシスを誘導することが明らかとなり，筆者らは，マンガン投与や皮膚剝離処置も，米沢らが放射線抵抗性を誘導した75 mGyまたは500 mGyのX線照射[13]も，それぞれ胸腺のアポトーシスを誘導することを確認した[9]。このことは，75 mGyや500 mGyの放射線照射や重金属投与や皮膚剝離などのストレス処置が胸腺における未熟なTリンパ球を刺激し，免疫系が情報をキャッチし，アポトーシスとして反応していることを示すものである。同時に，500 mGyのγ線照射後のマウスで，羊赤血球抗原に対する特異的免疫反応(脾臓のPFC)の増加は，その照射が2週間前に行われた時に限って発生することが見い出され，生存率(放射線抵抗性)の増加が起こる時点に一致して，遅発性に免疫系の活性化が起こる事実を確認した[9,28]。このことは低線量放射線照射を含む各種のストレス刺激は，まず早期(6時間後)に胸腺において未熟なTリンパ球のアポトーシスを誘起するが，そこで感受性の高い細胞が淘汰され，残存細胞が適当な時系列経過を経て，脾臓において成熟免疫細胞として抗体産生能を増加させるという事実を示すことになるのではないかと推定する。

上述した有害要因に対する化学的防御の側面と，免疫学的反応とを総合して筆者は人体の総合的生体防御系を第6図のようにイメージしたわけである。また，低線量の放射線が生体に及ぼす影響の実態として**第10図**のごとく表現




第9図　アポトーシス誘起にかかわる酸化的ストレスの役割(Buttke, 1994)




第10図　放射線障害の効果的防御にかかわる諸要因(松原, 2000)

し，段階を分けて考えるとわかりやすいのではないかと思う。

生体の指令部である遺伝子を破壊する高線量の放射線の影響は，一昨年(1999年)の臨界事故の犠牲になられた方が身をもって示されたように極めて厳しい。しかし，放射線の影響は線量や線質の差で著しく異なる。低線量の放射線と生体との相互作用について考察したが，今後に残された課題として，放射線特有といわれるDSBとその修復の条件はなにか。線量別の遺伝的不安定性の現われ方とシグナル伝達や防御機構との関連，変異細胞の増加と発がんとの関係。フリーラジカル産生と抗酸化機構の作動は線量依存性があるか。個体の免疫機構の作動は特定の線量域でのみ可能なのか。これらのメカニズムにかかわるさまざまな因子と機能の解明などがある。それらの因子間の相互作用，さまざまな時間間隔で生起する複雑な生体防御反応系の時系列解析など，今後多くの課題を解決してはじめて，われわれはさらに本質的な放射線防御手段を発見するだろう。

## V．低線量放射線影響に関する疫学調査と発がん等のリスク評価

人間の集団を対象とする疫学調査の結果は，放射線を含む環境因子が最終的に人にもたらした事実を検知する上で大変貴重である。以下にこれまでなされた国際的に重要な疫学調査の結果について要点だけを記す[19,29~31]。

**広島長崎：**　対象は原爆に急性被爆し，被爆後5年以上生存した約86,000人につき50年以上の追跡調査がされた。生涯での発がんの放射線由来の過剰リスクは，1Svあたりの被曝につき，白血病が0.9%，全がんでは11.2%，合計12%と推定された。この値は高線量急性被曝者の調査から外挿されたので，低線量率補正係数を約1/2として，ICRP90年勧告では，1Svあたり5%の過剰リスクとされた。それは，日常，被曝しない人の約28%はがんで死亡するが，1Sv被曝するとがん死亡の確率が5%付加されて約33%になろうということである。妊娠被爆者1,829人の胎児(20週内)では，ほとんど小児がんは発生しなかった(高線量からの外挿で36人の小児がん発生が予測されたが，事実は1人の肝がんと1人のWilms腫瘍のみだった)。

**チェルノブイリ：**　発電所職員や消火作業に従事した者のうち134人が0.8~16Gyの高放射線に被曝し，急性放射線症となり，そのうち28人が3ヶ月内に死亡し，その10年間に11人が心臓疾患等で，1人が白血病で死亡した。石棺作業者約70万人中20万人が30km内で平均100mSv被曝し，その20万人中で41,500人の自然発生がんが予想されるが，放射線による生涯過剰がんの推定リスクは2,000人，白血病は10年で約190人の発生が予想され，そのうちの150人は放射線被曝によると推定されたが白血病の増加は報告されていない。避難住民11万6千人は平均30mSv被曝し，甲状腺線量は約500mGyと評価された。卑近汚染地域住民27万人は平均して生涯に環境や食物を通じて50mSvの内部被曝が推定された。このほか，ウクライナ，ベラルーシ，ロシア3国の汚染地域住民640万人が5~16mSvの蓄積線量を受けた。上記住民では数10万人の自然発生がん中，推定過剰発生は2,500人で，疫学的検出は困難である。確実なことは小児甲状腺がんの発生の増加で，事故4年後から3国で現在合計約2,000人の患者が発生しており，これまでに2名が死亡した。

**放射線作業者：**　英国，カナダ，米国の協力調査で，対象は原子力施設作業者96,000人である。平均蓄積線量40mSv/人のγ線慢性被曝，長くて25年間追跡した。結果は大体，広島長崎の評価の枠に入った。放射線以外の化学物質曝露や喫煙習慣などの包絡因子の分離や線量依存性の検出が重要で，今後も続く17国60万人の調査結果が待たれる。

**高自然放射線地域の住民：**　中国広東省陽江県の高自然放射線地域(隣県の値の約3倍)と隣県の住民合計約12万人につき15年間のがん死亡調査をした。染色体異常は対照地域より多いにもかかわらず，がん死亡率に差はみられなかった。

**その他：**　MayakでのPu作業者，Techa川周辺の住民，ウラル廃棄物タンクのKyshtym事故，Semipalatinsk核実験の住民等の被曝評価が課題である。

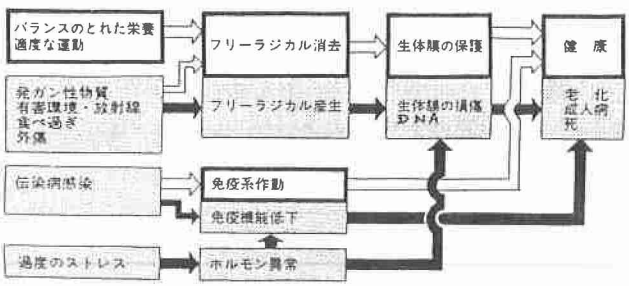
以上でわかることは，100mSv以下の低線量の放射線による過剰発がんの検出は大集団の調査でも困難であり，胎児への遺伝的影響もみられていない。放射線で特徴的なのは白血病であり，高線量では相対リスクは1Svあたり4

倍となる。また，チェルノブイリ事故では成長に重要な役割をする甲状腺のがんが，放射性ヨード（核分裂性生成物）の汚染地域の小児に多発した。0～4歳の小児は10歳以上の子供に比べて感受性が5倍高く，ヨードは甲状腺ホルモンの成分元素であり，成長期の小児の甲状腺に高い集積性を示す生物学的事実と対応している。しかし，それ以外のがんの過剰な発生はチェルノブイリ事故後でも検出されていない状況で，線量率にもよるが，自然放射線レベルの範囲内の過剰被曝については，単純な線形外挿と住民の総数の掛け算すなわち集団線量による発がんの推定は当を得たものではない。丹羽[32]は放射線による白血病の発症と他の臓器の発がんの疫学データ等を考察して，両者の発がん機構の違いを指摘している。このように，放射線の影響は細胞レベルの話と個体レベルの影響とでは異なるのである。高自然放射線地域住民の調査結果は重要である。

こうした諸情報がありながら，放射線影響を予測するにあたって専門家の間で放射線傷害に関する分子や細胞レベルのミクロな世界の知見を尊重するあまり，生きた生物（人）における放射線影響の全体像について疫学的結果とつなげる議論が少なすぎた。低線量の放射線影響は食生活や個人のライフスタイルに関係する部分が大きいため，今後はそれらに注意を払った疫学調査が望まれる。

## VI. おわりに

以上，有害要因やストレスに対する生体の反応の諸側面をみてきたが，私たちのからだを強くし（いや，弱くしないようにというべきかもしれない），健康を維持するには，一つは，免疫機構を健全に保つこと，もう一つは，抗酸化機構を活動的に維持することである。環境と私たちの健康について**第11図**のようにまとめてみた[33]。各種の抗酸化物質の原料となる数多くの種類のミネラルやビタミン類をバランスよく日常的に摂取し，からだの防御活性を維持し，適度の運動を行うことによって，ホルモン機能の基礎となるカルシウム代謝が健全となる。古く厚生省の推奨しているがんを予防する12ヶ条は，有害要因に対抗する私たちのからだを守るために，医師が経験的に考えて提言したものであるが，上に述べた化学的および免疫学的防御機構の総合的連動を進めるための理屈にも適っている。今後は，両者の連携のメカニズムの解明が望まれる。




第11図　環境と私たちの健康のまとめ（松原，1992）

一昨年秋のJCOウラン加工施設の事故直後，「公衆の線量限度の80倍の被ばく」という大見出しが，いくつもの新聞で報道された。JCO事故の経験に学ぶべきことは数多くあるが，私が強く意識したことの一つは「放射線影響イコール線量限度ではなく，ミリシーベルトレベルの放射線影響の実態」を人々に知らせることの重要性であった。昨今，低線量放射線影響に関する直線（LNT）仮説が国際的にも議論されているが，当面これを否定するべき強力な証拠はないということに繰り返し落ち着く。余分な放射線被曝を防ぐための防御基準を決めて保守的に放射線の管理をすることは大切なことである。問題はそれを，公衆や専門家（といわれる人々）や管理者がどう受け止め，また規制にどのように使うかである。永年，環境有害因子と生体との相互作用の実態を解明しょうと努力してきた筆者は，放射線影響イコールICRPの勧告値ではなく，放射線影響イコール放射線によるDNA傷害でもなく，放射線（一環境要因）と人間（生き物）とのかかわり（相互作用）の実態を，公衆のみならず関係者にも知ってほしい，そして実態に基づく公衆への周知と，実効性を念頭においた規制をと願ってきた。本稿が生きた個体への放射線影響を考え，議論し合う材料になれば幸いである。

### ――参 考 文 献――


1) 松原純子，“メタロチオネインと生体防御機構”，科学，**56**，86～95（1986）.
2) J. Matsubara, K. Ishioka, Y. Shibata, K. Katoh, “Risk analysis of multiple environmental factors : Radiation, zinc, cadmium, and calcium”, *Environ. Res.*, **40**, 525～53( (1986).
3) J. Matsubara, Y. Tajima, M. Karasawa, “Promotion of radioresistance by metallothionein induction prior to irradiation”, *Environ. Res.*, **43**, 66～74 (1987).
4) J. Matsubara, Y. Tajima, M. Karasawa, “Metallothionein induction as a potent means of radiation protection in mice”, *Radiat. Res.*, **111**, 267～275 (1987).
5) J. Matsubara, “Alteration of radiosensitivity in metallothionein induced mice and a possible role of Zn-Cu-thionein in GSH-peroxidase system”, “*Metallothionein II*, Eds. J H.R. Kagi, *et al.*, Experientia Supplementum Vol.52, Birkhauser Verlag, p.603～612 (1987).
6) 松原純子，メタロチオネインと生体防御機構，「放射線抵抗性の誘導」放医研シンポジウムシリーズ No. 23, p. 23～31 (1991).
7) S. Sasagawa, J. Matsubara, Y. Satow, *Immunopharmacology and Immunotoxicology*, Vol.15, 217～226 (1993).
8) 松原純子，放射線と生体防御機構，*Environ. Mutat. Res. Commun.*, **16**, 309～315 (1995).
9) J. Matsubara, V. Turcanu, P. Poindron, Y. Ina, “Immune effects of low-dose radiation : Short-term induction of thymocyte apoptosis and long-term augmentation of T-cell-dependent immune responses”, *Radiat. Res.*, **153**, 332～338 (2000).
10) J. Matsubara, Y. Ina, J. Yamazaki, “Comparative study on immunostimulative effects produced by low dose whol(

body irradiation or metallothionein indusive stressers in mice", Int. Symp. on Biol. Effects of Low Level Exposures to Radiation Changchun, China, (1993).
11) H. Selye, *The Stress of Life*, (revised edition), McGraw-Hill, N.Y. (1978).
12) M. Yonezawa, A. Takeda, J. Misonoh, "Acquired radioresistance after low dose X-irradiation in mice", *J. Radiat. Res.*, **31**, 256～262 (1990).
13) M. Yonezawa, J. Misonoh, Y. Hosokawa, "Two types of X-ray induced radioresistance in mice：Presence of 4 dose ranges with distinct biological effects", *Mutat. Res.*, **358**, 237～243 (1996).
14) J. Matsubara, K. Yoshihara, J. Yamazaki, H. Eguchi, "Hormetic effects produced by the pretreatment irradiating low-dose radiation or giving stressful stimuli in mice", *Low Dose Radiation and Biological Defense Mechanisms*, Excerpta Medica, Amsterdam and London, p.427～430 (1992).
15) M. Pollycove, L.E. Feinendegen, "Quantification of human DNA alterations", *Proc. DOE/NIH Workshop on Cellular Responces to Low Doses of Ionizing Radiation*, April 1999, Washington, D.C. (1999).
16) T. Miyazaki, J. Matsubara, T. Matsumoto, H. Khan, *Radiat. Phys. Chem.*, **48**, 293～296 (1996).
17) R. Weichselbaum, Z. Fuchs, D. Hallahan, A. Haimovitz-Friedman, D. Kuffe, "Radiation-induced cytokines and growth factors：Cellular and molecular biology for oncologists", *Molecular Biology for Oncologists*, Eds. J. Yarnold *et al.*, p.213～221 (1993).
18) R. Cox, "Resolving the molecular mechanisms of radiation tumorigenesis：Past problems and future prospects", *Health Phys.*, **80**, 344～348 (2001).
19) UNSCEAR Report 2000, Vol. II, p.4 and p.85r (2000).
20) A.W.T. Konings, E.B. Drijver, "Radiation effects on membranes", *Radiat. Res.*, **80**, 494～501 (1979).
21) J.B. Little, "Induction of genetic instability by ionizing radiation", *Comptes Rendus de L'Acad. Sci. Paris*, Sciences de la vie., Vol.322, 127～134 (1999).
22) O. Niwa, R. Kominami, "Untargeted mutation of the maternally derived mouse hypervariable minisatellite allele in F1 mice born to irradiated spermatozoa", *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, Vol.98, 1705～1710 (2001).
23) ICRP Pub. 79, Genetic susceptibility to cancer. Ann. ICRP 28(1-2), New York Elsevier Science, (1998).
24) S. Wolff, "Adaptive responses", *Environ. Health Perspect.*, **106**, 277～283 (1998).
25) T.M. Buttke, P.A. Sandstrom, "Oxidative stress as a mediator of apoptosis", *Immunol. Today*, **15**, 7～10 (1994).
26) 山田 武，大山ハルミ，アポトーシスの科学―プログラムされた細胞死，講談社ブルーバックス，(1994).
27) 近藤宗平，人は放射線になぜ弱いか―少しの放射線は心配無用，講談社ブルーバックス，(1999).
28) J. Matsubara, V. Turcanu, N. Sugiura, T. Kosako, "Short-time induction of thymocyte apoptosis and long-term augmentation of immune responses by 50 cGy irradiation to mice", *Proc. 10th IRPA*, Hiroshima, Japan, May 2000, (2000).
29) 松原純子，リスク科学における疫学の役割，科学，**61**，408～415 (1991).
30) E. Cardis, D. Richardson, A. Kesminiene, "Radiation risk estimates in the beginning of the 21st century", *Health Phys.*, **80**, 349～361 (2001).
31) L. Wei, T. Sugawara, Eds., *J. Radiat. Res.*, **41**, Suppl. 1～76 (2000).
32) 丹羽太貫，放射線発がんにおけるDNA損傷の役割―直接的関与と間接的関与，*Mol. Medicine*, **35**, 728～737 (1998).
33) 松原純子，いのちのネットワーク―環境と健康のリスク科学，丸善ライブラリー42，(1992).
34) O. V. Belyakov, M. Forkard, C. Mothersill, K. M. Prise, B. D. Michael, "Bystander effect and genomic instability, Challenging the classic paradigm of radiobiology", *Proc. Timofeeff-Ressovsky contennal conf.*, Dubna, Russia Sept., (2000).

## 著者紹介

まつばら じゅんこ

東京大学大学院生物系研究科博士課程修了。東京大学医学部助教授，横浜市立大学教授を経て，1996年より原子力安全委員会委員。現在は委員長代理。専門は環境医学・リスク管理。

# エネルギー教育における放射線の正しい理解を目指して

谷口　裕美枝　（静岡県立焼津中央高等学校）

## １．はじめに

私たちの生活に関わるエネルギー事情は年々変わっている。電力会社はオール電化の家を提案し、一方でガス業界は水素電池の開発に期待をこめた家庭用発電機を実現化しようとしている。オール電化といっても、その電気はどこでどうやって作られているのか。水素電池の実用化は何がどのように環境にいいのか。便利さだけで物事を判断して大丈夫なのだろうか。

エネルギーに関する教育の必要性が注目を浴びてきている中で、その内容と現実社会のギャップは大きい。放射線、原子力に関してはその代表ではないだろうか。国民投票で原子力の必要、不必要を決めていく。専門家ではなく、国民一人一人が原子力を評価し、放射線加工に携わっていくそんな時代に、なぜ、きちんと教育をする機会がないのか。不思議である。

高校理科の中で、原子力、放射線の内容は教科書の末尾に位置されている。受験校においては３年生の受験期さなかにさらっと触れる程度の余裕しか与えられていない。所属校が変わり、そのことが身につまされる。進学校の生徒なら世の中の動向を見る力があるから、勉強するまでもなく知っているだろうと思うとそうでもない。前任校での実践を紹介しながら、高校生の現状を考察してみたい。

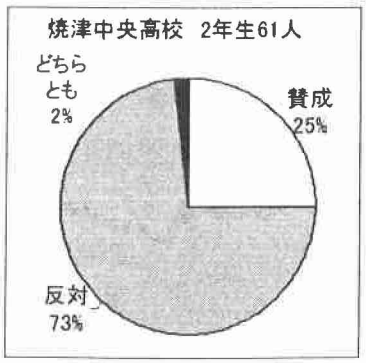
## ２．原子力、放射線に関するアンケート

（１）今年度は、エネルギー教育の授業は行っていないが、昨年度の前任校の生徒と比較するために年度初めのアンケートで、生徒に原子力発電所建設の賛否を聞いた。その回答を前任校のものとあわせて紹介したい。対象となるのは２年生物理選択者一般クラス 61 人、３年生物理選択者（一部）26 人の計 87 人である。前任校のものは当時の１年生２クラス計 77 人である。賛否の理由については、複数回答を含むため、回答数は若干異なる。アンケートの質問事項は以下の通りである。

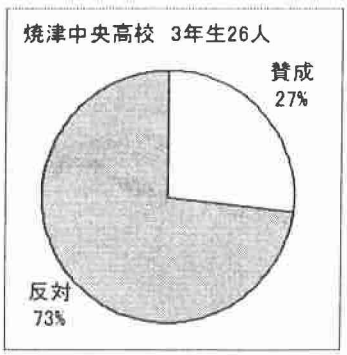
（質問内容）

電力不足を補うため、あなたの街に原子力発電所を建設しようという話が持ち上がります。あなたは賛成ですか。反対ですか。その理由も教えてください。

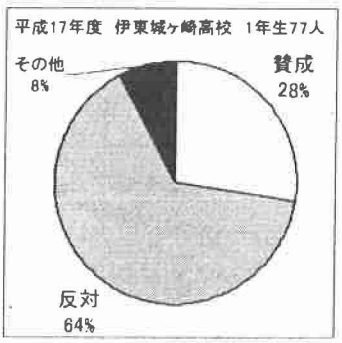
グラフ１は現任校２年生（61 人）のもので、グラフ２は３年生（26 人）、グラフ３は前任校のものである。割合は若干賛成が減るようにも見えるが、ほぼ同じである。２つの学校の生徒の進学状況は、現任校は 90%以上が大学進学を目指している。一方で前任校は３割が大学進学をし、３割が専門学校、残りは就職といった進路の特色を持つ。このことは、勉強が得意かそうでないかといったことは原発建設に対する賛否に大きく関係しないということではないだろうか。想像するに、世論調査をしても同様の割合になるのではないだろうか。



