

放射線教育

付放射線教育フォーラム 2015 年度活動報告

2015

VOL. 19 NO. 1

放射線教育フォーラム
Radiation Education Forum

放射線教育

R a d i a t i o n E d u c a t i o n

Vol.19 No.1

目 次

【巻頭言】 国民的科学レベル向上のために RI 利用教育実験の普及を 放射線障害防止法に“RI・放射線の教育実験利用者”の項目が必要では	野崎 正 1
---	--------

【研究報告】 中学校教科書にみる放射線教育の歴史	林 壮一、川村康文 3
【資料】 ^{90}Sr 濃度の新しい測定手法	近藤健次郎 13
【解説】 放射線 ― 宇宙のエネルギー循環に関わる	大野新一、大野 怜 21
【意見】 「低線量放射線の健康への影響」は保健の授業で行うのが望ましい	黒杭清治 31

「放射線教育」投稿規定、原稿の書き方	33
編集後記	工藤博司 37

発行：2016 年 3 月 31 日, NPO 法人放射線教育フォーラム
〒110-0015 東京都台東区東上野 6-7-2
萬栄ビル 202 号室
Tel: 03-3843-1070 FAX: 03-3843-1080
E-mail: forum@ref.or.jp, HP: <http://www.ref.or.jp>

【巻頭言】

国民的科学レベル向上のために RI 利用教育実験の普及を
放射線障害防止法に “RI・放射線の教育実験利用者” の項目が必要では

野崎 正

放射線教育フォーラム顧問、元理化学研究所、北里大学



科学を放り出し“原子力安全神話”と“放射線アレルギー”のいがみ合いが目立つ我が国の現状は、Renaissance 間近の西洋の Dark Age を彷彿とさせる。では 21 世紀の日本ではどのような Renaissance をどの様に導き出せば良いのか？ 私の率直な考えと、法規改正の必要性について述べさせていただきます。

この問題の解決には、一時しのぎの姑息な方法ではなく、“急がば回れ”で、“全国民の知識レベルと社会に対する関心の向上”に真っ向から取り組む以外にはない。ここでいう知識、特に自然科学の知識では、受験用の詰め込みではなく、客観評価でも優れた自らの考えを構築する際の基盤と成り得るものでなければならない。このような知識の獲得には講義や読書に比べ実習や観察が有効で、特に若年時の実験教育による体験が重要である。実験の記憶は色あせしにくく、体験者自身が気付かぬうちに類似の内容のテレビ放送などにより知識を深め関心を高める効果も期待できる。そして関心が興味となり、終生その部門に情熱を捧げる幸福者も輩出されよう。また、短時間の放射線管理の入門講義に続いて、RI (ラジオアイソトープ) を活用した教育実験を実行すれば、放射線アレルギー除去効果は高く、関連分野の後継者の育成にも確実にプラスする。

幸い、RI の諸特性 (指数関数壊変、超高感度・非破壊・連続定量が可能、同位体と同じ挙動等) は、自然現象のみならず社会現象の教育に有効でユニークな教育実験に活用できる。その時の RI には、ジェネレーターが明白に優れている。その中でも $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ ジェネレーター (^{68}Ge : 271 d, EC, no γ , ^{68}Ga : 67.7 m, β^+ 89%, 11.9 MeV, EC 19%, γ weak) を最適と考えて、私達はこれを採用した。このジェネレーターは、核医学用の 3.7×10^7 Bq 以上の大型市販品はあるが、現在の目的には自作する必要があった。そこで、 ^{68}Ge を吸着させたまま ^{68}Ga が溶出 (ミルキング) されるカラム充填剤の作成法の確立から手掛けた。水和酸化第二スズ ($\text{SnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) を選び、耐久性の向上に長期間を費やして、一応目的を達した。

この充填剤粉末 0.3 ~ 0.4 mL を 1 mL のプラスチック製注射器のカラムに詰め、 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ の塩酸溶液を加えてから 1 M 塩酸で洗えばジェネレーターが出来上がる。1 M 塩酸 0.2 ~ 0.3 mL により ^{68}Ga はミルキングされる。この吸着剤を供与すれば、教育実験「ジェネレーターの作製」が実行できる。自作のジェネレーターで得た ^{68}Ga を用いる半減期測定やトレーサー実験には、独特の教育効果が期待できよう。

このジェネレーターでは両核種とも寿命が好都合で、また、 γ 線測定器の Base-line の設定により ^{68}Ge は Black-body となる。そこで、ミルキング後の親核種から娘核種の生成が容

易に観測できる。測定結果を種々の方眼紙にプロットして指数-真数-対数の関係を説明し、高等クラスの人達には微分方程式を身近に感じるように導く。さらに指数関数の性質から、定率生長の継続は一般に破滅に向かう恐れや、原爆や原発の暴走も RI の壊変と同じく指数関数表現され、ただ冪が正か負かの違いだけのことを付加するのも良からう。

^{68}Ga は、次の教育実験にも利用できる：(1) 溶液からの吸着、共沈 (2) 溶媒抽出、イオン交換分離 (3) 同位体交換 (4) 植物による吸収 (5) 放射薬剤の調製と動物体内分布 (6) 汚染と除染 (7) 漏洩の検出。さらに、ジェネレーター自身を線源として、(8) β^+ の消滅放射線 (γ 線) の吸収と (9) 同時計数を用いる線源の位置決定 (PET の原理) と低自然計数測定も可能である。

これらの実験での被ばく量は全く問題ないことが次の事実から容易に理解されよう。平均的成人は常に 4×10^3 Bq/人の ^{40}K による内部被曝に晒されており、*in vivo* 核医学診断では普通 4×10^8 Bq 程度の $^{99\text{m}}\text{Tc}$ や 7×10^7 Bq 程度の ^{18}F が被験者に静脈注射される

私達は熱心な先生のいる某大学付属の中高一貫校に約 10 kBq の $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ ジェネレーター (Breakthrough は 50 ppm 程度) 4 本と井戸型 NaI シンチレーション計数器を運び込み、理科クラブの生徒達とミルキングと半減期の測定の実習を行い、かなり良い数値が得られた。翌年も同じ実験をしたが、2 年目の生徒は手さばきも鮮やかになり、ミルキング後の娘核種の生成曲線も求められ、実験後に色々な話し合いもできた。ただ問題となったのは廃棄物 (紙とプラスチック試験管が主で合計 100 g 程度) の処理であった。「いったん RI で汚染したものは、永久に自由廃棄するな」という意味の環境省の意向もあり、アイソトープ協会も下限量以下のものは引き取らず、産業廃棄物処理業者の領域であるとの言であった。こんな状態の国である限り、神話とアレルギーは何時までも快く居座るのでは？ このジェネレーターの作製は容易で、大学や専門学校での使用希望者もいるが、暫く待っていただくしかない。

“下限量以下のジェネレーターのみを教育実習に用いる場合”を取り上げて、次の変更を関係省庁へ働きかけることを提案する：(1) (放射線障害防止法で) 業務従事者、一次立ち入り者に“RI 教育実習関連者”を付加する、(2) ジェネレーターの親核種に対する下限量は、単独に存在する場合と同じとする、(3) 各ジェネレーターに管理責任者を定め、存在場所を掌握下におく、(4) 娘核種を非密封実験に用いる場合は、使用前 3 日以内に親核種の Breakthrough が下限量の 1/2000 以下なことを確認しておく、(5) ジェネレーターの廃棄は廃棄業者経由とし、汚染総量が親核種の下限量の 1/100 以下の廃棄物は一般塵として処理してもよい、(6) 学生に特別の健康診断は必要ない。(3)、(4)、(5) 項はこの種の実験の広い普及に備えて付加するものである。なお、上の諸数値にはさらなる検討の必要があろう。

この種の教育実験のための機関の設立も提案したい。多くの生徒には年 1 回しかない RI 実験のため各学校が必要品を所有するより、各校での実験項目と日時を前もって定めておき、この機関が必要品と指導員を派遣して実験を行う持ち回り方式が勝っている。今後の理科教育の充実には多種の高価な機器が必要となり、類似の機関が不可欠となろう。教育立国こそ我が国の美しい伝統ではないか。

【研究報告】

中学校教科書にみる放射線教育の歴史

林 壮一^{a,b}、川村康文^b

^a 立教新座中学校・高等学校、〒352-8523 埼玉県新座市北野 1-2-25

^b 東京理科大学科学教育研究科、〒162-8601 東京都新宿区神楽坂 1-3

(2016 年 2 月 13 日受理)

[要約] 2011 年から学習指導要領が改訂され、中学校理科教科書に「放射線」に関する記述が復活した。本稿では、教科書における「放射線」の記述の変遷と、レントゲンの発見後の「放射線」に関連する記述が初めて旧制中学校の理科教科書に現れた頃の状況を検証し、当時の小中学校の教員が最先端の研究に対しても積極的であった背景について考察した。

1. はじめに

現在の中学校学習指導要領¹⁾は、2008 年(平成 20 年)改正、2012 年(平成 24 年)全面実施することとして改訂された。ただし、理科と数学に関しては前倒し移行とされ、2009 年(平成 21 年)より 1 年生からの年次移行、または 2010 年(平成 22 年)より 1、2 年次からの年次移行、あるいは 2011 年(平成 23 年)より 3 学年同時に移行することと決められた。この学習指導要領の具体的な内容として、中学校 3 年生の理科の項目に放射線の記載が復活した。

また、学習指導要領の解説²⁾には

(7) 科学技術と人間

ア エネルギー

(イ) エネルギー資源 放射線の性質と利用にも触れること

(略) 水力、火力、原子力、太陽光などによる発電の仕組みやそれぞれの特徴について理解させる。その際、原子力発電ではウランなどの核燃料からエネルギーを取り出していること、核燃料は放射線を出していることや放射線は自然界にも存在すること、放射線は透過性などをもち、医療や製造業などで利用されていることなどにも触れる。

と記されており、放射線に関する学習内容について明示されている。これは、1998 年(平成 10 年)改正、2002 年(平成 14 年)施行の学習指導要領(理科)³⁾

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

ア エネルギー資源

(ア) 人間が利用しているエネルギーには水力、火力、原子力など様々なものがあることを知るとともに、エネルギーの有効な利用が大切であることを認識すること。

イ 科学技術と人間

(ア) 科学技術の進歩による成果として新素材などの利用が行われ、日常生活が豊かで便利になったことを知るとともに、環境との調和を図りながら科学技術を発展させていく必要があることを認識すること。

エ 科学技術の進歩と人間生活

(ア) 日常生活では、科学技術の成果として様々な素材やエネルギーが利用されていることを知ること。

(イ) 情報手段としてのコンピュータなどについて、その発展の過程を知ること。

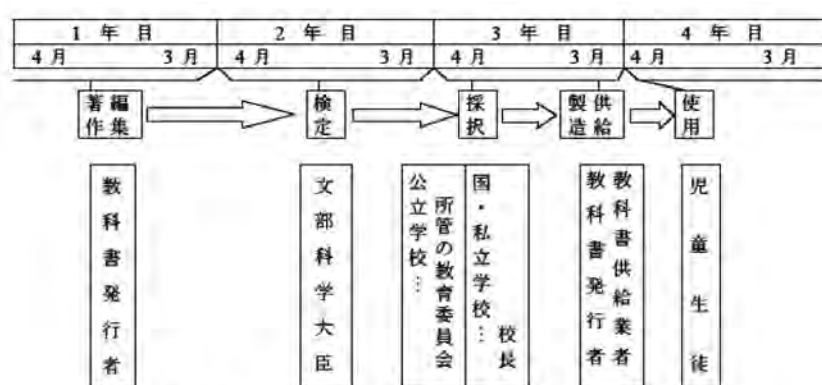
や、1989 年（平成元年）改正、1993 年（平成 5 年）施行の学習指導要領（理科）⁴⁾と比べると、放射線の学習の必要性を唱えている点で大きく変化していることを確認できる。しかし、実際の理科教科書の記述を見ると、それ以前の教科書に放射線の記載が無かったわけではなく、2002 年施行の教科書や 1993 年施行の教科書にも放射線に関連した内容を記載しているものもあった。

そこで本稿では、戦後から現在までの中学校理科教科書における放射線の記述の変遷と、中学校理科教科書で放射線がいつ頃から、どのように扱われてきたのかなど初期の放射線についての教育の様子を調査し、現在の状況との比較し考察する。

2. 戦後の中学校理科教科書における放射線に関する記載

2.1. 現在の学習指導要領に基づく理科の教科書での記載

現在、教科書は次のような過程を経て出版され、児童や生徒の手に渡っている。図 1 は教科書が使用されるまでを解説した文部科学省のホームページからの引用である⁵⁾。今回の改訂のように 2011 年から 3 学年同時に改訂を先行実施する場合でも、2008 年度中には教科書の編集が終わっていなけれ



（注）製造・供給、使用の時期は、前期教科書の例をとった。

図 1 教科書が使用されるまでの基本的な流れ

ばならないことがわかる。つまり、2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）よりも 2 年以上前に教科書の執筆と編集は終わっていた。2011 年の改定では、学習指導要領上には「放射線の性質と利用にも触れること」との記載があるにもかかわらず、大日本図書を除く 4 社が出版する教科書で放射線について記載されているのは 1 ページだけだった（表 1）⁶⁻¹⁰⁾。

最初の教科書が発行されてから約 5 年後に、時代の状況等を加味して教科書の改訂がなされる。今回の改訂では、2015 年に改訂の見本本が各学校や教育委員会に配布され、採択決定後の 2016 年 4 月より改訂版教科書の使用が開始されることになっている。この改訂では、東北地方太平洋沖地震の状況を受て、福島原子力発電所の事故に関する記述や放射線についての記述のペー

表 1 2011 年から使用されている教科書の放射線の記載があるページ数

放射線 ページ数	東京書籍 ⁶⁾ 1ページ	大日本図書 ⁷⁾ 3ページ	教育出版 ⁸⁾ 1ページ	啓林館 ⁹⁾ 1ページ	学校図書 ¹⁰⁾ 1ページ
from	204	272	92	173	65
to	204	274	92	173	65
太字	放射線	放射線	放射線	放射線	—

ジが大きく変更されている。

表 2 はこの改訂の見本
本で、放射線に関する記
載状況を調べた結果であ
る¹¹⁻¹⁵⁾。表 2 からわかる
ように、各社ともページ
数が増えたのと同時に重
要語句とされる太字も増
えている。特に、東京書
籍と学校図書の変化は著
しい。

表 2 2016 年から使用される教科書（見本本）の放射線の記載があるページ数

放射線	東京書籍 ¹¹⁾	大日本図書 ¹²⁾	教育出版 ¹³⁾	啓林館 ¹⁴⁾	学校図書 ¹⁵⁾
ページ数	4ページ	4ページ	2ページ	2ページ	3ページ
from	280	287	112	194	261
to	283	290	113	195	263
太字	放射線 放射性物質 放射能 X線 γ線 α線 β線 中性子線 シーベルト	放射線	放射線	放射線 X線 α線 β線 γ線 中性子線	放射線 放射能 放射性物質 シーベルト

2.2. 戦後からこれまでの学習指導要領での理科教科書における記載

戦後からこれまでの中学校学習指導要領理科において、放射線の取り扱いは次のようであった¹⁶⁾。

2012 年（平成 24 年）	4 月施行	学習指導要領理科 ¹⁾	放射線の記載あり
2002 年（平成 14 年）	4 月施行	学習指導要領理科 ²⁾	放射線の記載なし
1993 年（平成 5 年）	4 月施行	学習指導要領理科 ³⁾	放射線の記載なし
1981 年（昭和 56 年）	4 月施行	学習指導要領理科 ¹⁷⁾	放射線の記載なし
1972 年（昭和 47 年）	4 月施行	学習指導要領理科 ¹⁸⁾	放射線の記載あり

第 1 分野

(8) 物質と電気

ウ 物質の構造

(イ) 放射性元素の原子は、放射線を出して、ほかの元素の原子に変わることを。

1958 年（昭和 33 年） 9 月施行 学習指導要領理科¹⁹⁾ 放射線の記載あり

第 1 分野

(5) 電波が受信できること、および原子の構造の概要について指導する。

ウ 原子の構造

(イ) 原子の構造

c 放射性元素は、放射線を出すことを知る。

1951 年（昭和 26 年）改定 学習指導要領理科編（試案）²⁰⁾ 放射性元素の記載あり

第 3 学年

単元 II 天然資源を開発利用し、さらにこれから新しい物資をつくり出すのに科学はどのように役だっているか

1. 金属はどのように採掘され、どのように利用されるか

(4) 金属はどんな性質をもっているか。また、それはどのように利用されるか

d. 放射性元素の性質と利用

そこで、これらの学習指導要領に基づいた教科書の中で放射線に関連する記述を具体的に抜き出した。ここでは東京書籍の教科書の該当する単元のページと索引から、放射線、放射性物質、放射能などの関連があると考えられる語句の記載のあるページを参照した。

なお、以下は国立教育政策研究所教育研究情報センター教育図書館が所蔵する教科書からの引用である。

1981 年学習指導要領に基づく教科書（放射線の記載なし）

1990 年（平成 2 年）「新訂新しい科学」 1 分野下 ²¹⁾ 174 ページ

〔原子力発電〕現在では、水力発電、火力発電のほか原子核のエネルギーを利用した原子力発電がおこなわれている。この発電はウランという原子の原子核が他の 2 つの原子の原子核に変わるときに出るエネルギーを利用したものである。原子力発電では、エネルギーが得られると同時に生物のからだに有害な放射能をもつ物質ができる。そして、1986 年ソ連のチェルノブイリで起こった事故などのように、万一原子力発電所で大きな事故がおこると放射能の汚染が広範囲に広がるので、安全面にじゅうぶんな注意がはらわれなければならない。また、放射能をもった廃棄物の安全な処理方法など、解決しなければならない問題も残されている。

この教科書では、放射線という語句の使用を避け、放射能という表現でその危険性や問題点を表現しているが、表現が曖昧な印象を受ける。一方、それ以前の学習指導要領で、次のような記載がなされていた。

1972 年学習指導要領に基づく教科書（放射線の記載あり）

1977 年（昭和 52 年）「新編新しい科学」 1 分野下 ²²⁾ 85~89 ページ

III 原子の構造 （略）

1 原子のつくりはどうなっているのだろうか （略）。

2 原子はまったく変化しないのだろうか

ウラン U の化合物やラジウム Ra のはいつている鉱物を、光を通さないように黒い紙で包んだ写真フィルムの上に置き、その写真フィルムを現像すると、フィルムは感光している。これは、ウランやラジウムなどから写真フィルムを感光させるはたらきをもつ何か（放射線）が出ているからである。（略）このような、放射線を出す性質を放射能といい、放射能のある元素を放射性元素という。放射線を出す元素はウランやラジウムのほかにもあり、それぞれ、放射線を出しながらほかの原子核に変わっていく。（略）

1972 年（昭和 47 年）「新しい科学」 第 1 分野下巻 ²³⁾ 104~107 ページ

III 物質の構造

（略）ポロニウムという元素をはりの先につけて霧箱の中に入れると、ポロニウムから放射状に何かが出ている事を白い霧のようすから知ることができる。また、ガイガー計数管をポロニウムに近づけると、それらが計数管にはいつたときの音を聞くことができる。これは、原子核からさらに小さな粒が飛び出しているためである。

1 原子の構造はどうなっているか（略）

2 原子核は変化しないか

19 世紀の末、ベクレルは偶然の機会から、（略）。放射線には、 α 線、 β 線、 γ 線などがあり、けい光物質を光らせたりする。放射線を出す物質に、このほかにアクチニウム、トリウム、ポロニウムなどがある。（略）

また、窒素の原子核に α 線（ヘリウムの原子核の流れ）を当てると酸素の原子核に変わり、ベリリウムに α 線をあてると炭素の原子核に変わる。このように、原子核に α 線や中性子などを当て、原子核の変換をおこすことができる。（略）

1958 年学習指導要領に基づく教科書（放射線の記載あり）

1965 年（昭和 40 年）「新編新しい科学」 3 年 ²⁴⁾ 133~138 ページ

A-5 原子と電子

II 原子の構造と放射線

(略) 原子力や放射能などは、みな原子の世界での物質のふるまいがもとになっているものである。

1 原子の大きさと構造 (略)

2 放射能

黒い紙で包んだ写真乾板の上にウランを含んだ化合物をのせておくと、写真乾板は感光する。これは、黒い紙を通す放射線がウランから出ているからである。そして、ウランの原子核は放射線を出しながら自然にはかの原子核に変わっていく。

このように、放射線を出す性質を**放射能**という。放射能をもつ原子には、このほかラジウムなどがある。

放射能をもつ原子の出す放射線には **α線**、**β線**、**γ線** の3種類があり、それらは次のようなものである。

α線 ヘリウムの原子核の流れ

β線 原子核の中からとび出した電子の流れ

γ線 光やX線より波長の短い電磁波

これらの放射線は、写真のフィルムを感光させたり、けい光物質を光らせたり、物質を透過したりする。また、原子をイオン化したり、生物の細胞を壊したりする性質がある。

3 原子核の人工変換

放射能をもつ原子は、自然に放射線を出して、原子核がだんだんこわれてほかの原子核に変わっていく。ふつう、化学変化では原子の結びつきかたが変わるが、原子核がほかの原子核に変わることはない。しかし、自然の放射能をもつ原子以外でも原子核に中性子や**α線**などをぶつけるとほかの原子核に変わるので、原子核の変換を人工的におこすことができる。たとえば、窒素の原子核に**α線**をぶつけると酸素の原子核に変わり、バリウムに**α線**をぶつけると炭素の原子核に変わる。

▶ **人工放射能** 原子核を人工的に変換させたときできた原子核が放射能をもつことがある。このようにして生じた放射能を**人工放射能**という。たとえば、コバルトに中性子をあてると放射性のあるコバルト 60 となる。これは **γ線** を出すので、がんの治療に利用されている。また、人工放射性リンを肥料にまぜて植物体内に入れると、植物体内におけるリンの動きは放射線の出るところをさぐることによって知ることができるから、植物体内におけるリンのはたらきを研究するのに役立つ。このように利用される放射性物質をトレーサーという。

▶ **核分裂** ウラン 235 の原子核に中性子をぶつけると、それが2つの新しい原子核にこわれる。これを**核分裂**という。(略) このようなエネルギーが一般に原子エネルギー、または原子力と呼ばれている。

同上 172 ページ B-1 生殖と遺伝

自然界では、突然変異がおこるのはごくまれであるが、放射線や化学薬品などを使って人工的に突然変異のおこりかたを多くすることができる。

突然変異したものはいっばんに、育ちが悪かったり奇形だったりして、その生物には不利なことが多いが、ときには人間にとって利用価値の高いものができることもある。いずれにしても突然変異は、遺伝の研究をすすめるうえできわめて重要な役割をはたしている。

同上 185 ページ B-2 天体

I 地球 (4) 大気

(略) 電離層では、太陽の強い放射線によって、その大気分子が電離してイオンになっていることが多い。(略)

同上 287 ページ B-4 天然資源

2 原子力

燃焼のようなふつうの化学変化では分子をつくっている原子の結びつきかたは変化するが、原子核は変化しない。これにたいして核分裂は原子核がこわれてほかの原子核に変わる変化で、このときに出るエネルギーはきわめて大きい。このようなエネルギーが原子力である。

核分裂によって発生するエネルギーを熱としてとり出して発電に利用したり、船の動力として利用したりしている。

核分裂を適当な速さでおこなわせて、そのときに出るエネルギーを利用する装置が原子炉である。

核分裂のさいには、たくさんの放射能をもつ物質を生じ、この放射能は人体に有害な影響をおよぼすから、とりあつかいはじゅうぶんに注意しなくてはならない。

1958 年学習指導要領に基づく教科書（放射線の記載あり）

1961 年（昭和 36 年）「新しい科学」 3 年²⁵⁾ 50~154 ページ

A-5 原子と電流

IV 放射線

1 X 線

わたしたちは、健康診断をうけるときなどに X 線で写真をとる。この X 線はどのようにして発生させ、またどのような性質をもっているだろうか。

(1) X 線の発生 X 線を発生させるには、18 図のようなクーリッジ管という真空管が多く使われている。(略)

(2) X 線の性質と利用 X 線は光が通らない物質をも透過する性質がある。(略) 肺や骨折などの診断に利用される。(略) 機械の部分品の中のきずを調べたりするのに用いられる。(略)

X 線は生物の細胞をこわしたり、遺伝子を変化させたりするので、がんの治療や作物に人工的に突然変異をおこさせることなどに利用されている。また、X 線をとりあつかう人は、不必要な X 線をうけないように、X 線を通さない鉛などの物質でからだを保護する。

2 原子核と放射線 (略)

(1) 原子核

(2) 放射性元素

ふつう、原子核はなかなかこわれない。ところがラジウムの原子核などのように、放射線を出しながら自然にはほかの原子核に変わっていくものもある。このような原子核をもった元素を**放射性元素**という。(略)

放射性元素が出す放射線には、**アルファ線**、**ベータ線**、**ガンマ線**の 3 種類がある。(略)

(3) 原子核の人工変換 (略)

同上 308~309 ページ

B-4 天然資源

3 原子力

ウランの同位元素のあるものの原子核に中性子をあてると、こわれて 2 つの新しい原子核となり、このときに多くのエネルギーが出る。これを**核分裂**という。(略)

1951 年学習指導要領改訂に基づく教科書（放射性元素の記載あり）

1954 年（昭和 29 年）発行 「新編新しい科学」 2 年下²⁶⁾

96~99 ページ

VII X線はどのように利用されるか

身体検査のときX線写真をとることがある。(略)

1 X線の発見とX線を出す方法

(1) X線はどのように見つかったか

(略) ドイツのレントゲンは、陰極線の研究をしているうちに、ガラスの壁から目に見えないものが出て、黒い紙に包んでおいた写真の乾板に光が当たったのと同じような作用を起こすことに気がついた。(略)

2 X線の性質

(1) 物をよく通る (略) 人間の皮膚や肉はよく通るが、骨とか金属などは通りにくい。

(2) 目に見えない (略)

(3) 直進する (略) 物体のすぐ後ろに物体と同じ大きさのフィルムを置き、X線による影絵を写すか、この位置に置いた蛍光板を置いて光らせて見るのである。最近はこの蛍光板の上に見える像を、後からふつうの写真機を使って写真にとる間接撮影の技術が進歩した。それで集団検診のように多人数を診察する場合には、胸部のX線写真を小さなフィルムの上に撮影するようになった。

(4) 細胞をこわす (略)

3 X線の利用

(1) からだや機械の内部を見る (略)

(2) 原子構造の研究や治療に使う (略)

1954 年 (昭和 29 年)「新編新しい科学」 3 年下 ²⁷⁾

132 ページ

X線 (略) 骨がどんなに折れているか、そのようなことをX線 (レントゲン線) が診断の目的で (略) X線は、がん細胞だけでなく、微生物にも害を与える。だからある種の病気たとえば水虫や丹毒はX線でも治療できる。

ラジウム ラジウムからはX線と同じ性質の一種の放射線 (ガンマ線) が出る。(略)

1952 年 (昭和 27 年)「改訂新しい科学」 第3 学年用上 ²⁸⁾

46~51 ページ

単元 1 見える世界は科学によってどのようにひろがったか

6. X線によってどのようなことがわかってきたか

(1) X線はどのようにして発見され、どのようにして得られるか

X線の発見 ドイツの物理学者であるレントゲンが1895年にこのX線を発見した。(略)

クーリッジ管 私たちがX線を得るのには、X線管球を用いる。(略)

(2) X線にはどのような働きがあり、どのように用いられているか

X線の動き X線は見に見える光や放送の電波と同じ性質のものであるが、ただ波長が非常に小さいだけである。(略)

(a) **透過性** X線は普通の光には不透明のものを透過することができる。(略)

(b) **電離性** X線を物質にあてると電子が放出される。(略)

(c) **化学作用** X線は紫外線と同じように化学作用やシアン化白金バリウムなどにけい光を起こさせる作用を持っている。(略)

(d) **生理作用** またX線は細胞を破壊する作用も持っている。(略)

X線の利用 X線が不透明の物質の中を通ることができる性質を利用して、不透明の物体の中にあるものを見ることができる。(略)

1952 年 (昭和 27 年)「改訂新しい科学」 第3 学年用下 ²⁹⁾

146~148 ページ

X線と放射能 ドイツのレントゲンは陰極線の実験中、1895年にX線を発見した。(略) フランスのベックレルは、1896年にウランがX線と似て (略)、1898年フランスのキュリー夫人がウランよりも数千倍も強い放射線を出すラジウムを発見した。その後、この放射線には3種類あることがわかってきた。(略)

ここまで、戦後の学習指導要領によって、学習内容が決められていた時代の教科書における放射線に関連する記述を見てきた。その記述の量、質ともに 1954 年から徐々に増え、1965 年をピークにそれ以降は減少している (図 2)。

なお、1952 年の教科書の記述が多いのは、複数の学年に渡り放射線や X 線の発見の歴史に関する記述があるためである。

放射線の研究分野は、原子や原子核の研究と直接関係しており、20 世紀の物理学の進歩を支えてきた分野であるので、

研究が進めば進むほど教科書に記載すべき内容も増えて良いはずであろう。それに関わらず、1971 年以降の教科書では、該当のページ数が減少したため、その理由や時代背景などについてさらに調査が必要だと思われる。

また、放射線に関する記述の質に関しても、徐々に簡略化されてきたことも指摘できよう。今回の教科書の改訂 (2016 年) により、ページ数は 1950 年代まで戻ったように見える。現状の教科書の内容は、精選され図版などを用いてわかりやすくしているが、発見の歴史的な背景や当時の研究者が何を考えていたか (これは、未来の研究者が研究する際の態度やモチベーションを知る上で重要な要素であると思われる)、またその後の研究によって何がわかるようになったのか、など放射線の発見からスタートする現代物理学の研究につながる記述が望まれる。

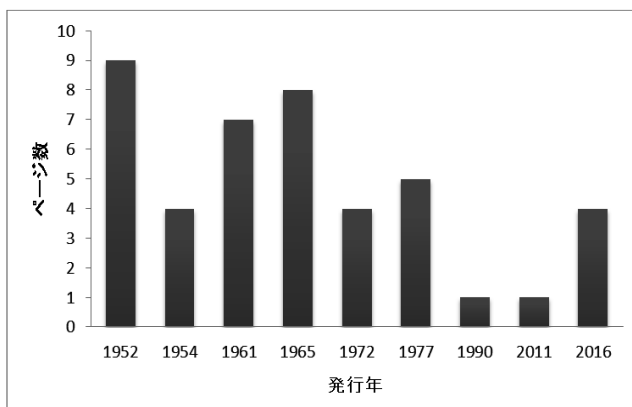


図 2 教科書発行年と放射線に関する記述のページ数の変化

3. 日本の教科書における初めての放射線に関する記述

それでは、中学校で使われた教科書に初めて「放射線」が記載されたのはいつ頃だろうか。戦前は、学校制度が現在とは異なるため、旧制中学の教科書を参考とすることとした。また、前項と同様に、国立教育政策研究所教育研究情報センター教育図書館が所蔵する教科書で調べた。

