

RADIATION EDUCATION

放射線教育

2 0 1 1

VOL. 15 NO. 1

放射線教育フォーラム
Radiation Education Forum

放射線教育

Radiation Education

Vol. 15 No. 1

目次

【巻頭言】	放射線の利用	中西友子 1
【原子力発電所事故一周年特集】		
	福島第一原発事故 - 原因の考察と提言	山寺秀雄 3
【原子力発電所事故一周年特集】		
	福島原発事故で思うこと	畠山正恒 13
【原子力発電所事故一周年特集】		
	福島第一原発事故から考える学校理科教育のあり方 (1) 事故経過および事故原因の整理	大野新一 19
【研究報告】	放射線授業の工夫と課題	大島 浩 25
【解説】	放射線の性質を探す	大野新一、大野 玲 31
【意見】	An Interpretation on the 'Natural Nuclear Reactor' of P. K. Kuroda	荒谷美智 41
【書評】	「内部被曝の真実 児玉龍彦著	小高正敬 43
【書評】	「放射線とのつきあい —老科学者からのメッセージ—岡野真治著」	菊池文誠 45
【書評】	「放射能汚染—ほんとうの影響を考える フクシマとチェルノブイリから何を学ぶか 浦島充佳著」	岩崎民子 46
【書評】	「放射線測定と数値の本当の話」佐々木慎一、森田洋平	畠山正恒 47
【書評】	「物理学者ブルーノ・ロッシ自伝—X線天文学のパイオニア ブルーノ・ロッシ著、小田稔翻訳」	松沢孝夫 48
【一口メモ】	放射線被ばく線量の単位について	18
	ベクレルからシーベルト換算計数（内部被曝）	48
	「放射線教育」投稿規定、原稿の書き方	49
	編集後記	53

発行：2012年3月31日、NPO法人 放射線教育フォーラム

〒105-0003 東京都港区西新橋 3-23-6 白川ビル 5F

Tel: 03-3433-0308 FAX: 03-3433-4308 E-mail: mt01-ref@kt.rim.or.jp, HP: <http://www.ref.or.jp>

【巻頭言】

放射線の利用

中西 友子

東京大学大学院農学生命科学研究科



昨年の福島第一原子力発電所の事故以来、放射線や放射能という言葉が毎日のように日常的に聞かれるようになった。また個人で放射線測定器を購入する人も多く、今まで気にも留めていなかった天然の放射線を測定している。今ほど、放射線について興味を持ち、もっと知りたいと思っている人が大勢いることは無かっただろう。そんな中、身近な放射線についてどのような説明がなされているのかということは非常に興味を持つところである。一般の人にどうやって放射線について知ってもらうのか。まず、身近な放射線について興味深い面から入り、天然の

放射能についての感覚をどのくらい持ってもらえるか、その説明の道筋を考えていくことは放射線に携わる人々の大きな責務であることを痛感する。放射能とは無縁だった人々が自然の放射能についての正しい感覚を持つことができるかどうか、放射能に対する科学的な判断力が培われる一番の近道だからである。

天然の放射能についてはカリウム40がよく引き合いに出される。プラスチックのサングラスよりもガラスのメガネの方がカリウムの含量が多く、その分、目の照射量が増加することを実際のラジオグラフィで示したパンフレットには、目が釘付けになる人が多いだろう。ひとりの人が4000ベクレルほどの放射線を出していることと同様、犬や猫を抱きかかえると少なくとも数百ベクレル位の放射線を浴びることも身近な例だろう。また天然の放射能については、とにかくカリウム40ばかりが引き合いに出される傾向があるが、もっとひと工夫して他の例も提示していくべきだろう。コップ一杯の水を飲むとトリチウムがどの位入っているのか、ひと呼吸すればその吸い込む息の中にどの位の放射性炭素を含む二酸化炭素があるのか、地下室のラドンレベルはどの位変化するのか、こんなデータをもっと示していくことが放射線に対する正確な認識が得られる第一歩であろう。さらには、放射性核種を用いた

年代測定と言っても炭素 14 だけでは終わらないはずである。鉛 210 をはじめ他の核種についてのデータももっと出していくべきである。また、水たまりの水のラドンとトリチウムの比から地震予知ができたこと、天然にも原子炉がありそれを予言したのは日本人だったこと、など天然の放射性核種の話には枚挙に暇が無い。まず、身近な放射線の種類や量を感覚で認識した後に、次のステップとして、それでは放射線を利用してどのようなことが可能となったかについてさらに話していくべきである。医学、工学、農学利用の成果について数限りない話を一般の人々に知ってもらうことが必要である。

一方、自然科学分野の研究者は、一般に放射線や放射性核種への敷居が高いと思って利用を敬遠してきた節がある。利用する際の勝手の悪さに不平を言いつつ、結果として次第に放射線とは遠い分野で研究を行うようになってしまったようにも思える。近年の放射化学領域の研究者数の大幅な減少はそれを物語っている例のひとつである。しかし、研究者が利用勝手が悪いと思った原因には、通常の研究があまりに自由奔放な環境下でなされており、管理されることを極端に嫌った結果であるかもしれない。最近では、通常の研究で用いられる多くの化学薬品についての管理が、以前と比較して非常に厳しく求められるようになってきた。そのためか、厳しいと思われてきた放射性同位元素の管理や利用法についても、案外受け入れられる素地が広がってきたように思える。今回の事故が、放射線から遠ざかってきた研究者をもう一度この分野に呼び戻す機会となることを願ってやまない。



【原子力発電所事故一周年特集】

福島第一原発事故 — 原因の考察と提言

山寺 秀雄

NPO 法人放射線教育フォーラム

〒105- 0003 東京都港区西新橋 3- 23- 6 第一白川ビル

(2012年2月7日受理、3月4日、12日脚注追記)

[要約] 2011年3月11日、地震を契機として起こった福島第一原発の事故は、原子力施設の事故として、チェルノブイリ原発事故に次ぐ甚大な被害をもたらした。その原因について考察するとともに、同じ過ちを繰り返さないための手立てについて提言し、事故後のいくつかの問題について意見を述べる。

1. 事故の原因と経過

事故の発端は地震・津波という天災であったが、被害が深刻化した過程にはいろいろな要因が絡んでいる。そうして被害の大部分は人災によるものと思う。事前の準備が万全であったなら、また初期対応が迅速かつ的確であったなら、被害は100分の1、あるいはそれ以下ですんだであろう。

1.1 津波対策における不作為

国の地震調査研究推進本部が02年7月に新たな地震の発生確率などを公表したのを受け、東電は、08年に、マグニチュード(M) 8.3の明治三陸地震(1896年)規模の地震が、福島県沖で起きたと仮定して、福島第一と第二の両原発に到達する津波の高さを試算した。第一原発の取水口付近で高さ8.4~10.2メートルの津波が襲来。津波は陸上をかけ上がり、1~4号機で津波の遡上した高さは海面から15.7メートル、同5、6号機で高さ13.7メートルに達すると試算した¹⁾。しかし東電は試算結果を津波対策強化に生かさなかった。

1.2 地震・津波による全交流電源喪失

地震により外部電源を失い、非常用ディーゼル発電機が起動した。その後、津波の襲来により地下に設置されていた非常用ディーゼル発電機が海水に浸かって故障し、全交流電源喪失となった²⁾。非常用ディーゼル発電機が地下でなく、高所に設置されていたら故障を免れたのではなかろうか。