グラフ１

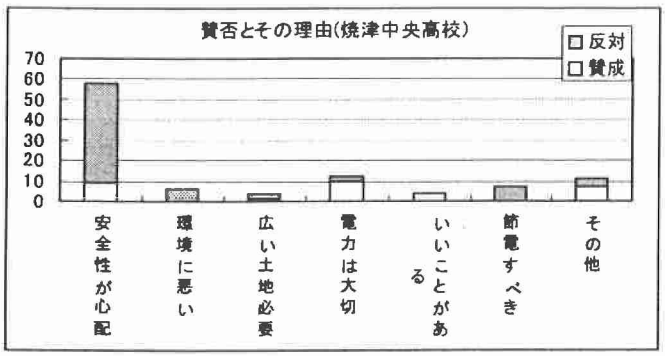


グラフ２

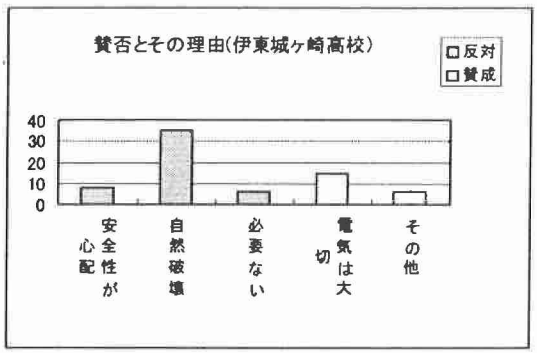


グラフ３

面白いのは賛否の理由である。前任校は自然環境が豊かなところにあったせいか、建設による自然破壊を理由に反対した生徒が、安全性の心配よりも圧倒的に多かったのに比べて、現任校では浜岡原発が近いせいか安全性を理由に反対する生徒が圧倒的に多い。賛成の生徒であっても、安全性を危惧しながらの賛成が多い。また、現任校の賛成の意見の中には『税金が安くなる』「街が活性化される」といった社会面からのものも複数見られた。知識の量ではなく、環境が賛否の理由を大きく左右しているように見える。



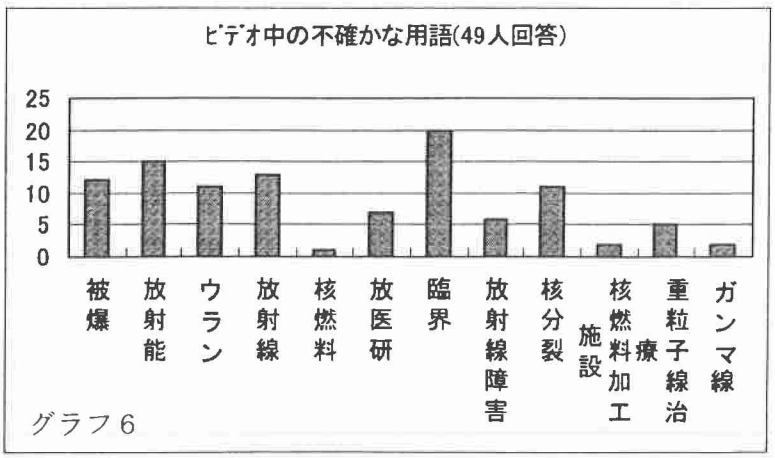
グラフ４



グラフ５

（２）被爆者治療のビデオを通した調査

上述のアンケートのほかに、自習授業を利用して特進クラスを含む物理選択者集団（49 人）に被爆者治療のビデオを見せ、ビデオ内に出てきた用語で不確かなもの、わからないものを最低 3 つ挙げてもらった。その結果がグラフ６である。勿論、治療という医学的な内容を多く含むため、医学的用語をあげてきたものも多かったが、放射線、原子力に関するものに絞って集計した。結果を見ると、「被爆」「放射線」「放射能」「ウラン」といった基本的用語を挙げてきた者が全体の約 4 分の一を占め、「臨界」では 40%を超えた。これは物理選択者における結果である。少なくとも他の生徒集団よりはこうした内容に興味があり、3 年次において勉強する可能性を持つ生徒たちである。この現状をどう捉えたらよいのだろうか。



グラフ６

3．指導計画案

前任校において、放射線教育を系統的に行う試みをした。対象は1年生の理科総合A（1時間50分）である。伝えたいこと、やらせたいことをすべてやろうとすると13時間ほどの長時間になってしまうのが難点ではあるが、それでも、学習の前後における手ごたえはあったと感じている。その時の実践の様子を以下に紹介する。全体の流れと具体的な様子を資料に、細かな内容と、注意した点については、以下にまとめた。

（1）基礎知識・・・基本的な用語等を知る（化学・物理）

① 原子の構造（元素表・原子番号・質量数）

② 同位体・放射性崩壊・核反応（核分裂と核融合・放射能・放射線）

③ 放射線はどこから来るのか

④ 放射線の種類（ α線、 β線、 γ線、中性子、 α崩壊・ β崩壊）

⑤ 放射線の特性（正体、エネルギー、電荷、透過力）

このすべてを先に行おうとすると、座学続きで生徒の集中力が続かなくなるので、③については(2)の測定実験前後で行ったり、④、⑤については(4)の遮へい実験の直前にいれたりもする。

（2）放射線を測る・・・身の回りの放射線を実感する

① 霧箱実験

② 室内、屋外での測定

→どういうところでどのくらいの量が観測されるのかを知り、どこにでもあることを実感する

③ 考察（屋内と屋外の違いは何か。どこにでもあるのに、それは危険ではないのか。）

→自然放射線（バックグラウンド）の意味を知る

霧箱実験は、準備が大変な上、ドライアイスを買う予算が必要なので人数の多い集団を相手に教員1人で準備をするのは大変である。しかし、生徒の反響が大きい実験でもある。

「はかるくん」を使った測定実習は見慣れない道具を使用し、放射線を「ぴっぴっ」という音で感じられるため生徒の関心も高まる。測定実習は2回に分けて、1回目は物理室と準備室といった室内で場所によってどんな線量の違いがあるか。2回目は、室内と屋外での違いや、環境の違いによってどのような線量の違いがでるか校内の特徴的な場所6箇所を回らせて測定を行う。

（3）人体への影響・・・体に何が起こるのか（生物）

① どのくらいの量が危険なのか→年間被ばく量を基準に考える

② DNAを傷つけることの意味→少量であれば自己回復力を持つ

③ 放射線被曝の特徴（被曝の無知覚性、症状の非特異性、症状の遅発性）

→実例の紹介（知っていますか？放射線の利用　岩崎民子　著　丸善株式会社　より）

④ 放射線障害（症状）について→急性、晩性

⑤ 障害を受けやすい器官

⑥ ビデオ（NHK スペシャル　被曝治療 83 日間の記録）

人体への影響は終始座学となるが、どの時間よりも生徒の関心は高く、その様子は集団によらないことは驚くべきことである。短い時間の中ではあるが、実際にあった事故の話をすると、生徒は食い入るように聴いている。そうした話に関連付けて③についてを特に強調し、見えないことの恐さを理解させる。また、遮へい実験を実施する場合においては、実際に放射性物質を取り扱うため、いたずらなどを防ぐ意味で必ず先に人体への影響の話を入れる。知ることによって恐れを取り除くことも大切ではあるが、それでも、取り扱いによっては非常に危険であることには変わらない。「正しく恐がる」ためには、人体への影響は避けては通れないと考えている。もう 1 時間は JCO の事故を特集したビデオを見せている。話だけではなく、実際の映像を見ることで恐さを実感するようである。

（4）遮へい効果・半減期・・・存在する放射線から身を守るため特性を知る

① 遮へい材の材質による遮へい効果の違い

→材質によって、そんなに遮へい効果が違うのか

② 遮へい材の厚みによる効果の違い

→どんなものでも厚ければ遮へい効果が上がるのか

③ 距離による線量の減衰

→どの程度離れると線量は変化するのか

④ 半減期のモデル実験

→放射性崩壊の起こり方（時間的変化）の意味を考える

①から③の実験は、はかるくん貸し出しと同じ「放射線計測協会」がキットを貸してくれる。実験用線源は強い放射線を出すので、むやみに持ち続けないこと、人に悪ふざけで乗せないことなどの注意を強調する必要がある。遮へい効果の実験では、遮へい材によって放射線は最初の何%になったか、を計算させるが、その数値の読み方を間違えて、数値の大きいものを遮へい効果が大きいと勘違いする生徒が多いので、注意したい。

（5）放射線・原子力の利用・・・実際に関わる場面はどこにあるのか

① 放射線の利用

(ア)現在、原子力利用の半分以上は放射線の利用

(イ)医療、農業、工業、その他の 4 分野での放射線利用を紹介

(ウ)工業分野でも半分以上は半導体の焼付け

② 原子力の利用

(ア)平和的利用→原子力発電所のしくみ

(イ)戦争利用→原爆のしくみ

放射線を利用している工業製品を見せることができればよいが、なかなか多くを準備することは難しい。写真で見せてもあまり実感しないようである。以前研究施設でいただいた「脱臭剤」を使ってアンモニア臭の脱臭実験を簡単に実施することもある。

原子力の利用や原子力発電所のしくみについては、ここですぐに触れなくともエネルギーの中で、他の発電方法と一緒に取り扱うこともできると考える。

4．使用資料

授業で使用しているプリントについては、資料として添付した。また、プリントは「放射線計測協会」の資料に沿って、生徒の実態に合わせ作り変えて使用したりもした。授業の中で使用したビデオについては放送時に録画したものを使っているが、NHK スペシャルなので、NHK に問い合わせれば手に入るかもしれない。また、人体への影響については「知っていますか?放射線の利用」　岩崎民子　著　丸善株式会社　に放射線事故の例がいくつも挙げられており、写真もショッキングでインパクトがある。

5．まとめ

技術革新が進む中、教えるべき内容は時代に合わせて変えていってもいいのではないかと私は考える。メディアに踊らされるばかりではなく、自分自身で考え評価する力を身につけるためには知ることが大切だと考えるからである。簡単なアンケートではあるが、学校の状況によらず、高校生は意外と世間に疎いことがわかる。学生は学校の授業と部活動とで日々余裕なく過ごしており、自主的探究心に期待するところもあるが、そればかりでは不十分なところが多々ある。やはり授業の中で系統的に学ぶ機会があればと考える。また、近年放射線の医療現場での活用も広がってきていることを考えると、物理選択者のみではなく、生物選択者、さらに大勢の生徒を対象に教育する必要があるのではないだろうか。何より見えないということがどんなに怖いことかということを知った上で、その技術に携わることの大切さをわからせたい。

教育現場はいまや、上級学校への進学を目指し基礎的知識を身につければよいというものではなくなってきている。正しい判断力はまず知ることからであるという立場に立って、無知がゆえに危険にさらされるのではなく、自分や大切な人を守るために、知らねばならないものがあるということを生徒に伝えていく必要がないだろうか。良い悪いの価値判断を、自分で考えて出すことができる人間に育たなければ、ブラックボックスのような高度な先進技術に立会い、未知なる事故を未然に防ぐことはできないのではないだろうか。どんな技術も、取り扱うのは人間である。それがゆえに安全ではないということを理解することで、学ぶことの大切さに気づくのではないだろうか。

## 資料1．原子力と放射線　指導計画案

| | 授業内容 | 実験、授業形態およびねらい |
|---|---|---|
| 1時間目 | 原子の構造（同位体） | 座学　・原子の構造<br>・質量数と同位体 |
| 2時間目 | 放射性崩壊と放射線の種類 | 座学　・放射性崩壊<br>・放射線の種類と正体 |
| 3時間目 | 放射線を見る | 霧箱実験　放射線の性質について、視覚的な方法で観察し、理解の糸口とする。 |
| 4時間目 | 放射線を測る（室内編）<br>（バックグラウンドを知る①） | 「はかるくん」を使った線量の測定<br>・　室内で多い場所と少ない場所はあるか<br>・　なぜ、室内で放射線が観察されるのか |
| 5時間目 | 放射線を測る（屋外編）<br>（バックグラウンドを知る②） | 「はかるくん」を使った線量の測定<br>・　屋外で多い場所と少ない場所はあるか<br>・　多い場所と少ない場所は何が違うのか |
| 6時間目 | 放射線の人体への影響 | プリント資料・座学　・障害の特徴<br>・放射線によって人体に起こる現象　・被ばく線量 |
| 7時間目 | ビデオ　NHKスペシャル<br>「被ばく治療83日間の記録」 | JCOの臨界事故記録<br>大量被ばくが引き起こす人体への影響を理解する |
| 8時間目 | 放射線の遮蔽<br>（物質による違い） | レンタル実験セットを使った放射線の仕切り実験　・遮蔽効果の高いものはどんなもの |
| 9時間目 | 放射線の遮蔽<br>（線源からの距離による違い） | レンタル実験セットを使った放射線の仕切り実験　・どのくらいの距離で、線量は減るのか |
| 10時間目 | 放射線の遮蔽<br>（物質の厚みによる違い） | レンタル実験セットを使った放射線の仕切り実験<br>・効果のない材質を厚くしても効果はないのか |
| 11時間目 | 放射性原子の半減期 | サイコロを使ったモデル実験<br>・放射性原子の減り方を理解する |
| 12時間目 | 原子力の利用（放射線の利用） | プリント資料・座学<br>・身の回りの多くのものに放射線加工が施されている現状を知り、生産者として関わる可能性を示唆する |
| 13時間目 | 原子力の利用（発電と原爆） | プリント資料・座学<br>・核分裂、核融合の仕組み　・平和利用と戦争利用<br>・電力と原子力発電の現状 |

資料：平成17年度　伊東城ヶ崎高校での
実践の様子

## 指導計画

(1)指導の流れ

①基礎知識・・・基本的な用語等を知る
②放射線を測る
　・・・身のまわりの放射線を実感する
③放射線の人体への影響
　・・・体に何が起こるのか
④放射線の特性
　・・・存在する放射線から身を守るには
⑤放射線、原子力の利用
　・・・実際に関わる場面はどこにあるのか

1

## 指導計画案

| | 時間 | 授業内容 | 授業形態 |
|---|---|---|---|
| ① | 1時間目 | 原子の構造（同位体と質量数） | 座学 |
| | 2時間目 | 放射性崩壊と放射線の種類 | 座学 |
| ② | 3時間目 | 放射線を見る（霧箱実験） | 実験 |
| | 4時間目 | 放射線を測る①（室内編） | 実験 |
| | 5時間目 | 放射線を測る②（屋外編） | 実験 |
| ③ | 6時間目 | 放射線の人体への影響 | 座学 |
| | 7時間目 | 「被爆治療８３日間の記録」 | ビデオ学習 |
| ④ | 8時間目 | 放射線遮蔽実験①（遮蔽材） | 実験 |
| | 9時間目 | 放射線遮蔽実験②（距離） | 実験 |
| | 10時間目 | 放射線遮蔽実験③（遮蔽材厚み） | 実験 |
| | 11時間目 | 放射性原子の半減期 | 実験 |
| ⑤ | 12時間目 | 放射線の利用 | 座学(実験) |
| | 13時間目 | 原子力の利用 | 座学 |

2

## 内容について

(1)基礎知識

**①原子の構造(元素表・原子番号・質量数)**
**②同位体(安定同位体と放射性同位体)**
**③放射性崩壊(放射能と放射線・α崩壊・β崩壊)**
**④放射線の種類(α線・β線・γ線・中性子線など)**
**⑤放射線の特性(正体・ｴﾈﾙｷﾞｰ・電荷・透過力など)**

**＊α崩壊、β崩壊における原子番号・質量数の変化などは、生徒に応じて取り扱いを考える。**

3

## (2)放射線を測る

①霧箱実験

ドライアイスが必要なので準備は大変ですが、生徒の反応は感動的なもの。大型のものを数人で観察するよりは、できれば1人1つの霧箱を使用できれば理想的。
　実験方法は様々

＜放射性物質に何を使うか＞
実験書によく出てくる物

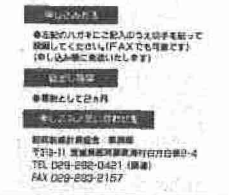
・マントル（ランタン用の網袋）
　（α線の飛跡）
・蛍光灯のグローランプ
　（β線の飛跡）

その他
・花崗岩の砂
・閃ウラン鉱

4

## (2)放射線を測る

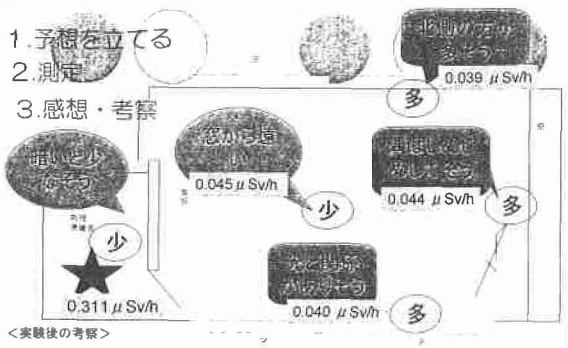
②「はかるくん」を利用した自然放射線の測定（室内編）



＊「はかるくん」は、かなりお手軽に借りることができ、しかも無料。(送料まで協会が負担してくれる)
＊「ぴっぴっ」という音で、放射線を実感できる。
＊単位については軽く触れる。

5

## 1.予想を立てる
## 2.測定
## 3.感想・考察




＜実験後の考察＞
隣同士で機械をおいても全然違う値が出る
部屋の中はほとんど変わらないのは意外だった
暗いとか明るいとかはたぶん関係ない

は生徒の予想
は実測値

6

資料: 平成17年度 伊東城ヶ崎高校での
実践の様子

## (2)放射線を測る

③「はかるくん」を利用した自然放射線の測定(屋外編)

### 1.予想を立てる

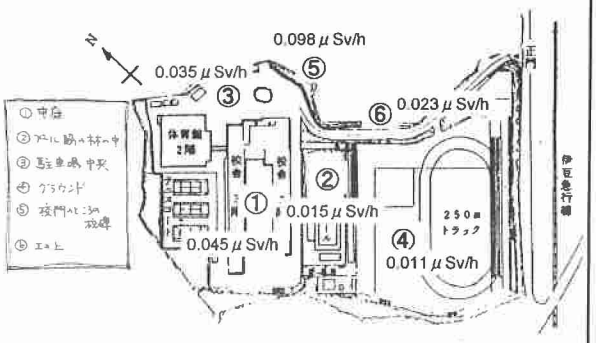
<予想>
校舎の中と外では、どちらの値が大きいと思いますか。その理由も書いて下さい。

中 ・ 外 ・ ほぼ同じ(いずれかに○) _____(理由)

**中「前に測ったとき暗いところが多かったから」「こもっていそう」**
**外「日光が直接当たるから」「放射線を放つ石とかありそう」**
**一緒「教室で測定した時、場所による違いはなかったから」**

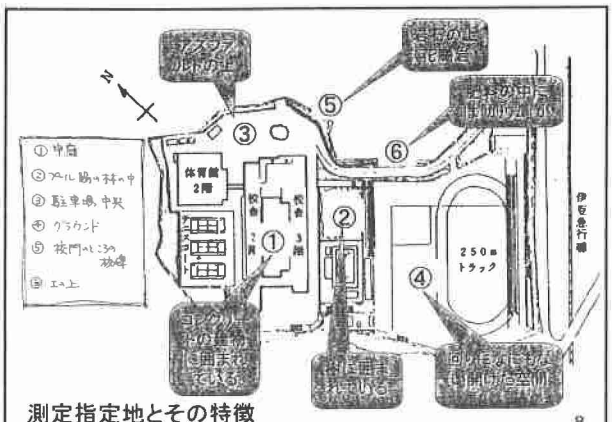
屋外において、どんな場所が放射線量が多く、どんな場所が少ないと思いますか。測定場所や、測定場所の特徴などから、考えてみてください。

7




学校敷地内 実測値

10




測定指定地とその特徴

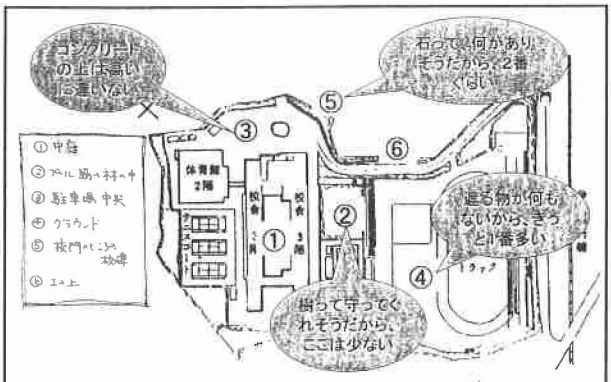
8

←駐車場の端で測っていたら思いの外低かったので、真ん中で測ろうと言い出した

(約0.021 μSv/h)

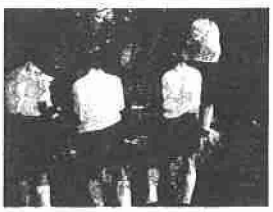
グラウンドの真ん中での→
測定値が意外と低いのに驚く
(約0.012 μSv/h)

11




生徒の予想

9



校碑「不撓不屈」の→
基石(花崗岩:約0.080μSv/h)と
碑石(ハンレイ岩:約0.024 μSv/h)
で測定値が違う

図地球内部のエネルギー源
●岩石中の放射性元素の含有量と発熱量

| 岩石中の放射性元素 | 含有量 (mg/mg) | | | 発熱量 (10⁻⁶ cal/mg/s) | | | | 総発熱量 (cal/cm²/年) (10⁻⁶) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | | |
| [illegible] | 4 | 13 | 4.1 | 640 | 820 | 300 | 2060 | 1.74 |
| [illegible] | 0.6 | 2 | 1.5 | 140 | 130 | 110 | 350 | 2.35 |
| [illegible] | 0.001 | [illegible] | 0.001 | 0.2 | [illegible] | 0.1 | 0.3 | 0.00032 |
| [illegible] | 0.011 | [illegible] | 0.093 | 3 | [illegible] | 7 | 10 | 0.0095 |
| [illegible] | 0.0001~0.00000 | [illegible] | [illegible] | 0.00~0.0001 | [illegible] | [illegible] | 0.00~0.0002 | 0.00006~0.00000 |