まず、当然ではあるが、レントゲンによる X 線の発見 (1895 年、明治 28 年) 以前の教科書には、放射線などの記載はなかった^{30, 31)}。

278 レントゲンの実験 ドイツ人レントゲンはクルックス管の陰極に対して光を放つガラス管より、一種の輻射線の射出せらるるを発見せり。名づけてエックス線と称す。この輻射線は、自身には毫も光なけれども、青酸白金バリウム、青酸白金カリウムその他の物質にあえば、これをして光を放たしめ、通常の写真板に当たれば光線のごとくこれに作用し、また普通の光線に対しては、不透明なる物質をもよく通過す。もっともその度は物質によりて同一ならずして、木竹等は透明にして、金属ガラスなどは不透明なり。また動物の骨は、筋肉に比してやや不透明なり。レントゲンはこれによりて、よく動物体の皮肉を通じて、その骨格を写真せり。図に示すは長さ 4 寸許の小さな両頭蛇の写真にて、よく 2 個の頭が、背骨の那边より分岐したるやを知り得べる。この写真法は、種板を黒色の布または紙にて包み、光線に触れざる様にその上に動物体を置き、その上にクルックス管を保持してエックス線を投射すると、十数分にして種板を現像するにあり。

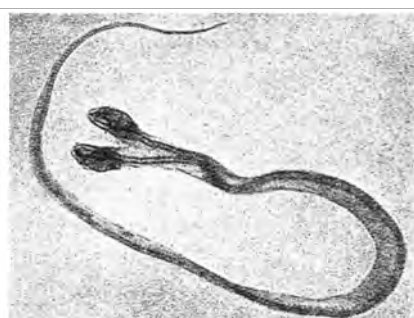


図 3 1899 年近世物理学教科書より

(文字や句点などの表記は現在のものに変更した)

1895 年以降の理科教科書では、1899 年 (明治 32 年) 4 月 17 日発行の「中邨清二編述 文部省検定済近世物理学教科書全」 富山房³²⁾の 473~475 ページに、レントゲンと X 線に関する上欄のような記述が最初であった。

日本でのレントゲンの X 線の発見の第一報は、1896 年 (明治 29 年) 2 月であること³³⁾から、わずか 3 年で中学生向けの教科書に載っていることがわかる。その背景には、X 線の発見があまりに衝撃的な内容であったことを指摘できよう。その一方で、最先端の科学的な現象について、その正しい知識や現象の理解を当時の教員に求められていることが特筆すべきことである。

現代に置き換えれば、2010 年代になって最先端科学で発見されたことを正しく生徒達に説明しなければならないという状況であり、これはほとんど不可能なほど難しいことであると指摘できる。実際、当時の記述を調べてみると、1896 年 (明治 29 年) 7 月に、京都府教育会議が企画した村岡範爲博士による小中学校の教員向けの講演「レントゲン氏 X 放射線の話」³⁴⁾が実施された。講演の内容は波動の説明、陰極線の解説、X 線写真、X 線の本質、X 線の電離作用、ベクレルの放射能の発見についてであり、X 線の発見とその応用が今後の世界に与える影響が大きいと、小中学校の教員を通して未来の日本を支える子ども達に正しい知識を伝えたいという想いに溢れていた。

4. おわりに

レントゲンによる X 線の発見当時から現在に至るまでの中学校理科教科書における放射線に関する記述の調査を行ったところ、20 世紀物理学を支えるこの分野の記述は時代が進むにつれて徐々に減少されるという状況であった。最先端科学を知るためには、支えとなる多くの知識が必要であり、それを一つ一つ理解させてからでないと学習として意味がないという意見もあるが、その一方で科学のホットでワクワクするような面白さこそ伝えるべきであり、一つ一つの理解よりも、全体として科学の楽しさを教えるべきであるという意見も一理あるだろう。

たとえば、放射線が生物に与える影響についても、全てがわかっているわけではないからこそ研究 (実験) が行われ、その知見が増加していくという状況を考えれば、学習の方向性は自ずと見えてくるように思う。「放射線」を科学の分野として科学的に学習できるように整備することが我々が生徒達のために為すべきことであろう。

5. 参考資料

- 1) 文部科学省, 中学校学習指導要領, 平成 20 年 3 月 平成 22 年 11 月一部改正
- 2) 文部科学省, 中学校学習指導要領解説 (理科編), 平成 20 年 7 月
- 3) 文部科学省, 中学校学習指導要領, 平成 10 年 12 月
- 4) 文部省, 中学校学習指導要領 (1989)
- 5) 文部科学省初等中等教育局, 教科書制度の概要 2 教科書が使用されるまで (2015)
- 6) 岡村定矩他, 新しい科学 3 年, 東京書籍 (2011)
- 7) 有馬朗人他, 理科の世界 3 年, 大日本図書株式会社 (2011)
- 8) 細谷治夫他, 自然の探究中学校理科 3, 教育出版 (2011)
- 9) 塚田捷他, 未来へ広がるサイエンス 3, 新興出版啓林館 (2011)

- 10) 霜田光一他, 中学校科学 3, 学校図書 (2011)
- 11) 岡村定矩他, 新編新しい科学 3 年, 東京書籍 (2015)
- 12) 有馬朗人他 新編理科の世界 3 年, 大日本図書 (2015)
- 13) 細谷治夫他, 自然の探究中学校理 3, 教育出版 (2015)
- 14) 塚田捷他, 未来へ広がるサイエンス 3, 新興出版啓林館 (2015)
- 15) 霜田光一他, 中学校科学 3, 学校図書 (2015)
- 16) 国立教育政策研究所, 学習指導要領データベース (2014)
- 17) 文部省, 中学校学習指導要領 (1977)
- 18) 文部省, 中学校学習指導要領 (1966)
- 19) 文部省, 中学校学習指導要領, 明治図書 (1958)
- 20) 文部省, 中学校・高等学校学習指導要領理科編 (試案改訂版) (1951)
- 21) 近角聡信他, 新訂新しい科学 1 分野下, 東京書籍 (1989)
- 22) 蓮沼宏他, 新編新しい科学 1 分野下, 東京書籍 (1977)
- 23) 茅誠司他, 新しい科学 第 1 分野下巻, 東京書籍 (1971)
- 24) 茅誠司他, 新編新しい科学 3 年, 東京書籍 (1965)
- 25) 茅誠司他, 新しい科学 3 年, 東京書籍 (1961)
- 26) 茅誠司他, 新編新しい科学 2 年下, 東京書籍 (1954)
- 27) 茅誠司他, 新編新しい科学 3 年上, (1954)
- 28) 茅誠司他, 改訂新しい科学 3 年上, 東京書籍名 (1952)
- 29) 茅誠司他, 改訂新しい科学 3 年下, 東京書籍 (1952)
- 30) 菊池熊太郎編, 物理学教科書, 東京書肆敬業社兌 (1890)
- 31) 木村駿吉編, 新編中物理学, 東京内田老鶴圃 (1893)
- 32) 中邨清二編, 近世物理学教科書, 富山房, 473-475 (1899)
- 33) 青柳泰司, レントゲンと X 線の発見, 恒星社厚生閣, 164 (2000)
- 34) 村岡範爲馳, レントゲン氏 X 放射線の話, 京都府教育会議 (1896)

【資料】

^{90}Sr 濃度の新しい測定手法

近藤 健次郎

放射線教育フォーラム/高エネルギー加速器研究機構

〒305-0801 つくば市大穂 1-1

(2016 年 1 月 6 日受理)

「要約」本測定手法は、放射性核種を含む水試料に含まれる $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ を炭酸塩沈殿・鉄共沈法を用いてフィルターに濃縮・捕集し、適当な厚さの β 線吸収体を用い、GM 検出器で ^{90}Sr の娘核種である ^{90}Y からの高いエネルギーの β 線を選択的に測定するもので、 ^{90}Sr の放射能濃度を比較的簡便・迅速に、しかも高感度で測定する新しい手法である。

1. はじめに

様々な放射性核種を含む RI (ラジオアイソトープ) 排水等の水試料の放射能分析では、 γ 線を放出する核種については半導体やシンチレーション検出器等を用いて、その核種に固有な光子エネルギーとその強度から比較的容易に核種の同定及び濃度測定が可能である。一方、 ^{90}Sr や ^{90}Y 等の β 線のみを放出する核種の濃度測定については、一般には、様々な化学的な分離操作等により、目的とする核種を分離した上で測定する。これは、多くの放射性核種が β 崩壊であり、放出される β 線のエネルギーが連続スペクトルであることから、測定する β 線が目的核種によることを保障する上で不可欠である。そのため、 ^{90}Sr 濃度測定では文献 1 および 2 に述べられているような高度な化学分離や測定技術が要求され、通常測定結果が出るまでには相当の時間がかかる。

ここで紹介する ^{90}Sr 濃度の測定手法は、東京電力福島第一発電所 (以下、「1F 発電所」という) において、事故に伴って日常的に発生する多数の汚染水試料を念頭に開発されたものである。 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ を簡単な沈殿分離操作でフィルターに濃縮・捕集したものを測定試料とし、 ^{90}Sr の濃度は、GM 検出器でその娘核種である ^{90}Y からの β 線を β 線吸収体を用いて選択的に測定し、別途求められた換算係数 ($[\text{Bq}/\text{cm}^3]/\text{cps}$) を用いて ^{90}Sr と ^{90}Y の親娘の関係から求まる式から算出される。 ^{90}Sr の排水基準 (法・告示による ^{90}Sr の排水基準は $0.03 \text{ Bq}/\text{cm}^3$) を十分下回る感度を持ち、かつ迅速で、現場でも対応できる新しい測定手法である。

本測定手法は、含まれる核種や濃度等により、全ての水試料に適用できるものではないが、 ^{90}Sr の濃度測定の一手法として参考にしてもらいたい。なお、本測定手法の詳細は文献 3 に示されている。

2. 測定手法の概要

2.1 ^{90}Y の選択的測定

^{90}Sr と ^{90}Y は親娘の関係にあり、 β 線のみを放出する核種である。 β 線の最大飛程は、 ^{90}Sr および ^{90}Y についてそれぞれ 0.18 と $1.02 \text{ g}/\text{cm}^2$ である。 ^{90}Y の β 線の最大エネルギーは

表 1 1F 発電所における汚染水に含まれる ^3H 以外の主な放射性核種と核特性

Nuclide	Half-life	Decay mode	Maximum β ray Energy (MeV)	Emission rate	Main γ ray energy (MeV)	Emission rate
^{54}Mn	312.03d	EC		1.0	0.836	1.0
^{60}Co	5.2713y	β^-	0.318	0.999	1.173	0.999
			1.491	0.0012	1.333	1.0
^{90}Sr	28.79y	β^-	0.546	1.0		
^{90}Y	64.00h	β^-	2.28	1.0		
			0.0888	0.273	0.563	0.084
			0.415	0.025	0.569	0.154
			0.658	0.702	0.605	0.976
			Others		0.796	0.866
^{134}Cs	2.065y	β^-			0.802	0.087
					1.365	0.03
					Others	
^{137}Cs	30.1671y	β^-	0.514	0.944		
			1.176	0.056		
$^{137\text{m}}\text{Ba}$	2.532m	IT			0.662	0.851

2.28 MeV と極めて高く、この ^{90}Y からの β 線を選択的に測定することができれば、 ^{90}Sr の放射能濃度は両者の親娘の関係から算出できる可能性がある。

例として、表 1 に 1F 発電所の汚染水に含まれる ^3H 以外の主な放射性核種を示す。 ^{90}Y の β 線のエネルギーが他の核種からのものに比べて極めて高いことが分かる。いま、これらの核種がフィルター表面に同じ面密度 (1 Bq/cm^2) で存在するとき、端窓型 GM 計数管 (例えば、日立アロカメディカル GM サーベイメータ TGS-146G) に入射する電子数とフィルターと GM 計数管の間に挿入する β 線吸収体 (ポリエチレン板 ; 0.095 g/cm^2) の厚さの関係を図 1 に示す。この図は、それぞれの核種の β 線 (連続) スペクトルおよび ^{137}Cs の娘核種である $^{137\text{m}}\text{Ba}$ の内部転換電子を考慮に入れ、かつ、 γ 線および制動放射線 (以下、「光子」という) による散乱電子の寄与も考慮し、電磁カスケード・モンテカルロ計算コード egs⁴⁾ で計算したものである。計算上 10 keV 以上のエネルギーの電子を対象としている。

図から同一面密度の場合、およそ 2 mm 以上の厚さのポリエチレン板を用いれば実効的に ^{90}Y の β 線のみが測定可能であることが分かる。同一面密度の場合、 ^{90}Y の β 線に対する他の核種の β 線の寄与は、吸収体が 1 mm、2 mm および 3 mm のポリエチレン板に対し、

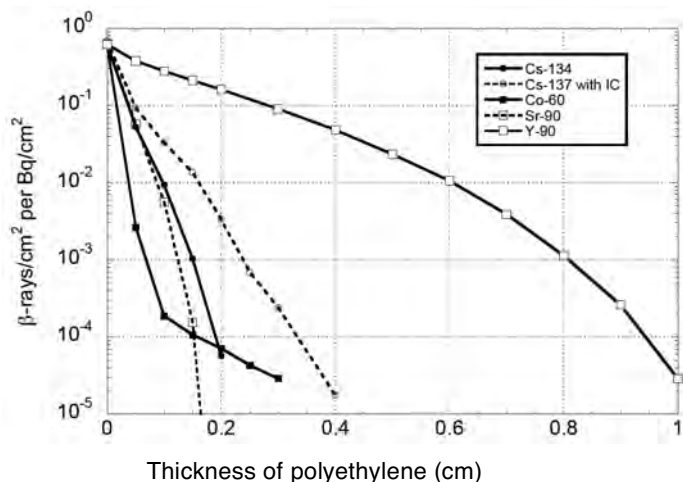


図 1 フィルター上に単位表面密度 (1 Bq/cm^2) で存在する各核種から GM 検出器に入る電子の個数とポリエチレン板の厚さの関係

それぞれ 16、1.8 および 0.2% である。また、 ^{90}Y の β 線の最大飛程から、1.1 cm 厚のポリエチレン板で ^{90}Y からの β 線のみならず全ての β 線を取り除くことができる。

しかし、図 1 から ^{90}Y の β 線のエネルギーよりも低い β 線を放出する核種であっても、非常に高い濃度でフィルター上に存在する場合、それらによる β 線計測値が大きな割合を占めることになり、測定上の大きな制限となる。従って、用いる β 線吸収体の厚さもそれに応じて選択する必要がある。

1F 発電所の汚染水では、 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ および ^{134}Cs 、 ^{137}Cs の濃度が高く、他の核種はその約 1/100 以下で、後述するよう ^{90}Sr および ^{90}Y をフィルター上へ分離・捕集する操作により、放射性 Cs は取り除かれる。従って、2 mm の厚さのポリエチレン板 (β 線吸収体) を用いることにより ^{90}Y からの β 線を選択的に測定でき、 ^3H を含め他の核種の寄与は無視できる。

1F 発電所の汚染水を例に、 β 線吸収体を用いた ^{90}Y β 線を選択的測定について述べたが、一般の放射線施設における RI 排水等の水試料では、含まれる放射性核種の多くは β 崩壊核種で、そのフィルター上の濃度もさまざまであることが考えられ、予め半導体検出器等で混在する核種やそれらの濃度について検討した上で、本手法の適用の可否および用いる β 線吸収体の厚さを決める必要がある。

2.2 光子の影響

本手法は上述のように、適当な厚さの β 線吸収体を用い、 ^{90}Y からの β 線のみを選択的に測定することを基本としているが、GM 計数管は光子にも感度を有するので、 β 線吸収体を用いた時の ^{90}Y の β 線による計測値に対する光子による影響を評価しておく必要がある。 ^{90}Y の β 線を含む、全ての β 線を取り除く上で十分な 10 mm の厚さの亚克力板 (密度: 1.20 g/cm^3) を用いたときの計測値 (幾何学的な効率を考慮) を光子によるものとして評価できることから、 ^{90}Y の β 線による真の計測値は、これをバックグラウンドとして ^{90}Y の β 線による計測値から差し引いて求めることができる。因みに、厚さ 2 mm のポリエチレン β 線吸収板を用いたときの、フィルター上の ^{137}Cs の 1 Bq あたりの計数率は $1.43 \times 10^{-3} \text{ cps}$ で、 ^{90}Y の 1 Bq あたりの計数率は 0.11 cps である。従って、フィルター上に同じ面密度で γ 線放出核種が存在していたとしても、その影響は非常に小さいことがわかる。これは、荷電粒子と光子による電離効率の違いによるものである。この様に、予め ^{137}Cs の標準面線源等で光子の影響を評価しておけば、10 mm 厚さの亚克力による光子による減衰はきわめて小さいことから、 γ 線放出核種によるバックグラウンドが評価できる。

2.3 ^{90}Sr 濃度の算出

炭酸塩沈殿・鉄共沈法で水試料中の $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ を沈殿させ、これをろ過によりフィルターに濃縮・捕集したものを測定試料とする。同様に、予め既知濃度の $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 標準溶液を用いて様々な濃度について測定試料を作成し、GM 検出器による ^{90}Y 計数値と ^{90}Y の濃度の相関 (換算係数 [Bq/cm^3]/cps) を求めておき、時間を置いた 2 度の測定によって、次式から ^{90}Sr の放射能濃度を算出する。

$$A_{\text{Sr-90}}(0) = [A_{\text{Y-90}}(t) - A_{\text{Y-90}}(0)\exp(-\lambda_{\text{Y-90}} \cdot t)] / [\exp(-\lambda_{\text{Sr-90}} \cdot t) - \exp(-\lambda_{\text{Y-90}} \cdot t)]$$

ここで、 $A_{\text{Y-90}}(0)$ と $A_{\text{Y-90}}(t)$ は最初に測定した時間および t 時間後における、 β 線吸収体の厚さに対応する換算係数から求まる ^{90}Y の放射能濃度である。 $\lambda_{\text{Sr-90}}$ と $\lambda_{\text{Y-90}}$ はそれぞれ ^{90}Sr および ^{90}Y の崩壊定数である。この式から $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ の放射平衡が成り立っている試料であれ

ば1回の測定で ^{90}Sr の濃度が求まるが、多くの場合若干の非平衡が考えられることから、概ね5時間程度の時間を置いて測定することによって ^{90}Sr の濃度を求めることになる。

3 測定試料の調製、測定等の具体例

以上、本測定手法の概要を述べたが、具体例として、1F発電所における比較的低濃度の $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ を含む汚染水を想定し、測定試料の調製や測定等について概要を紹介する。(文献3を参照)

3.1 測定試料の調製

図2に示すように、汚染水試料(100 ml)にSr、YおよびCsを担体(10 ppm)として加え、さらに Ca^{2+} を250 ppm、 Fe^{3+} を50 ppmとなるように調製した溶液に、 Na_2CO_3 (粉末)を1 g添加し攪拌溶解する。pHが10.5~11の範囲で約7分間攪拌すると、 ^{90}Sr は Sr_2CO_3 として、 ^{90}Y は $\text{Y}(\text{OH})_3$ としてフロック状に沈殿する。溶液を約3分間静置した後、ろ過装置で分離捕集する。なお、この分離操作によるSrおよびYの捕集効率は99.6%および96.8%である。

このようにしてフィルター上に $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ を濃縮・分離した沈殿物(直径37 mm)をラミネート・コーティングフィルムで密封し、さらにポリエチレン袋に封入して測定試料とした。なお、沈殿物による自己吸収の効果は無視できる程度である。

この分離操作の過程で、Csイオンはろ液に入り、1F発電所におけるケースでは ^{134}Cs および ^{137}Cs が測定上大きな妨害となることはなく、用いる β 線吸収体であるポリエチレン板の厚さは2 mmで十分である。また、実際の測定試料に含まれる可能性のある天然由来の ^{40}K (半減期 1.27×10^9 年、 β 線最大エネルギー1.3 MeV)も、この沈殿・分離操作によって除かれる。一連の化学分離操作を含め、測定試料の調製に要する時間は約20分程度である。

3.2 測定・換算係数

測定時の β 線吸収体等の配置を図3に示す。図では、ポリエチレン β 線吸収体2 mmの場合を示し、47 mm ϕ フィルター用ろ過装置を用いているため、沈殿物の直径は37 mmである。図4に放射平衡にある $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 標準溶液を用いた既知濃度の

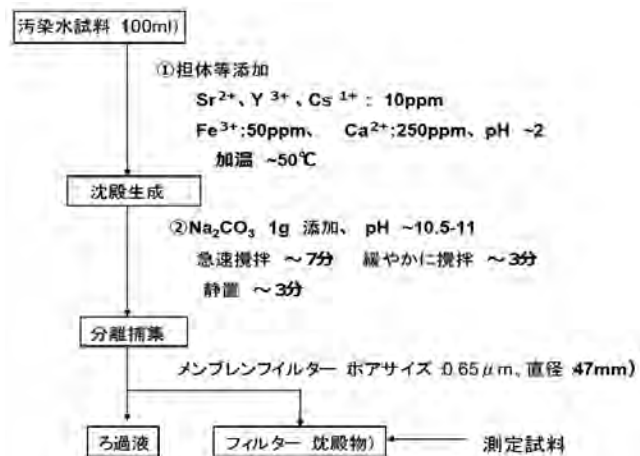


図2 炭酸塩・鉄共沈法による $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ の分離・捕集

Y-90の β 線測定 (β 線吸収体の配置図)

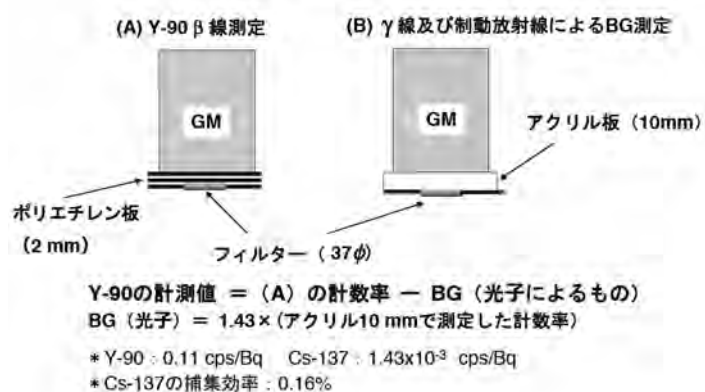


図3 GM検出器による ^{90}Y の β 線測定

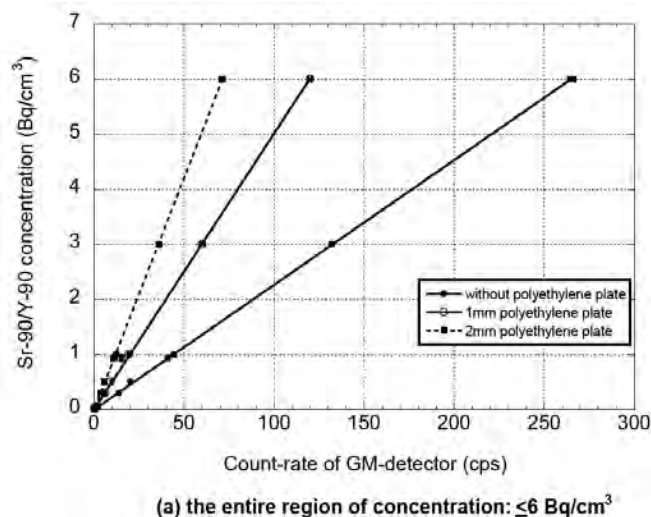


図4 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 標準溶液を用いた ^{90}Y の β 線の GM 検出器による計数値 (横軸) と ^{90}Y 濃度の関係 (換算係数、 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ は放射平衡にあり、 ^{90}Sr と ^{90}Y は同じ濃度である)

示すようにフィルターの中心が、GM 計数管の中心に一致するように作られた専用台をつくり固定する必要がある。 ^{90}Y 測定値に対する光子による寄与は、10 mm のアクリル板を用い評価した。予め、 ^{137}Cs 等の標準面線源で面密度と計数値の関係を求めておく必要がある。

3.3 検出下限

1F 発電所における水試料 (100 ml) の場合、 ^{90}Sr 検出限界濃度は測定環境のバックグラウンドに依存し、上記のような測定条件において 10 分測定で ^{90}Sr の検出限界濃度は 0.012 Bq/cm^3 である。試料水の容量を増やせば検出限界濃度は下がり、400 ml の場合では 0.0032 Bq/cm^3 である。いずれの場合も ^{90}Sr の排水基準 0.03 Bq/cm^3 を十分下回っている。なお、同時計数回路が組み込まれた低バックグラウンド測定装置を用いれば、検出下限濃度はさらに下げることができる。

フィルターに γ 線放出核種が存在する場合、荷電粒子と光子による電離効率に約 2 桁の違いがあることから、通常では大きな影響となることはないと考えられる。しかし ^{90}Sr の濃度よりも極端に高い濃度の γ 線放出核種があり、それらが分離操作でも除去できない場合は、 ^{90}Sr の検出限界放射能濃度は高くなる。このような場合は、別途半導体検出器等で γ 線放出核種の濃度等の測定結果をもとに、予め検出限界放射能濃度を評価しておく必要がある。

4. 測定上の留意点

① 本手法は、 ^{90}Y からの β 線を選択的に測定することを基本としている。しかし、 ^{90}Y の β 線より

$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ に対する ^{90}Y の計測値の関係 (換算係数) を示す。縦軸は ^{90}Sr または ^{90}Y の濃度で、放射平衡が成り立っていれば同じ値である。横軸は ^{90}Y の計数値である。 β 線吸収体として 1 mm および 2 mm 厚さのポリエチレン板について示した。

測定は、厚さ 5 cm の鉛遮蔽を施したボックス内で行った。GM 計数管による測定環境のバックグラウンドは約 27 cpm であった。図 3 に示したように、測定試料の上に適当な厚さの β 線吸収体を置き、その上に GM 計数管を直接載せて測定する。測定条件を整えるため、図 5 に



図5 測定台と GM 測定器 (例として、日立アロカメディカル TGS-149)

も低いエネルギーのβ線放出核種が高い濃度でフィルター上に存在する場合、それらによるβ線計測値が大きな割合を占めることになり、本手法の適用が制限される。予め半導体検出器等で混在する核種の濃度等について調べておき、用いるβ線吸収体の厚さもそれに応じて選択する必要がある。

② ^{90}Y のβ線エネルギーよりも高いエネルギーのβ線を放出する ^{106}Ru (半減期 373 日) の娘核種である ^{106}Rh (半減期 29.8 秒、最大β線エネルギー 3.54 MeV) および ^{144}Ce (半減期 284 日) の娘核種 ^{144}Pr (半減期 17.2 分、最大β線エネルギー 2.99 MeV) を含有する水試料で前述のような簡単な分離・捕集操作で除くことができない場合は、 ^{90}Y のβ線の選択的測定は不可能である。

③ 原発事故の初期段階では、Sr の同位体である ^{89}Sr (半減期 50.5 日、最大β線エネルギー 1.49 MeV) が多量に存在する。1F 発電所の事故から 5 年を経た現在では減衰により問題にならないが、その寄与が考えられる場合には ^{90}Y のβ線測定に適切なβ線吸収体の厚さを別途検討する必要がある。

④ 汚染水試料に海水等が多量に含まれる場合、フィルターに捕集される沈殿物が嵩張るため、測定試料の調製が困難である。海水濃度が 20% を超える水試料の場合、ここで紹介した 47 mm フィルター用のろ過装置では対応が難しく、ろ紙サイズを大きくし、それに合わせたろ過装置を用意する等の工夫が必要である。

5. まとめ

本測定手法は、1F 発電所で日常的に発生する多数の水試料を念頭に開発されたもので、迅速・簡便で、排水基準レベルの濃度の測定が可能な高感度の ^{90}Sr 放射能濃度の測定手法である。 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 放射平衡が成り立っている場合は、1 回の測定で ^{90}Sr の濃度が算出でき、測定結果が出るまでに要する時間は約 1 時間である。一方、 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ が放射非平衡の場合は、約 5 時間程度の間隔を置いて測定する必要がある。従来の ^{90}Sr 濃度の測定手法に比べ、測定結果が出るまでに要する時間は格段に短縮される。さらに本手法の利点は、高度な化学的な分離操作を必要とせず、 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 放射平衡の程度や試料水の性状等に影響を受けず、測定も放射線管理の現場で使用されている GM 検出器を用いる簡便な測定手法である。なお、本手法をもとにフィルター上に 10 mm のアクリルコリメータを用いることによって ^{90}Y から GM 計数管に入射する電子の数を調整することにより、 $\sim 10^4 \text{ Bq/cm}^3$ の高濃度の ^{90}Sr も測定可能である⁵⁾。さらに、排水基準レベルの測定手法ではないが、高い ^{90}Sr 濃度を含有する水試料について、水試料そのものをポリエチレン容器に入れた状態で測定する手法⁶⁾も開発されている。これは、底板が 1.5 mm 程度の厚さをもつポリエチレン容器に水試料を、約 1.5 cm の深さまで入れ、底面から出てくる ^{90}Y からのβ線を選択的に測定するもので、基本的な考えは本測定手法と同じである。

一般の放射線施設における ^{90}Sr を含む排水等において、共存する放射性核種の濃度や性状等を勘案した上で、その濃度測定に本測定手法が参考になれば幸いである。

文献

- 1) 文部科学省, 「放射性ストロンチウム分析法」放射能シリーズ, No. 2 (2003)
- 2) Vajda, N. and Kim, C., Determination of radiostrontium isotopes: A review of analytical methodology, Appl. Radiat. Isot., **68**, 2306-2326 (2010)