1.3 非常用復水器の機能不全

津波による全交流電源喪失及び直流電源喪失により、1号機と2号機の原子炉水位が確認できなくなった。福島第一原発吉田所長は、3月11日16時36分「非常用炉心冷却装置注水不能」という、原子力災害対策特別措置法第15条第1項に規定する「原子力緊急事態に該当する事象」が発生したという報告（経済産業大臣、福島県知事、大熊町長、双葉町長宛）を、東電原子力管理部宛 FAX 送信している（手書きの記録は「16時45分、本店送付済み」、FAX 送信記録は16時59分）³⁾。

22時に原子炉水位が判明した。1号機 TAF+550 mm、2号機 TAF+3400 mm（TAF=top of active fuel、有効燃料頂部）³⁾。心配された通り、非常用復水器（1号機の場合、以下1号機のみについて述べる）は十分に機能していなかった。非常用復水器は本来電源がなくなっても機能するように設計されているはずである。ところが設計上の不備か、作業員の不適切な操作かによって、十分に機能しなかった。（東電の資料²⁾によれば、地震後自動起動した非常用復水器を温度調整のため手動停止し、その後非常用復水器 A 系にて原子炉圧力を制御したが、津波による直流電源喪失により非常用復水器機能喪失（推定）となった。）

非常用復水器が正常に作動したとしても、約8時間の猶予を与えるに過ぎないといわれている。その間に原子炉機能の復旧ができなければ、燃料棒を護る最後の策はベントである。

1.4 ベント及び爆発に至る経過

上記のように、22時00分、復旧した水位計は TAF(有効燃料頂部)+550mm を示した。吉田所長は、23時のサーベイ結果として1号タービン建屋内の放射線量の上昇を³⁾、12日0時56分には1号機の D/W(ドライウェル)圧力が600 kPa（設計上の最高使用圧力は427 kPa）を超えていることを検知して「格納容器圧力異常上昇」を⁴⁾報告している。報告書には明記されていないが、これらの記述から、吉田所長はベントの必要を本店に具申したと思われる。東京電力の福島原子力事故調査報告書²⁾によれば、0時05分発電所長はベントの準備を進めるよう指示し、東電は1時30分頃ベントの実施を國に申し入れ了解を得た。

ところがベントが実施されないまま時間が経過し、菅首相は自ら現地に赴いて直接指揮することを決断した。（ここで海江田経産大臣はベントの「了解」を「命令」に切替えた。）7時11分現地に到着した菅首相は吉田所長にベント実行を命じ、所長は9時にベントの作業を開始した。しかし高い放射線のため作業が難航した。（作業していた東電社員の一人が106.30 ミリシーベルトを被曝し、救急車を呼んだ⁴⁾。）14時30分にドライウェル圧力が低下したことを確認し、「放射性物質の放出」と判断した⁴⁾。15時36分頃比較的強い揺れを感じ、15時40分頃白煙が上がっていることを確認した⁴⁾。

1.5 1号機建屋における爆発

この爆発は原子炉建屋上部にたまった水素の爆発であったと思われる。この水素は燃料棒の露出によりその被覆金属が水蒸気と反応して生成したものである。そうしてそれが格納容器から洩れ出て建屋内にたまり（あるいはベントによって排出され）、空気と混じって、余震などで起こった何らかの衝撃によって爆発したと思われる。原子炉建屋は放射性物質を閉じ込める第5の壁

といわれているが、その壁が水素を閉じ込めて、爆発を引き起した。ベントがもっと早く行われていたら、水素の発生がほとんどないか、あるいはあっても大量にたまることはなく、爆発は避けられたであろう。

1.6 ベントが遅れた理由

私は、ベント遅延の根本的な理由は、現地の危機感（吉田所長は「何度も死ぬかと思った」といっている）が、東京で共有されていなかったことにあると思う^{脚注 1}。東電首脳が原子力発電所に関する知識が不十分な経営者であって、緊急事態であるという認識がなく、日常の経営判断と同じように、（ベントに伴う放射性物質の排出など）いろいろな問題を総合的に考えて判断しようとしたために決断が遅れたのではなかろうか。（政府の担当部門、原子力安全保安院の中枢にも原子力の専門家はいなかったようである。ただし東京工業大学理学部応用物理学科出身の菅首相は強い危機感を持っていた。）そのため政府がベントを了解してから 5 時間以上経過しても、東電首脳から現地にベントの命令が出されなかった。吉田所長から「ドライウェル 2 次ベントの場合 線量評価」という報告が 4 時 1 分に送られている⁴⁾ことから、東電がベントに伴う放射性物質の排出を気にしていたことは確かである。

新聞報道⁵⁾によれば、海江田経産大臣は 15 条報告（「原子力緊急事態発生」）を受けて、11 日夕刻（寺坂原子力安全・保安院院長の証言によると午後 5 時から 6 時の間）、法律に基づく原子力緊急事態宣言を発令するよう菅首相に上申した。しかし、原子力災害対策特別措置法第 15 条第 3 項の規定に基づき、原発から半径 3 km 圏内の住民に対する避難指示と 10 km 圏内の住民に

* 脚注 1 次に示す福島第一原発吉田所長報告書には緊迫感があるのに対し、東電の「お知らせ」（3 月 12 日）では「安定しております」という文言が目立つ。

吉田所長報告書⁴⁾

東電の「お知らせ」⁸⁾

0:56 1 号機の圧力 600 kPa 超

（設計上の圧力は 427 kPa）

「格納容器圧力異常上昇」

3:33 圧力 840 kPa

4:01 1 号機ベントの場合の被ばく評価報告

4:15 圧力は高めではありますが安定しております

原子炉水位は低いものの安定しております

4:45 構内における放射線量が上昇していること、

圧力も低下傾向にあることから、外部への

放射性物質の漏えいが発生していると判断

6:10 （4:15 と同じ記述の繰り返しの続いて）

放射性物質が放出される恐れがあるため、

国から、半径 10 km 以内の地域住民に対して

避難指示の指示が出されています。

対する屋内退避指示が出されたのは、午後 9 時 23 分であった⁶⁾。(福島県対策本部は、20 時 50 分、福島第一原子力発電所 1 号機の半径 2 km の 住人に避難指示を出した⁶⁾。) 緊急事態への対応としてあまりに遅く、怠慢のそしりを免れない。さらに翌 12 日 5 時 44 分、半径 10 km 圏内の住民に対して避難指示をした⁶⁾。避難指示の遅れも、ベントの遅れの一つの原因であろう。

また「福島第一原発事故に関する IAEA 包括報告書」が「日本の複雑な体制や組織が意思決定を遅らせる可能性がある」⁷⁾ といっているように、政府内の諸対策本部との連絡調整のため一層の遅れを生じた可能性もある。

結局、翌朝、菅首相が吉田所長に対して直接命令するまでベントは命じられなかった。

2. 事故が起こってもそれを過酷事故 (Severe Accident) にしないために (提言)