図表地学 浜島書店より

12

## (3)放射線の人体への影響

①どのくらいの量が危険なのか

・・・・「どのくらいでどう」というのはとても難しい

目安としての「自然放射線からの年間被爆量」

→日本では約1ミリシーベルト(mSv)　(世界平均では約2.4ミリシーベルト)

| |
|---|
| 胃の集団検診　2回・・・約1年分 |
| 腹部X線CT　1回・・・・・約7年分 |
| 宇宙飛行士(宇宙船の中)・・・地上での1年分を1日で |

岩崎民子著「知っていますか？放射線の利用」より

体の中で1番敏感だといわれる白血球の減少

・・・500ミリシーベルト(500年分)以上を一度に

13

2.6~9.1Gyの被爆量

(約2600年分以上の被爆量を1週間で浴びたことになる。)

岩崎民子著

「知っていますか？放射線の利用」

より

16

## ③放射線被爆の特徴

- **被爆の無知覚性**
  ・・・・**放射線を浴びていても気付かない**
- **症状の遅発性**
  ・・・・**浴びてすぐに症状が出るわけではない**
- **症状の非特異性**
  ・・・・**症状が他の病気と区別しずらい**

14

## NHKスペシャル「被爆治療83日間の記録」を見て(生徒感想)

- もう痛々しくて見ていられなかったです。ビデオの内容に見入ってしまっていて書けなかったけれど、こんな事故がもう2度と起きないことを祈るだけです。
- **放射線というのは聞いただけだとあんまり恐くもなく、どんな風になるのかまったく分からない**けれど、前にもらった紙に載ってたのとか、今回のビデオでも見たりして、恐さがすごく伝わった。死にもいたるなんて考えても見なかったので驚きました。
- 放射線はいかに恐いかがよくわかった。**こんな危険な目にあわせることを教えないで仕事をやらせるのはひどい**と思った。
- 原子力の仕事をする人たちは常に危険だと思った。細胞が死ぬということは人が死ぬことだと思った。

17

## 被爆事故の例

- **千葉での非破壊検査事故**

1917年千葉県のある造船所で溶接箇所の非破壊検査のため使用していたイリジウム192(γ線源)が紛失した。

作業員の一人がステンレス製の鉛筆のようなもの拾った。かれは、それが何か分からないまま、ズボンのポケットに入れ、下宿に持ち帰った。

そして、下宿に帰った後、持ち帰ってきたことを思い出し、仲間とその鉛筆のようなものを触ったり眺めたりして、被爆した。

1週間後、線源が発見され、作業員達が病院に入院したときには、持ち帰った作業員の臀部には大きなやけどのような潰瘍ができていた。

約20年が経過した頃、作業員の一人に、潰瘍とびらんを繰り返していた指の骨に萎縮が始まり、病原菌の感染により壊疽を起こし、切断するにいたった。

15

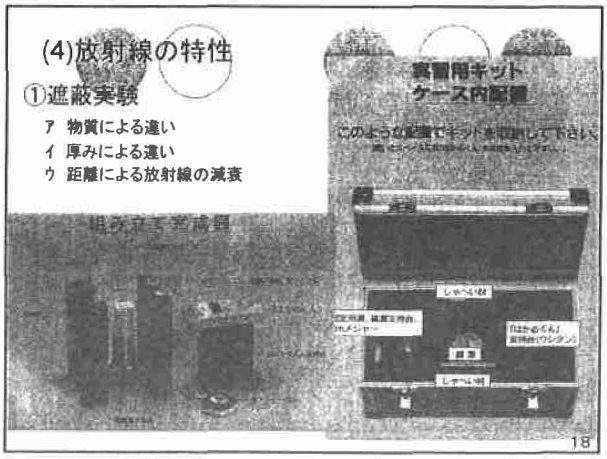
## (4)放射線の特性

①遮蔽実験

ア 物質による違い

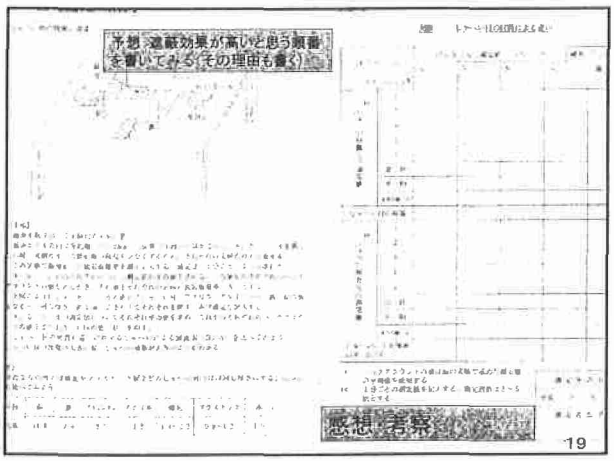
イ 厚みによる違い

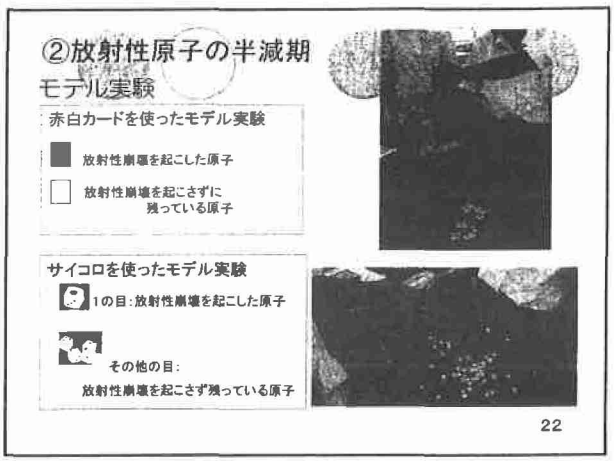
ウ 距離による放射線の減衰

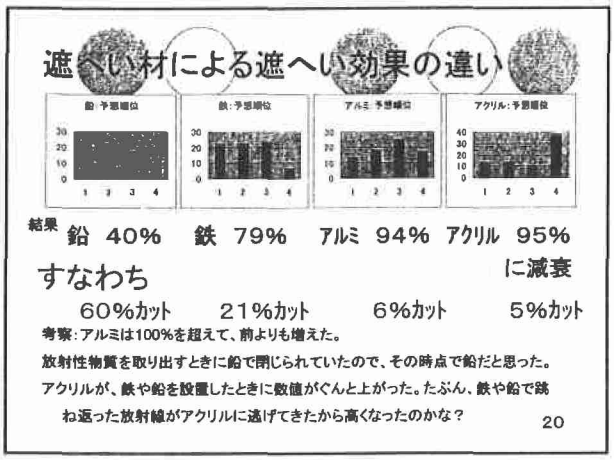


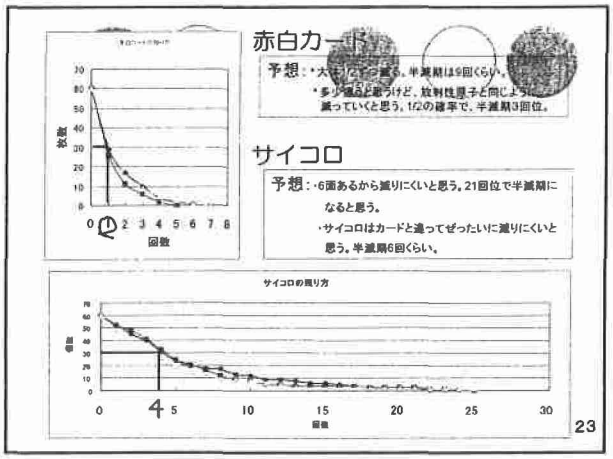

18

# 資料： 平成17年度 伊東城ヶ崎高校での実践の様子



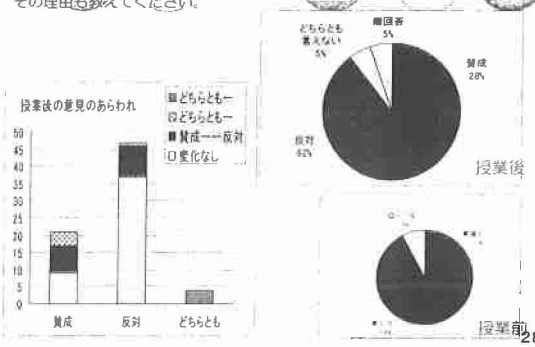
## 実験の一例

放射線を利用したケミカル脱臭剤。放射線グラフと重合を応用した高性能脱臭剤です。悪臭成分を化学的に吸着。

活性炭とセットで、その威力を確認。

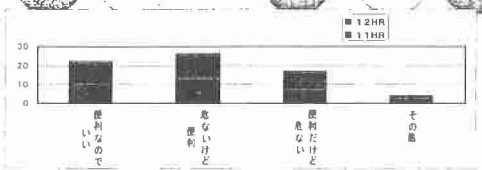
25

関東における（伊東を含む）電力不足を補うために、伊東市に原子力発電所を建設しようという話が持ち上がります。あなたは賛成ですか、反対ですか。その理由も教えてください。




28

## 放射線利用に関する感想




- 気づかなかっただけで、実は身近にあったんだなーって思った。しっかりと理解したうえで放射線と付き合っていきたい。
- 放射線がどのようなものか知ってから、少し恐かったけれど、放射線は便利なので、少しくらいは気にしなくて良いと思った。
- 便利になる分、リスクが多くなって、すごい大変な気がする。それに、もし作業中に失敗したら被害が大量に出るし、それの処置も時間がかかるからやめたほうがいいと思う。

26

## 授業後の感想と原発建設への意見

- 原子力はいいことだらけかと思っていたんだけど、すごく悪いことにも使われていることがわかって身近にあるのが恐くなった。

（賛成）電力が足りないのはすごく大変なことだと思う最近人口とか増加中だから。

- 放射線というのは、ずっと危ないだけのものだと思っていたけど、がん細胞を殺すのにも使われていると知って、上手く利用すれば人の命も救えるのだと思った。原子力については、戦争では原爆などに利用されているけど、これも上手く利用して、原子力発電などに使用されているから、いい考えだと思った。

（反対）電気が不足してるからって原子力発電所を作るというのはおかしい。節電させるなど、いろいろ方法はあると思います。

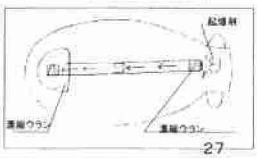
29

## ②原子力の利用

- 核分裂反応と核融合反応
- 核分裂の平和利用
  - ･･･原子力発電所の仕組み
  - ･･･電力使用量における原発の割合
  - ･･･核・放射性廃棄物の行方
- 核分裂の戦争利用
  - ･･･原爆の仕組み(広島型)

NHKスペシャル

『原爆投下　10秒間の衝撃』



27

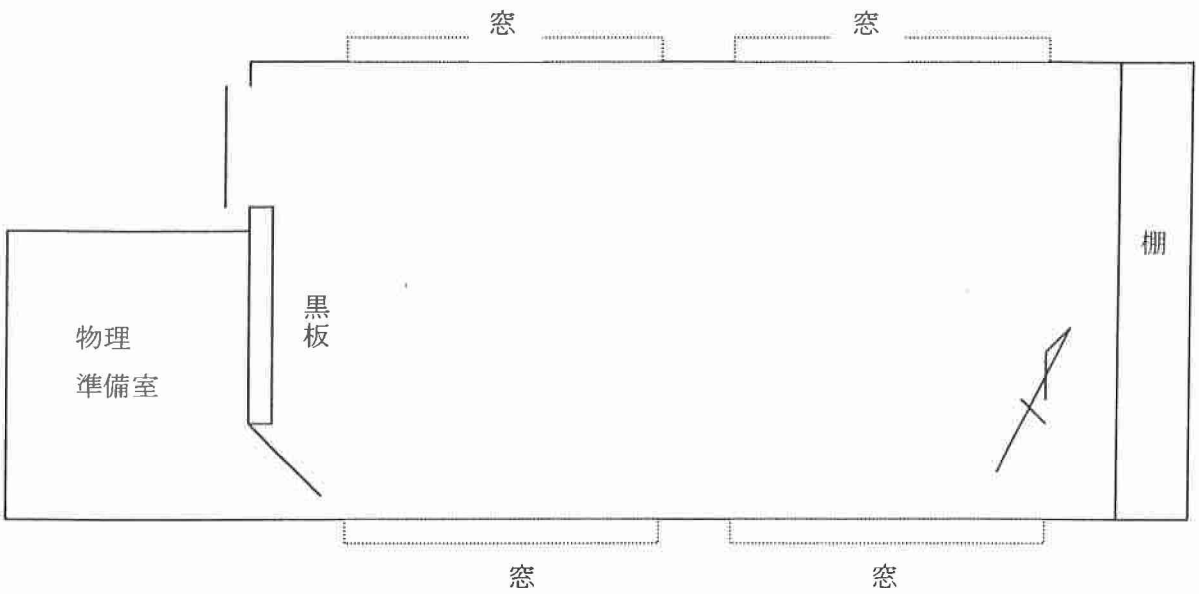
## 授業まとめの感想

- 放射線は、前まではただ危険なものだと思っていたが、授業を通していくうちにいろんな事に使われていて、いろんな面で自分達を助けてくれたりしてくれている事がわかった。ただ危ないことには変わりないから、こんな風に使うといいよなど、自分達で勉強すれば安全だということも分かった。
- 授業をする前から、ただ怖いと思っていたが授業をしていくと、放射線のカや影響がわかってきて、より恐いと思えてきました。エネルギーに変えるのはすごいと思うけれど、間違った方へその力を使うのはダメだと思いました。

30

# 「はかるくん」を使った放射線量の測定（その１）

教室のいろいろなところで放射線量を測定してみよう




予想（放射線の量は室内の場所によって違いがあるだろうか）

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 場所 | ① | ② | ③ | ④ |
| 測定量 | μSv/h | μSv/h | μSv/h | μSv/h |
| 場所 | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ |
| 測定量 | μSv/h | μSv/h | μSv/h | μSv/h |

考察（感想、意見、など）

# 「はかるくん」を使った放射線量の測定（その２）

屋外のいろいろなところで放射線量を測定してみよう

予想

① 校舎の中と外では、どちらの値が大きいと思いますか。その理由も書いて下さい。

中 ・ 外 ・ ほぼ同じ（いずれかに○）

（理由）＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

② 屋外において、どんな場所が放射線量が多く、どんな場所が少ないと思いますか。測定場所や、測定場所の特徴などから、考えてみてください。

| |
|---|
| |

| 測定場所 | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | μSv/h | μSv/h | μSv/h | μSv/h | μSv/h | μSv/h | μSv/h |
| | 2 | μSv/h | μSv/h | μSv/h | μSv/h | μSv/h | μSv/h | μSv/h |
| | 3 | μSv/h | μSv/h | μSv/h | μSv/h | μSv/h | μSv/h | μSv/h |
| 測定場所の特徴 | | | | | | | | |
| コメント | | | | | | | | |

考察（最も大きい場所はどこでしたか。その理由は何だと思いますか）

| |
|---|
| |

# 放射性崩壊モデル実験（赤白カード）

放射性原子が崩壊を起こして減っていく減り方は、本実験における、「赤白カード」や「サイコロ」を使ったモデル実験の結果と非常に似た減り方である。このことから、どのようなことが考えられるのだろうか。

1．実験方法（その１：赤白カード）

① 表が赤、裏が白の赤白カードを 60 枚用意する。

② 60 枚すべてを箱の中にいれ、よく振った後机の上に振り落とす。

③ 赤が出たカードは崩壊した原子、白が出たカードは崩壊しないで残っている原子として、赤が出たカードの枚数（崩壊した原子の数）を数える

④ 表に赤カードの枚数を記入し、グラフには赤を除いた白カードの枚数を記す。

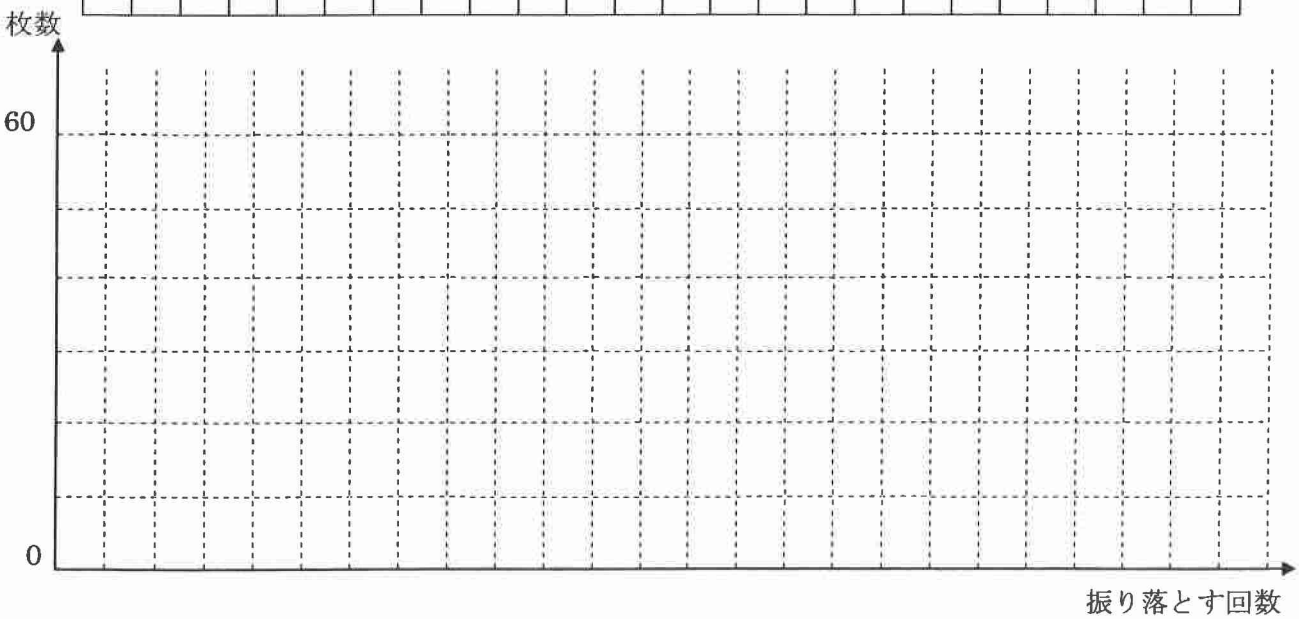
⑤ 赤が出たカードを崩壊したものとして取り除き、残りのカードを箱に戻して①～④を繰り返していく。