- 3) 近藤健次郎, 平山英夫, 平雅文, 松村宏, 岩瀬広, 佐々木慎一, GM 検出器を用いた Y-90 β 線測定による水中の Sr-90 濃度の高感度・簡便測定法, 日本原子力学会和文論文誌, **14** (No. 3), 151-161 (2015)
- 4) Hirayama, H., Namito, N., Bielajew, A. F., Wilderman, S. J. and Nelson, W. R.,
The EGS5 Code System, SLAC-R-730 (2005); KEK Report 2005-8 (2005)
- 5) 近藤健次郎, 平山英夫, 平雅文, 松村宏, 岩瀬広, 佐々木慎一, フィルター方によるコリメータを用いた高濃度 Sr-90 の測定, KEK Internal 2015-2, 1-5 (2015)
- 6) 平山英夫, 近藤健次郎, 海野泰裕, 松村宏, 岩瀬広, 柚木彰, 佐々木慎一, 水中 ^{90}Sr 放射能濃度の ^{90}Y β 線測定による迅速簡便測定法, 日本原子力学会和文論文誌, **14** (No. 3), 141-150 (2015)

【解説】

放射線 — 宇宙のエネルギー循環に関わる

大野新一、大野 玲^a

理論放射線研究所

〒227-0054 横浜市青葉区しらとり台 12-5

(2016 年 1 月 31 日受理)

[要旨] 138 億年前に誕生した宇宙では、時空 (時間と空間)^{a)} から生まれた“真空のエネルギー”から 1 秒以内に物質をつくる基本的な粒子^{b)}が誕生した。38 万年後には、基本的粒子の主たる存在形態は水素原子と光子とニュートリノであり、宇宙全体は温度約 3,000 K の平衡状態であったとされる。熱力学的な予想によれば、その後の宇宙膨張により温度は低下する一方であるが、実際には宇宙空間の至るところで局所的に重力によるエネルギー生産 (=星の誕生とその活動) が起こる。星の最後に解放された重力エネルギーは、星を構成していた物質粒子の一部 (=宇宙線) とニュートリノおよび光子として宇宙空間に放出される。エネルギーの一部は宇宙空間にあまねく存在する星間物質に与えられ (=エネルギーの再配分)、種々の分子が合成されて生命の誕生と進化へ繋がる。宇宙の始まり、宇宙膨張が起きる理由、重力の性質、様々な粒子が誕生するメカニズム、暗黒エネルギー、暗黒物質の正体などはいずれも未解明で 21 世紀の大きな研究テーマであるが、本稿では、循環するエネルギーの観点から宇宙の歴史を解説し、放射線教育に携わる諸氏の参考に資することを目的とした。

1. はじめに

放射線利用が人類のより良い生活のために必要であろうことは理解できる。医療分野における診断・治療を始め、放射線合成によるプラスチック、その他の高機能材料の製造を挙げることでもできる。また放射線のもつ種々の性質 (物質透過性、物質に対する反応性など) を利用した広い分野の学術研究の成果が知られている。放射線は原子力発電にとっても大きな関わりをもつ。しかし同時に、放射線が生物に悪影響を及ぼす場合もあることも事実である。これらを踏まえて正しい知識の普及を目指すのが放射線教育の目的とされる。

宇宙線と呼ばれているものが発見されたのはおよそ 100 年前である。宇宙線は地球外から地球に入射する高エネルギーの放射線である (Hess: 1912)。宇宙線 (高エネルギー粒子および電磁波) の種類とエネルギーを観測することは宇宙を知る手がかりとなる。他にも、宇宙からの情

^a 東京工業大学情報情報研究所

^{a)} ここでいう時空は、何もない真空ではなく、温度変化によって相転移が起き性質が変わる。未解明のことが多く、ヒッグス場なども存在すると考えられる。

^{b)} ここでいう基本的粒子とは、クォーク、電子、ニュートリノおよび光子。

報として可視光（光学天体望遠鏡による観測）と隕石がある。また 1940 年代には電波が、さらに 1960 年代以後には宇宙観測技術（気球、ロケット、人工衛星の利用）の発展にともなって、広範囲の電磁波（赤外線、紫外線、X 線、ガンマ線など）からの情報が宇宙の研究に用いられている。本稿においては、宇宙空間の中で宇宙線がどのようにして発生し、エネルギーを得て、そのエネルギーをどこに運んでいるかを放射線教育の観点から整理する。

2. 宇宙空間に存在する種々のエネルギー

2.1 熱的エネルギー

宇宙空間には様々な形態のエネルギーが存在している。身近にある小さな空間 1 cm^3 を例に 10.5

$$f_\nu = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{\exp(h\nu/k_B T) - 1} \quad (1)$$

ここで c は光速（真空中の光の速度）、 h はプランク定数、 k_B はボルツマン定数である。

2.2 非熱的エネルギー

空間には温度に依存しないエネルギーも存在する。空間がもし明るければ、多数の光子が含まれている。光子のそれぞれがその周波数によって異なるエネルギーを有し、その合計が空間のもつ光子エネルギーである（速度は光速）。また質量が電子の質量のさらに 1000 の 1 程度と予想され、電気的には中性の微粒子であるニュートリノも空間を走っている。太陽や原子炉からは勿論のこと、弱い力の関与する核反応に伴って発生し、宇宙や星・惑星の中もほぼ自由に透過するニュートリノは、運動エネルギーをもつ。それどころか宇宙が始った直後、非常に高温高密度の空間（おそらく 1000 億 K を超える温度で、陽子、中性子、電子、ニュートリノ、光子がひしめき合う）で熱平衡状態にあったニュートリノが宇宙の膨張に伴って現在も当時のエネルギーを持ったまま空間を走っていると考えられている。光子は、電子や陽子などの荷電粒子と相互作用するので、宇宙膨張が始まり温度が 3000 K 程度にまで下がって水素やヘリウムの原子の時代になってから空間を自由に走るようになる。現在は宇宙背景放射（マイクロ波領域の光）として観測されている（後述図 4 参照）^{1,2)}。

現在の太陽が放出するニュートリノのエネルギーについて特に付言する¹⁾。太陽の表面温度は約 6,000 K であるが水素の核融合反応が起きている中心核の温度は 1,570 万度 (K) といわれている（図 1）。中心核での反応生成物はヘリウム核以外にニュートリノと光子である。ニュートリノは他の粒子との相互作用が極めて弱いので生成後 2 秒ほどで太陽表面に達し、さらに 8 分強で地球に飛来する。光子は、太陽中心核の陽子や電子などと衝突を繰り返しながら何万年もかけて太陽表面まで、そして 8.3 分をかけて地球までやってくる。

発生源の位置は特定できないが多数の放射線・宇宙線が空間に含まれており²⁾、そのエネ

¹⁾ これらの放射線は宇宙膨張が始まってから 10 億年以後に発生し、その後さらに加速を受けたものである。

ギーは刻々変化するにしても、空間の温度とは関係のないものがある。これらのエネルギーは電磁場内における荷電粒子の運動から発生したもの、あるいは現在の観測場とは極端に異なる高温高密度の領域から発生し飛来してくるものである。特に光子のエネルギーや放射線のエネルギーは特定の機構による発生源をもつ場合が多く、そのエネルギー分布は Maxwell 分布や Boltzmann 分布とは異なる。それは非熱的分布と呼ばれ、エネルギー E に対する電子の分布関数 $N(E)$ が μ を定数として

$$N(E) \propto E^{-\mu} \quad (2)$$

というべき型の式であらわされることが多い^{1,3)}。これに対して (1) 式で表されるように 1 つの温度 T で特徴づけられる $\exp(-E/k_B T)$ の分布は熱平衡分布と呼ばれる。

2.3 その他のエネルギー

空間に電子もしくは陽子などの集団があるとき、近くの空間には電場（電位の勾配）が存在する。また電子もしくは陽子などの集団が一定の方向に流れるとき、すなわち電流が発生するときにその周辺の空間には磁場が発生し、磁気エネルギーが存在する。近くに大きな質量が存在して空間自体が歪みを受けるときも空間のエネルギーが考えられる。他にも、質量だけが知られているダークマター（暗黒物質）や宇宙空間の膨張を支配するとされるダークエネルギー（暗黒エネルギー）が存在するとされ、多数の研究者が解明の努力を続けている。現在の技術で観測され得る物質粒子（陽子、中性子、電子、ミューオンなど）のエネルギーとダークマター、ダークエネルギーの存在比は、物質粒子 4.6%、ダークマター 23%、ダークエネルギー 73%である^{6,7)}。

また、粒子が集団として特定の方向に運動するために生じるエネルギーも存在する。空気を構成する分子の多くが一方向に走るときは風力エネルギーである。また粒子の速度が音速より速いときは衝撃波を生ずる。衝撃波は宇宙空間において荷電粒子の加速の機構を考える際に重要である。

3. 宇宙におけるエネルギーの生産

第 2 節で列挙した種々のエネルギーは宇宙空間でどのようにして発生するだろうか。それを考える前に、宇宙の歴史をまず整理しておく。宇宙の始めに、時間・空間と同時に誕生したのが真空のエネルギー（またはダークエネルギー）であろう。このエネルギーによって 10^{-36} s の短時間でインフレーションと呼ばれる急激な膨張が起こり、ある温度まで下がったところで相転移が生じて放出される潜熱から質量をもつ物質粒子が生成する。3 分後には、温度は 1 億度 (10^8 K) まで低下し、強い力によって生成する陽子と、その 10% 程度のヘリウムの原子核、電子、ニュートリノそして光子などの高温高密度のプラズマが生成する。そして 38 万年後に温度はおよそ 3,000 K となり、電磁力によって水素原子とヘリウム原子が生成する。ここではニュートリノだけでなく、光子も空間を自由に走り抜けるようになる（宇宙の晴れ上がり）。宇宙はその後も膨張を続けて、現在では温度は 2.7 K になったが、宇宙の晴れ上がりの時代の光を現時点

で観測しているのが宇宙背景放射である。宇宙誕生の際に生まれた真空のエネルギーについてはまだほとんど理解が進んでいない。その真空のエネルギー、現在の宇宙空間に存在する物質(物質の質量はエネルギーと等価： $E = mc^2$ の関係にある)、宇宙背景放射の光、ニュートリノなど、いずれも宇宙のエネルギーを担っている。本稿では、宇宙誕生 38 万年後に熱平衡状態にあった水素原子、ヘリウム原子、光およびニュートリノのプラズマ状態を考察の出発点におく。

すなわち、本節ではまず約 3,000 K の熱平衡にある水素原子、ヘリウム原子、光、ニュートリノの系からどのようにして新しくエネルギーが生まれてくるかの機構を考察する。熱力学によれば、非平衡状態にある熱力学系は必ず平衡状態に向かって変化し、その逆は起こり得えないというものである。そこでは 3,000 K の平衡状態から非平衡状態が生じ、エネルギーが発生するのである。まず重力によるエネルギー発生について、次にそのエネルギーによって星内部で運動エネルギーを得た核子(中性子、陽子)集団が相互に接近する機会を得て核融合反応を起こし、その核反応の生成熱の放出が星の表面からの光放射の形で起こり、さらに星の最期における超新星爆発の際の宇宙線の誕生とその加速機構を考察する。

3.1 重力によるエネルギーの解放

温度 3,000 K で平衡状態にある光子(平均エネルギー 0.26 eV)は、中性の水素やヘリウム原子と反応しない。中性の原子同士も電磁気的な相互作用をすることはない。また原子核(陽子およびヘリウム核)同士も、反発力(クーロン力)によって互いに接近しないので反応することはない、残るのは重力のみである。重力といえば質量をもつことだけが知られているダークマターも考えるべきであろう。とにかく、対象とするのは重力だけが働く系である。重力だけが働く系であっても、1 億年後には最初の星が生成されているかもしれない。10 億年後には多数の星が生まれ、さらに多数の銀河が生成されるかも知れない。

ここでは重力によってどのようにしてエネルギーが得られるのかを考える⁴⁾。無限大の距離に広がっていた多数の微小物体(全質量 M) が重力の作用により集積して半径 R の球を形成するときの系のエネルギー(すなわち系が放出するエネルギー)を求める。まず、芯になる半径 r の球とそれを囲む厚さ dr の球殻との間の重力によるエネルギーを考える。密度を ρ として芯の質量 $\frac{4\pi}{3}r^3\rho$ と球殻の質量 $(4\pi r^2)(dr)\rho$ との間の重力エネルギーは $-G\left(\frac{4\pi}{3}r^3\rho\right)(4\pi r^2 dr \rho)/r = -\frac{1}{3}G(4\pi\rho)^2 r^4 dr$ である。この式を $r=0$ から R まで積分することによって

$$E_A = -\frac{3}{5}G \frac{M^2}{R} \quad (3)$$

質量 M が集積して半径 R の球になったときに解放されるエネルギーが得られる。この積分は、半径が R になるまで芯の周りに次つぎと球殻を付け加える、球の対称性を利用した方法であり、それに質量 $M = \frac{4\pi}{3}R^3\rho$ の関係を用いたものである⁴⁾。

M の大きさについては、初めはおそらく宇宙空間におけるダークマターの密度分布に大きく依存したと考えられる。ダークマターの濃い箇所に水素原子とヘリウム原子が重力によって集

まり、数億年かけて最初の星（ファーストスター）へと成長したものと思われる。またこのときに集積するのが水素原子やヘリウム原子ではなく、水素分子や三重水素イオンなどであった可能性も十分に考えられる。それは 3,000 K 温度で熱平衡にあったとしても、原子の運動エネルギーは広く分布 (Maxwell-Boltzmann 分布) しているので、エネルギーの高い原子同士の衝突も含まれ、電離が起こる。そうすると生成した水素イオン H^+ は近くの水素原子をクーロン力によって引き付け水素分子イオン H_2^+ を形成し、さらに H_3^+ イオンが生成される ($H + H \rightarrow H^+ + H + e^-$, $H^+ + H \rightarrow H_2^+$, $H_2^+ + H \rightarrow H_3^+$) と質量が 2 倍、3 倍になるので集積が促進され、ファーストスター生成に寄与する。ファーストスターは質量が巨大であったと考えられるので比較的短寿命のうちに核融合反応を終え、宇宙空間には新しく合成された元素がばらまかれ、宇宙進化が進んだのであろう。

例として太陽の質量 $1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$ と半径 $6.96 \times 10^8 \text{ m}$ 、 G (重力定数) $= 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$ を用いて、現在の太陽がもつ重力エネルギーを見積もると $-2.3 \times 10^{41} \text{ J}$ が得られ、これはこれまでに解放されたエネルギーを意味する。このエネルギーは星 (太陽) の内部を加熱し、水素原子、陽子、電子の運動エネルギーを高める。

3.2 核融合反応によるエネルギーの生成

重力の解放によって星の中心部における温度上昇がすすみ、星の中心部の陽子の運動エネルギーが一定以上の大きになると、陽子同士が互いのクーロン反発力に打ち勝って接近するようになり、強い力が働くようになる。こうして陽子や中性子の間で核反応が起こり、ヘリウム核が合成される。正味の反応は4個の陽子から1個のヘリウム核とニュートリノ、そしてガンマ線 (光子) が生成する。この核融合反応によりわずかではあるが質量が消失するが、それを $\Delta E = mc^2$ の式によりエネルギーに換算する： $(4 \times 1.0078 - 4.0026) \times 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg} \cdot c^2 = 26.7$

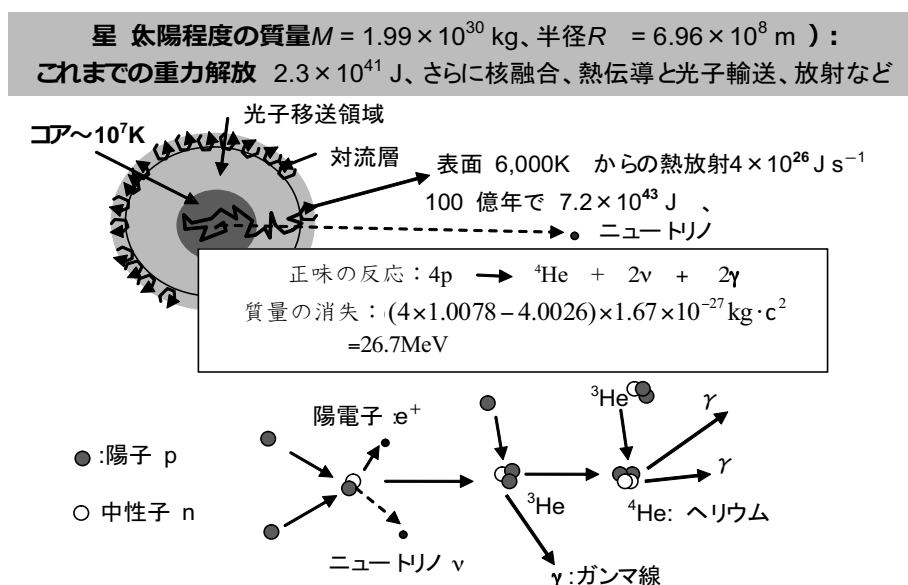


図 1 星の内部で起こる核融合：4 個の陽子からヘリウム核、2 個のニュートリノ、2 個の光子が生成する ⁴⁾

MeV (ニュートリノの質量は無視できる)。すなわち26.7 MeVの発熱反応である。

現在の太陽では毎秒数億トンの水素がこの核融合反応で消費され²⁾、エネルギーが放出されている。4個の水素原子の容積よりも1個のヘリウム原子の容積は小さいので、この水素核融合反応がすすむと星(太陽)の容積は収縮し、中心核は圧縮して加熱される。数十億年後に燃料水素がなくなると再び重力収縮が進み、より高温になってヘリウムの核融合反応が可能になる。圧力と温度が十分に高くなれば、次に炭素核や酸素核へと融合する。こうして次つぎと元素合成がすすむ。同時にエネルギーが生産されてニュートリノの運動エネルギーと太陽表面からの放射(さらにはコロナやフレアなどの活動も)として宇宙空間に放出される。しかし核融合反応がすすむと星(太陽)の容積は収縮し、中心核は圧縮して加熱される。数十億年後に燃料水素がなくなると再び重力収縮が進み、より高温になってヘリウムの核融合反応が可能になる。圧力と温度が十分に高くなれば、次に炭素核や酸素核へと融合する。こうして次つぎと元素合成がすすむ。同時にエネルギーが生産されてニュートリノの運動エネルギーと太陽表面からの放射(さらにはコロナやフレアなどの活動も)として宇宙空間に放出される。しかし核融合反応による発熱反応はFe核(原子番号26)生成までである。これ以上に大きい核種の生成は吸熱反応になるため、星内の核融合反応はここで止まる。それでもなお重力の作用は消えることなく続く。そして星は終末を迎えるが、その様子は星の質量の大きさによって様々に異なる。太陽の質量を1として図2にまとめてある。また終末にいたる時間も集積した質量の大きさ M に依存する。

3.3 超新星爆発によるエネルギーの放出^{1,3,4)}

太陽質量の10倍程度の星(図2参照)の終末では、コア部を占めるようになった鉄(Fe)の原子核中の26個の陽子に電子が入り込む(重力による電子縮退)。Fe原子が原子核だけになること星のコア部が突然崩壊して星に大きな空隙ができることを意味する。上層部からの急激な物

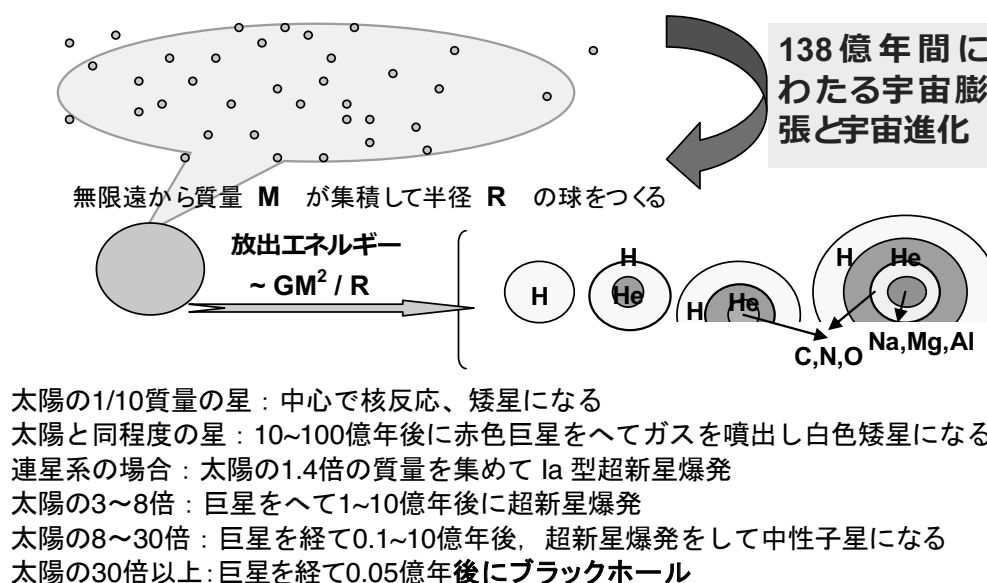


図2 恒星の進化と質量の大きさによる終末の違い⁴⁾

質落下などで重力バランスが崩れ、星がもつ重力エネルギーが一挙に宇宙空間に放出される(電子捕獲型超新星)。質量が太陽の10倍以上 100 倍までの星では、中心核の温度が100億度を超えるとガンマ線による鉄の吸熱反応 (α 粒子と中性子が生成) が進み、コア部の重力崩壊が起こる(光分解型超新星)。いずれの場合でも星がそれまでに合成してきた Fe 核なども大量の中性子も放出されるので、そこで Fe より重い原子核が中性子捕獲反応により次々に生成される。その時の発光は、1 ~ 2 千億個の恒星を有する一つの銀河全体に匹敵するほどの明るさに達し、1つの銀河で100年に数個程度の割合で起こるとされている。極大時のスペクトルに水素が見られない I 型、見られる II 型に大別され、さらに I 型はケイ素の吸収が強い Ia 型、ヘリウムの吸収が顕著な Ib 型、それ以外の Ic 型に分類される。Ib, Ic、および II 型の超新星爆発後には中性子星やブラックホールが形成される。ちなみに太陽が、質量はそのままに半径10 km の星(中性子星なら可能) になるとすると (3) 式から放出エネルギーは 1.6×10^{46} J となるが、太陽の将来は赤色巨星を経て白色矮星になると予想されている。中性子星は強い磁場をもちながら激しく回転することが多く、電子がらせん運動するなどして貴重な情報源となるので宇宙論の研究からの関心が高まっている。

超新星爆発の際には、同時に衝撃波も発生する。解放される重力エネルギーは星のコア部を構成していた物質粒子の運動エネルギーに変換する。その物質粒子は外側の周囲の物質に対して超音速で衝突し衝撃波を発生する。衝撃波は外向きに走り、衝突される物質も加熱されて外向きに伝播する。衝撃波が星の表面を通り抜けると、結局は元の星を構成していた粒子が星間空間(物質密度の極めて低い空間)を高速で自由膨張していく。爆発の全エネルギーを E とし、自由膨張する物質粒子の質量を M_0 、その平均速度を V_0 とすると

$$E = \frac{1}{2} M_0 V_0^2 \quad (4)$$

また星間空間における物質密度を ρ とし、飛行物質が平均して 1 回だけ星間物質と衝突できる球状範囲の半径を r_s とする：

$$\frac{4}{3} \pi r_s^3 \rho = M_0 \quad (5)$$

爆発からの経過時間を t_s とすると

$$V_0 t_s = r_s \quad (6)$$

いま、太陽質量の 10 倍の星が超新星爆発して 10^{44} J のエネルギーを放出し、全質量の 10 % が ($\rho = \text{H 原子/cm}^3$) 密度 $1.7 \times 10^{-27} \text{ kg cm}^{-3}$ の星間空間を飛行するとき、(4) から速度 V_0 10^7 m s^{-1} で (5) を満たす半径 $r_s = 10^{14} \text{ km}$ になるまでに、時間 $t_s = 10^{17} / 10^7 = 10^{10} \text{ s}$ 、すなわち300年を要することが分る。すなわち爆発後約300年位まで自由膨張して大きさが 3 pc ($3 \times 10^{13} \text{ km}$) まで広がる。1052年に観測されたカニ星雲の超新星残骸などがほぼこの例に相当する。

同じ爆発エネルギーをもっと少ない質量に与える(例えば $10^{-6} M_0$) とき、飛び出す速度は相対論的な大きさになる。ガンマ線バーストは、0.1 ~ 1000 秒の短い時間だけ強いガンマ線の発生が観測される現象である。バーストの時間が $\Delta t = 1 \text{ ms}$ で激しく変動する。このことから放

射線が発生する源の大きさ（半径 R ）が $c\Delta t = 3 \times 10^5 \text{ m}$ よりも小さいと考えられる。超新星爆発のあとで中性子星あるいはブラックホールになる場合に相当するが、どのようにして $10^{-6} M_0$ という小さい質量にエネルギーが移行するか未解決の問題である。ガンマ線バーストは宇宙全体で 1 回/日程度の頻度で起こり、天球分布は等方的であることが知られている。

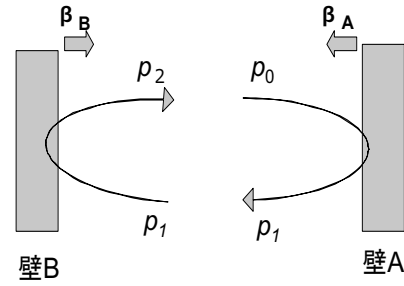


図 3 互いに近づく壁モデル⁵⁾

3.4 宇宙線の加速^{1,3,5)}

エネルギーが 10^{12} eV 以下の宇宙線は（天の川）銀河系の中の超新星爆発に起源を求めることができるであろうが、実際に観測される宇宙線のエネルギーは $10^9 \sim 10^{20} \text{ eV}$ であり、どのようにして加速されるか解明が待たれている。もっとも有力な考え方は、1949年に E. Fermi が提案した「フェルミ加速モデル」である。このモデルは「互いに近づいてくる二つの壁の間での弾性衝突の繰り返し」と表現されるとのことである。図 3 で運動量 p_0 の粒子（電子または陽子などの宇宙線）からスタートする。この粒子と比較的遅い速度 β_A で向かってくる壁 A が正面衝突をするとき、粒子の運動量は $p_1 = p_0(1 + \beta_A)^2$ に変わる。つぎに壁 B（速度 β_B ）で同じように衝突すると

$$\begin{aligned} p_2 &= p_1(1 + \beta_B)^2 \\ &\approx p_0(1 + 2\beta_A)(1 + 2\beta_B) \end{aligned} \quad (7)$$

となり、スタート地点に戻る。これを何回も繰り返せば、どんどんエネルギーが高くなる。なお、上の式から分ることはエネルギーの獲得が足し算でなく掛け算で促進すること、また計算は省略するがフェルミ加速モデルから荷電粒子のエネルギー分布がベキ型になることである。「互いに近づく壁」とは何か。それは超新星爆発残骸にあって膨張しつつある衝撃波であり、あるいは希薄な空間の中で 10 km s^{-1} 程度の速度で動き回っている星間雲の周縁部、ある種の回転する星から流れ出るジェットなどが候補とされている。いずれも荷電粒子が含まれ、強い磁場を有している。この壁と正面衝突をする電子あるいは陽子は磁場で曲げられ跳ね返され、この際にエネルギーを得るのである。

3.5 観測から得られる証拠

宇宙進化論にとって特に重要な情報をもたらす観測内容のいくつかの例を紹介する。それは人工衛星による超新星残骸からの X 線およびガンマ線分光測定、および精密な宇宙背景放射の測定である^{5,6)}。

宇宙で高速の電子がさらに加速を受ける場所の例として超新星残骸を挙げた。高エネルギー電子は宇宙空間に存在する磁場で容易に曲げられるので、高エネルギー電子の発生源の位置を特定することは困難である。そこで高速電子が超新星残骸の磁場と相互作用して発生する X 線、

あるいは高速電子と光子との逆コンプトン散乱で発生するX線やガンマ線を探す。特にX線のエネルギーを精密に測定するX線分光による研究が計画されている。電磁波であれば、発生源から直進し、観測位置が地球規模で変わる人工衛星からの測定により、超新星残骸に存在する原子（元素）の種類（特性波長より）、飛行速度（ドップラー効果から）、残骸の広がり（発生源の位置測定から）などを研究することが可能となる。

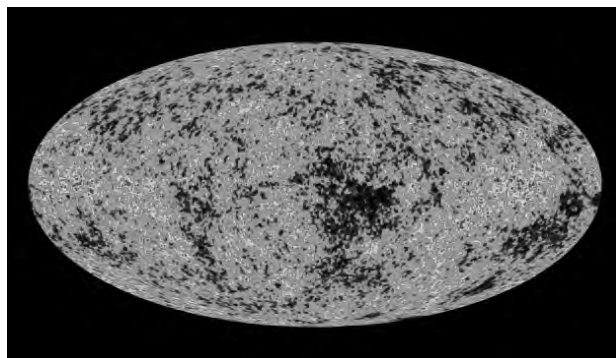


図4 WMAPによる全天温度マップの測定 — 宇宙背景放射⁶⁾

JAXA（宇宙航空研究開発機構）の発表によれば、2016年2月12日に種子島宇宙センターからX線天文衛星ASTRO-Hが打ち上げられ、3年間にわたって上空575 kmの円軌道を周回しながらX線やガンマ線を観測し、ブラックホールや銀河団などの構造や進化を研究することである。

もう一つは、1940年代Gamowらによって予想され、1964年にPenziasとWilsonによって発見された天空のあらゆる方向から来る宇宙背景マイクロ波放射である。25年後にNASA（アメリカ航空宇宙局）はCOBE衛星を打ち上げ、(1)式を用いて周波数－強度曲線から温度2.735 Kを推定した。2001年にWMAP衛星により7年間をかけて精密測定を行い、天空上の様々な点からの温度のゆらぎが10万分の1であることを報告した（図4）。2009年にESA（欧州宇宙機関）は、Planck衛星により、電波の偏光に着目し宇宙始めのインフレーションの直接証拠を探る研究をしている⁹⁾。

4. おわりに

銀河系宇宙線、超新星爆発、ガンマ線バーストなど、高エネルギー粒子の関与する現象を見てきた。熱力学的知見によれば、エネルギーは熱的に散逸する、あるいは非平衡状態はつねに平衡状態へと向かう。しかし宇宙の進化を考えると、巨大な質量、大きな空間、無限の時間を扱う。強い力、弱い力、電磁力が姿を消す場合では、重力が全面に踊りでてエネルギーを創成する。星間空間で誕生した高エネルギー粒子は何千年何億年をかけて消失する。