この世に 100%安全な施設はない。如何に周到な調査・研究に基づいてつくられても、想定外のことは起こりうる。事故が起こった時に、それを過酷事故にしないための安全弁を複数用意し、その機能をよく理解して、万一の場合に備えることが必要である。原発の場合、放射性物質の外部への排出に関しては関心が高く、いわゆる 5 重の壁を設けた。しかし、もっと基本的な原子炉本体の安全に関しては、一部の専門家以外は関心が低かったのではなかろうか。そうして事の軽重が十分に理解されていなかったように思われる。小さい被害を恐れて、結果的に大きな被害を引き起こした。

2.1 原子炉の立地及び「想定外」に対する備え

地震・津波などの天災に対しては、過去の経験に照らして立地条件と設備の堅牢性を決めることは当然である。しかし 100%安全という施設は非現実的であり、想定外の事故に対する備えが必要である。

原発事故に対しては、「止める」「冷やす」「閉じ込める」が原則である。今回の事故では「止める」は設計通り行われたが、「冷やす」で誤算があった。自動的に機能するはずの「非常用復水器」が予定通り機能しなかった。「冷やす」機能に問題があるとすれば改善しなければならない。一方、「冷やす」機能に問題が起こった場合には、「閉じ込める」をある程度犠牲にしても「冷やす」ことに務めなければならない。非常の場合、自動的にベントと注水が行われるような設計が必要ではなかろうか。

2.2 第 5 の壁のかわりに「化学の壁」を⁹⁾

原発には 5 重の壁があると喧伝されてきた。しかし今回の事故ではそれが機能しなかったのみならず、かえって事故を大きくした。第 3、第 4、第 5 の壁はすべて物理的な硬い壁である。同じ種類の壁を重ねてもほとんど意味がない。第 5 の壁はもっと柔軟な壁、「化学の壁」に替えることを提案したい。

事故発生の場合、放射性物質を閉じ込めている第 2 の壁を護るために、燃料棒の露出を避けなければならない。原子炉内の水位が下がったら、水を注入するために圧力の解放、すなわちベントを行い、高温の水蒸気を、建屋 (第 5 の壁) の内でなく、排気塔へ排出する。(水蒸気の排出

は効果的な冷却法でもある。水が蒸発熱を奪うので、単に冷却する場合に比べて 6 倍以上の冷却効果がある。) この際、化学の知識を利用して放射性物質の排出を抑える。放射性物質のうちクリプトンとキセノンは不活性気体であるから化学的に捕捉することはできない。(しかしこれらは人体に吸収されることはない。) その他の放射性物質は水に溶けているか、あるいは固体の状態で存在し、飛沫とともに排出されると考えられる。(ヨウ素は状況によっては一部気体として排出される可能性がある。) そこで水蒸気を冷却液化すれば、放射性物質の大部分(ヨウ素を含む)は水とともに除去される。充填物や集塵機を使えば、除去率をいっそう高めることができる。

2.3 「原子力緊急事態」への対応は現地で

設備の備えよりも重要なことは、頭脳の備えとその頭脳を活かすような体制の整備である。原子力災害対策特別措置法第九条は「原子力事業者は、その原子力事業所ごとに、原子力防災管理者を選任し、原子力防災組織を統括させなければならない」と定め、第十六条は原子力災害対策本部の設置について、十七条はその組織について定めている(本部長は首相)。

緊急事態が発生したとき、原子力防災管理者は原子力災害の拡大防止のために必要な応急措置を直ちに行なって、対策本部が設置され次第、その経過と次の計画を報告し、その承認と必要な援助を対策本部に要請することが望まれる。ここで企業側の指揮官である原子力防災管理者の資質と権限が問題となる。優れた資質を持ち、かつ十分な権限を与えられて、適切な対応をしていれば、防災対応は防災管理者主導で進められ、政府の対策本部はそれを支援する立場に立つであろう。しかし資質か、権限か、いずれかが十分でないと、企業の本社や政府の介入が起こり、会議に時間を費やして対応が遅れる、情報伝達が混乱する、などのため適時に適切な対応をすることができなくなる。

このように見てくると、キーパーソンは原子力防災管理者である。今回の事故で迅速かつ適切な初期措置がとられなかったのは、原子力防災管理者が原子力発電の技術に精通していなかったか、あるいは知識と技術はあっても十分な権限が与えられていないために、それを活かせなかったかのどちらかであろう。そこで十分な資質を持った現場の長(発電所長)を原子力防災管理者に任命し、緊急措置に関する全権を委せることが望ましい。今回の事故対応において、吉田所長に決定権が与えられていたら、迅速な処理によって過酷事故になることは避けられたのではなかろうか。

もし企業の組織上、発電所長に決定権が与えられないならば、企業首脳の中の適任者を緊急対応の責任者として原子力防災管理者に任命し、所長を法9条に定める副防災管理者に選任することにより、実質的に所長の決断を尊重することも考えられよう。(法第九条第3、4項には、副原子力防災管理者を選任して、防災管理者を補佐させ、管理者不在のときには、管理者に代わって原子力防災組織を統括させるとしている。)

3. 事故後の問題に対する意見

3.1 「脱原発」は長期計画で

今回の事故を契機として、国民の間に定期点検を終えた原発の再稼働に対する抵抗感が高まっ

た。東電が「想定外」を強調したために、「想定外」の天災が起これば同じ被害があると思うためであろう。さらに、浜岡原発は安定した発電を続けており、かつ福島から学んで津波対策をしたにもかかわらず、菅首相の指示によって停止させられたので、原発は危険との印象をいっそう強めた。原子力の「安全神話」が「危険神話」にかわったが、「安全神話」と同じく「危険神話」も行き過ぎである。

最初に述べたように、今回の被害の大部分は人災である。人災の部分は、今回の事故から学ぶことによって避けられる。スリーマイル島の事故を起こした米国でも、チェルノブイリの事故を起こした旧ソ連圏でも、その後同じような過酷事故は起こしていない。

原子力発電の後に残る放射性廃棄物の問題を考えると、原発を再生可能エネルギーに替えるという方向は正しいと思う。しかし再生可能エネルギーの開発が間に合わないのに、原子力発電をやめるのは如何なものだろうか。ドイツの着実な脱原発に学びたい。メルケル首相は、福島の事故の後、原子力政策を変更して、前年に稼働期間を延長した古い原発（及び故障中の1基）の運転を停止したが、他は運転を続け約10年かけて順次風力・太陽光などに置きかえていくという政策をとった¹⁰⁾。日本もこれにならうべきではなかろうか。（ただしドイツに比べて再生可能エネルギーの開発が遅れており、かつエネルギー資源の大部分を輸入に依存している日本では、ドイツ以上の努力（省エネルギーを含む）が必要である。その努力如何によっては、原発の稼働期間の延長、あるいは少数ながら新しい原発の建設を考えなければならないかもしれない。）

今、一部の自治体で原発即時廃止の声が上がっている。性急な原発廃止はかえって危険である。原発を廃止しても核燃料がなくなるわけではない。（事故を起こした福島第一の4号機と似た休止状態になる。しかも燃えきっていない核燃料が再び燃え出す（再臨界が起こる）危険が全くないとは言い切れない。）発電をやめれば、原発の職員の大部分は原発を去るであろう。地震・津波などが起こった時に、適切な対応ができるかどうか心配である。