2．予想

（どのような減り方をしていくと考えられますか。半減期は何回位になると思いますか）

2．結果

（赤カードの枚数）




4．半減期を求めて考察をしよう

# 放射性崩壊モデル実験（サイコロ）

1．実験方法（その2：サイコロ）

① サイコロを60個用意する。

② 60個すべてを箱の中にいれ、よく振った後机の上に振り落とす。

③ 1の目（赤の目）が出たサイコロは崩壊した原子、その他の目は崩壊しないで残っている原子として、赤の目の出たサイコロの個数（崩壊した原子の数）を数える

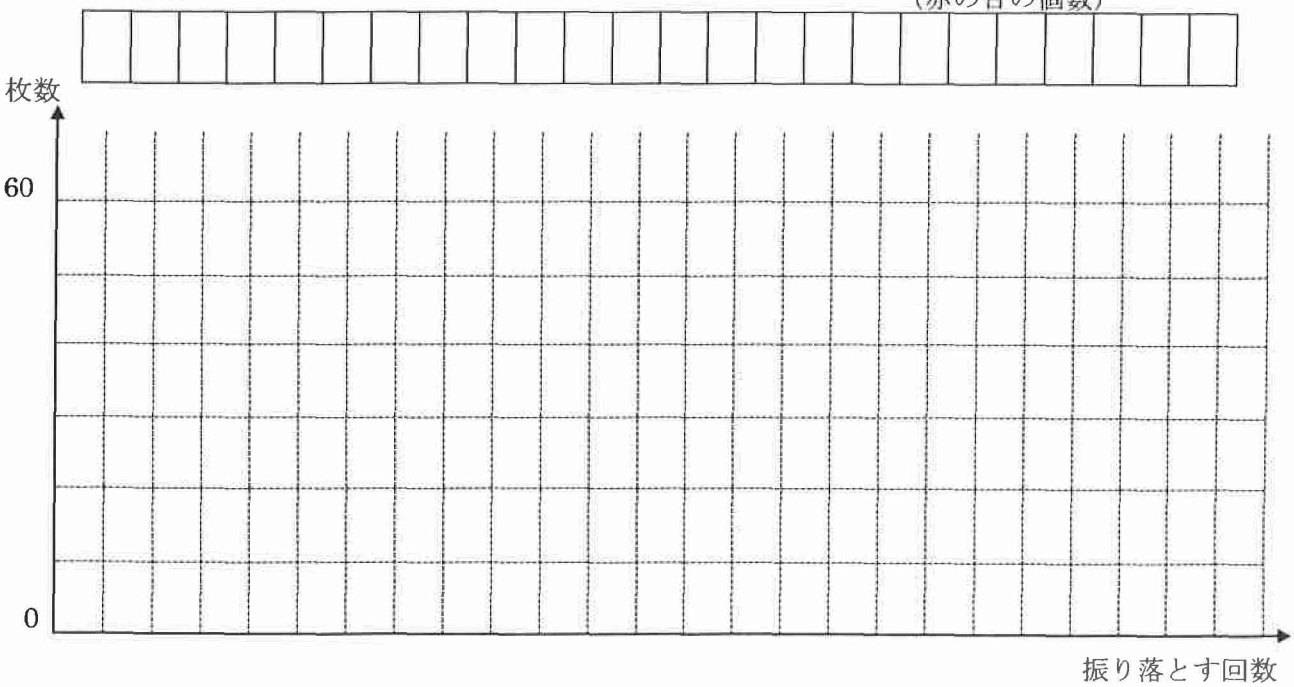
④ 表に赤の目の個数を記入し、グラフには赤の目を除いたサイコロの個数を記す。

⑤ 赤の目の出たサイコロを崩壊したものとして取り除き、残りのサイコロを箱に戻して①～④を繰り返していく。

2．予想

（どのような減り方をしていくと考えられますか。赤白カードと比べてどんな違いがあるでしょうか。半減期は何回位になると思いますか）

3．結果




4．半減期を求めて考察をしよう

（放射性原子の半減期とは、どのようなものなのでしょうか）

# 医療における放射線の利用について

名古屋西クリニック病院　診療放射線技師　加藤幸弘

【はじめに】

本題に入る前に、放射線と放射性物質と放射能の違いについて、簡単ですが、復習したいと思います。

１：放射線：熱や光が伝わる現象

ａ）生物・物質などが放射線を出す（Ｆｉｇ．１上）

ｂ）機械・装置により放射線を発生させる（Ｆｉｇ．１下）

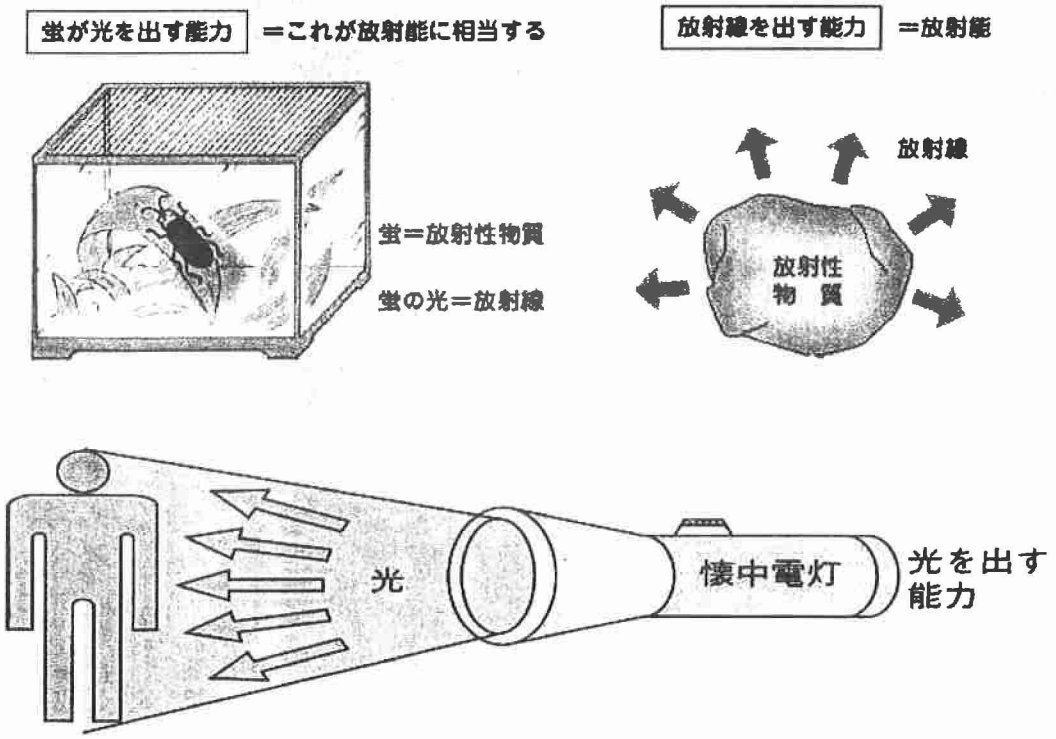
ｃ－１）電離放射線：ぶつかった相手を、電離することができる放射線。
たんに放射線と使われる場合は、電離放射線のこと。

ｃ－２）非電離放射線：電離させる力のない放射線（例：可視光）

２：放射性物質：放射線を出す物質。

３：放射能：ａ）放射線を出す能力があることをあらわす。

ｂ）放射線の単位で、強さをあらわす。




Ｆｉｇ．１　放射線・放射性物質・放射能（出典：放射線利用振興協会・一部改変）

【放射線診療】

診断と治療で、大きく分ければ二つですが、放射性物質を扱う核医学、比較的新しい分野としてInterventional　Radiology（ＩＶＲ）の四つに分けて紹介します。

１：診断：Ｘ線管から発生したＸ線をフィルムなどで受像し、異常の有無を調べる。

２：治療：がん・血管腫などに放射線を照射し、病変した細胞を死滅させる。

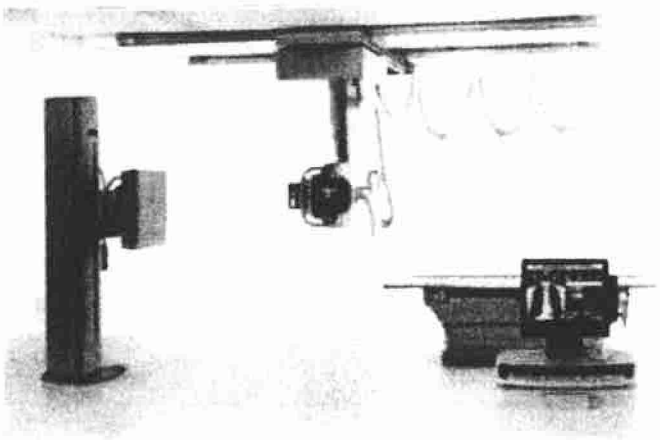
３：核医学：放射性物質を用い、診断や治療をおこなう。

４：Interventional　Radiology（ＩＶＲ）：手術の一種で、血管造影検査の技術から発達した身体に負担の少ない治療法。

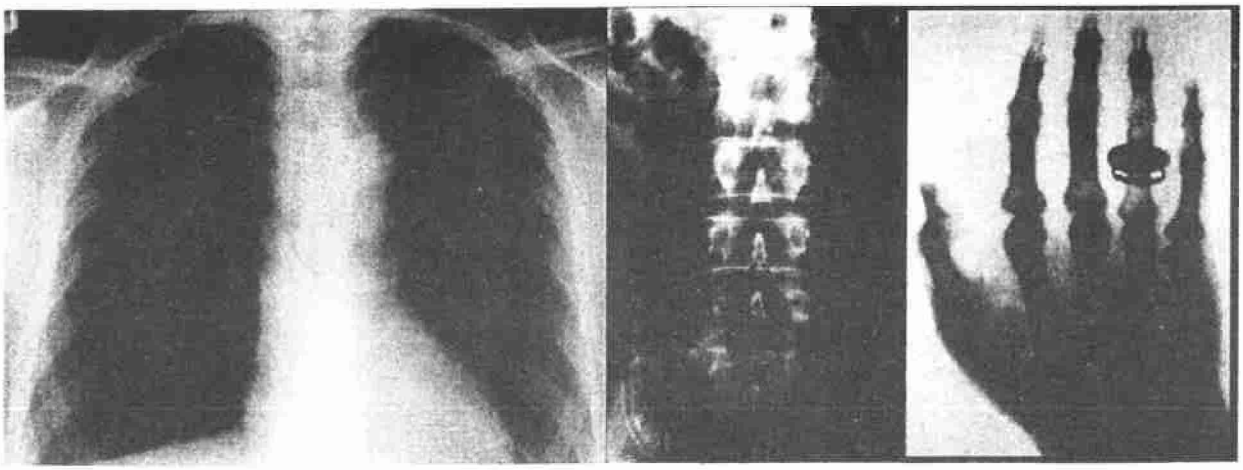
【１：診断】

撮影する場所や目的などによって、一般撮影、断層撮影、造影撮影などに分けられます。

１：一般撮影：特殊な装置・薬剤などを用いない撮影で、頭、胸部、腹部、頚椎、胸椎、腰椎、腕、手、足などを撮影します。



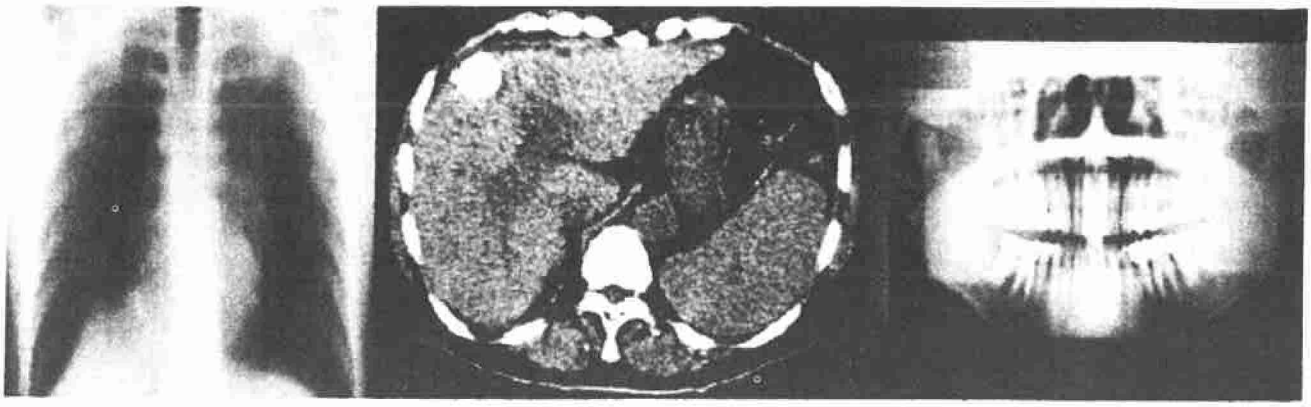
Ｆｉｇ．２撮影システム（出典：東芝メディカル）



胸部　　腰椎　　手（レントゲン夫人）

Ｆｉｇ．３

2：断層撮影：骨、臓器など、病変部と重なった部分を取り除いて、より詳しく見ることができるように特殊な装置を用いて撮影します。



直線断層　　ＣＴ　　パントモ

Ｆｉｇ．４

3：造影撮影：病変や組織・臓器がよく写るようにする薬を用いて撮影します。
バリウムのように口から飲むもの、注射するもの、カテーテルという細い管を血管に入れて行うものなどがあります。

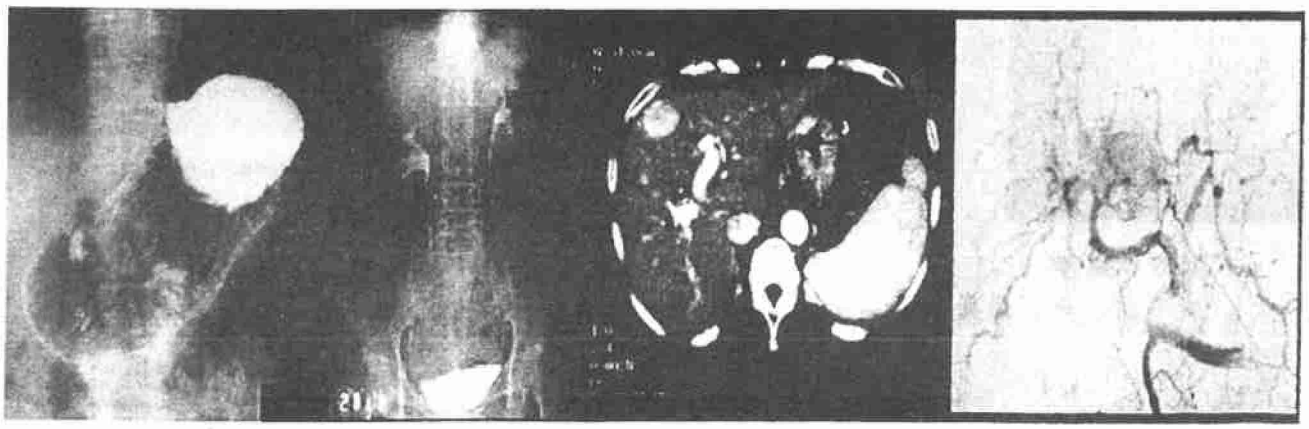
ａ）陽性造影剤：Ｘ線の透過性をさえぎる（バリウム・ヨード剤など）

ｂ）陰性造影剤：Ｘ線の透過をさえぎらない（炭酸ガス・空気など）

また、造影剤に求められる条件として

1：造影効果が高いこと
2：大量に投与できること
3：化学的に安定な化合物であること
4：五感を刺激しないこと
5：身体に取り込まない、取り込んでも無害なこと
6：排出が適当なこと（早すぎても遅すぎてもダメ）
7：安価なこと

などがあげられます。



上部消化管造影　　腎盂造影　　造影ＣＴ　　腹部血管造影

Ｆｉｇ．５

【２：治療】

放射線治療は、単独で、あるいは外科手術・化学療法・温熱療法などと組み合わせて行われており、

１：治癒目的で行う場合

２：症状の改善や除痛が目的の場合

３：予防的な場合

などがあります。

メカニズムとしては、放射線によって細胞を死滅させるのですが、

１：病変部の細胞のほうが正常細胞にくらべダメージが大きい

２：正常細胞のほうが回復が早い

などを利用しており、多方向から照射して正常組織はより少なくなるように、病変部にはより多くの放射線を投与するように行われています。

また、病気によっては、放射線源として加速器を使うか放射性物質を使うのか、放射線を身体の外から照射するのか、内部から照射するのか、１回で可能か、数回、数十回なのかなどの違いがあります。

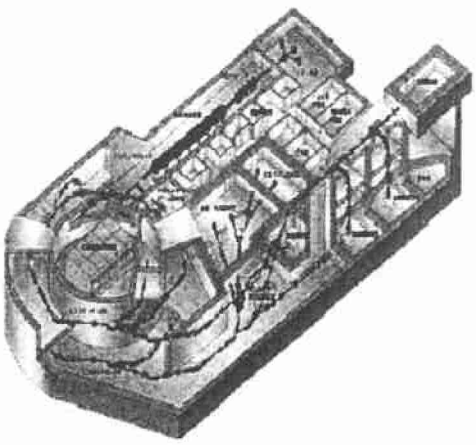
放射線治療は組織・臓器の機能・形態を維持できる場合も多く、ＱＯＬの面からも評価されています。

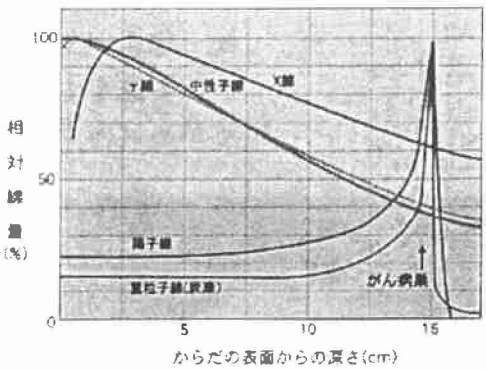
１：加速器（電気的に放射線を発生させる：外部照射）

ａ）直線加速器（ライナック）：Ｘ線、電子線を病変部に照射する。

ｂ）サイバーナイフ：細く絞ったＸ線束を用い、多方向から照射する。

ｃ）重粒子（ＨＩＭＡＣ）：大掛かりな施設を要するが、正常細胞のダメージをより少なくする治療が可能。





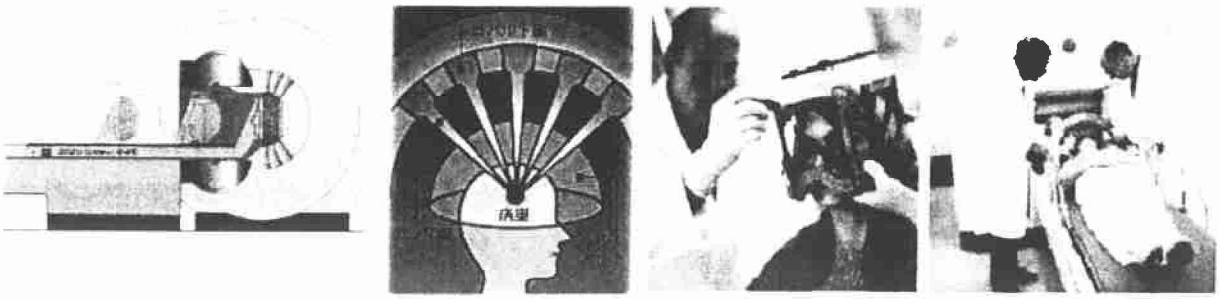

直線加速器　　重粒子（ＨＩＭＡＣ）　　線量特性

Ｆｉｇ．６（重粒子（ＨＩＭＡＣ）・線量特性：出典：放射線医学総合研究所）

２：放射性物質

ａ）外部照射（身体の外から放射線を照射する治療法）

ａ－１）ガンマナイフ：頭に固定具を取り着け、多方向から病変部に向けて照射する。



Ｆｉｇ．７（出典：日本ガンマナイフサポート協会）

術前　　術後５年　　術後１０年

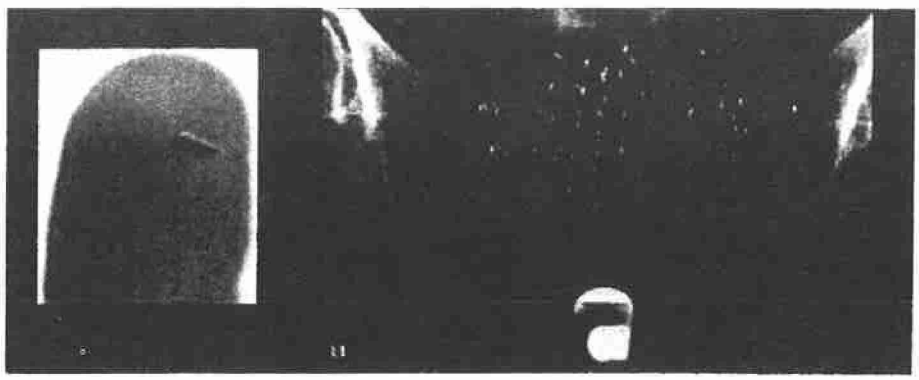
Ｆｉｇ．８：聴神経腫瘍（出典：脳神経外科疾患情報ページ）

ｂ）内部照射（放射線源を患部に挿入して放射線治療を行う方法）

ｂ－１）腔内照射法（腔内：食道・胆管などにあらかじめチューブを装着し、放射線源を挿入）

ｂ－２）組織内照射法（放射線源を永久に埋め込む：Ｆｉｇ．９参照））

ｂ－３）ヨード内服療法（甲状腺機能亢進症や甲状腺癌に用いられている）



線源　　埋め込んだ線源

Ｆｉｇ．９：前立腺がんの小線源治療（出典：京都府立医科大学泌尿器科）

【３：核医学】

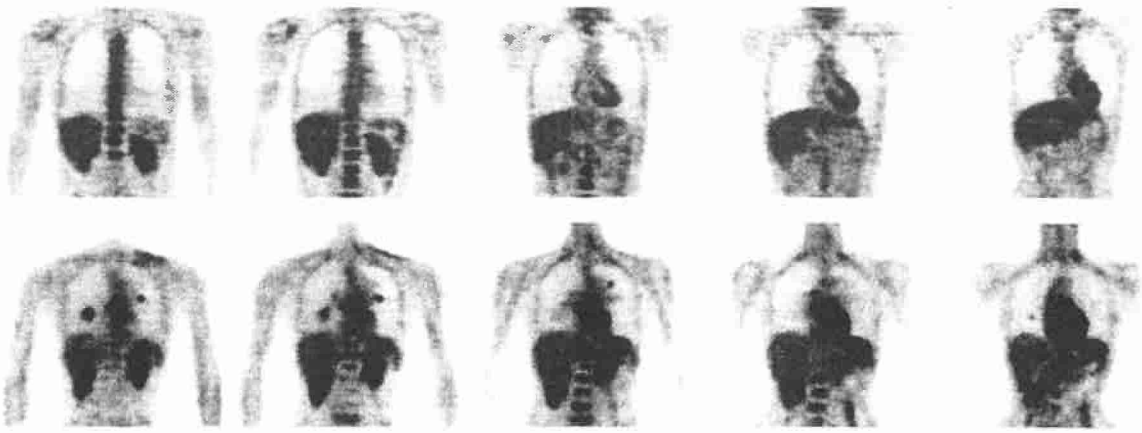
診断と治療に分けられ、診断ではIn　Vivo検査とIn　Vitro検査に分けられる。

１：診断

ａ）In　Vivo検査：放射性物質を体内に投与して組織・臓器に集積する経過や分布を動画や静止画にする

ａ－１）ＲＩ検査：肝シンチ・骨シンチ・Ｇａシンチなど

ａ－２）ＰＥＴ（ Positron Emission Tomography ）：陽電子（Positron）を利用した検査で、微小ながんの発見が期待され、急速に普及しつつある。