地球表面の空間におけるエネルギーについて、第2節で例示した。太陽系、銀河系、銀河間の空間においても同様のこと、そしてその歴史を考えることができる。時空の誕生と真空エネルギー（暗黒エネルギー）、暗黒物質（ダークマター）についても考える必要がある。現在の宇宙の大部分を占める銀河間空間には、極めて低密度の宇宙線ないし電磁場のエネルギーが存在するであろうが、宇宙における全量は膨大である。銀河内の星間空間についても同様のことが言える。銀河内で誕生した宇宙線のほとんどは何億年もかけて星間物質との衝突により分子を合成し、生命進化に重要な分子合成に関与する⁸⁾。銀河系が定常状態を保つためには銀河系外

へエネルギーを流出させる機構も存在するはずである。

宇宙における物質の成り立ち、高速素粒子 (=放射線) の発生機構、物質とエネルギーの移動など興味深い現象を併せ考えることを通して自然への理解と愛着が生まれるような理科教育を期しつつ本稿を終わる。

参考文献

- 1) 高原文郎, 「天体高エネルギー現象」, 地球と宇宙の物理 4, 岩波書店 (2002)
- 2) セグレ, G., 桜井邦朋訳, 「温度から見た宇宙・物質・生命」ブルーバックス, 講談社 (2004)
- 3) 佐藤文隆, 「宇宙物理」現代の物理学 11, 岩波書店 (1995)
- 4) 杉本大一郎, 吉岡一男, 「進化する宇宙」, 放送大学教育振興会 (2005)
- 5) 富田洋, 「超新星残骸と宇宙線加速」, 天文月報 1999, 608 (1998)
- 6) JAXA, 「宇宙科学の最前線」, ISAS ニュース, www.isasa.jaxa.jp:
- 7) 自然科学研究機構シンポジウム収録集, 「宇宙究極の謎」—暗黒物質, 暗黒エネルギー, 暗黒時代, クバクロ (2009)
- 8) 大野新一, 「宇宙進化における放射線の役割」, 放射線教育, **18**, 71 (2014)

【意見】

「低線量放射線の健康への影響」は保健の授業で
行うのが望ましい

黒杭 清治

NPO 法人放射線教育フォーラム教育課程検討委員会委員長

平成 28 年度から使用する中学校理科教科書は、放射線に関する記載量が増えましたが、授業時間も時期も制約されています。その中でどれだけ放射線に関する正しい情報が伝えられているかを調べるため、当フォーラム教育課程検討委員会では新しい教科書の記述内容を検討してきました。

義務教育における放射線教育が皆無に近い状態が長く続き、著者も不慣れな分野であったためか、記述には誤りとまで言えないまでも誤解を招き易い記述や理科で教えるより保健で教える方が適していると思われる内容が含まれています。その例を紹介します。

放射線は DNA を傷つける

放射線の人体への影響の記述を比較すると、

- (A 社) 放射線は、細胞を死滅させたり、細胞の **DNA を損傷**させたりする。
- (B 社) 大量の放射線を受けると、やけどのような症状が出たり、細胞中の**遺伝子が傷ついて**、がんは発生しやすくなったりする。
- (C 社) 一度に大量の放射線を受けると、細胞やその中の**遺伝子が傷つけられ**、がんの原因になったり、死に至ることもある。
- (D 社) 細胞は図のように (図省略)、**人体に影響を与える**などの問題がある・・・
- (E 社) 放射線を生物が浴びる (被ばくする) と、細胞や **DNA が傷ついて**しまう可能性がある。

以上のように、D 社以外は放射線が細胞中の遺伝子 (DNA) を傷つけると記述しています。誤りではありませんが、問題なのは、放射線は DNA を傷つける原因の一つに過ぎず、紫外線やさまざまな化学物質、ストレスまでが DNA を傷つける原因であり、通常の細胞分裂でさえ傷つくことがあるにも関わらず、放射線以外の原因を挙げていません。理科ではストレスも原因になるということに触れられないのでしょうか。

「浴びた放射線の量が少なければほとんどの場合、細胞は回復する」(E 社) という記述が一社だけ見られますが、DNA に修復力のあることを加えるべきです。わが国では関心がないのか、DNA の修復メカニズムを明らかにした英国フランス・クリック研究所のトーマス・リンダール、米国デューク大学のポール・モドリッチ、米国ノースカロライナ大学のアジズ・サンカーが 2015 年にノーベル賞を受賞したことは話題になりませんでした。現状では、DNA が傷ついたまま細胞はがん化して行くように思われ、放射線だけを悪者のように扱うのは科学的とは言えません。

低線量放射線の被ばくについて

- (A 社) 少量の放射線を長く受け続けたときの影響については、正確にはわかっていない。
- (B 社) 国際放射線防護委員会 (ICRP) は (中略) 放射線量が小さくても影響があると考えて対策を立てるべきであると指摘している。
- (C 社) 現在のところ、これ以下なら影響がまったくないといえる放射線の線量は確認されていないので、できるだけ受ける放射線の線量は低く保つのが望ましいとされている。
- (D 社) 日常的にさらされる放射線は微量であるため、それだけであれば人体に害はないと考えられている。

“影響はまだ正確にはわかっていない” という記述は教える側に戸惑いを、受ける生徒には不安を与えかねません。ICRP の平常時における勧告のみを記載し、しきい値ありとする説に触れていないのは教科書としては不適切です。定説になっていないとしても“100 mSv 以下の放射線を被ばくした人と、被ばくしない人との発がん率は変わらない”と記述することはできません。

また、「・・・低く保つのが望ましいとされている」のように誰が望ましいと言っているのか、主語のない無責任な記述によって不安を与える

より、D 社のように事実だけを記述することが大切だと思います。

シーベルト(Sv) について

各社ともニュアンスは多少異なりますが、シーベルトを「放射線が人体に影響を与える量を表す単位」「目安となる単位」などと記述し、さらに欄外にそれ以上の説明を加えたのが 2 社あって、1 社はグレイ (Gy) に係数をかけて求める ($=J/kg$) とだけ記し、他の 1 社は等価線量と実効線量の解説をしています。

等価線量や実効線量を求めるためグレイにかける係数は、ICRP が勧告する各組織・各臓器の組織荷重係数をもとにして (わが国では) **通商産業省が定める値**を用いています。

放射線を扱う事業者は、1 年間に受ける放射線量を「1 mSv/年」以下にすることは**法律で定めています**。「7000 mSv 以上の放射線を被ばくすると全員死亡する」というのは法律で決めた値ではなく、事実を認めたものです。

「100 mSv 以上の放射線を受けるとがんの罹病率が 0.5%程度増加する」というのは広島、長崎の原爆被ばく者の多くの事例から統計的に求めたもので、科学的判断を根拠にしていると言えるでしょうが、100 mSv 以下の被ばくでは、被ばく者と非被ばく者との間でがんの罹病率に差が見られないので、やや乱暴な言い方をすれば、安全を見て 100 mSv を百分の 1 にして 1 mSv/年以下を安全な値と決めたのは、科学的に決めたというより、**放射線防護**の見地から決めた (世界的に見て ICRP の勧告に合わせた) というべきです。または、**社会科学的**に決めた、極端な言い方をすると最終的には政治的・経済的に決めたと言ってもよいでしょう。

このように「事実を認めた」のか「人が決めた」

のかを区別してシーベルトの数値を理解させることが科的教育と言えると思います。しかし、どの教科書も 100 mSv 以下の放射線の影響のことは詳細に記述することを避けているように見受けられます。確定的影響と確率的影響を指導書に記述したものは見られますが、確率的影響については、影響を文字通り確率で示しているに過ぎず、食品の線量限度などの値は「最終的には人が決めている」のであって、科学的に証明された法則に従って決めているではありません。シーベルトはどのような意味をもったものかを理解していないと次のようなことが起こります。

福島第一原子力発電所の事故後、内閣官房参与を務めていた小佐古敏壯東大大学院教授が辞任し、記者会見で辞任理由を述べたところ、長い説明の中からメディアは次の言葉を取り出し、繰り返し大々的に報じました。『年 20 ミリシーベルト・・・とんでもなく高い数値だ。容認したら私の学者生命は終わる。年間 1 ミリシーベルトで運用すべき』世間は驚き、年 20 ミリシーベルトは危険! 短期間でも 20 mSv の被ばくは、直ちにではなくても将来がんになると恐れられ、除染作業や中間貯蔵、最終処分場の選定にも影響を及ぼし、未だに決着していません。

低線量放射線の健康への影響は個人差が大きいこと、放射線以外の生活習慣の影響も大きく、バランスの良い食事の摂取と体力づくりによって抵抗力が増す (DNA の修復力が増す) ことなどの要素についても総合的に教える必要があります。このように指導ができるのは保健の時間が最適であると思えます。しかし、**保健を担当する保健体育の教員が放射線に対する正しい知識を持つための研修や、教科ごとに何を教えるのかを決める学習指導要領の改訂などを文部科学省に働きかける必要があります**。

「放射線教育」の投稿規定

NPO 法人放射線教育フォーラム編集委員会

NPO 法人放射線教育フォーラム発行の論文集「放射線教育」では、広く放射線教育に有益と考えられる内容の原稿の投稿を募集している。

1. 投稿資格

本誌への投稿資格は原則として NPO 法人放射線教育フォーラム会員（個人正会員、学生会員、団体正会員、賛助会員）とする。「放射線教育」の内容及び体裁に合えば、会員は誰でも投稿できるものとする。ただし、編集委員会が認めた場合にはその限りではない。

2. 掲載する論文について

内容としては、放射線教育、エネルギー・環境教育の進展に寄与と思われるもので、長さ、新規性により研究報告、ノート、解説、資料、意見、諸報に分かれる。詳細については別紙に定める。原則として未発表のものとするが編集委員会の判断によっては転載を認める。原稿の書き方は別に定める。

3. 原稿の審査

編集委員会は、論文の審査を複数の専門家に依頼する。その結果、内容・体裁に問題があると判断した場合にはその旨を著者に伝え、修正を求める。受理できないと判断した場合は、理由を明記して、報文を著者に返送する。

4. 論文の著作権

掲載された論文の著作権は放射線教育フォーラムに属するが、論文内容についての責任は著者にあるものとする

5. 原稿の送付

原稿は放射線教育フォーラム編集委員会に E-mail で、または CD あるいは DVD に記録し、下記に送付する。

（送付先） E-mail: forum@ref.or.jp

〒110-0015 東京都台東区東上野 6-7-2 萬栄ビル 202 号室
放射線教育フォーラム編集委員会

論文の分類

NPO 法人放射線教育フォーラム編集委員会

研究報告 (10 ページ以下)

結果と考察を含み、十分な意義があるもの

- a) 放射線教育、エネルギー・環境教育の進展に寄与すると思われる、独創性のある研究論文。実験、調査、比較研究なども含む、
- b) 放射線教育、エネルギー・環境教育の進展に寄与すると思われる教育実践の報告
- c) 新規に開発した教材・実験方法・器具の報告

ノート (1~2 ページ)

- a) 放射線の理論や現象に関する新規の解釈
- b) 新規性の高い教材・実験方法・器具の報告
- c) 新規な実験データ及び考察
- d) 新規に考案した指導法、授業展開法、評価法など
- e) 放射線教育、エネルギー・環境教育に関する授業実践、イベント実践の報告

総説 (10 ページ以下)

原則として編集委員会の依頼によるものとする。

各専門分野の研究について、その方面の進歩の状況、現状、将来への展望などを放射線教育若しくはエネルギー環境問題、放射線及び原子力問題に関連させてまとめたもの。

資料 (10 ページ以下)

実験ならびに調査の結果または統計などをまとめたもので放射線教育、エネルギー・環境教育に利用できるもの (含む科学史研究)

意見 (1~2 ページ)

放射線教育、エネルギー・環境教育、放射線に関する制度、教育制度などに関する種々の提案・意見など

諸報 (1~2 ページ)

- a) 会議報告 (放射線、エネルギー・環境教育に関連する会議に参加した報告で、教育的価値が高いもの)
- b) 訪問記 (放射線、エネルギー・環境教育に関連する施設に訪問若しくはイベントに参加した報告で、教育的価値が高いもの)
- c) ニュース (放射線、エネルギー・環境教育、理科教育に関連するニュースの紹介)
- d) 書評 (放射線教育、エネルギー・環境教育、理科教育に資する書籍の紹介)
- e) 製品紹介 (放射線教育、エネルギー・環境教育、理科教育に資する製品の紹介)
- f) サイト紹介 (放射線教育、エネルギー・環境教育に資するホームページの紹介)

「放射線教育」原稿の書き方

NPO 法人放射線教育フォーラム編集委員会

1. 使用言語

使用言語は日本語とする。

2. 使用ソフト及び保存ファイル

原稿はそのまま印刷できるように MS-Word (Microsoft) で作成する。他のソフトを利用した際は、doc ファイルで保存する。それができない場合は、文章を text ファイルで、図を JPEG 若しくは GIF で保存する。

3. 用紙

3.1 用紙の設定

用紙は A4 を用い、1 ページに 40 字 40 行、上下それぞれ 30 mm、左右それぞれ 25 mm 以上を空ける。意見、諸報は二段組にし、1 段に 17 字入れる。

3.2 枚数制限

研究報告、総説、資料は原則として 10 ページ以内にまとめる。ノート、意見、諸報は 2 ページ以内とする。別刷り作成に便利のように諸報以外は偶数ページの前稿となることが望ましい。

4. フォント

日本語のフォントは明朝体、英語は Times を用い、研究報告、総説、資料の場合、大きさは表題のみ 16 ポイント太字、その他は 10.5 ポイントとし、見出しは太字、本文は標準とする。意見、諸報は表題のみ 12 ポイント太字、その他は 10.5 ポイントとする。

5. 図表

図表のタイトルは太字とする。図は、図 1、図 2 と、表は表 1、表 2 と番号を振る。図表は上下左右のいずれかの欄に沿う状態で体裁を整える。図のタイトルは図の下に置き、表のタイトルは表の上に置く。表は縦線がない方が望ましい。

表 1 図表の書き方

番号の振り方		タイトルの位置	Word に入らない時の 保存形式
表	表 1、表 2.....	表の上	表を送付し、TEXT あるいは DOC
図	図 1、図 2.....	図の下	JPEG あるいは、GIF

6. 表題、要約及び見出し

研究報告、総説、資料の場合、1 ページ目の第 1 行目に表題、2 行目を空けて、3 行目に氏名、4 行目に所属、5 行目に住所を書く。ここまでは各行の中央にそれぞれ記載する。6 行目、7 行目を空けて、8 行目から[要約] (50~200 字程度) をつける。所属が複数になる場合、右肩にアルファベットを上付で付け、アルファベット毎に所属と住所をつける。本文の大見出し、中見出し、小見出しは point system とし、1., 1.1, 1.1.1 等のように書く。意見、諸報の場合は、要約を書く必要がない。

7. 数値、単位、核種の表記

数値は、桁数が多くなる場合はなるべく 10 の乗数を用いる。

例：370000 Bq → 3.7×10^5 Bq

単位は SI 単位を使用する。古い文献を引用するため、SI 単位以外の単位を用いなければならないときは、その単位を使用した後に、SI 単位に換算した値を示す。

例：検出された放射能は 1 nCi (=37 Bq) であった。

核種の質量数は ^{60}Co , ^{131}I のように元素記号左肩に上付きで表記する。

8. 引用文献

引用文献は番号に片かっこを付して本文の右肩につける。

引用文献は下の形式で原稿の最後一括すること。ただし、文献のタイトル記載については、著者の判断に任せる。雑誌のタイトルは省略形を用いても構わない。

〔雑誌〕 著者名、タイトル、雑誌名、**巻数**、ページ (西暦発行年)

日本語の論文の場合、著者は全員の名前を書くようにする。英語の論文の場合、名前はファミリーネームとイニシャルを用いる。ページは最初のページと最後のページをハイフンで結ぶ。

例) 坂内忠明、霧箱の歴史、放射線教育、**4**, 4-17 (2000)

Ban-nai, T., Muramatsu, Y. and Yoshida, S. Concentration of ^{137}Cs and ^{40}K in edible mushroom collected in Japan and radiation dose due to their consumption. Health physics, **72**, 384-389 (1996)

〔単行本〕 著者名、タイトル、編者名、「書名」、ページ、発行所、発行地 (西暦発行年)
タイトルと編者名はある場合のみ。

例) 松浦辰男、「放射性元素物語」、154p, 研成社、東京 (1992)

渡利一夫、放射性セシウム、青木芳朗、渡利一夫編、「人体内放射能の除去技術：挙動と除染のメカニズム」、7-10, 講談社、東京 (1996)

9. その他の注意

- 1) 用語はなるべく各学会制定の用語を用い、翻訳不能の学術語、日本語化しない固有名詞に限り原語 (活字体) のまま用いる。数字はアラビア数字を用いること。
- 2) 文献でない備考、注などは、*, **を右肩につけ、説明を脚注とし、その原稿用紙の下部に書くこと。

【編集後記】

今回発行の 19 巻では、18 巻 (20 周年記念号) で積み残した本フォーラム 20 年史 (年表) の掲載を目玉に据え、小高、堀内、細渕の 3 委員が鋭意編纂に努めましたが、膨大な資料の整理にさらに時間を要するため、掲載は次号以降に延期せざるを得なくなりました。

本巻には、大変興味深い記事がいくつか掲載されています。その一つは、「中学校教科書にみる放射線教育の歴史」(林壮一、川村康文著)です。戦後から現在までの中学校理科の教科書にみられる放射線に関する記述の変遷を調べ、放射線教育の背景を現在と比較した研究報告です。来年度から中学校理科の教科書が新しくなります。小生がみたところ、中学 3 年生の理科教科書の放射線に関する記述は量的にかなり増えていますが、内容は総花的で深みに欠け、自然科学としての面白味は伝わってきません。しかし、過去の教科書にはかなり高度な、しかも科学の基礎として学んでおくべき内容が記されていて、生徒に夢を与える理科教育がなされた歴史のあることが林らの研究報告で言及されています。

現行の学習指導要領に基づく放射線教育は 5 年前に始まりました (30 年ぶりの復活)。放射線は中学校 3 年生の理科で取り上げられますが、指導要領での位置づけは「科学技術と人間」の「エネルギー」の項目の「エネルギー資源」にあり、“放射線の性質と利用にも触れること”と記されています。これは原子力エネルギーの利用を強く意識した放射線教育を意図するものであり、文部科学省のこのような考え方に疑問を抱きます。福島第一原子力発電所の事故後、「原発が無ければ、放射線も無い」と誤解する人が増えた一因にもなっていると思います。放射線は特別なものではなく、自然界のどこにでも常に存在し、ノーベル賞につながるようなワクワクする最先端の研究テーマを包含するものであることを素直に生徒に伝える教科書であって欲しいものです。

来年度の中学校理科の教科書については、本フォーラムの教育制度委員会 (黒杭清治委員長) から「低線量放射線の健康への影響は保健の授業で行うのが望ましい」という題目の意見論文も掲載されています。

資料として掲載されている「 ^{90}Sr 濃度の新しい測定手法」(近藤健次郎著) は福島第一原子力発電所の汚染水処理に関連して、著者らが新たに開発した Sr-90 の簡便かつ正確な測定法の解説です。少し難しい内容かも知れませんが、勉強になると思います。

「放射線 — 宇宙のエネルギー循環に関わる」(大野新一、大野怜著) は、宇宙での壮大なエネルギー循環を解説した面白い論文です。宇宙の始まり、宇宙膨張、重力、様々な粒子の誕生などに触れながら宇宙における放射線の役割を考察しています。本年 2 月 11 日に、米国の LIGO 重力波天文台が人類初の重力波観測に成功した (昨年 9 月 14 日にブラックホールの合体に伴う重力のリップルを検出) と発表しました。アインシュタインの 100 年前の予言が実証され科学界に驚嘆をもって迎えられましたが、宇宙にはまだまだ未解明の研究課題が山積しています。大野らは、宇宙の謎解きの一端を放射線と結びつけて解説しています。

さて、小生 2 年にわたり編集委員会委員長を務めましたが、この度その役を柴田誠一委員と交替することになりました。これからも、委員の一人として微力を尽くしますが、「放射線教育」と「ニュースレター」の発行には会員各位の協力が欠かせません。ぜひ皆様の積極的な投稿をお願いいたします。

(工藤博司)

放射線教育 Vol. 19, No. 1 (2015)

発行日： 2016 年 3 月 31 日

発行者： NPO 法人放射線教育フォーラム
URL: <http://www.ref.or.jp>

編集者： 工藤博司（委員長）、橋本哲夫（副委員長）、堀内公子、細渕安弘、
岩崎民子、大野新一、緒方良至、菊池文誠、小高正敬、畠山正恒、
大森佐與子、柴田誠一

事務局： 〒110-0015 東京都台東区東上野 6-7-2 萬栄ビル 202 号室
NPO 法人放射線教育フォーラム
Tel: 03-3843-1070 FAX: 03-3843-1080
E-mail: forum@ref.or.jp

放射線教育フォーラム

2015 年度活動報告

	頁
1. NPO 法人放射線教育フォーラムの活動の概要	1
2. NPO 法人放射線教育フォーラムの 2014・2015 年度役員名簿	2
3. 通常総会、理事会、勉強会等の開催記録	3
4. 放射線教育誌、ニュースレターの発行	5
5. 2015 年度教育課程検討委員会の活動報告	8
6. 2015 年度草の根 NPO 等活動完了報告書	10
7. 中学校理科教育における放射線モデル授業の提案について	18
8. 第 52 回アイソトープ・放射線研究発表会におけるパネル討論の企画	22

1. NPO 法人放射線教育フォーラムの活動の概要

NPO 法人放射線教育フォーラムは、放射線、放射能、原子力の専門家および学校教員の有志により、1994 年 4 月に設立してから今年度で 21 年目を迎えたボランティア組織である。その間の 2000 年 11 月に NPO 法人の認証を受けた。

当フォーラムは、2011 年に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故から 5 年目を迎えるが、その事故以前から多くの人々が放射線や放射能に対して過剰の不安感・不信感を抱いており、そのことが原子力エネルギーに対するリスク認知を歪めている。さらには世間一般の人々が科学・技術の進歩によって恩恵を受けている一方で、生徒達に「理科離れ」、「理科嫌い」の傾向が見られる現状を憂慮している。

この現状を打開するために、当フォーラムは小・中・高の教育において、エネルギー環境問題・放射線・放射能・原子力に関する正しい理解が啓発推進されるように、学習指導要領などの教育政策を改善し、意欲のある教員を育成することに重点を置いて、勉強会、セミナー、および国際シンポジウムを企画・開催している。また、専門委員会を設けて課題を検討し、それをもとに文部科学省はじめ関係当局に政策提言を行なうなどの活動を行なってきた。放射線教育の分野において世界での日本のプレゼンス向上に多大の貢献をもたらす「第 5 回放射線教育に関する国際シンポジウム」の開催を 2016 年秋季に福島県郡山市で行なうこととし、準備を始めている。現在、国際シンポジウムの開催に向けて財政や運営に関して、国、関連機関・組織の協力・依頼などを行なっている。

当フォーラムの会員数は、2016 年 3 月現在で個人正会員数 131 名、団体正会員数 31 団体である。福島原発事故の発生以後、原子力事業関係団体の団体会員の退会が急増した経緯がある。当フォーラムにとっては、団体会員の減少が直接に財政の収支に影響を及ぼし、NPO の運営・活動にとって危機的状況をもたらしかねないのが現状である。このような財政的基盤の改善を図るためにも団体会員の勧誘に努力を重ねている。活気あるフォーラムを目指すためには、なにを置いても個人正会員ならびに団体会員の増強が重要である。

今年度の定常的な活動としては、第 1 回勉強会を 6 月、公開パネル討論「今やる、放射線教育Ⅲ」を 11 月、第 2 回勉強会を 2 月、いずれも東京慈恵会医科大学で開催した。これらの催し全てが参加者に好評であった。専門委員会の活動としては、「教育課程検討委員会」を今年度は 4 回実施した。これらに活動を通して、特に今年度は来年度から全国の中学校で使用される理科教科書に基づく放射線授業に重点を置いてその支援策を中心に議論を進めてきた

今年度の NPO 運営の活動としては、通常総会を 6 月に開催するとともに、理事会を 3 回開催した。円滑な運営を図るため、昨年度から「事務連絡会」を毎月 1 回定例的に実施している。

定期・不定期印刷物の刊行については、当フォーラムの機関紙である「放射線教育」Vol.19, No.1 を発行した。経費節減のため、2015 年度の活動報告や活動に関わる参考資料は同誌の巻末付録とした。ニュースレターをこれまで通り 3 回（6 月、11 月、2 月）発行し、フォーラム設立以来の全号数は 64 に達した。「放射線教育」誌およびニュースレターの編集委員会を今年度は 3 回実施した。

以上の活動はリニューアルされた当フォーラムのホームページ (<http://www.ref.or.jp>) に掲載されている。トップページには主な情報分類として、「放射線教育 先生の広場」、「放射線学習支援資料」、「活動報告」、「出版物」、「放射線教育フォーラムとは」「GREETINGS IN ENGLISH」など 7 項目を編集し配置している。

2. NPO法人放射線教育フォーラムの2014・2015年度役員名簿

理事：(理事長) 長谷川圀彦(静岡大学名誉教授)
(副理事長) 工藤博司(東北大学名誉教授)
(副理事長兼事務局長) 田中隆一(元日本原子力研究所高崎研究所長)

(以下五十音順)

大野新一(理論放射線研究所長)
緒方良至(名古屋大学アイソトープ総合センター)
小高正敬(元東京工業大学助教授)
柴田誠一(理化学研究所)
橋本哲夫(新潟大学名誉教授)
畠山正恒(聖光学院中学・高等学校)
広井禎(元筑波大学附属高等学校副校長)
細渕安弘(元東京都立保険科学大学)
堀内公子(元大妻女子大学教授)
吉澤幸夫(東京慈恵会医科大学)
渡部智博(立教新座中学・高等学校)

監 事：朝野武美(元大阪府立大学先端科学研究所助教授)

名誉会長：有馬朗人(根津育英会武蔵学園理事長、元文部大臣、元東京大学総長)

会 長：松浦辰男(立教大学名誉教授)

2016年 2月から

幹事：

荒谷美智、大野和子、笠井篤、岸川俊明、菊池文誠、熊野善介、黒杭清治、佐藤正知、下道国、
関根勉、鶴田隆雄、中西孝、坂内忠明、宮川俊晴、村石幸正

顧問：

飯利雄一、今村昌、岩崎民子、河村正一、工藤和彦、黄金旺、村主進、住田健二、野崎正、
森千鶴夫、山口彦之、山寺秀雄、渡利一夫

3. 通常総会、理事会、勉強会等の開催記録

2015年

- 4月17日（金）第1回事務連絡会 （フォーラム事務所、8名）
4月17日（金）第1回編集委員会 （フォーラム事務所、10名）
5月19日（火）第2回事務連絡会 （フォーラム事務所、7名）
6月5日（金）第1回理事会 （フォーラム事務所、11名）
6月12日（日）第1回教育課程検討委員会（フォーラム事務所、4名）
6月12日（日）第3回事務連絡会 （フォーラム事務所、7名）
6月21日（日）通常総会 （東京慈恵会医科大学、9名、委任状86名）
6月21日（日）第1回勉強会 （東京慈恵会医科大学、65名）

（勉強会プログラム）

講演 中高生を対象とした放射線教育の国際的な取組みとわが国の役割

飯本 武志 東京大学環境安全本部

講演 全国の児童生徒を対象とした放射線教育の現状と課題

高島 勇二 全国中学校理科教育研究会顧問

講演 検定申請された中学校教科用図書における放射線記述の傾向について

畠山 正恒 聖光学院中学・高等学校

総合討論

- 7月10日（金）第52回アイソトープ・放射線研究発表会において当フォーラムが
企画した放射線教育に関わるパネル討論実施（東京大学 72人）

（詳細は 8. 第52回アイソトープ・放射線研究発表会におけるパネル討論の企画 に記載）

- 7月13日（月）第4回事務連絡会 （フォーラム事務所、7名）

- 7月15日（水）草の根NPO等活動 第1回企画運営委員会・タスクグループ合同会合
（フォーラム事務所、4名）

- 8月31日（月）第5回事務連絡会 （フォーラム事務所、6名）

- 9月24日（金）第6回事務連絡会 （フォーラム事務所、7名）

- 10月22日（木）草の根NPO第2回タスクグループ会合（フォーラム事務所、4名）

- 10月27日（火）第7回事務連絡会 （フォーラム事務所、6名）

- 11月1日（日）第2回教育課程検討委員会 （フォーラム事務所、6名）

- 11月17日（火）第8回事務連絡会 （フォーラム事務所、6名）

- 11月23日（月）公開パネル討論「今やる、放射線教育Ⅲ ―今やりたい放射線の授業づくりを考える―」（東京慈恵会医科大学、106人）

（詳細は 6. 草の根NPO等活動完了報告書 に記載）

（プログラム）

実践報告 東京都における中学校の実践事例について

「意思決定の場面設定によって科学的な思考力を高める授業実践について」

牧野 崇 東京都豊島区立池袋中学校

実践報告 山形市における中学校の実践事例について

大沼 康平 山形大学附属中学校

実践報告 福島県における中学校の実践事例について

「人と人とのつながりを大切にした放射線授業と郡山市放射線教育推進委員会の取り組みについて」

佐々木 清 郡山市立郡山第六中学校

実践報告 大阪府における放射線教育について

北畑 謙一 大阪府中学校理科教育研究会

実践報告 名古屋市における実践事例

「中学校理科 エネルギー資源（放射線を含む）の指導の在り方についての考察
—教員研修と過去の実践報告をもとに—」

羽澄 大介 名古屋市教育センター

講演「新教科書による授業づくりを考える」

畠山 正恒 聖光学院中学・高等学校

パネル討論 実践事例発表者、講演者、会場参加者によるパネル討論

ファシリテーター： 高畠 勇二 全国中学校理科教育研究会顧問

12月11日（金）第2回理事会 （フォーラム事務所、10名）

12月11日（金）第2回編集委員会 （フォーラム事務所、9名）

12月22日（火）第9回事務連絡会 （フォーラム事務所、7名）

12月23日（水）第3回教育課程検討委員会 （フォーラム事務所、5名）

2016年

1月4日（月） 草の根NPO第3回タスクグループ会合（フォーラム事務所、5名）

1月19日（火）第10回事務連絡会 （フォーラム事務所、5名）

2月8日（水） 草の根NPO等活動 第3回企画運営委員会 （フォーラム事務所、4名）

2月11日（木）第4回教育課程検討委員会 （フォーラム事務所、5名）

2月12日（金）第11回事務連絡会 （フォーラム事務所、12名）

2月28日（日）第3回理事会 （東京慈恵会医科大学、9名）

2月28日（日）第2回勉強会 （東京慈恵会医科大学、74名）

（勉強会プログラム）

講演 STEM 教育改革の観点と放射線教育 一次期学習指導要領の方向性を踏まえて—

熊野 善介 静岡大学教授

トピックス 日本発113番元素

柴田 誠一 理化学研究所 仁科加速器研究センター

講演 福島原発事故から5年 — 放射線問題の現状と課題 —

河田 東海夫 元日本原子力研究開発機構

講演 中学校理科教育における放射線モデル授業計画の作成について

高畠 勇二 全国中学校理科教育研究会顧問

宮川 俊晴 放射線教育フォーラム

総合討論

3月15日（火）第12回事務連絡会 （フォーラム事務所）

4. 「放射線教育」誌及びニュースレターの発行

4. 1 「放射線教育」誌 2015 Vol. 19, No. 1

【巻頭言】 国民的科学レベル向上のために RI 利用教育実験の普及を：射線障害防止法に“RI・放射線の教育実験利用者”の項目が必要では

野崎 正 (放射線教育フォーラム顧問、元理化学研究所、北里大学)