性急な原発廃止は、国民生活にも重大な影響を及ぼす。原発の廃止は当面火力発電で埋め合わせられる。原発は廃止しても、建設にかかった経費の償却が必要である。（借金をして原発をつくったとすれば、長期にわたってその返済が必要である。発電による利益で借金を返す予定のところ、その利益がなくなれば、他で稼ぐ必要がある。）原発の場合、燃料費に比べて建設費の割合が大きいから、これは将来にわたってかなりの負担になり、結果として電気料金の値上げにつながる。また化石燃料の消費の増加は二酸化炭素排出量の増加をもたらし、排出権を外国から買わなければならないかもしれない。そうなれば三重の出費（原発設備の償却費・化石燃料代・排出権購入費）となる。

電力供給の不安及び料金の値上げは国民生活に影響を及ぼすと同時に、企業の国際競争力を損なう。そのために企業が工場を国外に移せば、雇用が失われ、失業者が増加する。

このように性急な脱原発はそれに伴って失うものが多い。脱原発は長期にわたり計画的に行うことが必要である。

3.2 スマートグリッドの整備を

原発と違って、風力や太陽光による発電は天候に左右されることが多い。原子力を大量に風力

や太陽光に置き換えるに当たっては、変動する電力を有効に利用するためにスマートグリッド（次世代送電網）の整備が必要である。スマートグリッドの定義は、人によって、狭義のものから広義のものまで、いろいろあるが、ここでは次のようなものをいう。

各需要者はスマートメーターを備え、電力の使用状況を可視化すると同時に、その情報は送電側にも共有される。電力会社が供給する電力は2種類に分ける。第一は電力会社が供給責任を持つもので、料金は高く、第二は電力会社が自由に供給を制限することができるもので、料金を安く設定する。電力需給が逼迫した時には、そのことを需要者に伝えて自発的節電を促すが、それでも電力不足が解消しなければ、送電側が供給を制限する（スマートメーターを利用して、送電を中止する方法のほか、送電側が需要者の空調の設定温度を変えるなどして電力消費を減らす方法もある）。家庭に蓄電池（電気自動車・プラグインハイブリッドカーの蓄電池も利用できる）を用意して、電力供給に余裕がある時に安い電力を貯め込んでおけば、割安な電気料金で不自由なく家電製品などを使うこともできる。

3.3 低線量放射線被曝の健康への影響 — 正しい知識を普及し、速やかに情報を伝達し、法令による規制はなるべく少なく

多くの国民や一部当局者の放射線に関する知識が乏しいために、不必要な心配や風評被害が生まれる。正しい知識を普及し、情報を速やかに伝達した上で、判断は本人に任せ、法令による規制はできるだけ少なくしたい。未成年者に対して飲酒・喫煙が禁止されているように、子どもに対しては規制が必要であろう。例えば、学校における放射線量に関しては何らかの規制が必要であり、また乳幼児用乳製品などについても規制が必要である。しかし成人に対しては、速やかに放射線量に関する正確な情報を提供し、低線量被曝のリスクを示した上で本人の判断に任せるのがよいのではなかろうか。

福島第一原発事故以来、放射線の問題に関連して、いろいろな規制がなされてきた。その中には不合理なものが少なくなく、風評被害ならぬ、法令被害が起こった。

政府は、3月12日、福島第一原発1号機の爆発により、待避を指示する範囲を半径10 km から20 km に拡大した。これは緊急の措置として正しい措置であった。しかし一度決めるとそれにこだわり、新しい事実が明らかになっても、それを改めようとしない。飯館村では、SPEEDIによる試算¹¹⁾で早くから高い放射線量が予想され、その後IAEAの調査、大学の研究者の調査で、さらに県が独自に行った校庭のモニタリングでも高い値が出て、村は妊婦・乳幼児およびその保護者約50人を退避させる方針を4月6日に固めた。政府によって、計画的避難区域に指定されたのは4月11日であった。しかも指定されると1ヶ月以内にと避難を急がされる。お気の毒なのは高齢者である。若い人はどこにでもすぐに移れるが、高齢者はそういうわけにいかない。村は、環境変化に伴う容体悪化や移動リスクを心配し、特別養護老人ホームの入所者をホームに残してケアを続けたいと考えた。国に対して「画一的に決めず、実情に合う対応をしてほしい」と訴え、国は受け入れた¹²⁾。自宅に住む高齢者の中にも、孫たちとその親は避難させるが、自分たちは住みなれた家で暮らしたいと思う人は少なくないと思う。それが個別には許されないとすれば、法令被害である。高齢者にとっては、放射線障害のリスクよりも環境変化による心身

のストレスから起こる健康障害のリスクの方がはるかに高い*2。(避難先で健康を損ねてなくなる高齢者が多いと聞く。)

100 mSv 以下の低線量被曝では、発がんリスクの増加は、ないとはいえないが、喫煙、その他の生活習慣による発がんリスクに埋もれてしまってよくわからないということである¹³⁾。喫煙が法令によって禁止されていない(未成年者を除く)のと同様、低線量被曝については、予想される被曝量とそのリスクを知らせた上で、避難するかどうかを本人の判断に任せてはどうだろうか。年間 20 mSv 程度の放射線量ならば、高齢者は放射線被ばくの障害が顕在化する前に天寿を全うする可能性が高いのではなかろうか。

3 月 21 日、福島・茨城・群馬・栃木の 4 県で、ハウレンソウなどに規制値を超える放射性物質が検出された。首相は、原子力災害対策特別措置法第 20 条 3 項の規定に基づき、各県内全域について当分の間、出荷を差し控えるよう指示した。原産地の表示が県単位で行われているという実態を踏まえたというこ

とである(3 月 21 日、枝野官房長官発表)。その結果、同じ県内でも原発から遠く離れていて、汚染がほとんどないような地域にまで出荷制限が及んだ。これも法令被害である。国内でこのようなことをしては、日本産品すべてを輸入禁止にする外国を責められない。今は地域指定がもっときめ細くなされているようであるが、法令被害に続いて風評被害が起こってからでは手遅れである。また放射性ヨウ素を含む牛乳について、子どもには飲ませてならないが、高齢者が飲んでも差し支えないということもあったであろう。

3.4 除染について — 高度汚染地域(長期帰還困難区域)を自然エネルギー基地に*3

福島原発事故による放射性物質の汚染は取り除くことが望ましい。しかし除染しても放射性物質がなくなるわけではない。他の場所へ移すに過ぎない。除染の仕方によってはかえって汚染を拡大するおそれもある。特に高度汚染地域や森林など人が住んでいない地域の除染に関しては慎重でありたい。

汚染度の高い地域の除染には多大の労力と経費がかかる。しかも原状回復に過ぎず、非生産的である。住民にはお気の毒であるが、(集団で)別の土地に移って、そこに新天地を築いていただくようお願いしてはどうだろうか。長期間の避難や高度汚染の除染にかかる多額の費用を考えれば、医療・介護も含め手厚い援助をして移住をお願いする方が生産的ではないだろうか。そうして、その跡地を東電(あるいは国)が借り上げて、そこに太陽光あるいは風力を利用するエネ

*2 科学研究所の坪倉正治医師は、朝日新聞(2012.3.1)に掲載されたインタビュー記事の中で、次のようにいっておられる。「昨年 5 月に、飯館村で健康診断と放射線相談を頼まれたのですが、高血圧などの持病が悪化している人が多いことに驚きました。放射能の影響と見られる急性の症状はありません。農作業など従来の生活が続けられないストレスが大きかった。」(3 月 4 日追記)