Ｆｉｇ．１０：ＰＥＴ（上：正常例、下：肺がん　出典：喜利元貞）

ｂ）In　Vitro検査：検体（血液・尿など）と試薬を試験管で反応させる検査。

ｂ－１）腫瘍マーカー：ＣＥＡ（各種悪性腫瘍）、ＣＡ１９－９（すい臓がん）

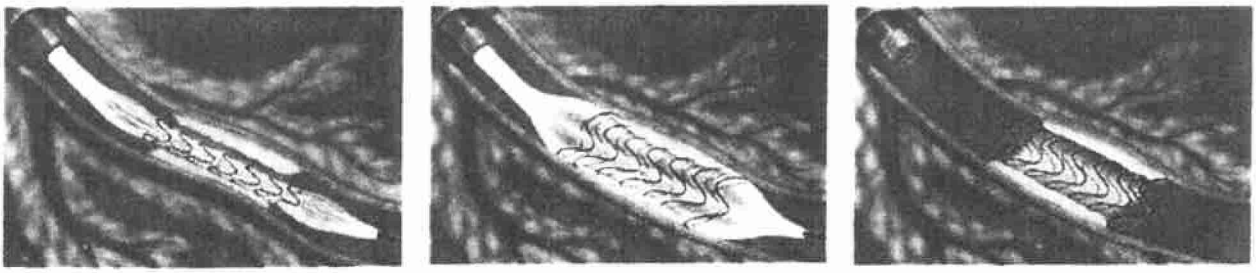
２：治療　⇒　【２：治療】の２）放射性物質の項を参照してください。

【４：Interventional　Radiology（ＩＶＲ）】

画像診断装置や検査器具・治療機材の開発・発達とともに飛躍的に普及してきた分野で、肘や脚の付け根の血管からカテーテルという細い管を入れ、狭くなった血管を広げたり、動脈瘤にコイルをつめたり、あるいはがんなどの治療（血管を止めたり、抗がん剤を投与したりする）を行う手技で、適切な日本語訳がないためInterventional　Radiology と呼ばれ、

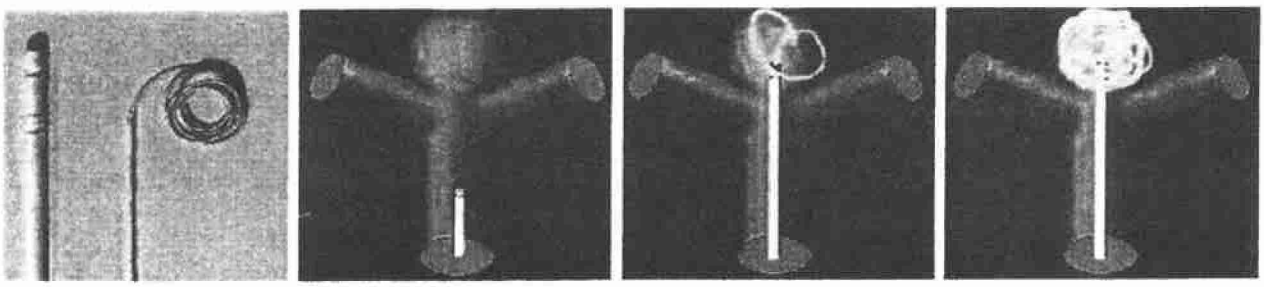
１：血管ＩＶＲ：血管拡張・ステント留置・血栓溶解・リザーバー留置など

２：非血管ＩＶＲ：血管以外でおこなわれ、食道や胆管の拡張・胃ろう・椎体形成などが行われています。



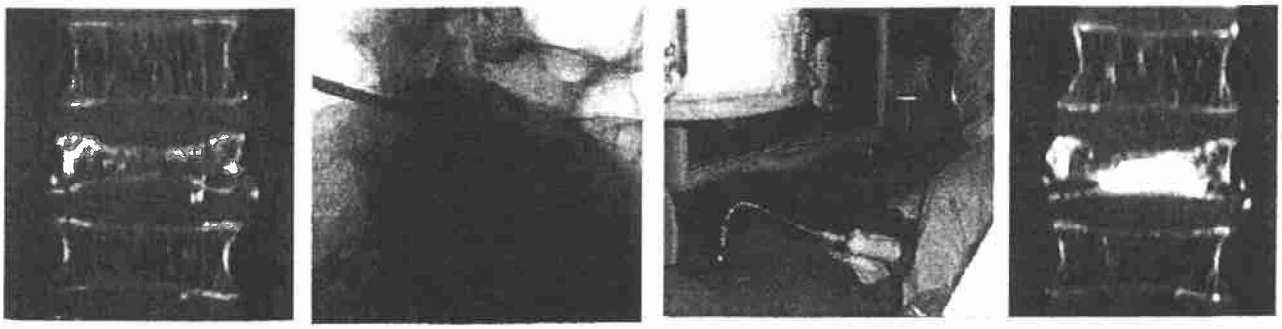
ステントを進める　　ステントを拡げる　　ステントを留置する

Ｆｉｇ．１１：狭窄した血管を拡げ、ステントを留置する（出典：金沢循環器病院）



コイル　　カテーテルを進める　　コイルで塞ぐ　　塞がれた動脈瘤

Ｆｉｇ．１２：金属コイルで動脈瘤を詰める（出典：脳卒中と闘う！）

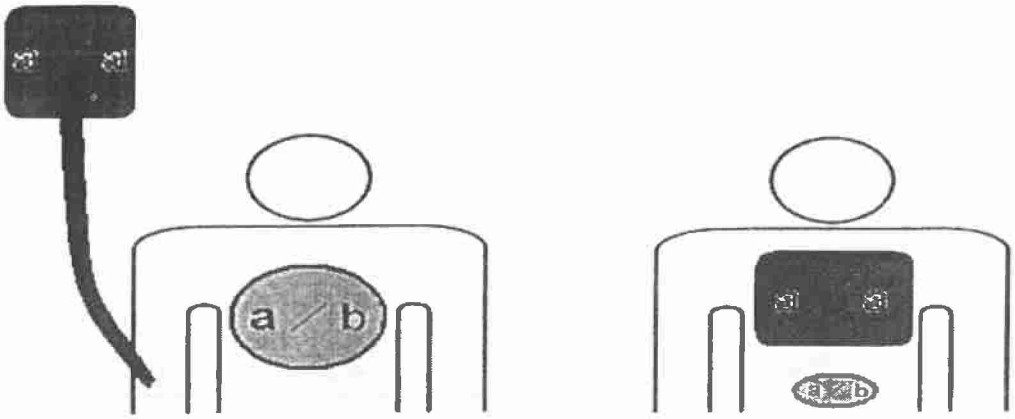


潰れている骨　　骨まで針を刺す　　セメント　　注入されたセメント

Ｆｉｇ．１３：骨にセメントを詰める（出典：久留米大学病院）

【その他の利用】

１：血液照射：移植片対宿主病（血液提供者のリンパ球が、輸血された人のなかで増殖し、組織・細胞を攻撃し破壊する）の予防に用いられる。




Ｆｉｇ．１４（出典：北海道赤十字血液センター：一部改変）

２：医療器材の滅菌・消毒

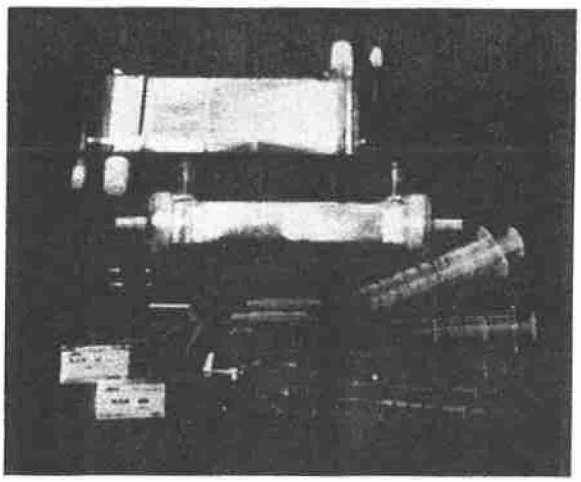
医療施設で用いられる器具・機材は

１：煮沸・高圧蒸気滅菌

２：エチレンオキサイドガス

３：放射線

などで滅菌・消毒されていますが、熱に弱い手術用糸、プラスティック製品、あるいは消毒薬の残留が問題となるような器具・機材には放射線が用いられています。



Ｆｉｇ．１５

【おわりに】

医療において放射線がどのように利用されているか、診断、治療、核医学、ＩＶＲ、その他の利用に分けて紹介しましたが、なかには国内で数ヶ所でしか行われていないもの、あるいは病気のタイプ・程度などによって、希望する診療が最適な診療とは異なる場合もあります。

また、今回、超音波や磁気を使った装置と放射線機器との比較や使い分け、あるいは人体への影響などについて触れることができませんでしたが、これを機に、放射線について興味を持って頂ければ…と思います。

【参考文献】

１：立入弘編：放射線診療技術：南江堂：２００４年
２：片山仁・山口昴一編著：造影剤マニュアル：金原出版：１９９１年
３：鳥住和民著：核医学検査手技の手引き：相互印刷紙器株式会社：１９９７年
４：栗林幸夫編：ＩＶＲマニュアル：医学書院：２００２年

# 環境・食料問題と“食品照射”

中国学園大学　多田幹郎

【要約】

“食品照射”とは，放射線による生物学的作用（致死作用，代謝撹乱作用）を利用して，食品の衛生化（病原菌，寄生虫の殺滅）や保蔵性の延長（根菜類の発芽・発根の抑制，果実の熟度制御，食害昆虫の防除）あるいは化学的作用（分解，重合）および物理学的作用（高分子化合物の高次構造変化）による改質効果を期待して，食品・食材に放射線を照射する技術であり，放射線照射を施された食品を“照射食品”という。

食品照射に関する研究は，この技術の適用範囲と有用性のみならず，照射食品の健全性（毒物学的および微生物学的安全性と栄養学的適性）に関する評価も，国際研究プロジェクトとして進められ，１９８０年にＦＡＯ／ＩＡＥＡ／ＷＨＯ（国連食糧農業機構／国際原子力機関／世界保健機構）の食品照射の健全性に関する合同専門家委員会（ＪＥＣＦＩ）が，「それが毒性を示すことがなく，特別の栄養学的な問題や微生物学的な問題もない」という結論を発表すると共に，世界各国に食品照射の実用化を勧告した。現在，何らかの食品への放射線照射を法的に許可している国は５３カ国，約２３０品目の食品の放射線処理が法的許可を受け，約３０カ国で実用化され，照射食品の国際市場流通が始まっている。

日本における食品照射に関する研究は，１９５５年頃から始まり，その歴史は５０年に及んでいる。そして，１９７２年には，発芽防止を目的とした馬鈴薯へのガンマー線照射が法的許可され，１９７４年には，世界に先駆けて実用照射と市場流通が始まり，現在も北海道士幌の照射プラントでは年間約１万トンの馬鈴薯が照射されている。しかしながら，１９７４年以来３０年間，新たな照射食品の実用化はもとより法的許可申請もなかったが，２０００年１２月，全日本スパイス協会が，当時の厚生省（現，厚生労働省）に，要請書《主題：香辛料の微生物汚染の低減化を目的とする放射線照射の許可の要請》を提出した。

平成１７年１０月１１日，内閣府原子力委員会が「原子力政策大綱」を公表し，１０月１４日には閣議決定された。本大綱は，原子力エネルギー利用はもとより，放射線利用についても，学術，工業，農業，医療活動等の幅広い分野について，種々の観点からの評価ならびに提言が記載されている。“食品照射”についても，次のように記述されている。「食品照射のように放射線利用技術が活用できる分野において，社会への技術情報の提供や理解活動の不足等のために，なお活用が十分に進められていないことが課題として指摘されている」，「食品照射については，生産者，消費者等が科学的な根拠に基づき，具体的な取組の便益とリスクについて相互理解を深めていくことが必要である。また，多くの国で食品照射の実績のある食品については，関係者が科学的データ等により科学的合理性を評価し，それに基づく措置が講じられることが重要である」。これらの記述は，わが国の食品照射に関する現状を的確に表すと共に，その打開の方策を提示していると理解される。そして，その評価と提言への措置と対応策の検討を目的として，内閣府原子力委員会は《食品照射専門部会》を１２月６日に設置した。

## １　はじめに

人類の誕生から今日に至るいずれの時代においても，それぞれの時代の人々が安心し，豊かな生活を送るための第一条件は《安全で十分な食料の確保》であったであろう。そして，今日においても，生活環境の保全と共に，食料の確保および食中毒あるいは病原菌感染の防御という課題は，健康維持・保健衛生という人類の基本に関わる問題として存在し続けている。

これまでは，品種改良，栽培技術の改善などによって農業の生産性が飛躍的に向上してきたが，大陸内部での砂漠化の進行，塩分集積などの土壌劣化，地下水の枯渇などによる優良農耕地の減少により，今後の地球規模での食料生産が飛躍的に増大することは望めない状況にある。その一方で，収穫された農産物のかなりの部分（１０～３０%）が，収穫後の貯蔵，流通などの過程で，虫による食害，カビや細菌などによる腐敗によって損耗していると云われている。それに加えて，その対策として使用されてきた化学薬剤（エチレノキサイド，メチルブロマイドなど）は，環境への負荷の観点から，その使用が厳しく規制されはじめた。従って，食糧の確保については，収穫後の《食料の損耗防止》の新たな技術開発が重要な課題になってきた。

また，近年，食品衛生に関する技術が進歩し，ＨＡＣＣＰ（危害分析重要管理点方式）あるいはＧＭＰ（製造適性基準）などの食品製造の衛生管理に関する総合体制の整備と規制化が加速され，衛生状態は著しく改善されてきているが，相変わらず食中毒の問題は解決されていないのが現状である。また，飽食の時代と言われ，食料の確保の必要性についての実感に乏しい日本においても，人々の「健康志向」の高まりを受けて，「食と健康」，「食の安全」に関する知識が向上し，世情をにぎわしている牛肉のＢＳＥ問題や頻発している食中毒事件を契機として《食の衛生》が強く望まれるようになってきた。

本講義で取り上げる“食品照射”は，それが上述した社会的課題に応える一方策として，国際機関によってその有用性が認識され，その適用が各国に向けて勧奨されている技術であり，また，放射線照射を施された食品“照射食品”は，国際プロジェクトによる長い年月をかけての研究によって，その健全性（毒性学的および微生物学的安全性と栄養学的適性）が保証されている。さらに，今日，各種食品への放射線照射のための装置や条件設定などの技術的な問題の大部分は解決済みであり，ＩＡＥＡなどの資料によると，現在，何らかの食品への放射線照射を法的に許可している国は５３カ国，対象食品は２３０品目に達し，３４カ国で実用化され，照射食品の国際市場流通が始まっている。ところが，日本の食品衛生法は，食品への放射線照射は原則的に禁止されており（馬鈴薯の発芽防止を目的とする放射線照射は例外として許可されている），そのため，放射線処理を行うことは勿論，放射線照射された食品の輸入も許されないのが現状である。

しかし，《食品照射は世界の流れ》となり，多くの食材・食品が国際市場を流通し始めている現状下で，食料自給率が４０%の日本において，食品照射の法的規制を何時までも続けることは，「グローバルスタンダードへのハーモニゼーション」の観点からも好ましいものではなく，その規制緩和が国内はもとより国外からも強く要望されている。

## ２　食品照射とは

１９世期末に続いた放射線・放射性同位元素の発見の直後から，放射線の人体に及ぼす

影響に関する多くの事例が報告され，それを契機として，放射線に係わる物理学，化学，生物学の研究が展開された。そして，それらの研究成果として，放射線の安全管理システムの確立と共に，放射線の利用に関する知識と技術の進展がもたらされた。“食品照射”はその成果として生み出された技術の一つである。即ち，放射線の生物学的作用（致死作用，代謝変動等）による殺虫・殺菌，発芽・発根防止や熟度制御などの食品の衛生化や保蔵性の延長，あるいは化学的作用および物理学的作用による食材の加工適正や物性の改善または改質を期待して食品に放射線を照射する技術である［表１，表２］。

表１　食品への放射線照射により期待される効果

１．殺菌　食中毒菌の殺滅：衛生化
　　微生物汚染の低減化：貯蔵期間の延長
２．殺虫　貯穀害虫による被害の軽減，植物防疫手段（燻蒸剤の代替）
３．代謝撹乱
　　１）熟度調節：果実の熟度抑制あるいは促進
　　２）発芽・発根の阻止：根菜類の保蔵性向上
　　３）生育阻止：マッシュルームの開傘防止
　　４）昆虫の不妊化
４．食材の加工適正および物性の改善
　　１）乾燥野菜の復水性の改善，滲出性（放香性）の向上
　　２）高分子化合物の機能特性（物性）の改良

表２　食品照射の利用区分

| 区　分 | 線量（ｋＧｙ） | 対象食品例 |
|---|---|---|
| ◇低線量照射（～１ｋＧｙ） | | |
| ａ）発芽抑制 | ０．０２～０．１５ | 馬鈴薯，玉ねぎ，にんにく |
| ｂ）殺虫および寄生虫防除 | ０．１０～０．５０ | 穀類，豚肉，魚，果実，豆類 |
| ｃ）熟度調節 | ０．５０～１．０ | 生鮮果実，熱帯産果実類 |
| ◇中線量照射（１～１０ｋＧｙ） | | |
| ａ）貯蔵期間の延長［腐敗菌の一部を殺菌：Radurization］ | １．０～３．０ | 生鮮魚介類，畜肉，生鮮果実 |
| ｂ）食中毒防止［病原性微生物の殺滅：Radicidation］ | ３．０～７．０ | 冷凍魚介類，鶏肉，冷凍卵 |
| ｃ）微生物汚染の低減(殺菌) | ５．０～１０．０ | 香辛料，乾燥野菜，魚粉，飼料 |
| ｄ）加工適正の改良 | ２．０～１０．０ | 寒天生産，乾燥野菜の復水性の改善，食材の機能特性の改善 |
| ◇高線量照射（１０ｋＧｙ～） | | |
| ａ）完全殺菌（滅菌）［商業的無菌状態：Radapertization］ | １０～３０ | ハム，ベーコン，無菌動物飼料，重篤患者病院食，宇宙食 |

## ３　食品照射の特徴

今日食品照射が注目される理由に，それが低熱量処理であるため熱による変化が少なく，生鮮食品にも利用が可能である点，放射線を選ぶことによって，表面処理を行ったり，包装後の深部処理が可能である点などが挙げられる。また，食品の安全性と衛生の確立が強く望まれている状況下で，これまで使われていたガス燻蒸法などの化学薬剤による処理は，その殆どが環境への配慮と残留性の問題で使用が厳しく制限され，他に適切な非加熱殺菌法が見当たらないため，非加熱殺菌法としての有用性・有効性が認められている食品照射に大きな期待が寄せられている［表３］。

表３　放射線処理の利点

| |
|---|
| １．放射線処理は温度上昇を伴わず，生鮮食品にも適用が可能。<br>（１０ｋＧｙの線量で，理論上２．４℃の温度上昇） |
| ２．放射線を選ぶことによって，表面のみ処理したり（電子線），<br>包装後処理（ガンマー線，Ｘ線）も可能。 |
| ３．放射線処理が多様な効果を示す。 |
| ４．処理工程を連続的に流れ作業で行うことが可能。 |
| ５．安全かつ簡便な照射装置の開発の進展がある。 |
| ６．化学薬品のような残留毒性や環境への負荷の問題がない。 |

一方，放射線処理が人類にとって始めての手段であり，目的とする効果以外の副反応についての詳細が明らかではないため，その安全性についての確証が無いことが問題点として挙げられていた。しかし，これらの問題点については，後述するように，国際プロジェクト研究によって解決されている。また，放射線照射のための装置や条件設定，安全管理などの技術的な問題は殆ど解決され，世界の人口が増大しつつある状況下で，食料の確保（損耗防止）とその衛生化に対応する技術の一つとして，今や国際的に認知されている。

## ４　食品照射の開発と発展

１９３０年代後半に，今日の食品照射に関連する放射線生物学的効果の発見とその応用の可能性が提案された。そして，１９４３年に食品照射の実用化研究がアメリカで開始され，１９５３年には陸軍の“食品照射５ヶ年計画”が企画され，約４０の研究機関を動員した総合的な研究が進められた。また，同時期，カナダとソ連（現ロシア）でも国家プロジェクトによって実用化に向けての研究が進められた。出遅れていた欧州では，１９６０年に，欧州経済開発機構と欧州原子力機構の合同による食品照射研究グループを発足させた。このような，多くの国における食品照射の開発の研究によって，表１，表２に示した効果と適用範囲が明らかにされると共に，その実用化の可能性が提唱され，ソ連では馬鈴薯の発芽防止（１９５８年）と貯穀害虫の殺虫（１９５９年）を目的とする放射線照射が法的許可され，続いて，カナダでは馬鈴薯の発芽防止（１９６０年）が許可された。アメリカにおいては，貯穀害虫の殺虫とベーコンの完全殺菌が１９６３年に，馬鈴薯の発芽防止が１９６４年に法的許可された。しかし，次に述べる照射食品の健全性評価が行われるまで，いずれもその時点での実用化には至らなかった。