【研究報告】 中学校教科書にみる放射線教育の歴史

林 壮一 (立教新座中学校・高等学校)

川村康文 (東京理科大学科学教育研究科)

【資料】 ^{90}Sr 濃度の新しい測定手法

近藤健次郎 (放射線教育フォーラム/高エネルギー加速器研究機構)

【解説】 放射線 - 宇宙のエネルギー循環に関わる

大野新一、大野 玲 (理論放射線研究所)

【意見】 「低線量放射線の健康への影響」は保健の授業で行うのが望ましい

黒杭清治 (放射線教育フォーラム教育課程検討委員会委員長)

「放射線教育」投稿規定、原稿の書き方

編集後記

工藤博司

4. 2 ニュースレター

「ニュースレター」 No. 62 2015. 6

巻頭言 放射線教育あれこれ

木村逸郎 (京都大学名誉教授)

東京電力福島第一原子力発電所事故関連汚染土などの中間貯蔵施設について考える

山寺秀雄 (放射線教育フォーラム顧問、名古屋大学名誉教授、大同大学名誉教授)

「原子力事故から学ぶ」授業実践記録：教材中の設問に対する生徒の回答を中心に

藤井真人 (千葉県立若松高等学校教諭)

放射線教育実験教材の現状と開発、実践における課題

早川一精 (中部原子力懇談会)

森 千鶴夫 (愛知工業大学)

小・中・高校における放射線教材と授業への活用

滝沢洋一 (東北放射線科学センター)

霧箱と“はかるくん”を活用した授業実践の報告

戸田一郎 (北陸電力エネルギー科学館)

大学入試新共通試験は放射線教育フォーラムのパワーポイント教材で対応できる

黒杭清治 (放射線教育フォーラム教育課程検討委員会委員長)

【会員の声】 九州での放射線教育活動

大塚徳勝 (九州エネルギー問題懇話会元顧問、元東海大学教授)

平成 27 年度通常総会及び第 1 回勉強会 (案内)

第 52 回アイソトープ・放射線研究発表会におけるパネル討論：北から南から福島を踏まえた放射線教育の全国展開パートⅢ—新たな中学校放射線授業への展望 (案内)

会務報告

原稿募集案内 (ニュースレター、放射線教育)

編集後記

「ニュースレター」 No. 63 2015. 11

巻頭言 思うこと

細渕安弘 (元東京都立保健科学大学)

追悼文 播磨良子先生を偲んで

小高正敬 (放射線教育フォーラム)

中高生を対象とした放射線教育の国際的な取り組みと我が国の役割

飯本武志 (東京大学)

原発事故から5年目を迎えた放射線教育の現状と課題

高島勇二 (エネルギー・環境理科教育推進研究所副代表理事)

検定申請された中学校理科教科書における放射線記述の傾向について：

記述傾向よりも重要な問題・課題に気が付いた

畠山正恒 (聖光学院中学校・高等学校)

「第5回放射線教育に関する国際シンポジウム」(ISRE16)の開催準備状況について

長谷川圀彦 (NPO 法人放射線教育フォーラム理事長)

10年後を思い描いて!! 「今やる放射線教育」公開パネル討論会 □：今やりたい放射線の授業づくりを考える

宮川俊晴 (放射線教育フォーラム/日本原燃)

公開パネル討論「今やる放射線教育□」今やりたい放射線の授業づくりを考える (中学校編) (案内)

「放射線量」は「“放射線の”量」ではない：新しい中学校理科教科書記述に関わる一考察

田中隆一 (放射線教育フォーラム)

【会員の声】気象、種の地球的大異変と放射線

早川一精 (元中部原子力懇談会)

会務報告

平成27年度総会報告 (活動計画書、貸借対照表、財産目録)

原稿募集案内 (ニュースレター、放射線教育)

編集後記

「ニュースレター」 No. 64 2016. 2

巻頭言 放射線教育はどこへ向かうのか?

大野新一 (理論放射線研究所)

福島原発事故に関する国際機関の報告書の紹介

岩崎民子 (元放射線医学総合研究所)

公開パネル討論「今やる放射線教育Ⅲ」を開催して

宮川俊晴 (NPO 法人放射線教育フォーラム、日本原燃)

意思決定の場面設定によって科学的な思考力を高める授業実践

牧野崇 (東京都中学校理科教諭)

科学的な認識に基づいて自らの行動を決定する判断力を身に付けさせる研究：

山形県山形市における中学校の実践事例について

大沼康平 (山形大学附属中学校)

「人と人のつながり」を大切にした放射線教育

佐々木清 (福島県郡山市立郡山第六中学校)

大阪府における放射線教育：各学年の放射線学習の実践例

北畑謙一 (大阪府中学校理科教育研究会研究委員)

中学校理科、エネルギー資源・放射線の指導の在り方についての考察：教員研修と過去の授業実践を基に

羽澄大介 (名古屋市教育センター指導主事)

NPO 法人放射線教育フォーラム第2回理事会 (報告)

平成27年度第2回勉強会：これからの放射線授業実践をみすえて (案内)

第5回放射線教育に関する国際シンポジウム (予告)

会務報告

原稿募集案内 (ニュースレター、放射線教育)

編集後記

5. 2015 年度の教育課程検討委員会活動の記録

委員長 黒杭 清治

1. 設立趣旨（設立当時の趣旨）

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

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

2. 委員名簿(2015 年度)

委員長	黒杭 清治	元芝浦工業大学教授
委員	大津 幸一	愛知県立熱田高等学校教諭
同	田中 隆一	元日本原子力研究所高崎研究所長
同	広井 禎	元筑波大学附属高等学校副校長
同	村石 幸正	東京大学教育学部附属中等教育学校 教諭
同	渡部 智博	立教新座中・高等学校教諭
相談役	飯利 雄一	元信州大学教授
同	山寺 秀雄	名古屋大学名誉教授
同	松浦 辰男	立教大学名誉教授

3. 活動経過と成果

(1) 前年度までの活動と成果

1998～2007 年度 資料収集・調査活動

教員、および小中高生・大学生の放射線に関する知識・意識調査（アンケート等）。

『児童・生徒の放射線リテラシー育成のための指導資料集』4 章構成の制作

2008～2009 年度 中学校理科新学習指導要領の内容検討と放射線学習計画制作

「中学理科新学習指導要領に沿った放射線教育の先行的実践記録」

関東・信越地区(2)エネルギー・環境・放射線セミナーで発表

2010～2013 年度 放射線教育 PPT 教材の制作、HP へ公開

1. 原子構造と放射線の基礎
2. 自然界の放射線
3. 放射線の性質と利用
4. 放射線医療
5. ウリミバエの撲滅

6. 福島原子力事故から何を学ぶか

第 1 部原発事故による健康への影響 第 2 部原発事故は防げるか

第 3 部未来のエネルギーを考える

第 4 部「住民が受けた原子力災害」

その 1 原発事故発生と避難 その 2 避難指示圏外に放射性降下物

その 3 漏れた放射性物質は同心円状に広がらない

その 4 原子力災害とその他の災害 その 5 除染そして帰還

2013 年度に第 4 部について「質問」と「正解のない問題提起」を加え、千葉県立若松高等学校教諭藤井真人先生、立教新座中学校非常勤講師高野先生（実践当時）の協力を得て授業を実践し、生徒が記入したワークシートの回答を集計して改訂版に加えた。

2014 年度 a. PPT によるモジュール教材（授業支援のための部品のような教材）の制作開始

b. 『児童・生徒の放射線リテラシー育成のための指導支援資料集』の再検討

(2) 2015 年度の目標と活動

(2)-1 目標：

(2)-1-1 PPT 教シリーズ「モジュール教材」制作の継続

(2)-1-2 平成 28 年度中学校 3 年理科教科書に記載された放射線に関する記述」の検討

平成 28 年度から使用される中学校 3 年理科教科書が出揃った。教科書の社会的影響力は大きいので、先ず新教科書の内容検討を行い、昨年度決定した『児童・生徒の放射線リテラシー育成のための指導支援資料集』の改訂は、次年度以降に新教科書検討結果を踏まえて、新たな構想で放射線リテラシーを作成することに変更。

(2)-1-3 新教科書について教科書出版会社に対する「放射線教育フォーラムからの提案」実施のための教育課程検討委員会案の作成

(2)-2 活動内容

第 1 回委員会 2015 年 6 月 12 日（金）

第 2 回委員会 2015 年 11 月 1 日（日）

第 3 回委員会 2015 年 12 月 23 日（水・天皇誕生日）

第 4 回委員会 2016 年 2 月 11 日（木・建国記念日）

(2)-2-1 大津委員の作品「放射性炭素年代測定法の種明かし」を HP へ掲載した。

(2)-2-2 平成 28 年度中学校 3 年理科教科書の放射線に関する記述の検討を実施した。

目標達成のため、平成 28 年度から使用される中学校理科教科書出版 5 社（東京書籍 大日本図書 学校図書 教育出版 啓林館）の記述内容を逐一詳細に検討した。

改定前（平成 24 年度改訂版）と比較すると、各社とも放射線の性質と利用に関する記述が充実し、自然界に放射線のあることに触れるなど、放射線に関わる記載量が増加した。

中学校における放射線教育が約 40 年の空白期間を経て復活し、充実し始めたことは誠に喜ばしいが、文部科学省検定済みでありながら、明らかな誤りの他、放射線の単位などの新しい記載内容については、誤解を招き易い記述が各所に見られる。平易な記述を目指したためであろうが、このまま看過できない。

中学校教科書の記述内容が一般国民の基礎的教養になる。誤解を招き易い記述は社会への影響も小さくない。放射線に関わる記述を正すことは、放射線が医療のみならず工業、農業の広い分野で人類の福祉に貢献していることを社会へ正しく伝えられることになると考えて、教科書出版会社との意見交換の場を設けることを目指し、誤りや、誤解を招き易い記述を列記した資料を編纂した。以下にその中の例を挙げる。

① 誤記の例：電子線発生装置をベータ線発生装置と記述（C 社）

② 誤解されやすい記述の例：放射性物質の原子核は不安定で、別の原子核に自然に変わっていく（A 社）。「放射性核種を放射性物質という」と定義すればよいが、放射性核種は中学校では学習しないため、放射性物質の構成原子すべてが変わると誤解される。

③ 記述不足による偏りの例：放射線が遺伝子（DNA）を傷つけると記述し、紫外線、さまざまな化学物質・ストレスなど、その他の原因を挙げてない。また、D 社以外は細胞の修復についての記述がなく、放射線だけががん発症原因のように誤解され易い。

④ 写真・図表の説明不足：各社とも、限られたページに多くの情報を盛り込みたいためであろうか？ 本文の文字数を減らして写真や図表を多く載せているが、それらについての説明が少ないため、放射線教育に不慣れな教員による不十分な指導が心配される。（資料は長文のため年次報告書への記載は省略）

(3) 来年度の目標

(3)-1 新放射線リテラシー集作成開始

中学校理科教科書の記述内容をベースにして、放射線に関わる一般教養としてのリテラシー集にする。

(3)-2 教科書出版社と意見交換

教科書出版書と順次意見交換会を開き、上記リテラシー集に反映させる。

（文責 黒杭）

6. 草の根 NPO 等活動報告書

提出年月日：平成28年2月22日

団体名	NPO 法人放射線教育フォーラム
所在地	〒110-0015 東京都台東区東上野6-7-2萬栄ビル 2 階
担当者名	田中 隆一
連絡先	TEL 03-3843-1070: FAX 03-3843-1080: E メール: forum@ref.or.jp

企画のタイトル

公開パネル討論「今やる、放射線教育Ⅲ」
— 新教科書による授業づくりについて — の開催

企画の目的

○ 目的・趣旨

30年ぶりに復活した放射線の学習を含む中学校理科教科書が平成24年度に登場したが、福島での原子力災害の経験を踏まえ、平成28年度用の新しい教科書が採択されようとしている。放射線教育フォーラムは、教科用図書検定結果に合わせて間もなく公開される教科用図書について、放射線に関わる記述内容の調査・分析を行うことを予定している。

この機会に、これまで全国各地で放射線教育を実践された中学校理科の教員を招き、授業での教科書活用の現状についての実践報告をいただくとともに、新教科書の調査・分析結果を踏まえた公開パネル討論を実施する。パネル討論では、中学1年～3年の各学年の授業のあり方を討論し、新教科書による授業のモデル計画を提案する。

本事業において、実践報告をしていただく中学校教員として、福島県、東北地方、関東地方、中部地方、関西地方から計4、5名を候補としている。

当フォーラムがこれまで2回実施した草の根NPO等活動では、福島での原子力災害を踏まえて放射線授業を先駆的に実践している教員を招き、授業の実践報告をもとに公開パネル討論を実施し、教員、専門家、支援者の間での意見交流を通して放射線授業の普及に向けた関係者の連携を構築してきた。

平成25年度の第一回は、福島県、広島県、長崎県、神奈川県、北海道の5名の教員からの実践報告に続いて、免疫学の専門家であるルイ・パスツール医学研究センターの宇野賀津子氏から、当時、社会的に話題となっていた低線量放射線の健康影響と免疫力を高める食生活についての講演をいただき、低線量放射線の影響についての理解を深めるとともに、健康な生活を目指す放射

線教育の教材情報が提供された。パネル討論では健康影響について生徒の父兄の受け止め方への対応が話題となり、会場からも養護の教員とのチームティーチングで免疫力を扱った福島県の中学理科教員から、その有効性について賛同の発言があった。

平成26年度の第二回は、福島県、鳥取県、福井県、宮城県、北海道からの5名の教諭の実践報告に続いて、日本原子力研究開発機構の小林泰彦氏から、放射線の科学的特性とそれを活かした利用事例と可能性について講演をいただき、放射線に関する科学的魅力や将来性を扱う教材情報が提供された。パネル討論では、中学1年生から3年生までのそれぞれの学年の単元での授業の可能性と専門機関と連携した実験などの有効性が示された。

このように、その折々に関心の高いテーマのもとで、教材情報を提供するとともに、専門家の支援のあり方を現場の教員のニーズから掘り起こし、授業への展開を議論した。報告された実践事例は放射線教育フォーラムのホームページで公開し、全国の教員に発信して現場の授業支援を進めてきた。

第3回目となる今回は、平成28年度から使用される中学校理科の新教科書を取り上げ、現場の教員と専門家間でパネル討論を行い、1年から3年の各学年での放射線授業の計画案を提言し、授業の全国普及に資することに目標を置く。

企画の実施内容（実施方法、対象、場所、日時等具体的に）

- 1) 公開パネル討論の催しに関わる企画運営委員会を設置し、放射線教育フォーラムの会員から以下の委員を選定した。

企画運営委員会委員	工藤博司(東北大学名誉教授)
	田中隆一(委員長、副理事長)
	畠山正恒(聖光学院中学・高等学校)
	宮川俊晴(日本原燃(株))
	吉沢幸夫(東京慈恵会医科大学)
	渡部智博(立教新座中・高等学校)

- 2) 今年度の公開パネル討論を11月23日(日)に開催する。開催日は昨年及び一昨年に実施した公開パネル討論に使用し、会場での意見交換に適した会場設備であることをすでに確認済みの東京慈恵会医科大学高木2号館南講堂を前年度にすでに仮予約したときにすでに内定していた。
- 3) 第1回企画運営委員会を7月15日に放射線教育フォーラム事務所において実施し、開催に関わる基本事項について検討した。その結果、催事名を「公開パネル討論『今やる、放射線教育Ⅲ』—今やりたい放射線授業づくりを考える(中学校編)—」と決定した。開催に関わる主な決定・確認事項は以下のとおり(補足資料1 第1回企画運営委員会議事メモ)。

- ① プログラムは前回の実績をもとに、実践報告(5件)、基調講演、パネル討論の三部構成を踏襲する。これまでの反省をもとに、また、今回の討論の特色を考慮して、パネル討論の時間をさらに増やして90分とするとともに、実践報告を午前中に実施する。このため、催事の開始時刻を早めて午前10時とする。これによってパネル討論の終了時刻を早めると同時

に、昼休みの休憩時間を利用して、実践報告に対するフロアからの質問の整理作業の時間が確保できるとともに、展示コーナーなどでの参加者のコミュニケーションを活発にする効果が期待される。

- ② 実践報告者兼パネリストの選任については、放射線の授業実践を先導する各地域の有能な教員を対象として、報告者数を5名とし、すでに内諾を得ている福島県の佐々木清先生、愛知県の羽澄大介先生、大阪府の岡田圭司先生に加えて、東京都及び山形県を対象地域に選定し、実践報告者の内諾を急ぐこととする。
- ③ 基調講演者は新しい中学校理科教科書の放射線記述等について教育現場の視点から調査・検討を進めてきた企画運営委メンバーの畠山正恒先生（神奈川県 聖光学院中学・高等学校）に決定した。
- ④ パネル討論は単に授業づくりに関して議論する場を提供するだけでなく、教育現場へ向けて授業モデルを具体的に提案することに目標を置くこととなり、中学校の新しい理科教科書の記述に基づいて授業への活用案をパネル討論の場で提示するためのコーディネータ、実践報告者、講演者等により構成される下記のタスクグループを設置し、3回程度のグループ会合を実施することとした。

タスクグループメンバー：佐々木清(福島県郡山市立郡山第六中学校)

羽澄大介(名古屋市教育委員会)

高島勇二(全国中学校理科教育研究会顧問)

畠山正恒(聖光学院中学・高等学校、企画運営委メンバー)

宮川俊晴(日本原燃(株)、企画運営委メンバー)

- ⑤ 昨年の催事で初めてブース出展を試みた結果、展示者と参加者のコミュニケーションが活発になされ、今後の教材活用のために効果的であることがわかったので、今回もブースの出展を継続する。今回のテーマは教科書の活用であるので、教科書会社にも出展を呼びかけることとする。
 - ⑥ パネル討論の仮の開催案内を7月中に作成し、第52回全国中学校理科教育全国大会(8月6&7日、富山市)及び日本エネルギー環境教育学会第10回全国大会(8月8&9日、京都市)の参加者への周知を図る。また、東京都中学校理科研究会など、地域の理科教員へ向けて、公開パネル討論の周知活動に努める。
 - ⑦ 新中学校理科教科書の放射線記述等のコピー資料を公開パネル討論の参加者へ配布できるようにする。
- 4) 第1回企画運営委員会の決定に基づいて公開パネル討論の開催に向けた準備活動を以下のとおり進めた。
- ① フォーラム事務局内の開催準備会合を8月から11月まで毎月1回実施し、開催の準備状況を把握するとともに、準備作業の調整を行った。
 - ② 昨年に引き続いて、懇親会の会場としても使用する本会場に隣接したスペースにブース展示場を設け、放射線教育教材等の情報交換が行えるようにする。当フォーラム団体会員の全メンバーにブース展示を提案し、ブース出展の申込みを募ることとした。

- ③ 開催準備及び開催当日の主催者側の対応については、昨年とほぼ同様の外部からの支援をお願いすることとした。特に、会場の準備・設営、当日会場での映像・音声などの機器の運用、参加者への配布資料の準備などについては、外部からの支援を仰ぐこととした。
- ④ 世話人として参加したフォーラム会員ができるかぎり講演に集中できるようにするため、世話人の役目を補う学生アルバイトを2人雇うこととした。
- ⑤ 昨年開催の反省から、開催の成果及び課題を会員や広く外部に向けて、情報発信に努める。
- 5) タスクグループの第1回会合を8月31日にフォーラム事務所で実施。放射線等の記述に関わる新しい中学校理科教科書における放射線記述のコピー、副読本を含めた放射線に関する学習項目比較表などが提出され、新教科書中の放射線記述の内容確認を行うとともに、各委員からの提案を含め、授業づくりの考え方について議論するとともに、今後の進め方について意見交換した。
- 6) 未決定だった2名の実践報告者兼パネリストのうち、東京都については、東京都中学校理科教育研究会に選任を依頼した結果、池袋中学校の牧野崇先生が、山形県については、山形大学付属中学校の大沼康平先生に引き受けていただくことに決まった。これをもとに、公開パネル討論Ⅲの開催プログラムが決まり、9月末に開催案内が確定した（補足資料2 公開パネル討論「今やる放射線教育Ⅲ」 開催案内、補足資料3 公開パネル討論「今やる放射線教育Ⅲ」 パネリストプロフィール）。
- 7) タスクグループの第2回会合を10月22日にフォーラム事務所で実施（補足資料4 第2回タスクグループ会合議事録、補足資料5 第2回タスクグループ会合配布資料リスト）。パネル討論では授業づくりの議論を、大項目（各学年の単元）、中項目（各単元の授業分配）、及び小項目（一コマ授業の内容）の3段階に整理して進めることとした。また、色分けしたポストイットを参加者に質問票として予め配布し、実践報告や講演に対する質問を素早く付箋集約して、パネル討論の展開に効果的に役立てる方法を採用することとした。
- 8) 実践報告者及び講演者に参加者配布する講演予稿を執筆していただいた。（補足資料6 公開パネル討論Ⅲ 実践報告及び講演予稿集）。
- 9) 催事周知・参加勧誘については、費用や労力の節約のため、昨年と同様に各組織・団体のメール配信システムを利用した周知手段に重きをおいた。個人への直接的な勧誘も実施した。
- 10) 11月13日に国立博物館で開催された東京都中学校理科会主催の恒例の会員研究発表会に特別参加を認めていただき、公開パネル討論会への参加勧誘のアナウンスをさせていただくことができた。
- 11) 開催当日参加者へ配付する講演資料等（実施スケジュール、パネリストプロフィール、実践報告講演予稿及びパワーポイント配付資料）の作成は外部からの支援を得て実施した（補足資料7 公開パネル討論Ⅲ 実践報告及び講演パワーポイント資料集）。
- 12) 当日参加者を対象に実施するアンケート調査用の設問用紙を昨年の実績をベースに作成した（補足資料8 公開パネル討論Ⅲ アンケートフォーム）。
- 13) ブース出展募集の結果、7社からの申請があり、会場入口前の懇親会が予定されているスペースに7社のブースを設置できることになった。当日は開会1時間前に設営の準備がはじめられた（補足資料9 公開パネル討論Ⅲ 展示ブース一覧）。

- 14) 13時の開会直前に実践報告者、基調講演者に集まっていたいただき、座長、コーディネータとの顔合わせ、実践報告とパネル討論の進めた方などの確認を行い、本番に備えた。
- 15) 開催当日の参加実績は参加者91名（事前登録者のうち欠席者は7名）であったが、実践報告者、講演者、主催者等を含めた来場者数は106名であった。（補足資料10 公開パネル討論Ⅲの来場者、参加者及びブース等使用者、補足資料11 公開パネル討論Ⅲ 会場写真集）。
- 16) 開催後に参加者を対象としたアンケート回答の集計および分析を行なった（補足資料12 公開パネル討論Ⅲ アンケート回答結果素データ）。
- 17) 1月4日に第3回タスクグループ会合をフォーラム事務所で実施。中学校理科の放射線のモデル授業の提案に向けて、公開パネル討論Ⅲにおける議論を踏まえて、同パネル討論でも提示した3年間の理科授業項目の体系マップのなかに、放射線授業の多くの実践事例をどのように位置づけるべきかを中心に議論した（補足資料13 第3回タスクグループ会合議事録）。
- 18) 2月8日に第2回企画運営委員会を放射線教育フォーラム事務所において実施。タスクグループ活動の成果として、今回の草の根NPO等活動の目標であった中学校理科教育における放射線モデル授業が提案され承認された（補足資料14 中学校理科教育における放射線モデル授業の提案について(案)、補足資料15 3年間の指導要領 実践マップ、補足資料16 各学年の放射線モデル授業案、補足資料17 パネル討論に向けた付箋集約）。3年間の理科学習の体系のなかに位置付けられた実践マップをベースに、各学習項目の扱い、教科書会社との意見交換、外部への情報提供など、今後へ向けた具体策を検討した（補足資料18 第2回企画運営委員会議事録）。

実施後の効果

○支出実績（消費税込） 741,155円（別添 平成27年度 草の根NPO等活動収支報告書）

○効果把握の結果（実施前後アンケート結果比較など）

1) アンケート回答の概要について

アンケート回答数が43。昨年の回答数（29）よりかなり改善したが、50パーセントには及ばなかった。全回答者数に対する原子力放射線関係の回答者の比率は、全来場者に対する原子力放射線関係者の比率とほぼ同じである。一方、小・中学校の回答比率は昨年に比べて改善はしたが、原子力放射線関係者に比べると依然として低かった。

回答者の年齢層については50代にピークがある。50代以上の高齢回答者の比率が70%以上占める状況はこれまでと変わらない。

今回、開催情報の入手方法を初めて調査した結果、回答者の半数が配信メールであり、原子力・放射線関係者の多くが開催情報をメール配信に依存していることがわかる。個人メールと口コミによる情報入手の割合が約3分の1であるが、ホームページからの情報入手が非常に少ないのは、高齢者の割合が多いことを反映していると思われる。

開催内容に関わるアンケート回答のうち、実践事例の報告については、「大いに参考となった」との回答は約4分の3を占め、これまでのうち最も好評であった。パネル討論についても、「大いに参考となった」との回答が56%に達し、前回よりも顕著に増加した。イベント全般についても、「大いに参考となった」が72%であった。イベントの実施効果が全般に良好であったことは各設問の付帯意見からもうかがえるが、その内容は補足資料に譲る（補足資料19 公開パネル討論Ⅲアンケート回答集計結果）。

2) メディアの取材・報道について

今回は教科書を取り上げたことがメディアの関心と呼んだためかもしれないが、これまでのパネル討論では最も多い報道メディア4社（朝日、毎日、中国、電気）からの取材があった。このうち、実際の報道を確認したのは電気新聞のみであるが、昨年に引き続いて、12月8日面総合企画欄で詳細に報道された（補足資料20 平成27年2月16日の電気新聞記事コピー）。これ以外に、日本科学技術振興財団からもこれまでと同様な取材があり、同財団のホームページに詳しく紹介された。

3) 公開パネル討論Ⅲ実施の効果についても、ホームページで公開していく予定である。

実施後の評価（実施して得られた知見や今後の課題等）

1) 実施内容について

- ①来年度から使用される新しい中学校理科教科書において充実した放射線記述が福島での原子力災害を踏まえて登場したことで、放射線授業の実践を全国的に広めていくための足場が得られた。これをもとに、タスクグループからのモデル授業の提案及びパネル討論で出された多くの意見も取り入れて、3学年最終学期だけでなく、3年間の長い理科授業期間のなかで実施できる放射線のモデル授業計画を提案するに至った。パネル討論において授業実践の在り方について積極的な議論が進んだのは、パネル討論に備えてタスクグループを設置し、教科書記述に基づいたモデル授業案の作成に早くから着手し、論点を明確にしたうえでパネル討論を実施できたことによると考える。
- ②5人の実践報告者はすべて地域でエネルギー・原子力・放射線授業を先導的に実践しているリーダー格の先生方であり、どの報告も独自の発想とともに地域性を活かした実践事例であり、多くの参加者から高く評価された。特に、学習指導が定着している3学年後半のエネルギー資源の単元だけでなく、教師の工夫次第で3年間にわたって放射線授業が多様な切り口で実践できることが強調された。パネル討論では、教科書会社から低学年でも発展的に放射線を扱う記載努力の発言もあり、エネルギーの視点からだけでなく、自然や科学技術の視点から幅広く放射線を扱う授業の必要性が議論された（補足資料21 パネル討論総括 放射線教育フォーラムニュースレターNo. 64）。
- ③公開パネル討論はこれまでかなりの経験を積んできたが、今回のパネル討論が最も充実した内容であったと考える。そうだった理由は、1)で述べたタスクグループを設置して、モデル授業案作成に向けた具体的な活動目標を設定したことが最も大きい。また、今回はパネル討論を効果的に進行させるために、実践報告の後に昼休みを利用して質問票を整理しパネル討論に備えられたこと、及びパネル討論に1時間半の長時間を当てたこともパネル討論を成功に導いた要因であると考えられる。

2) 催しの周知と参加状況について

今回の公開パネル討論Ⅲの参加者数は91名。実践報告者、講師、世話人、及びアルバイトを含めた来場者数は106名。昨年度とほぼ同数であった。ただし、来場者数の内訳では、今回の小、中、高校の来場者数は21名(そのうち中学校は16名)であり、昨年度と比べて倍増し、パネル討論における質疑の内容や支援者との交流、教員同士の交流も活発であった。しかし、近隣地域からの教員の参加者はほとんど増えていない。参加の呼びかけだけではなく、地域の教員との直接交流の機会を増やしていくことが課題である。

3) ブース展示について

昨年度に引き続いて今年度も展示ブースを設置したが、参加者同士のコミュニケーションを活発にするためにも効果的であった。今回は実験機材の展示だけでなく、教科書会社2社に出展していただいたことが、今後のフォーラムの活動の幅を広げていく足場を得たと考える。展示の紹介を今回もプログラムの中に挿入したが、これによって、催しの雰囲気プラスの変化を与える効果もある。反省事項は機材搬入のための駐車スペースを前もって確保しておかなかったことである。

4) アンケート調査について

参加者を対象としたアンケート調査については、回答率が30%以下の昨年度の経験を反省し、アンケート設問をA4両面からA4一面のみに縮小するとともに、回答を促すアナウンス回数も増やした結果、回答率は47%に改善し、参加した教員の回答者数を増やすことができた。今後は50%以上の回答率を目指す。

5) 事務局の運営について

今回も会場の準備・設営、当日会場の運営、参加者への配布資料の準備などについては、外部からの支援にかなり依存した体制ではあるが、滞りなく円滑に催しを終了することができた。外部依存度を軽減するために、今後の活動継続のために地域の会員ボランティアを増員することが課題である。