*3 孫正義氏も 3 月 11 日のテレビ番組(報道ステーション)において、ここに述べたことと類似の太陽光発電計画を発表された。(3 月 11 日追記)

べたことと類似の太陽光発電計画を発表された。(3 月 11 日追記)

ルギー基地をつくることを提案したい。エネルギー基地であれば、人はその建設と保守の時に一時的に立ち入るだけであるから、その放射線量はある程度高くてもよいであろう。人が受ける放射線量は（1 時間あたりの線量）×（時間）であるから、立ち入り時間の制限により、健康へのリスクを抑えることができる。さらにその建設前に、他の低度汚染地区の除染土でその高度汚染地を覆えば、地表に出てくる放射線量は減り、立ち入り可能な時間を長くすることができよう。住んでいた土地がエネルギー供給に役立つと聞けば、住民の喪失感は和らぐのではなかろうか。さらにそのエネルギー生産の収益の一部を旧住民に配分して、償いの足しにしてはどうだろうか。

4. まとめ

起こってしまった事故は仕方がない。事故から教訓を学んで二度と同じような事故を起こさないようにしたい。万全を期しても想定外のことは皆無ではない。そのような場合に対する設備上の安全弁を複数用意し、平素から原発の設計や機能に精通すると同時に、万一の場合に適切な対応ができるような体制を整え、訓練を積んでおくことが望まれる。これらに関連する提言と、事故の結果起こったいくつかの問題に関する意見を述べた。

参考文献

- 1) 読売新聞、2011 年 8 月 25 日（朝日、毎日、産経も 24～26 日に同じ問題について報道しているが、読売の報道は客観的な試算の部分と人が関わる部分とを分けて報道しているので、その前者を引用した。）
- 2) 東京電力、福島原子力事故調査報告書（中間報告書）、平成 23 年 12 月 2 日
http://www.tepco.co.jp/cc/press/betull_j/images/111202c.pdf
- 3) 東京電力(株)福島第一原子力発電所異常事態連絡（事業者報告）1（3 月 11 日）
<http://www.nisa.meti.go.jp/earthquake/plant/1/230617-1-1.pdf>
- 4) 東京電力(株)福島第一原子力発電所異常事態連絡（事業者報告）2（3 月 12 日）
<http://www.nisa.meti.go.jp/earthquake/plant/1/230617-1-2.pdf>
- 5) 朝日新聞、プロメテウスの罠 官邸の 5 日間 [15]、2011 年 1 月 17 日
- 6) 経済産業省、原子力安全保安院、地震被害情報（第 11 報） 平成 23 年 3 月 12 日、午前 7 時 00 分現在
<http://www.meti.go.jp/press/20110312004/20110312004.pdf>
- 7) 毎日新聞、福島第 1 原発：IAEA 報告書「日本は緊急時の決定遅い」（ウィーン樋口直樹）、2011 年 6 月 18 日；原文は “Japan has a well organized emergency preparedness and response system as demonstrated by the handling of the Fukushima accident. Nevertheless, complicated structures and organizations can result in delays in urgent decision making.” この IAEA 報告書（下記）には、ほかにも有用な記述がある。
Mission Report, IAEA International Fact Finding Expert Mission of the Fukushima Dai-ichi NPP Accident Following the Great East Japan Earthquake and Tsunami
(http://www-pub.iaea.org/MTCD/meetings/PDFplus/2011/cn200/documentation/cn200_Final-Fukushima-Mission_Report.pdf)

- 8) 東京電力、福島第一原子力発電所プラント状況等のお知らせ（平成 22 年度）
http://www.tepco.co.jp/nu/f1-np/press_f1/2010/2010-j.html
- 9) 山寺秀雄、提案：原発に化学の壁を、「ぶんせき」2011, No. 12 (p. 735)、「談話室」
（本稿では、同じ趣旨を約 1/2 に圧縮して述べた。）
- 10) 読売新聞、2022 年脱原発 独メルケル政権が閣議決定、2011 年 6 月 6 日
- 11) 原子力安全委員会、緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム（SPEEDI）の試算について、平成 23 年 3 月 23 日
http://www.nsc.go.jp/info/110323_top_siryo.pdf
- 12) 河北新報、岩手日報等による。（記事はすでに消去されている。）
- 13) 例えば、日本保健物理学会、「専門家が答える暮らしの放射線 Q&A」
(<http://radi-info.com/wadai/w-1/>) 参照



【原子力発電所事故一周年特集】

福島原発事故で思うこと

畠山正恒

聖光学院中学校高等学校

〒231-0837 神奈川県横浜市中区滝之上 100

(受理月日:2012.3.08)

【要約】福島原発事故の根源にあるものは、リスクをリスクとして考えようとしない、日本に多い閉じた思考回路にある。この日本文化の弱点をいくつかの実例から指摘する。この弱点が結果として、福島原発事故につながったのではないかと考えている。

1 「閉鎖系の思考」

震災から一年経った 2012 年の 3 月 6 日、カーネギー国際平和財団主催のシンポジウムで米国原子力規制委員会のアポストラキス委員から、福島原発事故について「津波の影響は予見できなかったものではない。冠水したときの脆弱性は指摘されていた。」との見解が示された¹⁾。米国はフランスの洪水、9.11 同時多発テロの経験から電源喪失対策が強化されたのに、日本は対策を怠ってきたというのである。貞観地震による津波は近年指摘されていたが、日本政府や東京電力は積極的に対策を取らなかった。この事実や原子力業界の閉鎖性を捉えて、日本のメディアや言論界は「原子力村」という揶揄した用語で様々な批判をしている。もちろん原子力業界には批判されるべき点も多く、今回の事故で大いに反省してもらわなくてはならない。反省では済まないことがあまりにも多いのもこの事故であるが、本質が何処にあるのかを私の視点で述べてみようと思う。

本当に問題なのは日本人が抱えている「閉鎖系の思考」の文化ではないかと思っている。

「閉鎖系の思考」と言ったのは、その集団だけで思考が自己完結し、他への広がりやアイデアの共有・発展がないことを意味している。「原子力村」と呼ばれるのもひとつの閉鎖系である。そこでの議論や考え方が全てを支配し、他への想像が及ばないわけである。特に危機管理に関する事柄は、ずっと平和が続いて来た日本の不得意とするところである。(昭和 20 年以前も不得意であったとも思うが・・・) 最悪の事態は考えようとしないのである。福島原発の場合も電源の問題だけではなく、電源が喪失しても、発生した水素を爆発させないような触媒を設置するといった施設をアップデートする発想もなかったのではないか。

「閉鎖系の思考」は何も原子力分野だけではないのである。いろいろなところに、この思考は現れており、私たちの生活に深い影響を与えている。少し長くなるが、自動車業界の例を引き合いに出して説明してみたい。

ある自動車メーカーの「安全は〇〇〇の願いです。」という CM が 1980 年前後にあった。テ

レビでもたくさん流れたことを覚えている。〇〇〇の車は他社よりも安全性が高いとは決して言わなかった。この CM によると安全は作り出すものではなく、願うものであった。この考え方は当時の日本全自動車メーカーに共通していたことと思われる。日本の自動車メーカーは生産効率を上げることに力を注いでおり、安全設計や安全装備には消極的であった。（因みに 1980 年（昭和 55 年）の国内交通事故死者数は警察庁統計で 8760 人（事故後 24 時間以内の死亡者）厚生省統計 13302 人（1980 年の交通事故死者数）である。）米国安全基準が厳しくなり、米国での販売ができなくなることから国内メーカーは安全基準を満たすことに対応せざるを得なくなった。