## ５　照射食品の健全性評価

食品照射に関する研究は，この技術の適用範囲と有用性のみならず，照射食品の健全性に関する評価をも対象とすることの必要性が提起された。これを受けて，１９６１年に，ＦＡＯ／ＩＡＥＡ／ＷＨＯ（国連食糧農業機構／国際原子力機関／世界保健機構）の食品照射の健全性に関する合同専門家委員会（ＪＥＣＦＩ）が設置された。そして，第１回のＪＥＣＦＩ（１９６９年）において，当時世界各国で行われていた種々の動物実験に統一性を持たせると同時に実験に関する情報交換の場として，照射食品に関する国際プロジェクト（ＩＦＩＰ）を開始した（１９７０年～１９８１年，日本を含む２７ヵ国が参加)。この間，１９６４年に，ＦＡＯ／ＩＡＥＡ／ＷＨＯの法規制の技術的基礎に関する合同専門委員会が「照射による生成物は“食品添加物”と見なす」と見解を発表した。この見解は，放射線照射によって食品中に放射線分解生成物が生じ，それらの中には健康を損なう物質が存在する可能性を考慮したものであった。しかしながら，ＩＦＩＰによる膨大な研究において，照射食品が発ガン性物質や毒性物質を含むという事実は観察されず，また，放射線分解生成物の量は，６０ｋＧｙ（キログレイ）までの照射では１ｍｇ／ｋｇ以下であり，生成する化合物の大部分は加熱などの物理的方法で処理された食品中にも存在すると結論された。この結果に基づき，１９７６年にＪＥＣＦＩは，前述の“食品添加物”と見なすという見解を修正し，「照射食品は加熱・冷凍などと同様の“食品処理に関する物理的方法”である」と発表した。さらに，１９８０年には，「平均線量が１０ｋＧｙ以下の放射線を照射した如何なる食品についても，それが毒性を示すことがなく，従って，１０ｋＧｙ以下の放射線を照射した食品についての毒性試験はこれ以上行う必要はない。さらに，１０ｋＧｙ以下の平均線量を照射した食品は，特別の栄養学的な問題や微生物学的な問題もない」という結論を世界に向けて発表し，１９８３年には，国際食品規格委員会が，「照射食品に関する国際一般規格」と「食品照射実施に関する国際規範」を採択して，
ＷＨＯおよびＦＡＯの加盟各国に食品照射の実用化を勧告した。

この勧告を受けて，各国で実用化の動きが始まったが，一般消費者からの十分な理解が得られず，また，消費者団体からの抵抗を嫌った産業界がこの技術の採用を躊躇したため，期待された程の進展は見られなかった。ところが，１９９０年代前半，世界の人口増加に伴う食料の確保，化学物質による環境汚染の回避，食品の安全性と衛生の確立が人類共通の課題となり，化学物質によらない殺虫法あるいは非加熱殺菌法としての食品照射がクローズアップされ，国際機関による活発な活動が再開された。例えば，国際食品照射諮問グループは，アジア・中南米に対する食品照射技術移転のための国際研究プロジェクト並びに原子力科学技術に関する研究・開発及び訓練のための地域協力協定（ＲＣＡ）に基づくアジア地域プロジェクトを実施するなど，食品照射推進のための助言と啓発活動を展開した。さらに，１９９４年，ＷＨＯは照射食品の再評価を行い，「照射食品の安全性と栄養適性」を出版した（１９９４年）[表４]。　このような国際機関の積極的な活動によって，照射食品の国際流通を前提とした取り組みが始まり，各国で食品照射の実用化が進んでいる。ＥＵ食品科学委員会は食品照射の対象品目と吸収線量に関する指針を出し（１９９８年)，また，ＲＣＡに基づくプロジェクトの終了を受けて，アジア諸国における食品照射の統一規格に関するワークショップがソウルで開催された（１９９８年)。

そして，現在，年間約５０万トンの食材・食品が放射線照射され，多量の照射食品が国際市場を流通し，その量は今後も増え続くと言われている。また，この間，国際植物防疫条約（ＩＰＰＣ）に従って制定された衛生植物検疫措置の適用に関する協定（ＳＰＳ協定）に，植物検疫措置の一つに放射線照射が採用された。

表４　食品照射の健全性に関する国際機関の取り組み

| 年　代 | 内　　容 |
|---|---|
| １９６１ | ＦＡＯ／ＩＡＥＡ／ＷＨＯ（国際食糧農業機構／国際原子力機関／世界保健機構）の食品照射の健全性に関する合同専門委員会（ＪＥＣＦＩ）の設立 |
| ☆１９６７ | 原子力特定総合研究「食品照射開発基本計画」に基づく国家プロジェクト研究の開始［～１９８７年］ |
| １９７０ | 食品照射の健全性評価のための国際食品照射プロジェクトの発足［日本を含む２７カ国が参加（～１９８１年） |
| ☆１９７２ | 発芽防止を目的とした馬鈴薯へのガンマー線照射の法的許可 |
| ☆１９７４ | 発芽防止を目的とした馬鈴薯へのガンマー線照射の実用照射の開始［北海道士幌農協］ |
| １９７６ | ＪＥＣＦＩが「食品照射は加熱処理と同様の物理的処理法」であると発表 |
| １９８０ | ＪＥＣＦＩが平均線量が１０ｋＧｙ以下の照射食品は健全であると宣言 |
| １９８３ | ＦＡＯ／ＷＨＯ合同食品規格委員会（Codex 委員会）が平均線量が１０ｋＧｙ以下の照射食品の一般規格と食品照射実施に関する国際規範を採択 |
| １９９４ | ＪＥＣＦＩが照射食品の健全性を再評価し，その成果を「照射食品の安全性と栄養適正」にまとめて出版し，それに基づいて，ＷＨＯが食品照射技術の採用訴える。 |
| １９９７ | ＪＥＣＦＩが平均線量が１０ｋＧｙ以上の高線量照射食品についても健全であると宣言（世界各国で実用化が進む） |
| ☆２０００ | 全日本スパイス協会が，「香辛料の微生物汚染の低減化を目的とする放射線照射の許可の要望書を厚生省に提出 |
| ☆２００６ | 内閣府原子力委員会食品照射専門部会が、食品照射の規制緩和に向けての報告書を公表し、パブリックコメントを募集 |

☆わが国におけるエポックメイキングな事項

６　わが国における食品照射の歩み

わが国における食品照射に関する研究は，１９５５年頃から始まり，多くの公的研究機関や大学の研究者によって精力的に進められた。そして，１９６５年には，食品照射に関わる研究者によって「日本食品照射研究協議会」が設立された。このように，わが国における食品照射研究が活発になり始めた頃，時の原子力委員会は，食品照射を原子力平和利

用の一分野であると位置付けると共に，この技術の有用性を認識し，わが国の食品照射に関する基礎研究および実用化研究を発展させる方策を検討することを目的として，「食品照射専門部会」を設置した。そして，そこでの検討結果に基づき，１９６７年から，原子力特定総合研究「食品照射研究開発基本計画」に基づく国家プロジェクトが始まり，７品目［馬鈴薯，玉葱（発芽抑制），ウインナーソーセイジ，水産練製品，温州みかん（以上：殺菌）ならびに米，小麦（殺虫）］を対象として，その有用性のみならず健全性をも含めた研究が２０年間続けられ，有用性の実証と健全性の確認が報告された［表５］。

表５　「食品照射研究開発基本計画」に基づく研究概要

| 対象食品 | 照射目的 | 放射線 | 効果 |
|---|---|---|---|
| 馬鈴薯 | 発芽防止 | γ－線 | ６０～１５０Ｇｙで発芽防止効果（室温，８ヵ月の貯蔵） |
| 玉ねぎ | 発芽防止 | γ－線 | ２０～１５０Ｇｙで発芽防止効果（室温，８ヵ月の貯蔵） |
| 米 | 殺虫 | γ－線 | ２００～５００Ｇｙで完全殺虫効果（部分殺菌効果確認） |
| 小麦 | 殺虫 | γ－線 | ２００～５００Ｇｙで完全殺虫効果（部分殺菌効果確認） |
| ウインナーソーセージ | 殺菌 | γ－線 | ３～５ｋＧｙで１０℃での貯蔵期間が２～３倍延長 |
| 水産練製品 | 殺菌 | γ－線 | ３～５ｋＧｙで１０℃での貯蔵期間が２～３倍延長 |
| 温州みかん | 表面殺菌 | 電子線 | ０．５ＭｅＶの電子線１．５ｋＧｙで低温貯蔵期間が３倍延長 |

なお，この時期のわが国における研究は世界の食品照射研究をリードし，この一連の研究における健全性評価のシステムは，ＩＦＩＰ（食品照射の健全性に関する国際プロジェクト）による評価方法のモデルとされたほどに厳密なものであり，多大の時間と経費を費やして行われた［表６，表７］

表６　照射馬鈴薯の動物実験の内容

| 試験項目 | 供試動物 | 期間（月） |
|---|---|---|
| 短期毒性試験 | サ　ル　♂２，♀３ | ６ |
| 長期毒性試験 | マウス　８０（♂４０，♀４０）×５ | ２１ |
| | ラット　６０（♂３０，♀３０）×５ | ２４ |
| 繁殖および催奇形性試験 | マウス　４１（♂１８，♀２３）×３ | ４代 |

表７　照射馬鈴薯の動物実験検査項目

| | |
|---|---|
| 一般症状： | 体重（成長），摂餌量および摂水量，食餌効率，死亡率，<br>血液学的検査（赤血球および白血球数，網状赤血球数，<br>総ヘモグロビン量，ヘマトクリック値，白血球百分比） |
| 血液生化学的検査： | 総タンパク量，Ａ／Ｃ．血糖値，総コレステロ<br>ール量，尿素窒素，ＧＯＴおよびＧＯＴ活性 |
| 病理組織学的検査： | 臓器重量，肉眼的ならびに顕微鏡的検査 |
| 繁殖・催奇形性試験： | 妊娠率，同腹仔数，胎盤遺残数，浸軟胎仔数，<br>平均出産仔数，哺育数，新生仔平均体重，<br>胎仔外形および骨格検査 |

この国家プロジェクトの下で構築・実施された研究体制と研究支援によって，わが国における食品照射研究は盛り上がり，そして，その成果として，１９７２年には，発芽防止を目的とする馬鈴薯へのガンマー線照射が法的に許可され，１９７４年１月からは世界に先駆けて実用照射が始まり（士幌農協），現在も，年間約１万トンの照射馬鈴薯が市場に出荷されている。

このように，一時期世界の食品照射研究をリードし，実用化の先鞭を付したにもかかわらず，予定されていた玉葱の発芽防止についての許可が消費者団体の強い反対運動によって頓挫したことを契機として，我が国における食品照射研究は衰退の一途をたどり，研究者数も激減し，新たな食品照射の実用化はもとより，法的許可もなく，世界各国から「食品照射の後進国」あるいは「照射食品の鎖国政策」との評を受ける状況が続いていた。

７．香辛料への放射線照射の法的許可の申請

ところで，近年，わが国においても，病原性大腸菌Ｏ－１５７，黄色ブドウ球菌，サルモネラ菌による中毒事件の頻発によって人々の食品衛生に対する関心が一段と高まり，これを背景として，ＨＡＣＣＰ（危害分析重要管理点方式）あるいはＧＭＰ（製造適性基準）などの食品製造の衛生管理に関する総合体制の整備と規制化が加速された。それに加えて，ＰＬ法（製造者責任法）の施行によって，加工食品，調理済食品などの製造業者は，その原料となる食材や添加物の衛生に一段と注意を払い，それら原材料の製造あるいは納入業者に対して，従来にもまして，厳しい微生物管理を要求するようになってきた。

衛生の確保，即ち，微生物の殺滅あるいは除菌方法としては加熱処理が最も一般的であり，また効果的でもある。一方，加熱処理を適応し難い対象物に対しては非加熱殺菌法と呼ばれる手法が採用される。これは化学薬品処理と熱以外の物理的要因による処理に区分される。化学薬品処理は，残留性および環境汚染の観点から厳しい規制を受け，物理的方法は，効果が局部的であったり，大型の装置を必要とすることから，適用と実用の範囲が限定される。それ故，実用的な非加熱殺菌法の開発が強く望まれているのが現状であり，他に有効な非加熱殺菌法が見当たらない状況の下で，その有用性と健全性が国際機関で認められている放射線殺菌法が注目された。

２０００年１２月４日，全日本スパイス協会は時の厚生省（現，厚生労働省）に，《香辛料の微生物汚染の低減化を目的とする放射線照射の許可の要請》を，以下に示す主文に全５冊に及ぶ資料を付して提出した。

「香辛料の微生物等による汚染の低減化を目的とする放射線照射の適用のために，食品衛生法第７条　基準，規格に合わない食品又は，添加物の製造等の禁止　第１項に基づく告示　食品，添加物等の規格基準第１　食品のＢ　食品一般の製造，加工および調理基準の１　放射線照射の原則禁止とその例外許可に準拠して，Ｄ条項に“香辛料”の項を追加されると共に，仮称“香辛料の加工基準（放射線照射）”を定められるよう要請します。　なお，“香辛料の定義（仮称）”と“香辛料の加工基準（放射線照射）”についての試案を要請内容の概要にまとめ，また，許可要請の背景・理由等の概要説明並びに放射線処理に係わる詳細説明と合わせて添付いたしますので，宜しくご検討下さいますようお願い申し上げます（原文）」

つまり，日本の食品衛生法は食品に放射線を照射することを原則的に禁止しているが，馬鈴薯の発芽防止のための放射線照射は例外規定で許可されている。この例外規定を香辛料にも適用して欲しいとの要請であり，その要請書に記載された“香辛料の定義”と“香辛料の加工基準（放射線照射）”の概要は次のように要約される。

（１）適用範囲

要請対象香辛料は，食品衛生法の既存添加物収載品目リストに，香辛料抽出物の基源として記載されている植物を中心とする９４品目に限定し，これらのブレンド製品も照射対象に加え，また，照射時の様態は，乾燥物として粉砕あるいは破砕などの形態は問わないものとした。

（２）香辛料の加工基準［放射線処理の条件］

①使用する放射線の種類：原子力基本法の定める放射線のうち，次のイオン化放射線を使用する。

ａ）エネルギーレベルが１０ＭｅＶ（メガエレクトロボルト）以下の機械から発生した電子線

ｂ）エネルギーレベルが５ＭｅＶ以下の機械から発生したエックス線

ｃ）コバルト－６０またはセシウム－１３７から放射されるガンマ－線

②吸収線量の制限：照射処理の目的（害虫駆除，病原菌の殺滅，菌数低減あるいは完全殺菌）の達成，国際規格との調和ならびに適正製造基準への適合を考慮して，対象とする香辛料の種類と照射目的に応じて吸収線量の上限を次のように決定する。

ａ）害虫駆除：１ｋＧｙ，ｂ）殺菌：１０ｋＧｙ，ｃ）完全殺菌：３０ｋＧｙ

（３）表示

照射加工を行った香辛料には，食品衛生法施行規則第５条の規定に従って，放射線を照射した旨をを表示する。

（４）その他

香辛料への放射線照射は，可及的衛生的に取り扱った原材料あるいは製品を対象として，それらの微生物等による汚染の低減化を目的とすることを絶対的な条件とし，一度照射した香辛料には再照射しない。また，照射した香辛料毎に処理の条件を記録・保管し，消費者等からの公開要求に応えられるようにする。

また，要請書に記載された背景・理由は次のように要約できる。

現在，わが国の食品衛生法では，食肉製品及び魚肉練製品の製造基準として，原材料として使用する香辛料や乾燥野菜の１グラム当たりの芽胞形成菌の数を１０００個以下にすることを義務づけている。ところが，香辛料は１グラム当たり数十万から数千万個の微生物で汚染されており，それらの多くは耐熱性の胞子を形成する。それ故，納入業者は香辛料を殺滅菌処理しなければならない。ところで，香辛料の殺菌を加熱法で行うとすれば，高温で長時間の処理が必要となりそれらの品質は著しく損なわれる。従って，非加熱殺菌法としての放射線殺菌法に大きな期待が寄せられている。つまり，香辛料の殺菌に放射線殺菌法を採用すれば，その品質を大きく損なうことなくその目的を果たすことが可能となる。現に，世界の多くの国（４７カ国）において，香辛料の放射線殺菌が法的に許可され，３０カ国で年間１０万トン以上の香辛料が放射線処理されて，国際市場を流通している。しかし，日本の食品衛生法は，食品への放射線照射は原則的に禁止しており，そのため，放射線殺菌を行うことは勿論，放射線照射した香辛料を輸入することも許されない。従って，わが国に輸入されてくる香辛料は放射線照射はされておらず，それ故，１グラム当たり数十万から数千万個の微生物で汚染されている。そこで，製造業者の厳しい要求に応えるために，納入業者は，その品質は犠牲にして，過加熱水蒸気による加熱殺菌処理法を採用して衛生的基準を満足させているのが現状である。このような現状は，関連業界のみならず，消費者にとっても好ましいことではなく，法規制の継続は香辛料の質的のみならず量的確保も困難にしかねず，放射線殺菌法の法的許可に対する要望は，国内はもとより，食品流通の国際化が進むなかで，わが国の法規制緩和を求める諸外国からの要望も高まりつつある。

まさに，約３０年振りに，食品照射の法的許可申請が始まったわけであるが，香辛料以外にも，例えば，乾燥野菜，海苔，茶葉，天然食品添加物あるいはタンパク性食材など，加熱殺菌法が適用し難い加工食品原材料は多種に及び，これらの衛生化手法として，放射線殺菌法に期待が寄せられており，この法的許可申請の可否に強い関心を示した。

全日本スパイス協会による法的許可の要請書提出から以来５年半が過ぎたが，未だ許可を受けるに至っていない。この理由の一つに，研究者の数が少なく，宣伝と理解・容認を求める啓発活動が十分に行わなれなかったことが挙げられる。また，社会からの食品照射に関する理解・容認が得られていないという判断と，このために予想される消費者の反応を危惧しての躊躇から，食品加工業界からのニーズの声が規制緩和の推進を促す程には大きくなかったことも理由として考えられる。

しかし，厚生労働省と食品安全委員会および原子力委員会は，この要請をまったく無視していた訳ではなく，食品照射が，国民の健康に寄与する技術であり，その技術の採用が世界の流れとなりつつある状況下で，消費者からの理解と容認を得るためのリスクコミュニケーションに要するデータの収集など，慎重に対応していると聞き及んでいた。また，食品照射が，国民の健康に寄与する技術であり，その技術の採用が世界の流れとなりつつある状況下で，わが国が食品照射の法的規制を続けることは好ましいものではないとの認識に基づく議論と，それに加えて，諸外国では，食品照射の実用化に向けて，その評価を国の責任で行っているにもかかわらず，わが国では適切な対応を行わなかったことへの反省もあったであろうと思われる。

前述のように，１９６５年，時の科学技術庁原子力委員会は“食品照射専門部会”を設置した。そして，４０年後の２００５年１２月，内閣府原子力委員会は，同じ名称の《食品照射専門部会》を設置した。旧専門部会の活動は，わが国の食品照射研究の推進・隆盛をもたらした。ところで，新専門部会は，世界の動きから遅れている食品照射の許可・実用化の現状打開に向けての活動を活性化することができるであろうか？

専門部会設置の主目的は，生産者，消費者等が具体的な取組の便益とリスクについて相互理解を深めるため，また，関係者（行政機関）が適切な措置を講ずるための検討に役立てるために，食品照射に関する現状を把握すると共に，科学的な根拠に基づいて，食品照射の有用性と適用範囲ならびに照射食品の健全性についての認識を深めることであり，リスクアセスメント（リスク評価：食品安全委員会の役割）やリスクマネジメント（リスク管理：厚生労働省，農林水産省の役割）を行うことではない。従って，専門部会は，研究者，消費者，流通業界，産業界，マスコミ関係者を含む１０名で構成され，その審議は公開されている。これまでに専門部会は９回開催され，その間，科学的データの収集や専門家，消費者，生産者，関連省庁からのヒヤリングを行って，食品照射に関する日本と世界の現状認識に努めると共に，「食品照射についてご意見を聴く会」を３回（東京，大阪）開催して，消費者，生産者等との相互理解を求める際に有益な意見の収集を行ってきた。現在，これらの結果を報告書（案）にまとめる作業が終わり，パブリックコメントの募集を行っている（８月２５日まで）。その結果をも踏まえて，報告書にまとめる作業が進められる予定である。そして，報告書は原子力委員会に提出されることになる。なお，報告書の取り扱いについては，専門部会の設立趣旨から，食品安全委員会，厚生労働省，農林水産省等に届けられ，社会への技術情報の提供や理解活動ならびに関係省庁による措置が講じられる際に利用されるものと考えられ，また，そうなることを期待している。