6) おわりに&今後の方向性

これまで、放射線授業は受験時期と重なる中学校の最終学期での実施が標準的であったが、福島の原子力災害を踏まえた新しい教科書を足場とする専門家・支援者と意欲的な教員の交流を通して、中学校の各学年で実践可能なモデル授業計画という実を結ぶことができたと考える。今後、この計画について多くの教員の方々にご批判をいただき、より実践的、効果的な授業につながるように改善していきたいと考える。これらを通して放射線授業の普及が全国的に広がることを目指す。

補足資料・別添リスト

- 補足資料 1 第 1 回企画運営委員会議事メモ
- 補足資料 2 公開パネル討論「今やる放射線教育Ⅲ」開催案内
- 補足資料 3 公開パネル討論「今やる放射線教育Ⅲ」パネリストプロフィール
- 補足資料 4 第 2 回タスクグループ会合議事録
- 補足資料 5 第 2 回タスクグループ会合配布資料リスト
- 補足資料 6 公開パネル討論Ⅲ 実践報告及び講演予稿集
- 補足資料 7 公開パネル討論Ⅲ 実践報告及び講演パワーポイント資料集
- 補足資料 8 公開パネル討論Ⅲ アンケートフォーム
- 補足資料 9 公開パネル討論Ⅲ 展示ブースリスト
- 補足資料 10 公開パネル討論Ⅲの来場者、参加者及びブース等使用者
- 補足資料 11 公開パネル討論Ⅲ 会場写真集
- 補足資料 10 公開パネル討論Ⅲの来場者、参加者及びブース等使用者
- 補足資料 11 公開パネル討論Ⅲ 会場写真集
- 補足資料 12 公開パネル討論Ⅲ アンケート回答結果素データ
- 補足資料 13 第 3 回タスクグループ会合議事録
- 補足資料 14 中学校理科教育における放射線モデル授業の提案について(案)
- 補足資料 15 3 年間の指導要領 実践マップ
- 補足資料 16 各学年の放射線モデル授業案
- 補足資料 17 パネル討論に向けた付箋集約
- 補足資料 18 第 2 回企画運営委員会議事録
- 補足資料 19 公開パネル討論Ⅲアンケート回答集計結果
- 補足資料 20 平成 27 年 12 月 16 日の電気新聞記事コピー
- 補足資料 21 パネル討論総括 放射線教育フォーラムニュースレターNo. 64
- 別添 平成 27 年度草の根 NPO 等活動収支報告書

7. 中学校理科教育における放射線モデル授業の提案について

1. はじめに

2008 年度の中学校理科学習指導要領解説に放射線に関して「性質とその利用について触れること」の記述が入り、2012 年から放射線が記載された教科書が採用され、30 年振りに全国各地で放射線の授業が開始された。しかしそれ以前に放射線に関する科学的教育が施されて来なかった中学生が、五感に感じない放射線を理解し、科学的に考え、判断し、行動していくことは、そう容易なことでは無いと考えられた。また、教師の側としても放射線の授業経験は極めて少なかった。その上に、2011 年 3 月 11 日の東日本大震災に端を発する福島第一原子力発電所の事故による、環境への大量の放射性物質の放出の影響は大きな社会混乱を起し、その渦中で、中学校で放射線の授業を行うことには、多くの学校関係者にためらいが見られた。NPO 法人放射線教育フォーラムでは、2013 年 7 月から、全国で熱心に放射線授業を実践している教師を東京に招き、パネル討論を開催し、教師の経験を共有して放射線教育を全国に普及するために、教師と放射線の専門家が協力して授業を進める仕組みを模索して来た。そして、2016 年度より教科書が改訂されることを機に、これまでの 6 回のパネル討論の結果を参考にして、新教科書で実施する放射線教育に対してモデル授業を提案することとした。

2. 中学生の放射線に関する理解度

グラフ・1 に 2007 年度～2014 年度の 8 年間の青森県の中学生の放射線に対する理解度を調べた結果を示す。中学生への任意調査であるが、「放射線」、「放射能」の言葉の認知度は 95%を超えるが、「放射線と放射能の違いがわかりますか」と問うと、「わかる」を選択する生徒は、2011 年 3 月 11 日以前の調査（約 3800 人）では、高々 10%であった。違いの認知度は、3.11 以降年々増加し、2014 年度の調査（1061 名）では、25～30%である。また、放射線の種類は、エックス線は約 70%、アルファ線、ベータ線、ガンマ線はそれぞれ約 35%である。半減期は 10%未満、自然界の放射線を知らないと解答する生徒は約 50%、放射線の利用は、エックス線検査やがん治療は約 60%、発芽防止は 30～35%、食品や医療器具の滅菌は約 30%、その他は、それ以下である。一方で、「放射線・放射能と聞いて頭に思い浮かぶもの」との問いには、危険・人体への悪影響は約 80%、原子力発電・福島原発事故は 70～80%、原爆は約 70%、広島・長崎は約 50%と福島第一の原発事故や原爆等のネガティブイメージが強く、放射線が役に立つとする選択は約 25%とその有用性のイメージは少ない。多くの基本的、科学的知識の習得が必要な状況と言える。

3. 教科書の状況

2016 年度から新しく採用される検定済の全国 5 社の教科書の内容には、多少のばらつきは認められるが、総じて、現行（2012 年度）の教科書に比べ記述は充実している。例えば、現行の教科書では囲み記事として本文外にあった記述が本文に示されるとともに、福島第一原子力発電所の事故の記述が新たに加わった。具体的には、放射線・放射能・放射性物質の関係が懐中電灯の比較等でより分かりやすく明示、放射線の性質では、透過力や電離作用の記述、自然放射線から受ける年間線量の値、ベクレル、グレイ、シーベルトの放射線に関わる単位、放射線の利用レントゲン博士、キュリー夫妻などの人物や活動など科学史の紹介などの記述が充実している。

4. 放射線授業の状況

現行の放射線授業は、3年生の最終単元の「科学技術と人間、エネルギー、原子力発電」で扱うことから3学期に授業が実施されているケースが多い。このため、高校受験を目の前にして3年間の総復習の時期に実施することから、生徒に十分な理解を図る授業が難しいとパネル討論でも多くの教師から発言があり、1,2年で放射線授業を実施するケースも提案された。そのため、2016年度から教科書の記述が充実されても、それが有効に実施されるためには、解決すべき課題が残されている。

なお、3年生の「運動とエネルギー」の単元で、1, 2学期で実施する教科書もある。

5. モデル授業とは

これまでのパネル討論では、放射線に関する情報は非常に多くなったが、逆に何を授業に採用したら良いか悩む、また時間を掛けて厳選していると準備の負担の声も聞かれた。文部科学省が2回にわたり発行した副読本も配本されないとするケースも散見した。

そこで、フォーラムでは、パネル討論の活動の纏めとして、授業計画を立案し公開することとした。3年生の3学期に集中する放射線授業を、1年、2年、3年と段階的に実施する計画を立てるにあたり、以下の方針とした。

- 1) 1年生では、放射線のイメージを理解する定性的な授業を重点とする。
- 2) 2年生では、放射線の性質について基礎的な理解を図り、放射線の利用と健康への影響に関する導入を図る。
- 3) 3年生では、放射線に関して定量的な理解を図り、利用や健康影響に対する防護について科学的に考える力を身に付ける。
- 4) 上記を具体化するためには霧箱観察や簡易放射線測定器による実験を取り入れ、体験的学習とする。
- 5) 各学年の授業単元と関連付けて実施する。

6. モデル授業の実施時期

上記第5項の方針に基づき、放射線授業は以下の単元と関連付けて実施する計画とした。

- 1) 1年生での実施単元
 - a. 「エネルギー：光と音」
 - b. 「地球：火山と地震」
- 2) 2年生の実施単元
 - a. 「エネルギー：電流」
 - b. 「物質：化学変化」
 - c. 「生命：動物の体のつくりと働き」
- 3) 3年生の実施単元
 - a. 「エネルギー：エネルギー」
 - b. 「物質：水溶液とイオン」
 - c. 「生命：遺伝の規則性と遺伝子」

d. 「エネルギー：科学技術の発展」

- 1年生の「光と音」では、可視光線とともに、見えない光として、赤外線、紫外線を学ぶが、それらの総体として、電磁波の理解を図り、紫外線の更に波長の短いものとしてエックス線、ガンマ線が存在する基礎知識を習得する。

また、火山と地震では、火成岩の中には放射線を放出するものがあり、放射性物質は自然界にも存在する基礎知識を習得する。

- 2年生の「電流」では、真空放電の実験と関連させて、放射線が出ていることの現象と粒子としての放射線の放射線の理解を図り、レントゲン博士の放射線発見の科学史的理解を図る。

「化学変化」では、ミクロの世界の原子・分子の理解と共に、原子や原子核の構造を理解し、放射線の発生現象の基礎的理解を図る。

「動物の体のつくりと働き」では、遺伝における遺伝子の理解とともに、放射線による遺伝子の損傷・修復などの放射線による健康影響の基礎的理解を図る。

- 3年生の「エネルギー」では、エネルギー変換で原子力エネルギーを学ぶと共に、放射線もエネルギーの一種であることを理解する。原子力発電に関連して、原子核分裂や放射線の発生の理解を図り、放射線の利用や放射線の健康影響、その防護の方法の理解を図る。

「水溶液とイオン」では、原子・分子構造とそれらの反応を発展させて、原子の内部での物理的反応の理解を図る。

「遺伝の規則性と遺伝子」では、遺伝子の構造と、損傷・修復など2年生授業の振り返りを図る。

「科学技術と人間」では、原子力発電と共に、放射線の利用や防護の方法をより定量的に学ぶ。

7. モデル授業計画

以上の方針で作成したモデル授業を添付-1「モデル授業案」に示す。

以下、大中小項目について、今後補充する予定。当面のたたき台は、以下の通り

大項目（3年間のプログラム）

中項目（単元の中の時間数とその内容）

小項目（1コマの中の授業内容）

8. 参照例。

これまでのパネル討論で実践紹介された事例は以下の通りである。

・1年生

エネルギー「光と音」（参照事例；谷崎雄一（北畑謙一）先生、

地球「火山と地震」（参照事例；谷崎（北畑）先生、佐々木清先生、児玉先生）

・2年生

エネルギーの「電流」（参照事例；北畑健一先生、佐々木敏紘先生）

物質の「化学変化」（参照事例；大沼康平先生、）

生命の「動物の体のつくりと働き」（参照事例；）

学級活動 （参照事例；斎藤先生、）

・3年生

エネルギーの「エネルギー」

物質の「水溶液とイオン」

生命の「遺伝の規則性と遺伝子」

エネルギーの「科学技術の発展」（米田典生(北畑謙一)先生、青木久美子先生、前田勝弘先生、森山正樹先生、前田孝司先生、佐藤深先生、佐野嘉昭先生、西田敬子先生、原田忠則先生、近藤達夫先生、紅露瑞代先生、斎藤勇雄先生、嶋田武弘先生、高橋里美先生）

◎ 終わりにあたり

NPO 法人放射線教育フォーラムは、2013年7月～2015年11月まで、6回のパネル討論を通じて、力強く復興に向かう福島県を初めとして全国各地の小学校～高等学校での放射線授業の実践事例の交流を図り、小学校・中学校・高等学校の先生方と放射線の専門家が協力できる内容の検討を行って来た。

そして平成28年度から、中学校の理科の新教科書の放射線に関する記述が更に充実されていくことが明らかになったこの段階で、委員会を設け中学校の3年間を見通した放射線教育のモデル授業計画を作成することとした。

今後、このモデル授業計画について多くの先生方にご批判を頂き、より実践的・より効果的な授業に繋がるよう改善を重ねて行きたいと考えている。また、先生方にはそれぞれの地域の特性・生徒の個性に応じた授業を実践される際に、参考にして頂ければ幸いである。

以上

8. 第 52 回アイソトープ・放射線研究発表会におけるパネル討論の企画

(1) 同研究発表会と放射線教育フォーラムの関わり

日本アイソトープ協会の主催で毎年開催されるアイソトープ・放射線研究発表会における催しとして、共催団体である放射線教育フォーラムが放射線教育・コミュニケーション分野を代表してパネル討論を企画した。

(2) パネル討論のテーマ

「北から南から福島を踏まえた放射線教育の全国展開Ⅲ」

— 新たな中学校放射線授業への展望 —

(3) パネル討論の企画概要

- ①趣旨： 学習指導要領改訂によって放射線記述が 30 年ぶりで復活した中学校理科教科書が 4 年に一度の改訂時期を迎えている。すでに検定済みの教科書見本が本年 5 月から公開されており、来年度からの使用される教科書について、福島第一原子力発電所事故を踏まえた放射線に関わる記述の充実を窺うことができる。

今回のパネル討論会では教科書による授業実践に焦点を当てるが、中学校で現在使用している教科書、来年度から使用される教科書、さらには放射線副読本などをもとに、これからの望ましい授業のあり方について意見を交換する。実践報告としては、福島県、東京都、九州、及び初めての四国の 4 校の先生方を招聘し、実践事例を報告していただくとともに、今後の授業展望についてパネル討論を行う。

- ②日時： 平成 27 年 7 月 10 日(金) 13:00～15:30

- ③場所： 東京大学 弥生講堂 一条ホール

④プログラム

実践事例報告

実践事例 1	前田 幸司	長崎市立東長崎中学校
実践事例 2	青木 久美子	東京都世田谷区立千歳中学校、
実践事例 3	斎藤 勇雄	福島県伊達郡桑折町立醸芳中学校、
実践事例 4	紅露 瑞代	徳島県立城ノ内中学校、

講演 「検定申請された中学校教科用図書に見られる放射線記述の傾向」

畠山 正恒 聖光学院中学・高等学校／放射線教育フォーラム

座長： 宮川 俊晴 放射線教育フォーラム／日本原燃(株)

パネル討論

座長： 高畠 勇二 全国中学校理科教育研究会顧問

放射線教育フォーラム

2015 年度活動に関わる参考資料

	頁
パネル討論「北から南から福島を踏まえた放射線教育の全国展開Ⅲ」 予稿	
日本アイソトープ協会編集・発行の第 52 回アイソトープ・放射線研究発表会要旨集から転載	
(1) 長崎市の中学校における放射線教育の実践事例について (前田 幸司)	1
(2) 東京都の中学校における実践事例について	
～義務教育で放射線を学ぶことの意味～ (青木 久美子)	2
(3) 桑折町の中学校における実践事例について ～放射線について正しい知識を 身に付け、科学的根拠をもとに判断し行動できる生徒の育成～ (斎藤 勇雄)	3
(4) 徳島県の中学校における実践事例について (紅露 瑞代)	7
(5) 検定申請された中学校教科用図書に見られる放射線記述の傾向 (畠山 正恒)	8
「第 52 回アイソトープ・放射線研究発表会」から「パネル討論 (北から南から福島 を踏まえた放射線教育の全国展開パートⅢ)」 (高畠 勇二、宮川 俊晴)	9
日本アイソトープ協会編集・発行の ISOTOPE NEWS Nov. '15 No.739 から転載	
公開パネル討論『「今やる、放射線教育Ⅲ」—今やりたい放射線授業を考え得る—』予稿	
(1) 意思決定の場面設定によって科学的な思考力を高める授業実践	
—東京都における中学校の実践事例について— (牧野 崇)	11
(2) 山形市における中学校の実践事例について (大沼 康平)	13
(3) 『人と人とのつながり』を大切にした放射線教育と郡山市放射線教育推進 委員会の取り組みについて (佐々木 清)	15
(4) 大阪府における放射線教育 ～各学年の放射線学習の実践例～ (北畑 謙一)	17
(5) 中学校理科 エネルギー資源(放射線を含む)の指導の在り方についての考察 — 教員研修と過去の授業実践を基に — (羽澄 大介)	19
(6) 新教科書による授業づくりを考える (畠山 正恒)	20
公開パネル討論「今やる、放射線教育Ⅲ」を開催して (宮川 俊晴)	21
放射線教育フォーラムニュースレター No.64 に掲載	

パネル討論 3(1)

長崎市の中学における放射線教育の実践事例について

Example Lessons on radiation in junior high school in Nagasaki City

長崎市立東長崎中学校

○前田 幸司*

(MAEDA, Kouji)

1. はじめに

私たちの生活にエネルギーは欠かせない。また、エネルギー消費量は、私たちの生活が便利になるにつれ、急速に増えてきた。私たちが家庭で使っているエネルギーの約半分が、電気エネルギーであり、そのほとんどが水力発電、火力発電、原子力発電から得られている。火力発電や原子力発電に使うエネルギー資源には限りがあり、またほとんどを輸入に頼っている。また、太陽光発電や風力発電では、天候に左右される面がある。そのように、それぞれの発電には長所もあれば短所もある。それらを踏まえ、これからのエネルギーについて、どのように考え、どのようにしていくかを考えていく態度を育成することはたいへん重要である。ここでは、中学校3年理科の単元「地球の明るい未来のために ～自然と人間と科学技術～」で実践したことを発表する。なお、放射線教育については、原子力発電の学習の中で、放射線とは何か、放射線のからだへの影響等にふれ、行った。

2. 指導計画

- | | |
|---------|---|
| 第1時 | ・・・①私たちの暮らしとエネルギー |
| 第2時 | ・・・②電気エネルギーのつくり方
○水力発電
○火力発電 |
| 第3時、第4時 | ・・・ ○原子力発電
・長所、短所
・原子力発電のしくみ
・放射線・放射能とは何か
・放射線のからだへの影響
・福島第1原子力発電所の事故について
・使用済み核燃料について
・高速増殖炉について
・放射性廃棄物問題について |
| 第5時 | ・・・ ○太陽光発電
○風力発電
○地熱発電
○バイオマス発電 |
| 第6時 | ・・・③これからのエネルギーについて（ベースロード電源をどうするか）
④地球温暖化について |

3. 成果と課題

これは、昨年度義務教育最後の中学3年の1月下旬から2月上旬にかけて行った実践である。つまり、すべての生徒にしっかりと考えてほしいという思いで行った授業である。しかし、入試が始まっており、じっくりと時間をかけることが難しい面があるのも実情である。成果については、生徒たちの授業を受けてからの感想等があれば詳しく分析ができると思われるが、感想はとっていない。ただ、授業中の生徒の様子では、真剣に話を聞いている生徒が多く、この問題についてしっかりと考えていかなければいけないと思う生徒も多かったのではないかと感じられた。また、原子力発電の再稼働についてのニュースやベースロード電源についての政府の考え等も新聞記事に載っている。そのような記事にも関心を高めさせ、自分の考えをしっかりと持てるようにしたいと考えている。

* Higashinagasaki Junior High School

(出典：第52回アイソトープ・放射線研究発表会要旨集, p.190-197(2015))

パネル討論 3(2)

東京都の中学校における実践事例について
～義務教育で放射線を学ぶことの意味～

Practice report junior high school in Tokyo

The significance of learning about radiation in compulsory education

世田谷区立千歳中学校 主幹教諭

○青木久美子
(AOKI, Kumiko)

1. はじめに

中学校では2012年度（平成24年度）から、理科の学習指導要領がエネルギーや環境のまとまりで構成され、これに基づいた学習が進められている。中学校ではエネルギーとしての学習は3年生の学習内容であるが、継続的に学習する必要があると考え、エネルギー概念の形成をねらいとして、放射線教育、環境教育を取り入れた指導計画の開発と提案を行っている。

2. エネルギー・環境教育の中の放射線教育の実践

東日本大震災、原子力発電所の事故があり、エネルギーだけではなく、地震、防災など教科書の編集時の記載事項では、「どのようなことがおきたのか。なぜそうなっているのか。もっと知りたい」という生徒の学習への興味や関心に十分こたえることは難しい。2011年度は震災直後であり、節電、放射線についての記事が多数掲載されたので、以前から行っていた新聞記事を使ったエネルギー環境教育の手法を使って、情報の取得方法として例示した。また、中学校2年生では、粒子の学習（原子、分子）や電力（電子）を学習する時期に合わせて、学習の発展として放射線の測定と遮蔽についての実験を行った。ここでは、実験や観察を行うことで放射線について関心を持つことと、記事に対する自分の考えをまとめることで放射線について知識として身につけることを狙いとした。学習後の生徒の記述によるアンケートから、「放射線の利用と人体について、（自然界にある放射線、日常生活での利用と影響について）」「説明できる」「だいたい説明できる」と約5割の生徒が回答しているが、「核エネルギーに関わる用語（放射線の種類と単位など）について」「説明できる」「だいたい説明できる」と回答した生徒は3割であった。中学校2年生には知識として理解はできるが、単位や放射線の種類等についての説明は難しいと言える。

現在（2015年）中学校3年生の理科で放射線について学習している。放射線教育における指導者の意識調査を、世田谷区立中学校教諭を対象として記述によるアンケートで実施した。放射線についての知識や理解を促進させる内容については多く時間が割かれているが、「身近な放射線量の測定」のような実験や観察の実施は約3割であり、外部からの支援として、「実践に役立つ情報のデータベース化」、「企業や専門機関の施設の開放」、「教師に対する研修機会の提供」の順に挙げられている。現行の学習指導要領から放射線についての学習が中学校3年生で始まったため、教科書によっての内容の扱いのばらつき、実験器具や補助教材の不十分な整備状況、指導者としての教諭の経験や研修の不足を示している。

3. これからの放射線教育に期待すること

学校教育での学習後に知識を確認したり活用したりする場面を想定し、自分で調べ資料からの読み取りや、多様な考えや内容について検証をすることができる力の育成を理科での科学的思考力の狙いとしている。具体的には、平易な言葉で書かれている読み物資料（小学校高学年から自分で学習できる教材：「放射線ってなあに」国立研究開発法人科学技術振興機構、）を使用し、霧箱の作成や遮蔽実験を行い、実感を伴った授業を実施している。これには、実験機器や補助教材の整備とともに、放射線教育を実施するための教諭のスキルアップ研修（エネルギー・環境理科教育推進研究所開催のリーダー研修、教育委員会主催の研修等）、放射線教育のデータベース（公益財団法人日本科学技術振興財団放射線教育支援サイト“らでい”、公益社団法人日本アイソトープ協会、一般財団法人日本原子力文化財団等）の利用と拡充が望まれる。最後に、義務教育の中学校では、知ることや調べる方法について様々な体験を充実させ、教科の枠で閉じられるのではなく、生徒の興味や関心や保護者や地域の考えに配慮し、生涯にわたり関わっていく態度を養うESDの視点からの取り組みが、エネルギー・環境教育の推進には必要であると考えている。

Chitose Junior High School

パネル討論 3(3)

桑折町の中学における実践事例について

～放射線について正しい知識を身に付け、科学的根拠をもとに判断し、行動できる生徒の育成～

Practice report junior high school in Koori Town

～Raising students who have correct knowledge about radiation, and are capable of making decisions and acting on the basis of scientific evidence. ～

福島県伊達郡桑折町立醸芳中学校

○齋藤 勇雄
(SAITOU, Isao)

1 本年度の方向性

本県では、放射線等の基礎的な性質についての理解を深め、心身ともに健康で安全な生活を送るために、自ら考え、判断し、行動する力を育成することが求められている。しかし、本校における放射線教育の実態を以下のように3つの視点で振り返った結果、いくつかの課題が明らかになった。これらの課題の解決に向けて、「放射線教育の指導の重点（福島県教育委員会）」を踏まえた放射線教育を推進し、将来にわたって放射線と向き合い、放射線のリスクを低減して健康に生きていく力を身に付けさせたいと考える。

2 本校における放射線教育の実態

(1) 地域の実状

自治体の対応で、校舎・校地、通学路などの除染は早期に実施された。また、本校の学区には果樹や稲作を中心とする農家が多い。これまでに、農地の除染や放射能の検査体制を構築するなど放射性物質を低減する対策が取られてきたが、食や日常生活に対する不安は払拭されていない。

(2) 生徒の実態

全校生徒を対象としたアンケート調査から、放射線等に対する関心度や知識量については生徒の個人差が大きく、既に学習した内容についても、十分に身につけていないなど、放射線と向き合って生活している当事者意識が、全体的に低いことが明らかになった。

(3) 放射線教育への取組

「中学生のための放射線副読本（文部科学省）」を基に、学級活動と理科で放射線教育を実施した。しかし、理科担当以外の教員から、知識や指導法について戸惑いの声が聞かれた。

3 「放射線教育の指導の重点（福島県教育委員会）」と本校の実践とのかかわり

放射線教育の指導の重点	テーマにせまるための手立て～指導の重点を踏まえて～
1 学校や地域の実状及び児童生徒の実態に応じた指導計画及び指導内容を工夫し、実践する。	教科の専門性を生かした放射線教育を推進するため、放射線教育を教科等と関連させ、理科、社会、技術・家庭(家庭分野)、学級活動の年間指導計画に位置付け、学校全体で組織的、計画的に取り組む。 放射線に対する関心の低下や農業が盛んな地域性を考慮し、知的好奇心を刺激する地域に根ざした指導内容を工夫する。
2 放射線等の基礎的な性質について身に付けさせ自ら考え、判断する力を育む指導方法を工夫する	理科と他教科の教師が連携し、T Tで指導する。放射線等の知識に関する指導は理科の教員が担当し、そこで得た知識を、科学的な根拠として他教科で取り上げるなど、教科の専門性を生かす場面を効果的に設定することにより、自ら考え、判断する力の育成を図る。
3 放射線から身を守り、健康で安全な生活を送ろうとする意欲と態度を育てる。	放射線の利用、または健康への影響について、自らの生活と結びつけた授業を展開することによって、放射線と向き合っていることを実感させ、放射線のリスクの低減に向けて行動できる生徒の育成を図る。

4 実践

【実践事例1】平成25年度（理科-技術・家庭）

内部被曝についてイメージを深め、「食」の視点から自らの健康と安全について考えさせるために、理科と技術・家庭（家庭分野）を連携させた授業



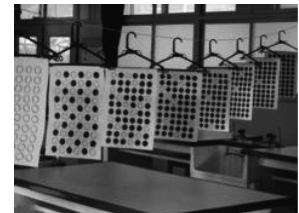
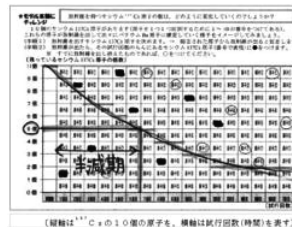
場面 1 視覚的な情報だけで食品を選択させた後、放射性物質に留意して食品を選択する必要性に気付かせ、課題意識を持たせる場面

鍋ものを作るという設定で、生徒全員に産地等の情報のないダイコン3種とシメジ3種から、それぞれ1つずつ選ぶよう指示した。(技術・家庭「食品の選択」と関連)数人の生徒に、食品を選んだ理由を発表させた。

場面 2 食品を選ぶために必要な、放射線等についての知識をもたせる場面

自分たちの住む自治体の半年毎の環境放射線量の変化をグラフで示し、次第に低下している理由に注目させることで、放射線の減衰について学習する導入とした。

- ・「ビンゴマシン」でのモデル実験
- ・「ハンガーを取り付けたモデル図」
- ・放射性の原子が壊変する、具体的なイメージをもつ。
- ・体内に取り込んだ放射性原子が、蓄積または排出されるイメージをもつ。



場面 3 本時の学習内容を生かし、食品の放射能検査の基準をもとに、科学的根拠に基づいて食品を選択させ、学習のまとめに至る場面

- ・放射性物質をなるべく取り込まない。
- ・速やかに排出する。
- ・バランスのとれた食事をする。
- ・免疫力、抗酸化力を高める。

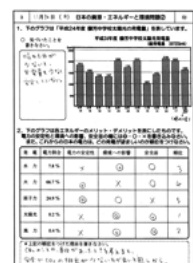


【実践事例 2】平成 25 年度(理科-社会)

新エネルギーの可能性を知り、日本の未来のエネルギーと環境問題について考えさせるために、社会と理科を連携させた授業

場面 1 毎時使用している予習プリントを工夫することで、自分の考えをまとめたり、考えの根拠を明らかにしていく場面

初めは、資料から読み取れる内容だけを書き込んでいるが、徐々に自分の考えや根拠を明らかにした内容が見られるようになった。また、本時を見据え、教師が意図的に作成した予習プリントにより生徒に基礎的・基本的内容を身に付けさせたり、考えさせたりする点では大変有効であった。



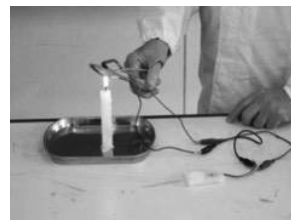
場面 2 理科の視点から、放射線活用についてのメリット・デメリットについて説明したり、新エネルギー(太陽光、熱電素子)の実演を行う場面



授業の様子



太陽光発電実演



熱電素子実演



熱電素子器具

一般家庭の電気1年分の発電に必要な燃料」と「資料：各電力の二酸化炭素排出量」の2つを例にとり前時まで学習した発電方法のメリット・デメリットについて確認する。

- 二酸化炭素…地球温暖化
- 原子力…放射線という目に見えない恐ろしい物が出ている。

新エネルギーといわれる発電方法のメリット・デメリット

- 二酸化炭素を出さない。
- 発電の安定性

【実践事例3】平成26年度（理科-学級活動）

放射線等の性質を理解した上で、健康で安全な生活について、自ら判断し、実践していけるようにするために、学級活動と理科を連携させた授業

場面1 郷土のよさに気付かせ、放射線と向き合う必要性を認識させながら、課題意識をもたせる場面

原発事故から3年経ったことについて触れ、福島県の放射線量が減少してきていることを伝え、過去にとらわれるのではなく、今後（将来）の生活の仕方について考える、学習課題を提示した。

原発事故から3年経ったことについて触れ、福島県の放射線量が減少してきていることを伝え、過去にとらわれるのではなく、今後（将来）の生活の仕方について考える、学習課題を提示した。



場面2 自分たちの住む自治体の現状を確認し、放射線の性質等について振り返りながら、これから自分の生活の仕方について自ら判断し、考えを伝え合う場面

自分たちの住む自治体の放射線量の変化を電子黒板等を活用しながら数値で示し、数値が減少していることを確認した。また、放射線と健康の関係について確認し、放射線量の現在の状態を説明した。

これまで学習してきた放射線の性質等について、振り返り、自分たちが挙げた方法が理にかなっているのかを各自に考えさせる。

〈放射線の性質等を表すキーワード〉①半減期 ②遮へい（さえぎる）③距離④ 外部・内部被ばく

町役場	桑折町 公民館	聯合 公民館	伊達崎 公民館	半田 公民館
0.59	0.56	0.55	0.69	0.58
0.57	0.54	0.55	0.69	0.58