約 25 年位前だと思うが、NHK でも自動車安全性に関する特集番組がいくつかあった。安全性向上への対応はアメリカ市場での販売には必要不可欠なものであったため、国内仕様車と米国仕様車は形は同じでも中身は異なっていた。（フロント安全合わせガラス、サイドドアインパクトビーム、後席三点式シートベルト、スポット溶接密度の違い、衝撃吸収バンパー、ボディー鋼板の厚みなど）日本国内での乗用車に米国安全基準が反映されることはしばらくなかった。驚くべきことは、米国仕様のほうがコストを掛けているのに現地価格は日本国内価格より安かったことである。さすがに運輸省もこれではまずいと考え、国内基準も厳しくなっていたのである。国内基準が厳しくならないと、メーカーは安全装備を組み込まないのである。（米国の安全基準等は米国運輸省道路交通安全局（NHTSA : National Highway Traffic Safety Administration , <http://www.nhtsa.gov/>を参照）

当時のテレビインタビューのなかで、スカイラインの生みの親と呼ばれる著名な技術者が「なぜ安全合わせガラスを採用しないのか」を問われたとき、「ガラスが飛び散った方が頭に掛かる衝撃が少ないことがある」と答えていたことを鮮明に覚えている。毎年ガラス片で、千名近くの失明者が報告されているなかでの話である。このインタビューは、スカイラインに乗っていて私に衝撃を与えた。シートベルトをしていれば頭がフロントガラスに突っ込むことはないのである。

今もこの姿勢は基本的に変わっていない。現在の最新安全技術は ESC（Electronic stability control）いわゆる横滑り防止装置（スリップを予防し、対向車線に入り込む事故が大きく減少することが証明されている装置）である。輸出仕様車は標準装備である。2012 年モデルから米国、カナダ、オーストラリア、EU では装着が義務づけられている。米国道路安全保険協会（IIHS : Insurance institute for highway safety）は早くから ESC の有用性を事故死亡率から算出し、その装着を呼びかけてきた。2)3) この技術は日本で開発されたものなのに（ドイツでもほぼ同時期に開発）、国内仕様車はほとんどオプションかオプション設定のない車種もあるのが現実である。日本国内においては、リスクを少しでも低減しようという思考回路はメーカーに働かないのである。日本損害保険協会のサイトを見ても、車種別の死亡率は公開されていない。死亡率により保険料の増減が図られるべきだと思うが、日本では一律である。安全性の高い車のオーナーは保険料で不利益を被っているのである。

安全性に関心がある車好きは、日本車を購入する場合でも IIHS や NHTSA の情報を参考に選び、日本国内専用の車種は除外しているのが実態である。車に乗るときの最大リスクは事故であるはずだが、燃費は考えても自分にとっての最悪の事態は考えないのである。

日本のメーカーは環境技術や燃費で世界をリードしているが、安全技術で世界をリードしたことはただの一度もないのである。

80年代に北欧メーカーの乗用車を分解し分析したメーカー技術者の言葉が忘れられない。「自分も技術者としてこのような車を作ってみたいが、日本の企業環境が許さない。」というのである。つまり、日本企業はできるけれどもやらないのである。安全性を高めることはできるが、コストが掛かるので進んでやろうとしないのである。結果として企業の姿勢（＝企業文化）が安全技術の進歩を止めてきたし、消費者は死亡・ケガという不利益を米国や欧州より多く負ってきたのである。

この場合、メーカーと消費者をひとつの閉鎖系と考えると、「閉鎖系の思考」というのが理解できると思う。別な言い方が許されるのであれば、車に関する安全思想は「日本村」の思考である。この閉鎖系にいる限り、消費者は自らの不利益に気が付かずに安心していられるのである。

技術は思考とその積み重ねの結果である文化の反映なのである。今回の原発事故も「閉鎖系の思考」からできた文化の反映である。日本は地震をはじめとする自然災害大国である。考えられるありとあらゆるリスクを打ち消す努力をすべきであった。「原発は安全であるという」宣伝を関係者は繰り返してきたが、結局は安全でなかった。車の事故を見ても、自分がいつかそうなるという想像力はなかなか働かないのが人間である。今こそリスクと安全について最初から考え直す良い機会である。

また、安全にはコストが掛かるが、どこまで掛けるかも文化の問題である。2011年4月7日の震度6強の余震で広域停電が発生した。テレビの映像は仙台の変電所でスパークが起こったあと、明かりが消えた街を映し出した。電柱などの末端はともかく、変電所がかくもお粗末な施設であったとは素人目にも驚いた。阪神淡路大震災の教訓は生きていなかった。今回の震災を機会に思考を変えていく努力をしたい。

新聞を始めとするメディアや言論界の論調も「日本村」の「閉鎖系の思考」に基づいていると言えよう。反原発を唱えるのは正義であり、原発再稼働は悪であるという論調である。ある新聞社の編集記者と意見交換したおりに、これらを唱えないと部数が伸びないので致し方ないと説明してくれた。日本は原発を停止してもなぜ中国や韓国は原発建設を続けるのか、トルコはなぜ日本の原発を欲しがするのか、日本が年額25兆円以上の化石燃料輸入を続けることはいつまで可能か、石油・天然ガスの高騰から国際紛争や戦争の危機は増さないのか、世界の70億人が暮らすためのエネルギーのベストミックスは何か、など課題や疑問はたくさんあるのに日本のメディアは何も情報提供や見解を述べてくれないのである。「閉鎖系の思考」であるからこそ対外的な事柄を含んだ分析はなされないのである。現在のようなポピュリズムの主張で論陣を張るのは簡単である。太平洋戦争当時の新聞の論調と重なって見えるのは私だけであろうか。

教育もまた然りである。地震・火山・台風・土砂崩れなど日本列島に暮らす以上自然災害は避けて通れない。自然に対する知識は必要不可欠である。それにもかかわらず、学校教育に於いて地学教育・地理教育は絶望的に不十分である。高等学校でこれらの教育を受けなければ、工学部進学者は土木建築系を除き大学で教育を受けることはない。技術者は原子炉の設計はできても発電所を含めた地域全体のランドデザインを描くことはできない。防災・減災教育は一般社会人

から技術者まで明らかに欠如している。

これらを引き起こしている大問題は、「現在の高等学校教育では自然科学のバランスの取れた教育がなされていない」ということに尽きる。大学入試に必要な科目のみ履修するだけで卒業できる教育体制が教員・学校・教育委員会あげてできあがっているからである。地学は初めから開講されず、物理は不人気で理工系志望者しか履修しない。地理は文科省の学習指導要領による世界史必修化と地方自治体の日本史必修化により、制度的に生徒達に履修を勧めない構造ができてしまっている。実はこれらも「閉鎖系の思考」の産物である。高等学校をいかに楽に卒業するか（させるか）、いかに効率よく大学入試に合格させるか、大学はいかに生徒を楽に選抜できるか、などの視点で教育が動いているのである。