## ８．今後の課題

今日，各種の食品への放射線照射のための装置や条件設定などの技術的な問題の大部分は解決済みであり，また，食品照射の健全性についても国際機関が保証している。しかし，健全性に関するわが国独自の研究は必ずしも十分とは言えず，また，照射の有無の検知の方法ついても今後の発展に待たねばならない状況である。さらに，大きな問題点は，社会からの理解・容認が得られるか否かである。つまり，世界で唯一の原爆被曝国であることに起因する，いわゆる“核アレルギー”と呼ばれる感情に由来した非科学的理由による拒否反応に対する対策も，法的許可の可否に影響を与えるものと思われる。それ故，教育を通じて，放射能・放射線に関する正しい知識を社会に伝播することが重要である。

# 実験１　「放射線を見よう」

## ― 霧箱の作製と飛跡の観察 ―

名城大学薬学部　高橋郁子

霧箱は、身近な材料で簡単に製作することができる極めてシンプルな放射線の検出装置です。この装置で気体中を通過（飛行）した放射線の経路（飛跡）を直接に見ることができ、身のまわりに存在する放射線の存在を実感することができます。

**[霧箱の歴史]**

霧箱は、イギリスの物理学者ウィルソン（1869-1959）が、そもそも人工的に霧を作ることを目的として作製したもので、1911年に放射線の検出器として実用化しました。霧箱は、後に陽電子や素粒子の発見に貢献したため、ウィルソンは、1927年にノーベル賞を受賞しました。表１－１に示したように１９世紀末から２０世紀初頭は、放射線に係わる多くの重要な発見が相次いだ輝かしい時代です。

表１－１　霧箱関連の歴史事項

| | |
|---|---|
| 1895年 | X線の発見（レントゲン） |
| 1896年 | 放射能の発見(ベクレル) |
| 1897年 | **ウィルソン(Charles Wilson, 1869 - 1959)が霧箱を発明。1910年代に実用化** |
| 1898年 | ラジウムの発見（キュリー） |
| 1903年 | 人工飛行機(ライト兄弟) |

**[原　理]**

霧箱の原理を一言で説明しますと「過飽和状態の気体中に放射線が入射すると、その通過（飛行）経路に沿ってできたイオンを核として水蒸気が集まり、霧ができる。この霧を観察することで放射線の飛跡を検出できる。」ということになります。

**[霧箱の種類]**

<u>断熱膨張型</u>

ウィルソンが最初に作ったものはこの形式です。

容器内の気圧を下げることで気体を急速に膨張させる（断熱膨張）ことにより装置内の気体を冷却して過飽和状態にして使用するもの。この型の欠点は、容器内の気体が膨張した一瞬しか放射線の飛跡が見えないことです。

<u>拡散型</u>

安定して放射線の飛跡を見ることができるように、液体窒素やドライアイスを使って装置内の気体を冷却して過飽和状態にして使用するもの。

今回使用するのはこちらです。

**[拡散型霧箱の動作原理]**

少し丁寧に、実際に使用する拡散型の霧箱の動作原理を説明します。

・図１－１に示すように、透明なプラスチックの密閉容器内の上方にエチルアルコール（エタノール）を十分に浸み込ませたスポンジが取り付けられています。スポンジ

のまわりは室温（約 20℃）に近い温度で、アルコールが盛んに蒸発し、その蒸気が容器内に広がって行きます。

・容器はドライアイス（－78℃）上に置かれているので、容器の底部は非常に低い温度（約－30℃）になっています。

・スポンジから発生したアルコール蒸気は、容器内を下へ向かって拡散します。これが、拡散型のいわれです。

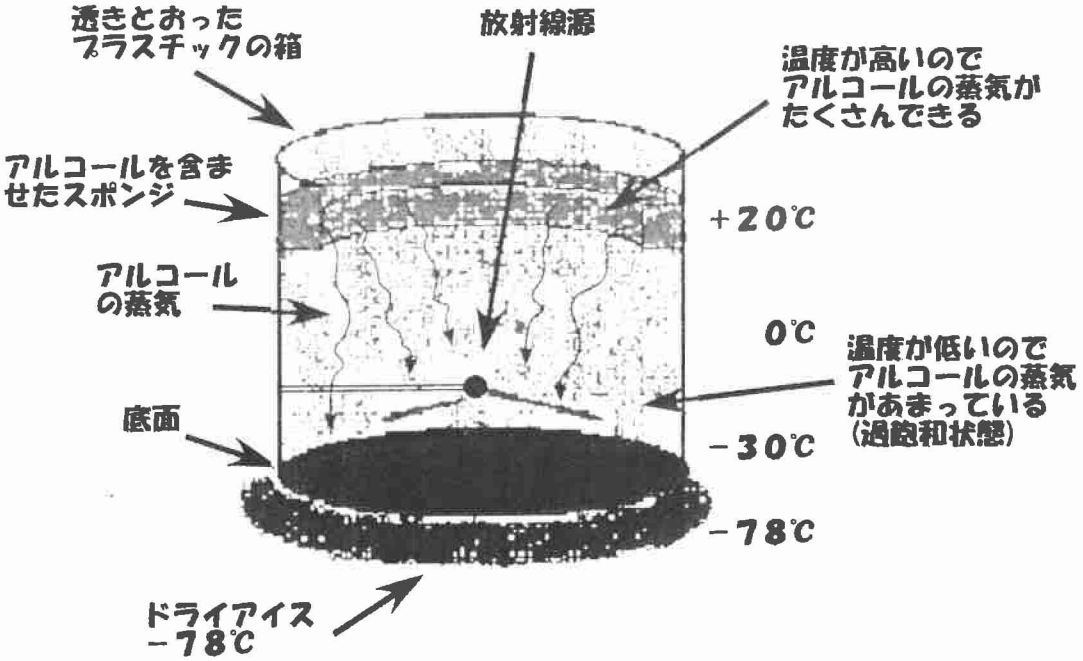



図１－１　霧箱の動作原理

・表 1－２に大気圧中のエチルアルコールの飽和蒸気圧を、図１－２にそのグラフを示しています。飽和蒸気圧とは、ある液体が、ある温度の気体中で気体として安定して存在できる最大の分圧のことです。20℃では 0.058 気圧と大きいためスポンジから蒸発したアルコールは気体のままです。しかし、底面の温度は、約－30℃であり、この時の飽和蒸気圧は 0.0015 気圧で 20℃の時の約 40 分の 1 となり、ほとんどのアルコールは凝結します。こうしてアルコール蒸気の「上部（スポンジ）で発生し底面上で液化する」という下方への流れができます。

・図１－２を見て下さい。例えば、20℃でアルコールの蒸気圧が 0.01 気圧であったとします。温度が冷えていき、－10℃あたりで飽和蒸気圧になり、本来なら、この温度以下では、凝結して液体になるはずです。しかし、何らかの「きっかけ」がないと凝結できずに気体であり続けます。この準安定状態を「過飽和状態」といいます。相対湿度が 120%になったような状況と考えて下さい。

・霧箱の上部では飽和蒸気圧以下ですので気体のまま存在できますが、下がってくるにつれ温度が下がり、底面から約 1 cm 以下では、アルコール蒸気の分圧は、飽和蒸

気圧を超えてしまいます。すなわち、霧箱の底部付近で、アルコールが過飽和状態となります。

・過飽和状態の気体状アルコールは、何らかのきっかけがあれば、凝結してアルコールの液滴になり、その結果、適正な飽和蒸気圧となります。

「何らかのきっかけ」となるのが空気中のイオン（＋または－に帯電した分子）や埃、煙などです。

表１－２　エチルアルコールの飽和蒸気圧

| 温度(℃) | 飽和蒸気圧(気圧) |
|---|---|
| 78.3 | 1.0 |
| 30 | 0.10 |
| 20 | 0.058 |
| 0 | 0.017 |
| －20 | 0.0036 |
| －30 | 0.0015 |

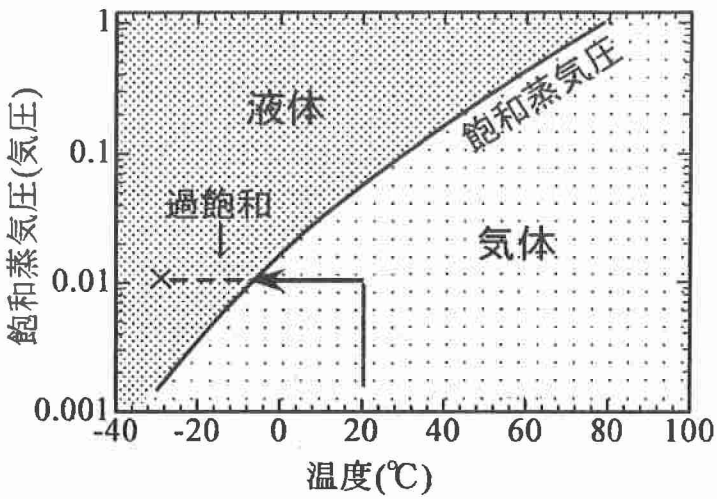



図１－２　エチルアルコールの飽和蒸気圧

・気体中を放射線が通過（飛行）すると、その通過（飛行）経路に沿って気体分子が電離されイオンが発生します。すると、余分に存在する気体状アルコールはイオンのまわりに、イオンを核（凝結核）として凝結を始め、多数のアルコール液滴を作ります。この液滴は、放射線が飛行した経路（飛跡）に沿ってできます。放射線、気体、イオンは目に見えませんが、液滴の集合、すなわち霧に光を当てると乱反射して白く見えます。周囲を暗くして、底部を懐中電灯の光で照らすと、一瞬ですが、飛跡に沿ってできた霧を見ることができます。

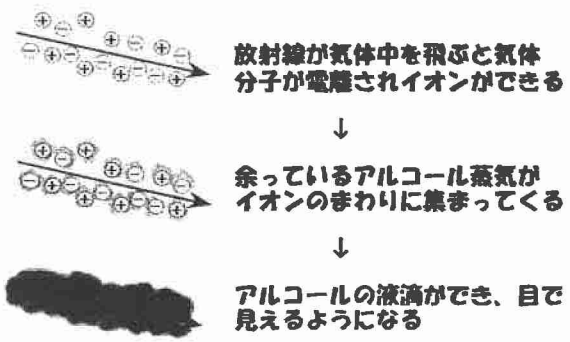



図１－３　霧の発生

注：　湯気と水蒸気は違います。水蒸気は、「気体状の水」で目に見えません。一方、湯気は非常に小さい水滴となって空中を漂っている「液体状の水」です。１個の水滴は目に見えませんが、多数の水滴は光を反射して白く見えます。これが湯気であり、言い換えれば「霧」です。

・これは、飛行機が高高度を飛行する際に上空で排出した水蒸気が冷却して、過飽和状態になり、燃焼排気ガス中のイオンを核として飛行機雲ができるのと同じ原理です(図１－４参照)。高空を飛ぶ飛行機の排ガスは高温で、多くの水蒸気と炭酸ガスや微粒子を含んでいます。排ガスは低温の空気に冷却され、過飽和状態になります。排ガス中の炭酸ガスなどのイオンや微粒子などを核として、水蒸気が凝結し水滴になります。この水滴が太陽の光を反射して、美しい飛行機雲になります。

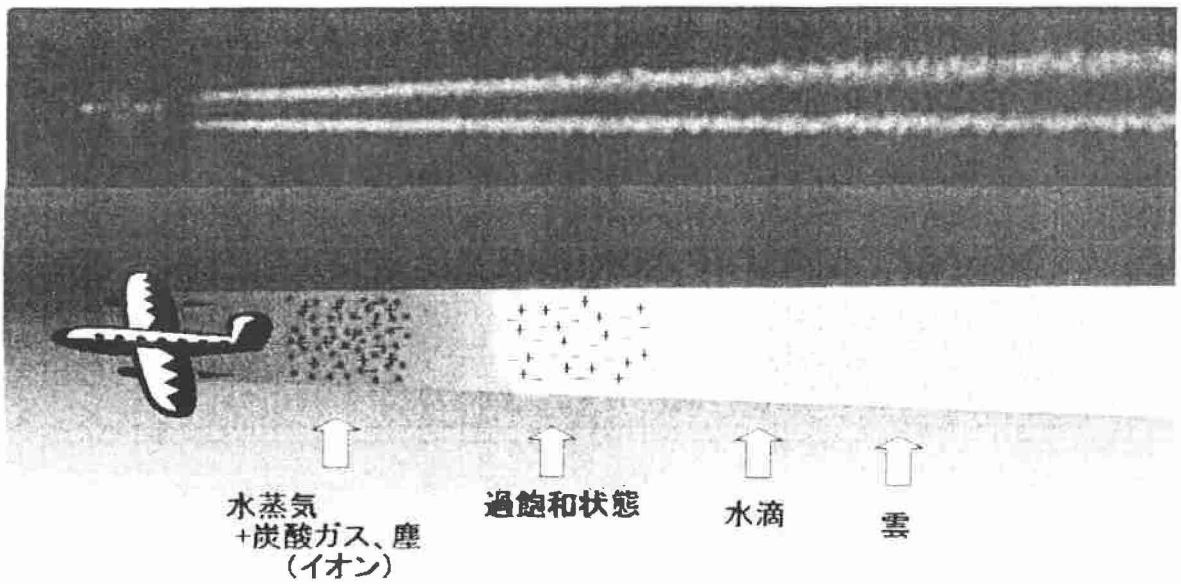



図１－４　飛行機雲の発生

**［より詳しい話］**

気体中を放射線が飛行するとき、その飛行した経路（飛跡）に沿って気体の分子が電離されイオンとなります。霧箱では、そのイオンを凝結核とした微小液滴が発生し、放射線の軌跡を観察することができます。

放射線にはさまざまな種類があります。アルファ線（高速のヘリウム原子核)、陽子線などは、重粒子の荷電粒子線とよばれ、重たいためほとんどの場合、気体中を直進します。ベータ線は、高速の電子線で、軽いため気体中の分子にぶつかると進行方向が曲げられ、結果として不規則なジグザク飛行をします。Ｘ線は電磁波であり、気体中を通過するときはほとんど通り抜けてしまいますが、まれに電子をたたき出し、その電子が気体分子を電離しイオンを発生します。

地上には、その他、さまざまな宇宙線が降りそそいでいます。霧箱で観察した飛行軌跡を分析することにより、通過した放射線の性質がわかります。また、磁場をかけると、飛行軌跡が曲がり、その曲がり方から、粒子の重量、電荷量などを分析することができます。

今のように発達した機器がなかった時代に、霧箱は、放射線や宇宙線、原子核などの研究に盛んに使用されました。一例ですが、アメリカの物理学者コンプトンは、霧箱を用いてX線の散乱の研究を行い、コンプトン効果という現象を発見しました。この業績が認められ1927年にウィルソンと同時にノーベル賞を受賞しています。

現在では、放射線や原子核の研究は、加速器や原子炉などとコンピュータ制御の検出器を使うことが主流で、霧箱は、教育用以外にはほとんど使われていません

## 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、２００６年度中に開催した会合の記録、いくつかの専門委員会の報告書又は関連する資料、２００６年度に開催した教員を対象とした「エネルギー・環境・放射線 セミナー」全国１０地区の実施報告書、及び勉強会やセミナーの講師の方々が作成されたテキストなどを、事務局長松浦辰男が中心となり、フォーラム理事田中隆一、会員辻萬亀雄、及び会員関本順子の各氏のご協力により編集作業を行って作成したものである。ここに各専門委員会委員長、セミナー開催責任者、勉強会及びセミナー講師、並びに編集協力者の各位のご努力に感謝する。また、巻末の広告欄に資料を提供され、本資料の出版費をご支援下さった諸団体に御礼を申し上げる。本資料が、フォーラム会員をはじめ放射線教育にご関心の各位にとり何かのお役に立つことを希望するものである。

（松浦辰男）

発行　ＮＰＯ法人放射線教育フォーラム 事務局
〒105－0003　東京都港区西新橋３－２３－６
第一白川ビル５階
電　話：　０３－３４３３－０３０８
ＦＡＸ：　０３－３４３３－４３０８
Ｅメール：　mt01-ref@kt.rim.or.jp
ホームページ：　http://www.ref.or.jp
発行日　２００７年３月３１日

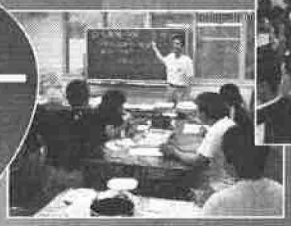
# 理科から科学へ 好奇心から探究心へ

## 日本理科教育振興協会は、子供たちの輝く瞳を応援しています。

理科好きの子供たちに、日頃経験できないような手作り実験や科学の原理を探究させるような観察・実験の機会を与え、「発見する喜び」や「つくる喜び」などを体験させることにより、子供たちに科学的なものの見方や考え方などの豊かな科学的素養を育成することを目的として実施しています。

▶ この事業は今年で10年目となり平成18年度は北海道の大自然の中、2泊3日のスケジュールで実施しました。

### キッズワンダークラブ



科学技術、理科・数学（算数）に対する興味・関心を育成することを目的に、小学校・中学校・高等学校等の児童・生徒を対象とする合宿（一泊二日）形式のキャンプです。

▶ 日本理科教育振興協会では平成18年度、岐阜・福井・愛知・沖縄・和歌山・鹿児島の6会場で実施しました。

### サイエンスキャンプ

### 教師のための理科実験セミナー

小学校の教師を対象に、児童・生徒が理科に関心・興味を持てるような授業の展開を図ることの啓発を目的とし毎年1回開催しています。

▶ 平成18年度は東京女学館中学校高等学校で100名近い参加がありました。

### 「その道の達人」派遣事業

国内外の第一線で活躍する研究者、企業人等を希望する学校に派遣し、授業や講演会等を行うことにより、児童・生徒に学ぶことの楽しさを伝えるとともに、学習指導要領のねらいとする「確かな学力」の向上に向けた各学校の取り組みを支援しています。

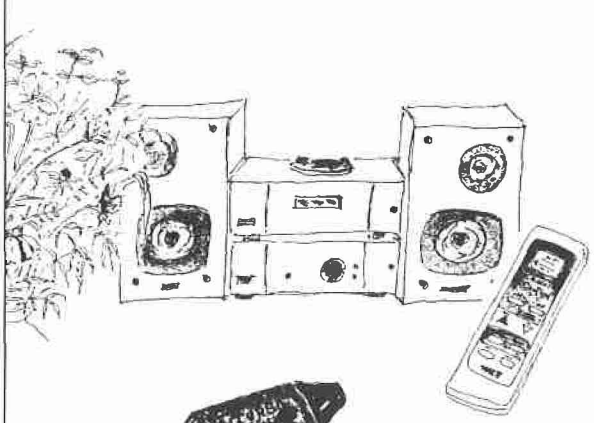
▶ 平成17年度は306校の学校に達人を派遣し大きな反響を呼びました。現在達人の登録は57名に達しています。

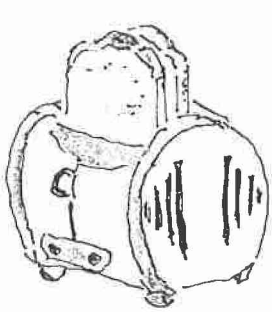
http://www.japse.or.jp/tatsujin/

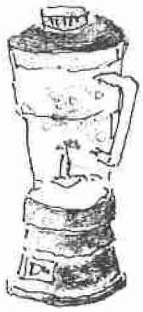
## 新たな「科学技術教育振興」へ向けて

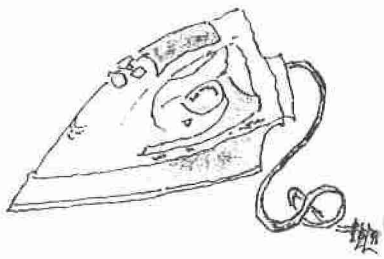
## 科学創造立国の基盤強化

社団法人 日本理科教育振興協会
〒101-0052　東京都千代田区神田小川町3-28　TEL: 03-3294-0715　FAX: 03-3294-0716　URL: http://www.japse.or.jp



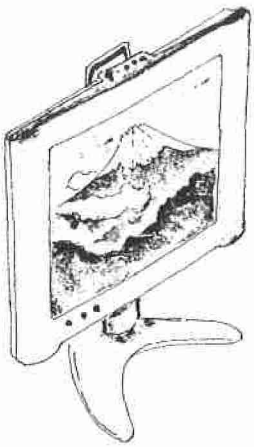


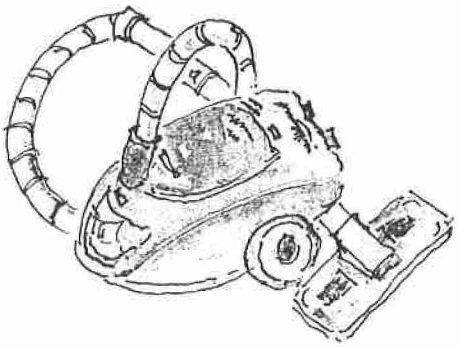




日本の電気の約30%は原子力発電によってつくられていますが、
その燃料である「ウラン」も約85年後には世界的に不足するといわれています。
しかし、そのウランには〝再利用できる〟という大きなメリットがあります。
限りあるエネルギー資源をムダなく効果的に利用しよう…
電気のリサイクル「プルサーマル」計画はこのような発想から生まれました。