現在 単位:μS (マイクロヘルト/時間)

町役場	桑折町 公民館	聯合 公民館	伊達崎 公民館	半田 公民館
0.11	0.22	0.19	0.20	0.13
0.11	0.24	0.20	0.20	0.12

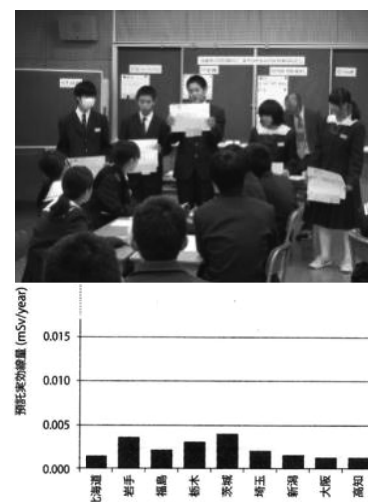
単位:μS (マイクロヘルト/時間)

場面3 放射線の性質等を基にしながら、科学的根拠に基づいて放射線と向き合う方法を選択し、学習のまとめを行う場面

厚生労働省 HP から「食品からの放射性物質の摂取量の測定結果」のグラフを示しながら、食品の安全性に触れた。また、除染や食品の放射能検査など、自治体の取組を知らせ、個々の考えの補足や情報を手に入れる手段、定期的に確認していくことの重要性について確認した。（作物によっては、福島県産より他県産の方が線量が高い場合もある。）

〈生徒が選んだ方法と主な根拠〉

- ・ガラスバッチ。 →被ばく量がわかる。
- ・マスクをする。 →口や鼻から放射性物質が入るから。
- ・手洗い、うがい。 →外側についたものははらったり、洗ったりすると落とせるから。



【実践事例3】平成26年度（理科-保健体育）

放射線に関わるストレスの対処について適切な対処法を考えさせ、見つけることができるように保健体育と理科を連携させた授業

場面1 現在の日常生活に影響している放射線について、感じていることを共感させてストレスとの関係を意識させる場面

放射線が関係するストレスに対して、科学的根拠をふまえながら授業を進めていくことを知らせ、学習課題を提示した。



場面2 放射線のストレスに適切に対処するための具体的な方法をグループで考える場面

一般的なストレスに対する対処法について助言する。

- ①現状を正確に把握して解決策を考える。②信頼できる人に相談する。
③ストレスが関係して分泌されるホルモン（コチゾール）の消費には、運動が効果的である。④適度なストレスは発育発達を促し、心を強くする効果がある。

放射線に対する今までの経験から、具体的な方法を話し合うように促す。
過去の経験をお互いに出し合いながら、説明や質問をする姿がみられた。



場面3 霧箱を使って放射線が身近に存在していることを知らせるための
演示実験を行う場面（数値を使わず、放射線量を体感させる）

霧箱による観察（OHC-電子黒板を活用）

通常の大気、鉱物、ランタン

放射線測定器（カウントの数字よりも、音の回数で量の違いを知らせる）
霧箱の様子と音の回数が一致



場面4 放射線によるストレスの対処法の一つとして桑折町の取り組みについて説明を聞く場面

放射線の性質から、桑折町では、どのような放射線対策を行ってきたのか、醸芳中学校という学校生活の場での例を取り上げて紹介する場面を作り上げた。放射線測定器を活用し、放射線の性質に対応した手段をとっていることを一人一人が把握できる場面を作り上げた。



場面5 放射線に関わるストレスへの対処について、適切な対処方法を見付けることができたかを確認し、学習のまとめを行う場面

〈生徒がまとめた主な理由〉

- ・放射線を体内に取り込まない工夫をする。
- ・放射線量の高い場所に近付かない。
- ・ホールボディーカウンターで現状を知る。



5 まとめ

【視点1】学校や地域の実状及び生徒の実態に応じた指導

- （1）放射線教育と教科等との関連を図る、年間指導計画
（2）農業が盛んな地域性、生徒の放射線に対する関心の低下を考慮した指導

【視点2】教科の専門性を生かす場面の、効果的な設定を意図したT Tでの指導

- （1）各教科担任が、それぞれの専門性を生かした授業を行うことによって、教師と生徒の間で確かな信頼感が醸成され、教師が自信を持って指導に臨むことができた。
（2）理科が関わってT Tで指導を行ったことにより、理科で得た知識や技能を他教科で活用する場面を1単位時間の中で直ちに設定でき、学習効果が高まった。

【視点3】放射線のリスクの低減に向けて行動できる生徒の育成

- （1）本実践を通して、科学的な根拠に基づいて自ら判断し、選択または行動する経験ができた。
（2）この経験を応用し発展させていくためには、放射線のリスクを低減するための行動を将来にわたって継続していくことが大切である。今後も、いかに関心を持ち続けさせ、判断し、行動させていくのが大きな課題である。

Koori Town JOHO Junior High School

パネル討論 3(4)

徳島県の中学校における放射線教育の実践 Radiation Education in Junior High School of Tokushima Prefecture

徳島県立城ノ内中学校

○紅露 瑞代
(KORO, Mizuyo)

1. はじめに

平成 23 年の東北地方太平洋沖地震発生による東京電力福島第一原子力発電所の事故により、国民の放射線や放射能、放射性物質への関心や不安が高まっている。平成 20 年度改訂の学習指導要領によって中学校理科の内容が、科学技術と人間、エネルギーと環境、など現代的な諸課題について総合的な見方を育てる学習へと発展させる構成となるとともに、約 30 年ぶりに放射線の内容が追加された。また、環境教育の充実の観点から、「自然環境の保全と科学技術の利用」の単元が必修となった。

筆者は平成 27 年 2 月、放射線教育推進リーダー講習会のため福島を訪れ、福島で生活する人々、廃炉に向けた取組に対する人々の思いの一端に触れた。中学生が将来廃炉に向けて関わる可能性があることを考えると、義務教育を通じて放射線の基礎的な性質の理解を深め、自然環境の保全や科学技術の利用について科学的に思考・判断することは重要である。その学習経験が、持続可能な社会の構築に向けての思考力や意志決定できる力の育成につながると考えた。

2. 中学校学習指導要領理科改訂前後での指導計画の比較

平成 20 年度（中学 3 学年実施）		平成 27 年度（中学 3 学年計画）	
校時	1 分野での学習内容	校時	領域：エネルギーでの学習内容
秋休み	個別課題学習（必須課題：火力発電 選択課題：様々な発電）	1	東北地方太平洋沖地震後の課題と理科学習の有用性
1	予想・期待される日本の電力	2	予想・期待される日本の電力
2	日本の現状と発電の長所・短所	3・4	日本の現状と発電の長所・短所
3	化石燃料の利用	5	放射線の性質
4	新しいエネルギーとその長所・短所	6	放射線の測定
5・6	発電所による出前授業	7	放射線の遮へい実験
7・8	橘湾火力発電所での見学	8	放射線の利用
9	資源の有効利用と環境に配慮するための科学技術	9	エネルギー資源の有効利用と自然エネルギーの開発
10	電磁誘導を利用した発電	10	予想・期待される日本の電力
11	予想・期待される日本の電力	11	予想・期待される日本の電力の共有化

3. 生徒の実態

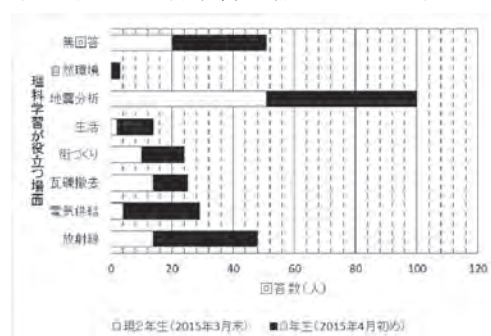
本校中学 2・3 年生を対象に、東北地方太平洋沖地震後の日本の課題と理科学習の有用性を自由記述させた。その結果、2 年生の約 44%、3 年生の約 41%が「地震の学習」が防災に役立つと回答した。「放射線の学習」が原発事故の解決に役立つと回答した 2 年生は約 12%であったのに対し、3 年生は約 29%であった（右図）。

「地震」を回答した生徒が多かったのは、徳島県が次期南海トラフ地震の発生に対する懸念を抱えているためであると考えられる。「放射線」の回答割合について、3 年生が 2 年生の 2 倍以上となったのは、授業によって電気や発電等の発問に対する既習内容が増えたことで、総合的な見方が育まれたためと考えられる。

4. 本実践の今後の見通し

生徒の実態を踏まえ、5 月下旬より学習する中学 3 年生の物質領域（化学分野）での学習内容が前述の指導計画を実施する際の土台となるよう定着を図る予定である。実践の詳細はパネル討論の場で報告する。

Tokushima Prefectural Johnouchi Junior and Senior High School



パネル討論3(5)

新しい中学校理科検定済教科書に見られる放射線記述の傾向 The description of radiation in a new junior high school science authorized textbook

聖光学院中学校・高等学校

○畠山 正恒
(HATAKEYAMA, Masatsune)

1. はじめに

現在の中学校学習指導要領は平成20年に告示され、教科書は平成22年に検定が行われ平成24年より使用されている。今回はそのマイナーチェンジ版で、平成26年に検定が開始され今年5月にその内容が明らかになった。今年度は各地域の実情に合わせて使用教科書が決定され、平成28年より使用される。ここでは中学校理科教科書がどのように変わったかを紹介し、記述の傾向や問題点について考察する。なお、平成24年を境にして教科書は第一分野・第二分野各上下の4分冊から、各学年対応の3分冊に変わっている。

2. 新教科書の特徴

どの出版社もページ数が1割程度増している。本文はもちろんであるが、それ以上に欄外の補足説明や発展が増加している。T社の3年生用教科書は総ページ数が272ページから314ページまで増加し、発展項目は33カ所になり、従来より10カ所の増加である。さらに、文字のポイントが小さくなっている箇所が多く、実際の量は大幅に増えている。

また、各分野とも高校への繋がりが重視され、特に防災・減災教育と放射線教育への対応が図られている。T社の編集方針は①学ぶ意欲が高まる。②科学的に考え、表現する力を育てる。③学力の底上げ。となっている。従来より詳しい内容であることに価値を持たせた編集である。放射線は3年生に置かれているが、授業時間数に変化がないことからすると、新教科書のどこまでを教えられるかという、教師にとっても生徒にしてみても過酷な授業が展開しそうである。

3. 放射線の位置付けと記述

いずれの教科書も原子力発電からの派生事項として放射線を記述している。電磁波としての放射線や放射性物質と言った物理的・化学的なものの見方から記述されていないことが特徴

単元5 地球と私たちの未来のために	
第1章 自然の中の生物	
第2章 自然環境の調査と保全	
第3章 自然の恵みと災害	
第4章 科学技術と人間	
1 科学技術の発展	
2 エネルギー資源の利用	
3 放射線の性質と利用	
	放射線の種類
	放射線の性質とその利用
	放射線の人体への影響

である。これが日本では「科学」ではなく「理科」という教科名になっている証明である。左の例はT社の単元構成である。この様な章立ての流れの中で放射線は語られているのである。

また、T社の放射線についての記述は、新教科書（左下図）と現行教科書（右下図）に示した。用語数、内容共に圧倒的な違いがあり、現在の延長で授業が行えないと考えるのが自然であろう。高校物理でもここまで学習するのは希である。

本文中の太字	本文以外の用語	
放射線	CT	
放射性物質	PET	
放射能		
ベクレル(Bq)	電磁波	時間による防護
X線	紫外線	遮蔽による防護
γ線	可視光線	人工放射線
α線	赤外線	自然放射線
β線	電波	被ばく
中性子線	グレイ(Gy)	汚染
シーベルト(Sv)	半減期	

本文中の太字	本文以外の用語
放射線	α線
	β線
	γ線
	X線

4. 今後の課題と対応

新教科書に沿った放射線関連の内容を理解している教員は少数である。理科を暗記科目にしないためには、関連諸氏の教員や生徒への継続的なサポートが必要である。ご協力をお願いしたい。

Seiko Gakuin high school

されていない。5)では、 C_{60}^{q+} ($q=1\sim3$) クラスターイオンをアモルファスの S_iN 薄膜に照射して生成された円柱状イオントラックのコア半径は、Au や Ar によるコア半径よりも大きい、電子的阻止能はむしろ両者よりも小さいことから、核的阻止能が関与しているのではない、という指摘があった。6)では、同じ加速電圧でも粒子数が多いとイオン速度を低くできるという優位を活かしたクラスター SIMS (二次イオン質量分析) 法が紹介された。粒子数 1,000 以上のガスクラスターを用いて、スパッタリングによって発生する有機多層膜や生体高分子からの二次イオンを質量分析して、質量イメージングや生体組織のイメージングが光学顕微鏡に近いレベルにまで可能になりつつある。これは、スパッタリングのしきいエネルギーが小さくなるためである。

講演の後にパネル討論に移った。応用面では低速クラスターの利用が先行している。高速クラスターでは、加速エネルギーの上昇に伴って電子的阻止能を増大させる新たな励起モードでのクラスター効果が期待できるほか、高速クラスターに特有の電子励起メカニズムの解明、弾性衝突の寄与の評価に加えて、ビームの高強度化と配向制御など技術開発による応用への期待も大きかった。

(岡山理科大学理学部)

パネル討論 3

北から南から福島を踏まえた放射線教育の全国展開Ⅲ

高畠 勇二, 宮川 俊晴
Takahata Yuji Miyakawa Toshiharu

7月10日(金)東大弥生講堂にて、約90名の参加者を得て開催された題記パネル討論会の概要を報告する。

はじめに、以下の4つの実践報告と1つの新教科書に関する発表があった。

(1) 前田幸司先生(長崎市立東長崎中)

3年の3学期に6時間のエネルギー授業として、3,4時限目の原子力発電の中で、放射線の基礎的知識、からだへの影響などを扱った事例が報告され、真剣に受け止めていたと生徒の手応えを語った。各時間の授業内容をとても丁寧に紹介された。

(2) 青木久美子先生(世田谷区立千歳中)

世田谷区の中学校の授業の実践状況のアンケート結果からの課題を紹介しながら、継続的な授業が必要であり、2年でも粒子の学習(原子、分子)や電力(電子)の学習に合わせて発展として、放射線の測定と遮蔽の実験を行った事例が報告され、はかるくんなど利用法に改善が要望された。

(3) 齋藤勇雄先生(福島県桑折町立醸芳中)

農業生産者と消費者が半々の環境にある学校として生徒の放射線に対する関心や知識に個人差が大きい中で、知的好奇心を刺激するために、学級活動や理科、更には、社会、技術・家庭、保健体育でチームティーチングとして、放射線リスクを一層下げる方法を考えさせる学校として総合的に取り組んだ報告であり、継続が重要と結んだ。

(4) 紅露瑞代先生(徳島県立城ノ内中)

中学校学習指導要領理科改訂前の実践では、地元火力発電所を題材にエネルギー環境の授業を行い、未来の電源構成を考案させる中で原子力発電の長所・短所にも触れた。今年2月に行った福島第一原子力発電所への自身の視察経験を踏まえ、平成27年度は、放射線教育の充実に配慮し、エネルギーを扱う単元で放射線の性質や利用、測定、遮蔽実験などの授業を行う予定である。

(5) 畠山正恒先生(横浜市聖光学院中・高)

検定合格した全国5社の来年度からの中学理科新教科書は放射線の記述が充実したが、限られた時間数での授業における課題と留意点について発表があった。

その後、筆者(高畠勇二)の司会で、会場参加者も交えて、①具体的な授業法、補助教材・実験機材、②外部支援の在り方と可能性のテーマでパネル討論が行われた。

補助教材については、齋藤先生から福島県教委が作成したビデオ教材が紹介されたほか、“サイエンスウィンドウ”、“放射線教育支援サイトらでい”、日本アイソトープ協会の放射線教育資料（PPT）などの活用が論じられた。司会者から、新教科書に対応して必要な改訂の要望が関係者に出された。

教員の研修に関して青木先生から、霧箱の工作などの体験研修が好評であるが、多くの先生が生徒と一緒に実験をやり、考えていける研修内容の要望があった。

次に、司会者から放射線の授業目的には、①将来のエネルギー選択のため、②福島復興③放射線を夢ある社会を切り拓くためのサイエンスと、大きく3つの方向が実践されている現状にあり、時間数が限られる現状からは、放射線の記述が充実することを歓迎するも、現場の先生には精選が必要であると解説があった。

会場からの「中学の放射線授業はどこまでやるのが適切か」との問いに、司会者から指名された紅露先生は、五感に感じない放射線を生徒に実感させることの重要を指摘し、霧箱の観察や簡易測定器による自然放射線の測定が有効

であると話された。また、高校で学習する理科の科目は選択制となることから、高校の学習内容との系統性を検討し、中学校での放射線授業の在り方をこれからも探究して行きたいと発言された。

司会者からも、福島県の学校との交流でも自然界の放射線が存在を理解する重要性に対して同意が述べられた。

また、授業方法は今後とも各地の研究会の活動で充実させていくことが示唆された。福島の経験を世界に貢献できる形に発信することの重要性も会場から発言された。

以上、活発な討論が展開されたが、放射線の記述が充実した新教科書に対して、更に関係者が協力し合い、具体的な授業計画が立案、実践されることが重要であり、専門家もあらゆる場面でそれを支援することが期待されている。関係者に引き続き強力なご支援をお願いするとともにご参加の皆さんには心からの謝意を表し、報告としたい。

（エネルギー・環境理科教育推進研究所/
全国中学校理科教育研究会顧問、
放射線教育フォーラム/日本原燃(株)）

意思決定の場面設定によって科学的な思考力を高める授業実践

牧野 崇

1. はじめに

中教審の答申に基づき新学習指導要領では、全教科で言語活動の充実が重点として示されている。理科では、言語活動によって科学的な思考力などを高めることが求められる。言語活動の充実も必要であるが、言語活動を取り入れることにより、理科としての能力を高めることが目標である。第1分野「(7) 科学技術と人間」では、理科の中でも価値観を伴う内容がある。

「新エネルギーの利用と環境への影響」「原子力の利用とその課題」などの「テーマを設定」「調査結果を分析して解釈」、「発表や討論」等をさせる。「指導に当たっては、設定したテーマに関する科学技術の利用の長所や短所を整理させ、同時には成立しにくい事柄について科学的な根拠に基づいて意思決定を行わせるような場면을意識的につくることが大切である。」と学習指導要領解説に示されている。

本研究では、生徒それぞれが科学的な根拠に基づいて判断し、理解を深めることができるような展開を目的とした。エネルギー資源についての課題を提示し、ディベート手法を用いた話し合い活動によって、メリット・デメリットを整理させ、科学的な根拠に基づき意思決定を行わせる場面をつくった。さらに、授業の最後に『日本の今後のエネルギーについてどうあるべきと考えるか』意思決定を求める場面を設定した。本研究の実践を通して、「ディベート手法を導入することの有効性」「意思決定の場面を設定することの有効性」について明らかになったことおよび評価について報告する。

2. 指導の実際

割り振られた発電方式が最良であることの科学的な根拠を示すことが必要となる。学習指導要領解説にあるとおり、分析・解釈させる際には、「科学的な根拠をもって」「判断させ」るなどして、「論理的な思考力」等を育成する。

指導計画（6時間）：学習の流れを表に示す

	学習の流れ
第1次 (1時間)	趣旨説明，チーム分け（A～Dの4チーム）， 課題の提示「風力発電・太陽光発電・火力発電・原子力発電のうち，どの発電方式が今後の日本にもっとも有効か（4チームに割り振る）。」 <情報収集と提示資料作成> 話し合いで決めること ①立論の準備・提示内容 ②反対尋問をするための質問の準備（相手のデメリットも調べる） ③反対尋問をうけるための回答の準備（こちらのデメリットも調べておく） ※資料作成の状況によっては2時間の展開
第2次 (3時間)	Aチーム対Bチームの討論（C，Dは審判） ←意思決定の場面 Cチーム対Dチームの討論（A，Bは審判） ←意思決定の場面 上記討論（第2次）の展開 ①A（ex.太陽光発電）チームの立論。（3分） ②B（ex.風力発電）チームの立論。（3分） ③尋問の打ち合わせ。（7分） ④Aチームへの尋問と回答。（7分） ⑤Bチームへの尋問と回答。（7分） ⑥最終弁論の打ち合わせ。（3分） ⑦Aチームの最終弁論。（3分） ⑧Bチームの最終弁論。（3分） ABの勝者対CDの勝者の討論（短時間） 「エネルギー資源の今後の利用についての自分たちの考え」をチームごとに話し合い，発表。
第3次 (2時間)	アンケート・自己評価 話し合いの場面で「チームでの話し合い活動に積極的に参加できたか」「チームで自分の考えを述べることができたか」「チームで他の人の考えをしっかりと聞くことができたか」，討論の場面で「自分たちの結論をしっかりと述べることができたか」「自分たちが結論に至った理由をしっかりと説明できたか」「相手の質問にしっかりと答えることができたか」，授業後に「発電についての理解が深まったか」 作文 『日本の今後のエネルギーについての自分の考え・どうあるべきと考えたか』 ←意思決定の場面 討論の振り返り後，冊子等を用い，思い込みが無いようクラス全体で正しい認識をしていく。

3. 実践の成果と課題

(1) ディベート手法を導入することの有効性

討論の際、想像した以上に多様な見方や考え方で課題の解決に迫っていた。予想されたのは、コスト・効率、可採年数、環境への影響、二酸化炭素の排出量、安全面などがあるが、このほかにも、コントロール（出力調整）のしやすさ、建設費、メンテナンスや設備費などに複数のチームが触れていた。それだけでなく、建設の際にも二酸化炭素を排出していることを指摘するチームもあり、多くのことを調べ判断材料としていることがわかった。これらの多くは相手のデメリットを調べる過程で出ていた。ディベート手法を導入したことで、生徒の側から自然にそういったことが出たことが成果である。個々で集めた情報をチームで吟味する過程で、誤った情報は自然と淘汰され、メリットやデメリットを科学的に正しく判断することができていた。

この單元では、一つの発電方式をテーマに調べ学習を行うという展開がよくあるが、最初に選んだ資料を鵜呑みにして、科学的に正しい情報かわからないまま発表することになってしまうことも多い。しかし、この研究授業では、討論の過程で多面的な情報が明らかになるので、より科学的な見方や考え方に自然に変化していったことも成果である。

(2) 意思決定の場面を設定することの有効性

意志決定の場面は2通りある。1つは、討論のときである。「弁論」や「尋問」を行うにあたり、より有利に伝わるように短時間に話す内容を決めなければならない。もう1つは、討論の振り返るため『日本の今後のエネルギーについての自分の考え・どうあるべきと考えたか』というテーマでまとめの作文を書くときである。

まずは、討論のときにチームで意思決定を行う。チームで活動させることで、ほぼ全員が課題意識をもって授業に参加することができた。特に尋問に対しては、短時間で科学的な根拠のあることを正しく回答しなければなら

らず、短い真剣な話し合いがもたれる。この尋問に対する回答の小さな意思決定が、授業の最後の「日本の今後のエネルギーについてどうあるべきと考えるか」という意思決定に活きる。一方、作文のときは個人で意思決定をすることになる。自己評価でも授業参加への積極性について「そう思う」「ややそう思う」と9割以上の生徒が回答していたのは、この2通りの意思決定の場面を連続して設定したことの表れだと思われる。教師による授業観察やまとめの作文の記録を読んでも、ほぼ全員が関心・意欲・態度の観点で「十分満足する」というA評価に値する結果である。

科学的な思考・表現の観点ではどうか。「授業前の情報の無い状況での支持する発電方式」「調べていくうちに支持するようになった発電方式」「授業後に最良と考える発電方式」とそれぞれの支持した理由を書かせ、学習過程における内容の深化も評価の材料とした。検証すると、生徒・チームそれぞれが考えたことによって、結論が一つの発電方式に収束せず、クラスによって多く支持されるものが異なった。例えば、コンバインド・サイクルを前面に出したチームのあるクラスでは、火力がやや優勢となった。教え込みではなかなか出てこない見方や考え方である。作文の記録からも明らかになったのは、授業の最後に意思決定の場面を設定したことで、授業を振り返り、科学的な根拠に基づいて深く考え、多様な結論が出されていることである。科学的な見方や考え方の深まりをみることができたのは大きな成果であった。

ディベートでは事前の情報の共有化が十分でないと、尋問に上手に回答できない。一度経験すると、2回目以降の討論またはそのための情報収集の過程が充実する。チームでの話し合いの活性化が望めるので、できれば第1学年のうちから取り入れ、実践を積み重ねていけるとよい。原発の事故をうけ、今後の日本に最も有効な新エネルギーについての話し合いを取り入れていきたい。

山形市における中学校の実践事例について

山形大学附属中学校 大沼 康平

1. はじめに

山形県内には放射線等の影響のため、隣県から避難してきている生徒がいる。これまでに、放射線は「危険」か「安全」か、原子力発電は「必要」か「不必要」か、生徒と話す機会が幾度となくあった。その中で感じたことは、意見の根拠がテレビ等の情報のみによるものであり、放射線についての正しい知識に欠け、自分の意志で考えていない部分があるということである。

今、将来を担う子ども達に求められていることは、放射線は危険か、安全か、必要か、不必要かという二元論的な考え方ではなく、自分たちの力で状況を変えたり、自らの命を守る術を身に付けたりする素地を育むことだと考える。そこで私は、授業を通して放射線についての正しい知識を得ることにより、生きていく中で、どのようにして放射線と付き合っていくか、科学的な認識に基づいて自らの行動を決定する判断力を身に付けさせていきたいと考えた。

2. 単元指導計画

今回、中学校二年生の「化学変化と原子・分子」を学習した後に、放射線教育に関する授業実践を行った。単元の指導計画は次のとおりである。

学習活動（時数）	目指す生徒の姿	教師の手立て
1. 放射線についての課題を見付ける。 （1）	・これまでの経験やインターネットの情報、仲間との話などから、単元を通して学びたいことを見付けだしている。	・課題を見付けやすくするために、放射線のイメージをマッピングさせたり、インターネットを活用させたりする。
2. 学校内の放射線の測定をする。（1）	・身の回りの放射線の存在について知り、線量の大きさと人体への影響について考えながら測定を行っている。	・目的意識をもって測定させるために、ペアで測定させるなど学習形態を工夫する。
3. 放射線を霧箱で観察する。（1）	・飛跡が見える原理について理解し、実験道具を正しく用いて観察を行っている。	・放射線の飛跡を観察しやすくするために、自作の霧箱を各班に1つずつ用意する。
4. 放射線から身を守る方法を考え、実験を通して確かめる。 （3）	・放射線から身を守るための方法を考え、それを確かめる実験方法を計画している。 ・自分の班の実験結果を他の班の結果と比較し、結論を導き出している。	・実験計画を立てやすくするために、ホワイトボードを活用させたり、班毎に交流させたりする。 ・他の班の結果と比較しやすくするために、ICT機器を活用す

		る。
5. 放射線の利用について考える。(1)	・放射線を利用することの有用性や危険性について、多数の資料から判断し、自分なりの考えをもっている。	・既習内容を基に、資料の情報をどう読み取るか、自分で判断し、考えるよう促す。
6. これまでの学習を振り返り、レポートにまとめる。(2)	・これまで学習したことを基に「他者に伝える」という目線でレポートを作成している。	・「他者に伝える」という目線で書かせるために、学習したことのまとめではなく、相手を意識してわかりやすく伝えることが大切だと伝える。

3. 実践を行って

実践を行う前に、放射線に関するレディネス調査を行った。その結果、生徒が放射線に持っているイメージは「こわい、危ない」「医療に利用されている」が多かった。また、放射線について知りたいこととしては、「放射線とは何か」「放射線の危険性（人体への影響）」「放射線の有用性（医療等）」などが多かった。また、「有害な放射線と医療に使われる放射線の違い」と書いている生徒も複数見られた。このような点から、放射線という言葉は何度も耳にしている、正しい理解にはつながっていないことがわかった。

「4. 放射線から身を守る方法を考え、実験を通して確かめる。」においては、ジグソー法の学習を取り入れた。生徒は放射線から自分自身を守る方法として、これまでの認識を基に、「遠くへ逃げる」「放射線を何かで遮る」「土に埋める」「水に入れる」という方法を考えた。そこで、主体的に学習を進めさせるために、ホワイトボードを活用して班毎に実験計画を立てさせ、実験を行い、結果を交流させた。実験道具を与えるだけでなく、自分でテーマを設定させることでより深い学びにつながったと考えられる。その一方で、データ処理や実験の精度を高める工夫はもっと必要だと感じた。

4. おわりに

これまで私は、放射線教育については、生徒の様々な境遇を配慮して敬遠していたところがあった。しかし、実際に授業実践を行うと、生徒が主体的に疑問を見つけたり、生徒の方から実験を行いという申し出があったりと、意欲的に活動に取り組む姿に驚かされる場面が多々あった。

授業実践を基に、今後も放射線について、難しいことを簡単にわかりやすく伝えるにはどうしたらよいか、生徒が学びたいことを主体的に学ばせるにはどうしたらよいか、考えていきたい。

『人と人とのつながり』を大切にした放射線教育と 郡山市放射線教育推進委員会の取り組みについて

福島県郡山市立郡山第六中学校 佐々木 清

1 5年間の放射線教育実践をふりかえって

2011年3月東京電力福島第一原子力所の事故が起きてから早4年8カ月が過ぎようとしている。それまで、全国の方々のご支援のもとで、毎年放射線授業を研究公開してきた。その間、必死になって放射線の知識を蓄え、まずは簡易霧箱で放射線の飛跡を観察させながら、生徒達に初歩的な放射線を教えた。

次に、放射線で科学的に探究する力を育むために、放射線測定器を使って放射線量と距離との関係を調べたり、遮へい実験を行ったりするなど、観察・実験を中心とする放射線授業を展開した。

しかし、現実問題として今もなお放射線で苦しんでいる福島県民にとっては、まだ何か足りない。科学的な追究活動を取れ入れた放射線授業だけでは、「**福島の復興**」をめざし、自ら考え、判断し、行動する福島県民を育てることができない。そして放射線に立ち向かおうとする実感がわいてこない。このように腑に落ちない課題を持ち続けながら、昨年ならびに今年と福島第一原子力発電所の廃炉作業に取り組む作業員や東京電力の方々を直に視察する機会を得た。解決の糸口がそこにあった。それは、「**人と人とのつながり**」が今まで放射線授業に組み込まれていなかった。福島第一原発の今を伝えていなかった。