人文科学・社会科学・自然科学をいかにバランス良く学ばせ、国際社会に通用する教養のある人材を輩出していこうという考え方は高校大学を通じて殆どないのである。（この教育がなされているのは一部のエリート校のみである。）

「閉鎖系の思考」の成果は新聞などによく現れている。新聞はよく活断層を取り上げ調査不足であると強調するが、大いなる認識不足がある。日本列島の地下に活断層が存在しない地域など皆無である。見つけるのが極めて困難な活断層もあるし、その予算も人手も足りないのである。しかも活断層をいかに調べあげても、その活断層が動くかどうかは分からない。実際の地震で動いた断層を特定したときに、周囲の断層も連動して動くと思われがちであるが、動いていないことも多いのである。建物を作るときは周囲の地形や既知の断層から、「この地下にある活断層が動いたら」「この地下で新たに断層ができたら」という前提で設計をすべきである。活断層に関しては、マスコミも含めた再教育が必要なのである。

政府の姿勢も理解できない。いざ事が起きたときに、各個人の判断で行動しろと言うのである。基礎知識なしに何か言われてもできるわけがない。特に放射線量について判断を個人で持ち合わせている人がどのくらいいるのであろうか。だからどうしても良い量をむやみに怖がるのである。当フォーラムの役割は決して小さくないのである。

私自身も含めて、どうやら日本人はずっと同じ仲間暮らししている閉鎖系に居たほうが、居心地が良いようである。それは、戦後右肩上がりで経済は拡大し、それを基に思考してきたためであろう。しかし、人口が減少し、経済規模が縮小するなかではわれわれの思考も文化も変化して行かざるを得ないのである。閉鎖系から開放系へ、福島原発事故はこのパラダイムシフトを急加速させているに違いない。

2 放射線量の理解

各地の放射線量が公表されているが、当初は何が何だか分からないでいた。私自身が計測した値とずいぶん違うからである。新聞に出ている空中線量も測定値点の高さが統一されておらず比較のしようがなかった。測器の統一は昨年後半にやっとなされた模様である。

それまでの各地の現場に出向いた計測データも公表されているが、測器のセンサーによる違いによる補正や較正はどのようにしているのであろうか。発表された数値だけ信用していればある意味では平和であるが、真の値は異なるのである。バックグラウンド値がいくらで増加分がいくらと

いう話をしないと本当の事は理解ができない。今となってはバックグラウンド値が分からないところも多いので、推定する方法も検討し純粋な放射線増加分を説明する必要がある。

線量の絶対値についての議論は謎だらけである。ICRP の「一般人の被曝は年間 1mSv 以下」というのは全く分からない、「原発従業員の 50mSv 以下」などは一般人の 1mSv 以下を厳格に守らせようとするのであれば、線量以前に原発従業員の人権問題である。LNT 仮説に固執し、各国政府に暗に規制を強要するのは単なるロビー団体と切り捨てられても致し方ない。1mSv と 50mSv の差がどこから来たのかなど、ふつうの人には理解不能である。同僚教員（理科以外）は、原発従業員は特別な服を着ているから 50mSv でも大丈夫であるとか、特別なことをしているから大丈夫なのだと理解している。

福島原発が事故を起こしたことは論外であり、放射性物質の拡散は大問題であるが、拡散してしまったものの評価が根拠のない数値に基づいて行われることは疑問である。このような意見を述べても感情的に反発されるだけなので、具体的なデータの公表が必要であろう。すなわち、1960 年代のフォールアウトと比較して、現在の福島がどのくらいの値なのかを明らかにする。フォールアウトの事実を知らせるとともに、その時の ^{137}Cs 、 ^{90}Sr などが今どうなっているのかを伝えないと一般の不安は募るばかりである。4)

また、1960 年代のフォールアウト後の穀物・家畜の残留放射能データから、農業製品の残留量がどう変化していくか国は予測し公表すべきである。

3 我々がなすべきこと

2011 年 3 月 15 日の夕方、千葉県柏市の知人から放射線濃度が高いとの連絡が来た。風向が北東で東京向きなので計測してみると、風速から予測される通りにしばらくたって高濃度を観測した。予測はアメダスと公開されている GPV（気象庁数値予報モデル <http://weather-gpv.info/>）を使うと簡単にできる。瞬間的に高い数値を示したが、長く続かなかったので私はひと安心をした。放射性物質が西風で太平洋に流されていくことを願ったが 15 日はそうではなかった。

私は柏市との間でデータの比較をしていたので概略がつかめたが、このときの状態を知っていた人は極めて限られた者だけだったはずである。これらの情報は地学教育の ML にのみ流して、現状を説明した。不安を持った人もいたが、このレベルでは問題ないことも私は繰り返し説明した。その後の降水で地表や水たまり（植木用の汲み置き水）のデータも一時的に上昇したが、問題になる値ではなく毎日減衰し、一週間ほどで安定化した。後に外資系企業の関係者と話をしたとき、放射線の値が高いということで本社機能の一部を東京から大阪に移したり、移そうとした企業が外資系を中心に多かったことを聞いた。どんなリスクがあるのか判断できないので、取りあえず避難させるという発想なのである。私は当日のデータからその必要は無いと判断したことを説明したが、データの無いなかではまず避難させるのがマニュアルに書かれている第一段階だそうである。

これは極めて重大な問題を提起している。政府は放射性物質の拡散予想モデル（Speedi）で放射性物質の広がり、その対策が必要か否かを国民に示すべきなのだが、全く行わなかった。気象庁関係者によると、3 月 15 日は文科省の要請があれば直ぐに拡散予報を出せるように準備を

していたそうである。文科省の依頼がないので、国土交通省下の気象庁は独自に拡散予報を出せなかったのである。そのため日本での放射性物質の拡散をドイツやノルウェーの気象当局が発表し、それを参考にしている人もいたのである。ドイツやノルウェーなどの予報は 100km メッシュのデータで行っているのに対し、GPV は 5km メッシュである。なぜ日本国民が精度の低い外国のモデルを参考にしなくてはならないのであろうか。

今回は結果として首都圏では屋内に待避する必要もなかったが、国（文科省）の不作為は糾弾されてしかるべきである。どこを見て、誰のために仕事をしているのかと問いたい。これは「閉鎖系の思考」の極端な例といえよう。この思考が日本単独のものとは言わないが、日本にはあまりに多すぎるのである。福島原発事故から、閉じた思考回路がいろいろな問題の根底にあるように思えてきた。このような考えに陥らないようにするためには、どのようにしたらよいのか。日本村の思考に閉じこもらず、いかに世界でのバランスを考えて生きていくか。自分自身への反省も含め、常に頭の片隅で考えておくようにしたい。ご批判をいただければ幸いである。

1) <http://carnegieendowment.org/2012/03/06/one-year-on-assessing-fukushima-s-impact/9iid>

http://carnegieendowment.org/files/Commissioner_Apostolakis%20Presentation.pdf

2) <http://www.iihs.org/externaldata/srdata/docs/sr4204.pdf>

3) <http://www.iihs.org/externaldata/srdata/docs/sr4605.pdf>

4) 北海道における ^{90}Sr の牛馬骨への蓄積状況 近山, 八木, 塩野他

5) <http://www.journalarchive.jst.go.jp/jnlpdf.php?cdjournal=radioisotopes1952&cdvol=48&noissue=4&startpage=283&lang=ja&from=jnlabstract>