原子力発電は、「ウラン」が核分裂した時に出る熱からつくられる
水蒸気でタービンを回して電気をつくりますが
一度電気をつくり終わったウラン燃料(使用済燃料)の
約95~97%は、再利用することができるのです。
その中から発電によって新たに生まれたプルトニウムをとり出し、
ウランと合わせた新しい燃料(MOX燃料)として、
現在の発電所でふたたび発電に利用する…このリサイクル方法が「プルサーマル」です。
フランスをはじめヨーロッパではすでに実施されている方法ですが、
日本でも、プルサーマルによってつくられる
〝再生電気〟の活躍する日が訪れようとしています。



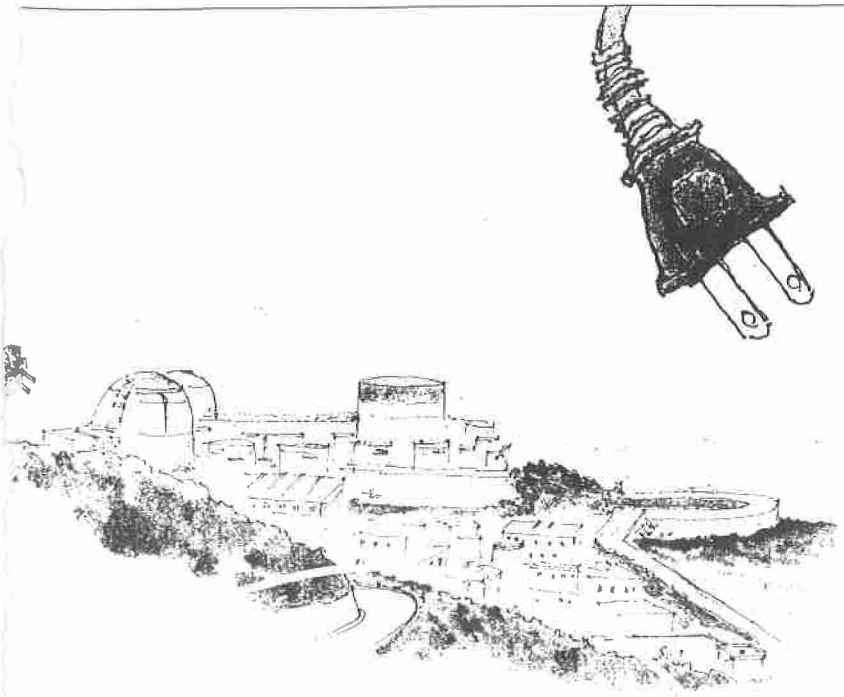


エネルギーから
あなたへ

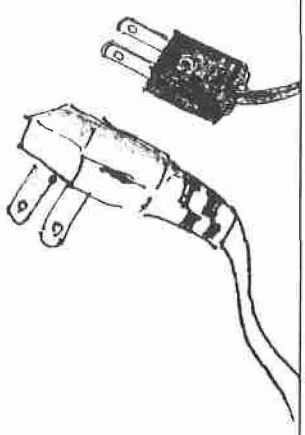
電気のリサイクル
全国10の電力会社でつくる
電気事業連合会
ホームページにもぜひアクセスを…
http://www.fepc.or.jp/

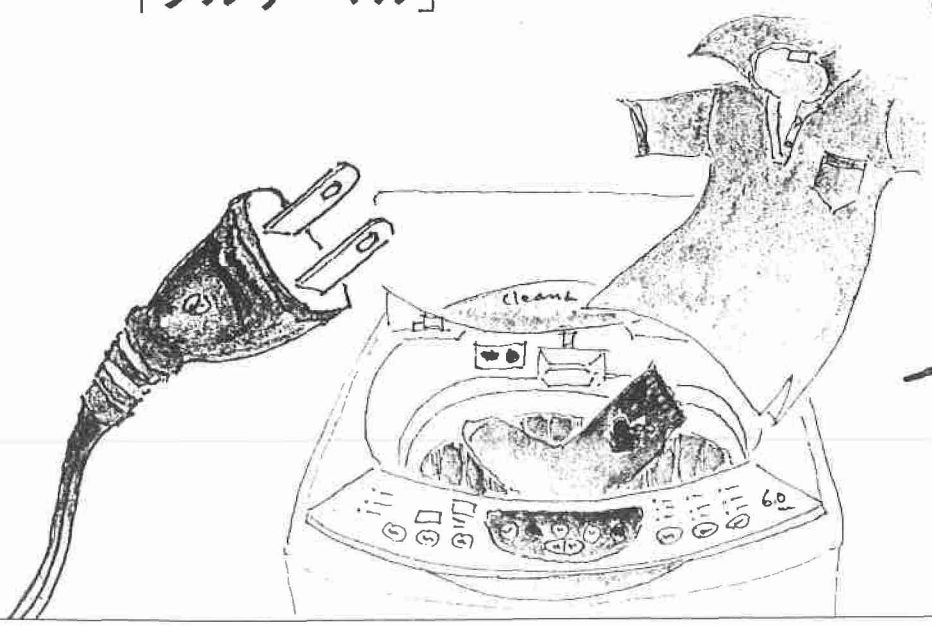
# 「プルサーマル」は、いわば…“再生電気”をつくる一方法です。

限りある資源を有効に使うため、さまざまな分野でリサイクルが進められていますね。
たとえば、使用済みの古紙から新たに再生紙が生まれるように、
“電気”の分野でも、燃料のリサイクルによる“再生電気”登場の時代を迎えています。



ウラン資源のリサイクル
「プルサーマル」





原子力・放射線をテーマに

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

# 文部科学省委託事業
# 原子力体験セミナー

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

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

内容は、講義、実験・実習、施設見学、ワークショップなどで構成され、基礎的知識や科学的知識を習得するコース、資源・エネルギー・環境・防災教育といった「総合的な学習の時間」等へも役立てていただける内容のコースまで、担当教科や興味・関心に応じてご参加いただけます。また、学校で活用していただける教材も提供しています。

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

- 参加資格：主として小学校・中学校・高等学校の教職員及びこれに準ずる教育関係者
- 参加費用：セミナーの参加に要する旅費、宿泊費等は主催者の規定により支給します。
- セミナーの予定やカリキュラムの詳細については下記にお問い合せください。

RADA

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

インターネットで原子力のことを学ぼう！

# 原子力図書館 げんしろう

## 原子力百科事典 ATOMICA

収録数２６００件を超すデータベース形式の百科事典です。世界の原子力や放射線など最新情報を豊富な図版とともにていねいに解説します。

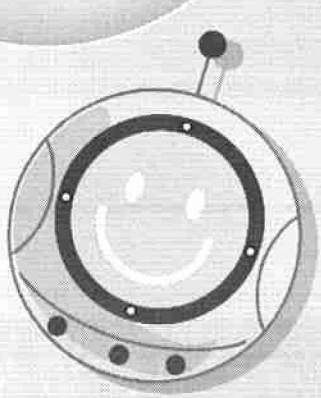
## 調べ学習にも最適!! キッズデータベース

「ふりがな」がつく機能があるので読みやすいよ!!

エネルギー・原子力・放射線の３つのテーマに分かれ、イラスト入りでやさしく説明しているので、小学生にも読みやすいデータベースです。

## もっと知りたい もっと考えたい 原子力のこと

原子力に関連する最新情報、さまざまなデータ、解説、クイズなどをインターネットで提供しているバーチャル図書館です。



## 君は、どこからチャレンジする? げんしろうクイズ

原子力・環境・放射線・エネルギーをテーマに小・中学生でも楽しめるクイズです。子供たちの学習にも活用できるコーナーです。

合格者リストにアバターで登録しよう!!

## 原子力のおもしろ広場 キッズコーナー

原子力やエネルギーについて、遊びながら楽しく学べるキッズコーナーができました！ぜひご覧ください！

# http://mext-atm.jst.go.jp

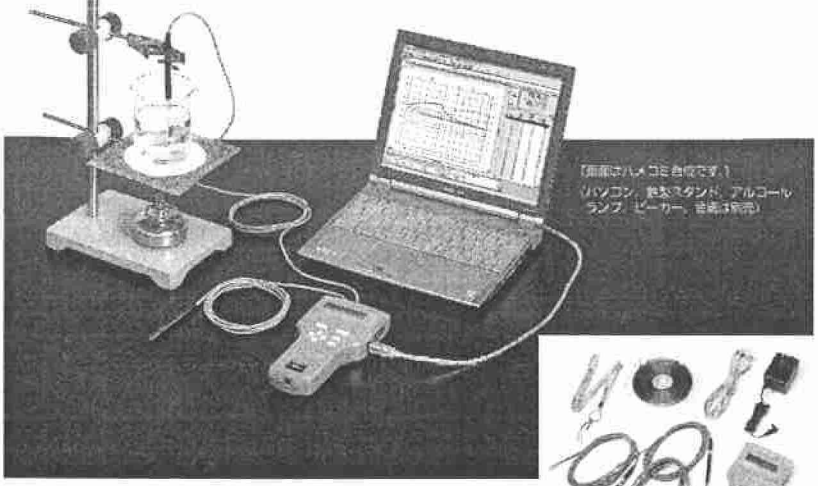
●「原子力図書館げんしろう」は、文部科学省から委託され科学技術振興機構(JST)が行っている原子力情報普及業務です。

独立行政法人
科学技術振興機構 文献情報部　受託出版課
TEL:03-5210-4962 E-mail:helpdesk@mr.jst.go.jp

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

UCHIDA

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



ラボセンサーセット

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

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

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

◆オプションセンサーを組合わせて、電流・電圧の計測や気象の計測もできます。

**内田洋行**
教育システム事業部

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

■東　京　〒135-8730 東京都江東区潮見2-9-15
東日本機器営業部　☎03(5634)6280　ICT東日本第1営業部　☎03(5634)6402
施設設備営業部　☎03(5634)6318　ICT東日本第2営業部　☎03(5634)6406
■大　阪　〒540-8520 大阪市中央区和泉町2-2-2
西日本機器営業部　☎06(6920)2480　ICT西日本営業部　☎06(6920)2641
施設設備営業部　☎06(6920)2491
■名古屋　〒460-0002 名古屋市中区丸の内1-17-19 キリックス丸の内ビル2階
中部営業部　☎052(222)7255
■北海道支社　〒060-0041　札幌市中央区大通り東3-1　☎011(214)8611
■九州支社　〒812-8692　福岡市博多区博多駅南1-14-14　☎092(482)5850



# 社団法人 日本電気協会
## JAPAN ELECTRIC ASSOCIATION

日本電気協会は大正10年に設立された、日本で唯一の電気関係総合団体です
電気の生産から消費に関わる幅広い会員を有し、電気関係事業の健全なる発展に寄与しております

### 電気の今を学ぶために

**あなたの知りたいこと**
－電気事業について43の質問と答－
本体価格600円＋消費税30円 送料450円 A5判・158頁
一般社会人，学生などを対象に，電気の生産，供給をになう電気事業者（電力会社等）の今日のありのままの姿や当面する諸問題について知っていただくために，Q&A方式で図表を多く取り入れ，2色刷りでわかりやすく説明しています
お問い合わせは 出版部 03－4283－2002
または下記ウェブサイトから！

東海林のり子の
**電気事故リポート**
－突然の災害から身を守るために－
本体価格28,572円＋消費税1,428円 VHS・18分
災害が起こった時，あなたは冷静に対処できますか？このビデオは，災害で起こる電気事故から日常生活まで，家庭で必要な電気安全知識をわかりやすく紹介しています。テレビでおなじみの東海林のり子さんがリポートします！
お問い合わせは 広報部 03－4283－2006
または下記ウェブサイトから！

他にも多数の電気関係書籍・ビデオを発行しております

**電氣新聞**
ENERGY & ELECTRICITY

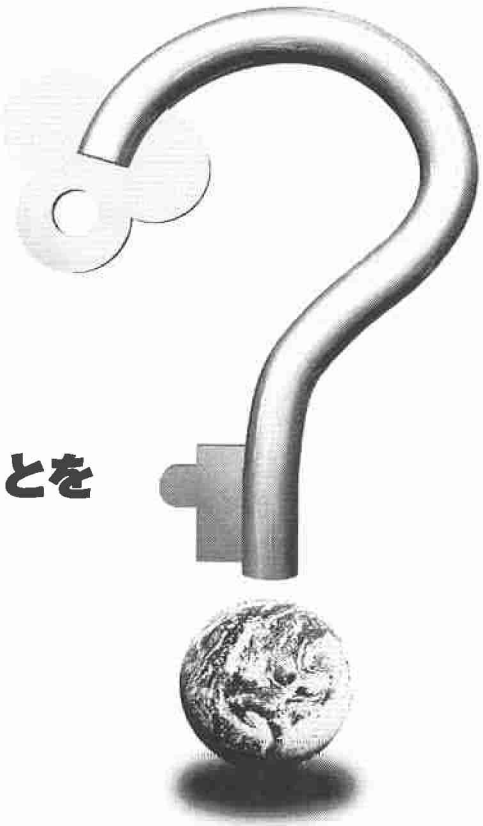
### 電気の今を知るために

電気新聞は電力，電機，情報通信分野における日刊専門紙です
原子力関係も最新のニュースを提供しています
購読のお申し込みは 新聞部 フリーダイヤル 0120－39－1551
または下記ウェブサイトから！

**購読料**
**1ヶ月 3,990円**
**（本体価格3,800円＋消費税190円）**

www.denki.or.jp

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



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

三菱PWR原子力発電プラント

未来が未来で
なくなる前に、
私たちにできることを
考えたい。

豊かな未来をひらく、プルサーマル

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

東京書籍 〒114-8524 東京都北区堀船2-17-1 TEL.03-5390-7331 FAX.03-5390-6014
東京書籍ホームページ…http://www.tokyo-shoseki.co.jp 東書Eネット…http://ten.tokyo-shoseki.co.jp

科学者になる方法 ～第一線の研究者が語る～
科学技術振興機構プレスルーム／編
A5判／208頁／定価1575円（本体1500円）
日本屈指の科学者35人が「理系に進んだきっかけ」や「研究者としての今」などを語る。話題の最先端研究や科学者の魅力・将来像などが具体的に見えてくる。

たのしくわかる物理実験事典
左巻健男,滝川洋二／編著
A5判／464頁／定価3990円（本体3800円）
小・中・高の授業で行いたい基礎的な実験でしかも「楽しくわかる」実験,新開発された実験をセレクトして,実験方法を丁寧に解説した物理実験書の決定版。

たのしくわかる化学実験事典
左巻健男／編著
A5判／480頁／定価3873円（本体3689円）
小・中・高の授業で行いたい基礎的でしかも「楽しくわかる」実験を丁寧に見やすく解説。生活や産業と化学の関わりを扱う実験も多数掲載。化学実験書の決定版。

新 観察・実験大事典 全4編
「新 観察・実験大事典」編集委員会 編
定価：各編12,600円(税込) 各編 全3巻(分売不可)
物理編 生物編
化学編 地学編

# 日本原子力学会　シニアネットワーク（ＳＮＷ）について

２００７．３．２０．　ＳＮＷ幹事　　金氏　顕

シニアネットワーク連絡会は平成１８年５月２２日に設立された、原子力学会ではもっとも新しい連絡会である。現在会員は竹内哲夫会長（元原子力委員）以下１４０名、主に産業界、研究界、大学の原子力シニア達である。長年の知見と経験を活かして原子力に対する理解を社会に訴え、特に次代を担う若い世代にその想いを伝えたいと、次のような活動を積極的に展開している。

１．生い立ち

母体は「エネルギー問題に発言する会」で、これは原子力の草創期を体験したＯＢが当初メデイアの原子力に対する誤報道を正す目的で５年ほど前に作られた会である。ここに原子力学会の企画委員から「原子力を志す学生を支援する活動を一緒にしませんか」との話があり、学会の学生連絡会の委員との交流をきっかけに「学生とシニアの対話」の構想が生まれ、平成１７年７月に武蔵工大で第１回が開催された。

２．SNW の設立とその後の活動

「学生とシニアの対話」は次々と回を重ね、この間活動の組織化が検討された結果、原子力学会にＳＮＷを設立するに至り、第７回以降ＳＮＷが対話の主催を行っている。今年３月末までには北は北海道から南は九州まで都合１１回、ほぼ全国の原子力系学科の１７大学の学生との対話を一巡することになる。延べ参加学生数約３７０名、参加シニアは１３５名である。

対話の方法は、学生からの疑問、悩み、要望などについて、学生４～８名対シニア２～3 名のグループに分れ、2 時間程度討論した後各グループの学生代表が結果を発表する。この方式は対話の後により深く懇談するための懇親会ともども継承されている。

対話イン東北（昨年１２月）

対話イン茨城（本年２月）

またＳＮＷでは学生のみでなく広く世間一般にエネルギー・地球環境の問題を訴え、特に原子力について真の理解を求めるため、シンポジウムも企画。討論では主に原子力ＯＢシニアの果たす役割を議論、これまでに東京と北海道で３回実施し、参加者は延べ２７０名である。

３．今後への期待

これまでの経験から、これらの問題を正しく理解し日々努力をされている教官方や学生の存在を知り心強く思う反面、その全体に対する比率から道遠しの感も否めない。

ＳＮＷではこれまでの活動のたゆまぬ継続と拡大発展により、我々の生涯をかけた原子力という貴重な財産を、信頼できる若い世代にしっかりバトンを引き継ぐことを念願している。

同じ想いのシニアの方がおられれば下記にＳＮＷの入会手続きをお知らせします。

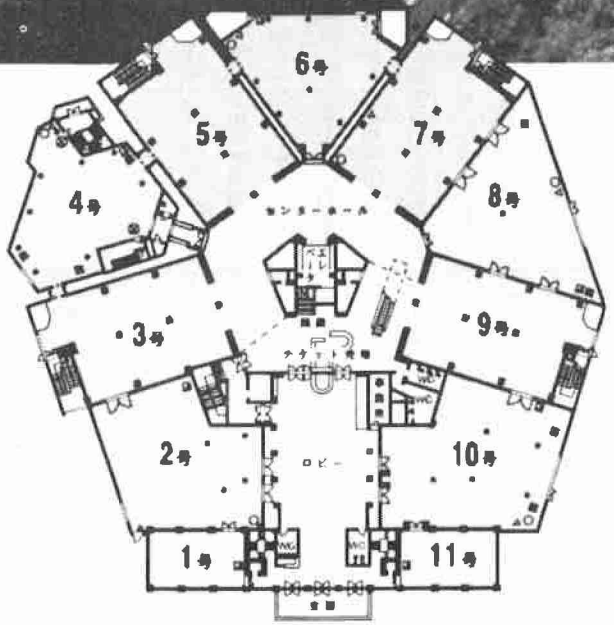
http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/snw/nyuukaiannai.html

Better Transportation is The Best Formation.

# 青い空と深緑の森
# 都心にいることは
# しばらく忘れて…

The Exhibition Hall in Science Museum

## フレキシブルに展開する11のホールと
## 劇場型大ホール、気軽に使える中小会議室



ホール面積（合計3,667㎡）

| 1号 | 2号 | 3号 | 4号 | 5号 | 6号 |
|---|---|---|---|---|---|
| 109㎡ | 373㎡ | 330㎡ | 313㎡ | 330㎡ | 313㎡ |
| 7号 | 8号 | 9号 | 10号 | 11号 | センターホール |
| 330㎡ | 364㎡ | 330㎡ | 436㎡ | 109㎡ | 330㎡ |

ご案内図

～森の中の展示場～

## 科学技術館

(財)日本科学技術振興財団
〒102-0091 東京都千代田区北の丸公園2-1
TEL 03-3212-3939（直） FAX 03-3212-8788
http://www2.jsf.or.jp/

### アクセス

地下鉄東西線「竹橋」駅下車 1B出口より徒歩約7分
地下鉄東西線／半蔵門線／都営新宿線「九段下」駅下車 2出口より徒歩約7分
都心環状線外回り「代官町」／内回り「北の丸」出口より1分
※田安門、清水門からのお車での進入はできません。

# この夏、青森は…。

六ヶ所村

津軽海峡、日本海、太平洋に三方を囲まれ、
寒流と暖流がぶつかる青森の海は海産物の宝庫。
いまならば、イカ、ウニ、ホタテ、サザエ、シジミなどが旬の味でしょうか。
そして、北国の涼しい夏が、野菜や果物の美味をすくすくと育てています。
原生林から生み出される豊かな清流が育てる、お米も自慢です。
人気の高い日本酒「田酒」の"田"も田んぼを意味してるのだとか…。
青森の最新の注目スポットといえば、下北半島にある「六ヶ所村」です。
日本の電気の約30%は原子力発電でつくられていますが、
その燃料となるウランも、約85年後には世界的に不足すると予測されています。
そこで、"再利用できる"というウラン燃料のメリットをいかした
電気のリサイクル「プルサーマル」の実施を、日本でも進めています。
この六ヶ所村の再処理工場は、発電に使われた燃料から、
まだ使えるウランやプルトニウムをとり出し、新しい燃料(MOX燃料)として
使えるようにするための、日本で初めての商業用の工場なのです。
青森は、おいしい魚介類や肉、野菜や果物、日本酒などを全国に出荷していますが、
毎日の暮らしに欠かせない
"電気"というエネルギーも支えているのですね。

エネルギーから あなたへ

電気のリサイクル

全国10の電力会社でつくる

電気事業連合会

ホームページにもぜひアクセスを!!

http://www.fepc.or.jp/