現在、福島第一原子力廃炉作業に携わっている方々は、約1万人に達している。そして何と約半分の方が福島県民である。数百 μ Sv/h以上の過酷な環境の中で「**福島の復興**」をめざし、体全体が汗でぐっしょりにぬれながら廃炉作業に当たっている。このように廃炉作業に従事している方々の「**1滴1滴の汗**」が、一心に復興を願う「**福島県民の灯り**」となって光り輝いている。

そうだ！福島原発の今を伝えよう。そして「**福島の復興**」へ向け、大人になって胸を張って使命感を燃やし続ける福島の子も達を育てよう。4年前チェルノブイリ原発を視察したとき、『私の父は、チェルノブイリ原発で働いています。私は、父を尊敬しています。私も勉強して父の同じくチェルノブイリ原発で働きたいです。』と、まばゆいばかりの瞳で応えてくれた子ども達をめざして……。

2 福島原発廃炉作業員を迎えて

白い不織布カバーオールを身にまとい、全面マスクの作業員がのっしのっしとゆっくり理科室に入ってくる。活発に話し合いながら除染モデル実験をしていた生徒たちが一瞬我を忘れたかのように静かになる、そして真剣なまなざしで作業員をじっと見つめている。

「こ・ん・に・ち・は……」。

全面マスクのためにはっきり聞き取れない。そこで、全面マスクの粘着テープを付き添いの方にはがしてもらおう。ビリッ、ビリヒリと。再び、「こんにちは。福島第一原子力発電所で働いています……。」今度は、はっきりと聞こえる。これまでに、作業員同士の伝達ミスによって、汚染水問題が表面化したときもあった。暑い中、全面マスクをしながらの作業環境では、作業ミスが起こってしまうのわかるような気がする。

廃炉作業の内容を簡潔に紹介していただく。子ども達は、作業員から発する言葉を一つ一つ直に聞いている様子は、真剣そのものである。わずか10分足らずの説明である。でも子ども達の心に焼き付いている。私たち福島県民のために、自分の命をかけて廃炉作業に立ち向かう姿が子ども達の心を動かす。「僕たちが安心して暮らせるように、体を張ってがんばってくれてありがとう。これからがんばってください。私たちも、今できる様々なことを一生懸命がんばります」と。

3 活きる福島の放射線教育をめざして

11月2日にも福島第一原子力発電所で廃炉作業に従事していた方や労働環境を管理する方をお招きして放射線授業を行った。今年は、「福島第一原子力発電所の現状」の授業だけで1時間設けた。作業員の方や精巧な立体模型を使って説明してくれた方にお話をいただいた。中学2年生でもよくわかる内容であった。そして、真剣なまなざしで応援メッセージに向き合い、真剣になって書いている。「すごく大変だと思いますが、福島のために頑張ってください。私たちも福島のために何か役立つことをやりたいと思います。これからも頑張ってください。」と。「**福島の復興**」の灯火が子ども達の心に点る瞬間である。

4 「放射線教育推進委員会」の発足

過去をふり返り、今もなお放射線教育の推進役となっている「**郡山市放射線教育推進委員会**」について紹介する。

2011 年福島第一原発事故の年に福島県内の小中学校では、まず東日本大震災の甚大な被害によって壊れた校舎の修復やライフラインの復旧作業など、授業再開へ向けて福島県民が一丸となって尽力してきた。そのため、教職員の自主研修の場であった中学校教育研究会は福島県内のどこも開催できなかった。

次の年の 2012 年になってようやく通常のエデュケーション活動が行われるようになると、郡山市でも中学校教育研究会が再開された。しかし、実際に放射線授業をどのように進めていかなければならないか、喫緊の重要課題となった。

そこで、さっそく郡山支部では、放射線教育の重要性から「**放射線教育推進委員会**」を立ち上げ、会員全員が共に手を取り合って放射線教育の研修や放射線授業に関する情報を互いに交換する場を設けた。また、放射線教育推進委員を公募したところ、郡山第四中学校・湖南中学校・福島大学附属中学校の先生が名乗りを挙げ、私も含めて 4 人で、積極的に放射線授業の研究公開を行ってきた。これが、仲間と共に作り上げてきた実績のある放射線授業実践の土台となっている。

さらに放射線教育の輪を広げるため、2012 年、**福島県中教研理科部会主催の「放射線に関する研修会」**の開催を引き受けた。なぜなら、当初私も含め、福島県下の先生方は、放射線に関する知識をほとんど理解していない状況であった。当初は福島県各地で県内外の大学や研究機関などの専門家を招へいして放射線に関する研修会が行われた。しかし、難しい放射線の専門的な知識を、目の前の子ども達にどのようにわかりやすく教えていけばよいのか悩んでしまう状況であった。そこで福島県中教研理科部主催で開催した「**放射線に関する研修会**」では、放射線の知識とともに、放射線授業実践の発表やポスターセッション、霧箱による簡易放射線の飛跡観察を行った。お陰様で福島県内各地から 78 名もの参加者があり、大盛況を博した。

現在、その年度ごと放射線授業実践をまとめ、学習指導案やワークシート、Power Point 教材などを集約した CD を作成し、会員全員に配布している。このように会員同士が共に手を取り合うことで、具体的に放射線授業の情報が共有できるようになり、観察・実験を取り入れた探究的な放射線授業が多く展開されるようになってきている。今後も、

放射線教育推進委員会を中心に、放射線被ばくを受けた福島県の実情に即した深まりのある放射線授業を提言したいと考えている。

5 今後の中学校理科放射線教育授業プラン

現在、福島県教育委員会放射線教育推進支援事業指導員として、毎年「放射線等に関する指導資料」の改訂作業とともに、昨年の 2014 年には、放射線授業の導入に活用できる「**放射線教育用学習材 DVD**」の編集に携わってきた。

また、2013 年度文部科学省委託事業である「**正しく理解する放射線**」教職員セミナーおよび昨年の 2014 年度から「**科学的な理解をすすめる放射線教育セミナー**」が全国規模で展開されている。その主催団体であるエネルギー・環境理科教育推進研究会から依頼を受け、全国から集まってきた放射線リーダーの方々に、福島県における放射線教育の現状や授業実践について講演を行ったり、さらに郡山市を中心に小学校・中学校で放射線教育の出前授業を実施してきた。現在、これまでの文部科学省や福島県教育委員会さらには市町村教育委員会で放射線教育に関する指導資料が発行され、十分過ぎるほどの放射線教材が整ってきた。そこで次は、今後の福島県の放射線教育に向け、「**人と人との関わり**」の視点を組み入れた放射線授業が重要となってくる。つまり、理科だけでなく社会科などの教科および道徳、特別活動そして総合的な学習の時間と連動しながら放射線教育を進めていく必要があると考えられる。

最後に過去 5 年間にわたって積み上げてきた放射線教育実践の積み上げと、**郡山市放射線教育推進委員会**で培ってきた実績をもとに、今後に向けての「**中学校理科放射線教育授業プラン（福島県版）**」を紹介したい。

1 年	単元名：大地の成り立ちと変化 視 点： ～地震災害における放射能汚染～ 2時間 内 容：放射線とは何だろう 実 験：簡易霧箱の放射線飛跡観察
	単元名：動物の体のつくりと働き 視 点： ～放射線による人体への影響と護～ 2時間 内 容：放射線による人体の影響 実 験：距離による放射線量の変化・除染モデル実験
	単元名：科学技術と人間 視 点： ～福島第一原子力発電所の廃炉作業の現状～ 3時間 内 容：放射線の活用とリスク 実 験：放射線の遮蔽実験・放射線利用の実験・食品線量測定

詳細は、郡山第六中学校「中学校理科における放射線教育の指導計画」を参照してほしい。

大阪府における放射線教育

～各学年の放射線学習の実践例～

大阪府理科教育研究会 研究委員 北畑 謙一

1. はじめに

平成 24 年度より完全実施されている中学校学習指導要領の理科第一分野において、約 30 年ぶりに放射線が扱われることになり、学習指導要領改訂当初は、放射線をどのように指導・評価すべきかといった戸惑いや不安の声が聞かれた。現在、教育現場では様々な形で研修会、教材作りが進められ各地で実践されている。

大阪府では、昨年から大阪府中学校理科教育研究会（府中理）の組織内に研究委員を発足し、研究テーマを「放射線教育の評価方法」として、3 学年通した指導計画の検討や観察・実験方法の開発にとどまらず、評価の具体的な方策について議論し、その成果を全国中学校理科教育研究会富山大会にて発表してきた。

また、来年度より新教科書に改定されるにあたって、各出版社で放射線教育の充実が図られている。そこで、この放射線フォーラムにおいて、大阪府の各学年で取り組んだ放射線教育の内容を中心にお話できればと考えている。

2. 放射線教育の目標と 3 年間を見通した評価規準

- ①目標 放射線等に関する基礎知識についての理解を深め、心身ともに健康で安全な生活を送るために、科学的な根拠に基づいた意思決定できる力を育成する。

② 3 年間を見通した評価規準

観点Ⅰ	(自然現象への関心・意欲・態度)・・・すすんで放射線の性質や利用方法について学ぼうとしている。
観点Ⅱ	(科学的な思考・表現)・・・放射線の性質に関する実験結果をもとに、放射線の性質を説明できる。
観点Ⅲ	(観察・実験の技能)・・・身近な放射線について調べる技能を身につけている。
観点Ⅳ	(自然事象についての知識・理解)・・・放射線についての性質や利用方法について理解している。

3. 各学年の取り扱い単元

放射線の扱いに関して中学校学習指導要領では、「エネルギー資源」の項目の中で「放射線の性質と利用」にも触れることにとどまっているが、生徒に科学的な根拠に基づいた意思決定ができる力を身につけさせるには、3 年間を見通して系統立てて学習を充実させる必要があると考え、各学年での放射線の指導計画と評価計画を提案し、研究協力校において授業の実践を行った。

学年	単元	実践内容	評価方法
1	「光と音」 光の性質 「火山と地震」 火山活動と火成岩	①目に見えない光線（赤外線・紫外線・放射線） ②放射能鉱物から放射線を理解する	行動観察 発表内容
2	「静電気と電流」 真空放電	①放電管から出ている X 線の確認し、その性質を知る。 ②放射線を霧箱（線源：自然放射線、集塵した濾紙）や測定器を用いて調べる。単位についても学ぶ。 ③福島の実状、利用例について	学習内容の レポート 観察・実験 レポート 行動観察
3	「科学技術と人間」 エネルギー資源と その利用	①放射線について知ろう （放射線の種類、利用・影響、半減期） ②放射線に対する防護について ③エネルギー資源の開発と有効利用	実験レポート ワークシートの 記述 行動観察 発表内容

4. 新教科書での放射線関連の取り扱いについて

現在、理科で使用されている5つの出版社について、放射線教育に関する取り扱いページ数を、右の表にまとめた。ページ数は3年生の教科書の分量を表わしている。また、1、2年生の教科書においても、各単元との関連性を持たせたコラムなどが掲載されるなどの工夫があり、内容も充実している。(以下、一部紹介)

表. 新旧教科書における放射線の取り扱い内容量

出版社	現行の教科書	新教科書
A	1 ページ	2 ページ
B	3 ページ	5 ページ半
C	2 ページ	6 ページ
D	1 ページ	5 ページ
E	2 ページ	3 ページ

A社

- ・1年生の物理の分野で「見えない光」と題して、ガンマ線、X線、紫外線に触れられていた。
- ・2年生の物理の分野で「放射線の発見」「放射線の医療への利用」をはじめ、レントゲンやキュリー夫妻のエピソードがあるなど科学史にも触れられていた。
- ・3年生では、原子力の仕組み、原子力の長所短所、アルファ線・ベータ線・ガンマ線・中性子線・X線、発展内容として半減期や放射性同位体元素を用いた年代測定について紹介されていた。

※3年生のページ数が少ないのは、関連する内容が1、2年生に分散されており、3年間を見通した放射線教育の見通しとしては立てやすい。しかし、学習指導要領外の学年でどこまで授業内で深められるか、または取り扱ってもらえるかという不安が残る。

B社

- ・1年生の物理の分野で、「光の色と見えない光」として、赤外線リモコン、紫外線、また電波や放射線とよばれるX線、ガンマ線も見えない光の仲間と紹介している。
- ・2年生では、原子の構造と自由電子、静電気程度で、放射線については触れられていない。
- ・3年生では、原子力発電のしくみ、原子力発電の長所短所、放射線の性質と利用、単位、人体への影響が取り扱われていた。発展内容として半減期について、実習では霧箱の紹介があった。また、放射線の発見の歴史も紹介されていた。

C社

- ・1年生の物理の分野では、「目には見えない光」として赤外線、紫外線について触れられていた。
- ・2年生は放射線の取り扱いはなし。
- ・3年生は、原子力の利用と課題、核エネルギーについて、アルファ線・ベータ線・ガンマ線の性質、ベクレル・キュリー・レントゲンの人物の紹介、自然放射線と人工放射線について、モニタリングポスト、発電方法のしくみ、発展内容として同位体について触れられていた。

D社

- ・1年生の物理の分野で、「見えない光を捉える」としてサーモグラフィーやX線、赤外線リモコンが紹介されている。
- ・2年生の物理の分野で、「陰極線の研究から見つかったX線」でレントゲンが紹介されている。
- ・3年生の地学では、ハザードマップについて、東日本大震災についても触れられており、福島第一原発事故についても取り上げられていた。放射線の性質と利用をはじめ、人体への影響、半減期、さらには放射線から身を守るための取り組み(除染等)についても取り扱われていた。

E社

- ・1年生の物理の分野で、ブラックライト、紫外線について紹介され、地学の分野では、東日本大震災について取り上げられていた。
- ・2年生の放射線の取り扱いはなし。
- ・3年生では、原子力発電の仕組み、原子力発電の事故、チェルノブイリと福島のことにも触れられていた。また、放射線の利用、アルファ線・ベータ線・ガンマ線の透過性について、人体の影響について取り扱われていた。

中学校理科 エネルギー資源（放射線を含む） の指導の在り方についての考察

－ 教員研修と過去の授業実践を基に －

名古屋市教育センター 指導主事 羽澄 大介

1 「分かる」とは何か。

構成主義学習論においては、「分かる。」ことは「子どもたちにとっての経験の諸要素である日常の生活経験や既習の知識を、話し合いなどの言語活動を通して、それらを互いに矛盾なくまとめることで一つの物語（ナラティブ）をつくり、自分自身に対して説明できること。」と説明されます。換言すると、「ある事柄を分からせるためには、身に付けさせたい知識の全体における意味と位置付けを捉えさせるように留意する必要がある。」ということになります。

2 「放射線の学習」の復活と教員の現状

現行の中学校学習指導要領に基づいて指導されている「放射線の性質」の学習内容は、昭和44年告示（昭和47年実施）の中学校学習指導要領以来の復活です。昭和44年告示の中学校学習指導要領は昭和52年告示（昭和56年実施）の中学校学習指導要領まで続きましたから、自身の中学生時代に放射線について学習した経験のある教員は今や50代です。実際に指導した経験のある教員となるとほぼ皆無です。

また、我が国がエネルギー資源小国であることはこれまで同様に何も変わっておりません。むしろ、東日本大震災以降停止されている多くの原子力発電所のこと、我が国がおかれている近年の安全保障環境を考えると、エネルギー資源に関する状況は一段と厳しいものとなっているといっていでしょう。

3 「エネルギー資源・放射線」について理解させていくためには

前述の構成主義学習論の原則に立てば、「エネルギー資源・放射線」について理解させていくためには、関連する様々な学習内容について単元全体における意味と位置付けに留意しながら指導することが大切になります。例えば「放射線が物質を透過する性質」について指導する前に原子の構造を指導しておく必要があるのは言うまでもありませんが、そのとき、子どもたちに原子と原子核の大きさの違いのイメージをどの程度正確に理解させておくべきなのかを教師が知っている必要があります。

これは「エネルギー資源」についても同様です。例えばエネルギー自給率4%ということと教科書に出てくる原油タンカーの写真とを教師が関連付けて指導することができなければ、学習指導要領が示すねらいである「エネルギー資源の安定確保が大きな課題であること。」を子どもたちに理解をさせることはできません。

しかしながら、教職経験が不足している初任者（新任教員）にとって、自身が学んだ経験がない学習内容を、単元全体における意味と位置付けに留意しながら指導することは相当難しいと思います。そこで、教員研修によって教員の指導力を向上することが大切になってきます。

4 初任者研修会などにおける取組

初任者研修会は教育公務員特例法第23条に定められた採用から1年間受講することになっている法定研修です。（いわゆる新任教員研修会）

このような中で新人の理科教員が「エネルギー資源・放射線」についての正しい知識と確かな指導力を身に付けてもらうことをねらい、本市では夏季休業中の研修の中で「エネルギー資源・放射線」の内容に関する研修を約半日行っています。

他にも本市では、理科教員の希望者に対して「霧箱の実験」の研修を実施しました。受講者からは「放射線の飛跡を初めて見て感動しました。（9年目女性）」「放射線についてはよく分からないので、扱っていただいていたよかったです。（4年目女性）」などの感想が寄せられ大変好評でした。

5 まとめ

私は、教育センターの行う教員研修はきっかけ作りだと考えています。受講者が研修をきっかけに、実際の授業に取り組み、具体的な子どもの指導に繋がっていくことが大切です。そして、子どもたちにその指導の効果が表れてくるのは早くても数年後です。「教育は百年の計」と言われますが、焦らずに粘り強く研修をしていくことが現在の私に課せられた使命だと考えます。

新教科書による授業づくりを考える

聖光学院中学・高等学校 畠山正恒

来年4月から全国の中学校で新しい理科教科書が使われる。この教科書の改訂は学習指導要領の変更に伴うものではなく、新学習指導要領による新教科書発行4年後の、いわゆるマイナーチェンジである。通常は純粋なマイナーチェンジで済むのであるが、今回はかなり大きな変更になっている。

これは、文科省が教科書会社に課していた「歯止め規定」を撤廃したために記載内容が大幅に自由化され、各教科書会社がページ数を大幅に増加したことによる。分野によっては高校理科の先取りの内容も見られる。放射線分野では記載内容が確実に二段階くらいアップしている。これを放射線教育充実のチャンスと見る向きもあるが、教科書内容を全て語ろうとすると、「放射線は分からない」という、教員生徒一緒になった学習忌避を起こす危険性があると感じている。

具体的に述べると、学習指導要領で放射線学習はエネルギー分野の一部になっている。これは、自然科学の体系を全く無視した構成であり、興味関心の広がりや妨げている。「宇宙はいろいろな粒子線や電磁波で満ち溢れている」ということから教えると、生徒の理解はスムーズである。粒子線や電磁波は自然科学をマトリックス状に理解していく要のひとつであるのに、教科書では原子力発電に使っている放射線が主役になっている。理科教員であれば正しい自然科学観を持ち生徒に接することができるようにしたいし、授業展開は楽になる。

しかし、学習指導要領に沿って教えることが求められるので、「エネルギー分野の放射線」では以下の事柄を最低理解し教えたらどうかという提案をしたい。

- ① エネルギーの変換事例 「熱エネルギーから電気エネルギーへ」 など
- ② 発電機とモーターは同じ
- ③ 放射性物質（そもそも放射性同位体は安定同位体と何が違うのか）
- ④ 原子核の構造
- ⑤ α 線・ β 線はどのようにして発生するのか、どこにあるのか γ 線との違いは何か
- ⑥ 放射線を私達はどのように利用しているのか 医療／工業／・・・

〈これを知っておくと何に役立つのかを明確に伝える〉

さらに、時間が許せば、筆者の授業例から ^{14}C の半減期を使い、知識学問体系がマトリックス状に広がっていくことを紹介したい。 ^{14}C を取り上げるだけで、 β 崩壊／ β 線 / 宇宙線／ $n+^{14}\text{N}$ / スーパーカミオカンデ／半減期／ $1/2$ の n 乗／べき乗の話（数学分野に広がり、常用対数までカバーする）。年代測定からは考古学や歴史への展開が可能である。教科で言えば理科・数学・社会に広げられるのである。

本講演では、小学校から高校に至る理科教育の構造的な問題を概観しつつ、授業時間数は変わらずに教科書だけが分厚くなった中学校の授業の「何を变え／何が変わらない」のかを検討・考察してみたい。合わせて放射線教育フォーラムとして「対応できること／したいこと」を皆様とともに考える一助になればと思っている。

公開パネル討論「今やる放射線教育 Ⅲ」を開催して — 今やりたい放射線の授業づくりを考える（中学校編） —

日本原燃(株) 宮川 俊

晴

【はじめに】

2015年11月23日（月・祝日）東京慈恵会医科大学高木2号館南講堂にて開催された掲題の公開パネル討論会は、現役の小中高校教諭19名を含む約100名の参加者と5社の教科書・教材会社が教材展示コーナーに参加し、来年度からの中学理科の新教科書による放射線授業への関心の高さが示された。6名の現役教師による実践報告や講演、続く会場参加者とのパネル討論では、中学1年から3年まで3年間に実施する放射線授業について活発な議論が展開された。以下その概要を報告する。（紙面の都合上、実践報告の中にパネル討論の内容を一部記載する。）

【全国からの実践報告】

実践報告1：豊島区立池袋中学校の牧野崇氏は、中学3年の「科学技術の発展」の単元で、1組の生徒を風力発電、太陽光発電、火力発電、原子力発電の4チームに分け、ディベートによる「将来の日本のエネルギー選択の意思決定」の授業を6時間実施した結果、科学的根拠を持たない意見は淘汰され生徒の思考や理解が深まる結果が得られたと報告した。自然放射線については、電子レンジの前を避けて歩く生徒の例を挙げて、その教育の重要性を述べた。

実践報告2：山形大学附属中学校の大沼康平氏は、2年の単元「化学変化と原子・分子」で9時間の放射線授業を実施した。放射線についてのイメージマップから生徒の認識度を調べ、簡易放射線測定器と霧箱実験、放射線の利用のDVDの視聴と豊富な内容を報告した。自主的な実験に3時間を当てた授業が特徴であった。2年の理科で実施することにより、3年のエネルギー・原子力発電の単元では、より深い理解が期待出来ると述べた。

実践報告3：郡山市立第六中学校の佐々木清氏は、平成23年3月11日以降の5年間の活動を総括した。1年では「地震や火山」の単元で地震の被害や校庭の空間放射線量率のデータを活用し、更に校庭に埋めた汚染土壌の安全を考える土の遮へい効果を確認する実験を実施、2年では「生命；動物の体のつくり働き」の単元で、DNAと放射線の健康影響として、養護の先生と共同授業で免疫力を扱い、3年では「科学技術と人間」の単元で、自身の福島第一原子力発電所の現地視察経験を活かして、東電社員を招き、廃炉作業の理解を深め、福島の将来を考える授業の実践を報告をした。生徒の自主的な調べ学習レポートなどを活用した「生徒が主役」の実践報告であった。また、全国から福島県への数多くの支援に対して感謝の言葉が述べられた。

実践報告4：大阪府中学校理科教育研究会を代表して、北原謙一氏は、複数の学校での実践報告をした。学習指導要領では、3年の3学期に扱うことになる放射線教育は、高校受験を控え3年間の総復習が優先されがちな時期で、十分な授業が出来ない課題を解決するために、1年から段階的に実施する3年間の放射線授業の開発に取り組んで来たとして、1年は単元「火山」の岩石で鉱物から出る放射線を簡易放射線測定器で測る授業を、2年では単元「静電気と電流」のクルックス管の放電で放射

線の存在をデンタルフィルムで確認させ、霧箱観察、簡易放射線測定器実験を組み合わせた。3年では単元「科学と人間」で、原子力発電の授業の中で、放射線の性質から利用までを扱ったと報告した。授業の結果、1,2年生は放射線に対する興味関心を高め、3年生は科学的根拠に基づいた意思決定ができ、また、カリキュラムに対応した評価規準が出来たと纏めた。

実践報告5：名古屋市教育センターの羽澄大介氏は、2014年度から開始された「中学校理科・エネルギー資源（放射線を含む）」について、名古屋市の教育委員会としてやるべき研修として放射線教育に馴染みのない初任教師に対するエネルギー・放射線授業の研修の様子を報告した。受講者は霧箱やはかるくんの扱いを体験し、資源小国であるわが国の現状を理解し、更に原子力発電で原子の構造や核分裂を扱う際にもミクロの世界の大きさの概念を持つことを指導されているとした。放射線授業の取り組みについては、「化学変化とイオン」や「生命の連続性」でも実施の余地があるとした。

【新教科書についての講演】

畠山正恒氏（聖光学院中学・高等学校）は「新教科書による授業づくりを考える」と題して講演した。同氏は、放射線の測定結果のグラフ表記出来ない中学生の状況を目のあたりにし、データの表記や解釈の基礎学力の向上が放射線教育の前段階として必要だが、全国的にそれが行われていないと問題点を指摘した。その上で放射線教育に求められるものとして、「①量的概念」、「②量の変化の理解」、「③データでの判断力」の育成が最終的な目標とした。また新理科教科書に関しては、記述内容が増え総花的であることから、先生が授業プランを立てる際にはコアが何かを読み解く力が求められるとした。その面からの教員育成について放射線教育フォーラムの活動の重要性が提起された。

【パネル討論】

パネル討論ではフォーラム会員の高島勇二氏が会場からの質問を代弁し、前出の6名の登壇者が回答することから始まった。3年間の授業については、1年は105時間、2年、3年は各140時間の理科の年間枠があり、1年は時間的に厳しい、3年生は受験対応が入りことから、2年での実施の有効性が共有されたほか、会場から3年の2学期の「イオン」で原子・分子から関連付けて効果があつたとする事例やDNAの分子模型も理解が深まり有効との発言があつた。教科書については、教科書会社から、放射線を3年間で体系的に実施出来る構成ではないが、各学年でも発展的に扱える記載の努力をしており、教師の工夫で実践されている例もあると教師への期待が述べられた。また、エネルギーで扱う放射線授業に留まらず、日常的に身の回りにある現象であり、研究開発としても非常に有望な領域であるので、科学として幅広く放射線を扱う授業が必要と発言があり、会場から拍手が起こった。最後に高島氏から、生徒から絶対的な信頼が寄せられている教師と専門家がしっかり手を携えて放射線教育に取り組むべきと語り、パネル討論は閉じられた。

（放射線教育フォーラム ニュースレターNo. 64 掲載記事 2月28日発行）

知りたい！ エネルギーの？ 電気の？

体験して学ぶ



科学技術館(東京・北の丸公園内)の「デンキファクトリー」,「アトミックステーション・ジオラボ」では、エネルギーや電気について、見て、触って体験できる展示を行っています。

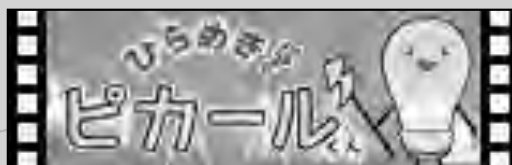
科学技術館は日本科学技術振興財団が運営しています

 公益財団法人 日本科学技術振興財団・科学技術館
Japan Science Foundation / Science Museum

データで学ぶ



各種パンフレット



動画



電気事業連合会及び電力各社ホームページには、エネルギーや電気について、役立つ情報がいっぱいです。

まずは検索！

(<http://www.fepc.or.jp>)

電気事業連合会

千代田テクノルは 放射線

を から
測る 守る
で
治す

放射線は危険な性質を持っている反面、
有効に利用すれば人類に大きなメリットを与えてくれる無限の可能性をそなえています。
千代田テクノルは、医療・原子力・産業・放射線測定などの各分野において、
放射線を安全に有効利用するための機器やサービスをトータルに提供。
放射線の「利用」と「防護」の双方において、お客様のあらゆるニーズにきめ細かく対応しています。

株式会社 **千代田テクノル**

U R L: <http://www.c-technol.co.jp>
e-mail: ctc-master@c-technol.co.jp

千代田テクノル 検索



JQA-QM8513
Tokyo・Osaka
Kashiwazaki Kanwa

この星に、たしかな未来を

OUR TECHNOLOGIES, YOUR TOMORROW

私たち三菱重工は、次の世代の暮らしと、そこにある幸福を想い、人々に感動を与えるような技術と、ものづくりへの情熱によって、たしかな未来を提供していくことを目指します。そのために私たちは、これまで培ってきた技術を磨くとともに、新たな発想で様々な技術を融合させるなど、さらなる価値提供を追求し、地球的な視野で人類の課題の解決と夢の実現に取り組みます。

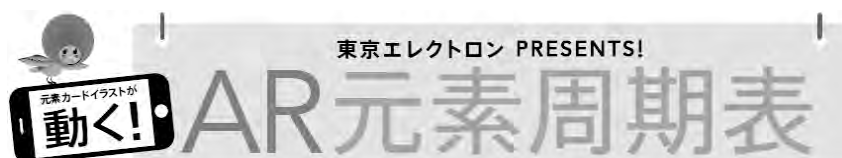
三菱重工株式会社

エネルギー・環境ドメイン 原子力事業部

〒108-8215 東京都港区港南2-16-5 Tel 03-6716-3111
www.mhi.co.jp

三菱重工

この星に、たしかな未来を



げんそ博士の元素周期表をプレゼント！

朝日新聞 2015 年 7 月 28 日朝刊掲載の AR 元素周期表をプレゼントします。
ご希望の方は、返送用封筒 (A4 用紙が入るサイズ) にお名前、ご住所、ご希望枚数を
ご記入いただき、希望枚数に応じた切手 (下記をご参照ください) を貼付の上、
下記住所までお送りください。

〒107-6325

東京都港区赤坂 5-3-1 赤坂 Biz タワー 東京エレクトロン株式会社
コーポレートブランド推進室内 「元素周期表プレゼント」事務局 宛

切手料金目安

周期表枚数	1~2枚	3枚	4~6枚	7~15枚
切手料金	140円	205円	250円	360円

※左記より多くの枚数をご希望の方は
telg-genso@tel.com までお問い合わせください。

げんそ博士の元素周期表 スペシャルサイト <http://www.tel.co.jp/genso/index.html>



「祝・アプリ化!」げんそ博士がスマホに登場
「東京エレクトロン」AR アプリをダウンロード・起動したら、紙面にスマート
フォンをかざします。まずは紙面上部の看板からチェック!各元素カードも
アニメ動画になります。
※アプリのダウンロードには通信料が発生します。



アプリストアで
博士を探そう!

東京エレクトロン | Q

Download on the
App Store

Google play

※App Store は、米国およびその他の国々で登録された Apple Inc. の商標または登録商標です。※Google play は、Google Inc. の商標または登録商標です。

TEL
TOKYO ELECTRON