一口メモ

放射線被曝線量の単位について

シーベルト(Sv) は人間が放射線に被曝したときの影響を示す単位です。

自然界には岩石や土壌に含まれるウランやトリウムとかカリウムなどの天然放射性核種から常に微量の放射線が出ており、宇宙線も放射線として地球上に降り注いでおります。（ご承知のように我々の体内に含まれる天然放射性核種が数千ベクレル壊変しています）それらの放射線被曝線量は世界平均値として年間で 2.4 ミリシーベルト {(mSv)体内からの内部被曝 1.4mSv と人体外部からの外部被曝 1mSv の合計} であり、1 時間あたりに直せば 0.27 マイクロシーベルト(μSv)となり地域差は数倍くらい有ります。これらの放射線の被曝から我々人類は避けることは出来ませんし、人類誕生以来継続して浴びており、この程度の被曝では何の影響も有りません。

医療診断で使う X 線も放射線であり、一回の CT スキャンでは 6.9mSv の被曝があります。同じ被曝線量でも 1 回での被曝の方が複数回の積算被曝よりも影響は大きいことが分かっています。従って、1 回の CT スキャンが自然被曝の 3 年分弱に相当しますので、不要な被曝は医療用であっても出来るだけ避けることが望まれます。しかしながら、一回の被曝で急性の症状が現れるのは 250mSv 以上ですので被曝を怖がりすぎるよりも、病気の原因解明のほうを優先するのです。（橋本哲夫）

【原子力発電所事故一周年特集】

福島第一原発事故から考える学校理科教育のあり方

(1) 事故経過および事故原因の整理

大野新一

理論放射線研究所

227-0054 横浜市青葉区しらとり台 12-5

E-mail: ohno-trl@01.246.ne.jp

(受理月日:2012.3.01 ; 修正:2012.3.15)

[要旨] 東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故の経過と原発製作に関係したアメリカの技術者の証言などから、事故の原因として考えられるものを整理した。原因は地震・津波の想定外の大きさや原子炉本体の原理的な不備によるのではなく、原子炉施設の設置場所、非常用発電機の整備、安全システム、防災訓練などのソフト面にあったといえる。十分な安全対策がなぜ採られなかったかを、①科学技術導入における日本の後進性、②専門職業人の意識の観点から議論し、これからの学校教育の課題を考える。

1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故の経緯を振り返ることからわかることは、原子力発電の基本的・原理的な機能は維持されたが、原子炉事故に備えて事前に準備されるべき安全システムが不完全なままであったことである。例えば原発施設の設置場所や設置条件、非常用発電機の設置の仕方、非常用復水器(IC、isolation condenser、イソコン、以下復水器とする)・ベント(排気)装置の始動手順、防災訓練、放射性物質フィルター機能などにおける準備状況である。しかし政府関係者・安全審査に携わった専門家・企業トップからの説明は、「この半世紀ほどの間、専門意見に注意・検討を重ねながら建設・運営・安全運転に努めてきたこと、想定を超える自然災害に襲われたこと、事故対応も専門家の叡智と国の全組織を動員して危機回避に全力で当たってきたが、至らなかったことを深くお詫びする」程度である。具体性がなく、あいまいで、緊張感がない。自らの職務に対する誇りや専門性への認識が希薄ではなかろうか。

これは技術輸入から始める日本の科学技術の取り組み方の後進性によるものか、あるいは日本の研究者・技術者は自らが所属する組織・機関の一員として活躍し、その組織・機関の不利益を避けることを最優先するように教育されているためであろうか。これからの学校教育の重要性を強調したい。

2. 福島第一原子力発電所事故の経緯

地震発生に伴って自動制御棒（中性子捕捉材）が挿入され、稼働中の原子炉はすべて自動停止（連鎖反応の停止）、ここで自動的に復水器^{注1)}が作動した。また鉄塔倒壊などで外部電源が絶たれたが、運転員の操作により非常用電源に切り替えられた（自動的に復水器は“閉”になる）。

ところが地震発生からおよそ1時間後、“想定外”という津波の来襲という一つの原因によって複数の非常用電源が浸水、電力による冷却機能が失われた。再び復水器を作動させる必要があったにもかかわらず、“閉”のままにされていた。これによって原子炉の炉心は空だき状態になり、温度上昇を止めることができなくなった。

以後の炉心（压力容器）・格納容器内の状況（温度・圧力・水位など）は監視機能が電源喪失により失われ、不明のままである。後日、行われた幾種類ものシミュレーションの結果および既知の実験結果によれば、1,000℃を超えるとジルコニウム合金が溶け（この際に水とジルコニウムの化学反応で水素ガスが大量に発生する）、2,000℃を超えて酸化ウラン燃料が熔融し（メルトダウン）、高温のため压力容器内の圧力が高くなり、水素とFP（核分裂片）を含む気体がパイプ接合部分を破損して格納容器へと漏れる。さらに格納容器のケーブル貫通部や容器パッキング部のシリコン樹脂の高温劣化により、気体は格納容器から建屋へと漏れ出し、建屋が水素爆発で飛び、揮発性のFP（主としてヨウ素131、セシウム134およびセシウム137など）が外部に放出された。またメルトダウンした（使用済み）燃料は压力容器底部の挿入孔を通して格納容器へと流れ落ちたとされる。

事故当日の外部電源を失った原発制御室では、携帯用電源（バッテリー）を確保して原子炉本体（压力容器）内の水位の読み取りが試みられたが、その結果は燃料棒がまだ十分に水で覆われた状態であると誤認され、メルトダウンには到っていないとされたが、後になり実は水位計読み取りの誤りによることが判明した。

3月12日15時36分（以下15:36のように記載する）に1号機建屋の爆発が起こり、つづいて14日には3号機の建屋爆発が、また15日には2号機の爆発が起こり、放射性物質の放出が観測され始め、住民に対する避難指示がなされた。一方で、全国から緊急配備された電源車両による冷却機能の復旧作業、消防車・ヘリコプターによる放水冷却が試みられた。

経済産業省原子力安全・保安院から発表されている事故経過を表1にまとめておく。

これまで事故のさいに放射性物質（FP）が外部に漏れ出ることのないよう5重に保護されているとされていた。まず①FPはすべて融点2,700℃の酸化ウラン中に閉じ込められ、②その酸化ウラン（1cm大のペレット：900万個）は融点1,800℃のジルコニウム合金製の被覆管に包まれ、それらの燃料棒が束ねられ、その400本（高さ4mの燃料集合体）がポンプで流れる水中に配置され、③全体が鋼鉄製の压力容器（内径4.8m、高さ19m、壁の厚さ16cm）内に設置され、さ

注1) 原子炉の停止後も炉心部の余熱と崩壊熱（出力値の5%相当の約2万kW）の除去が必要であり、このために原子炉では運転停止後も冷却機能が確保されることが必要である。冷却水はポンプで循環されるが、その電源は外部電源もしくは非常用電源による。復水器（イソコン）は過熱された炉本体から出てくる水蒸気を水タンク中を通るパイプに導いて復水して再び炉本体に戻す装置であり、電源がなくても稼動する装置である。

らに④原子炉格納容器が圧力容器をはじめ主要な機器・配管を包んで FP が外部へもれ出ないように、そして⑤建屋に納められていた。

表 1. 福島原発事故(2011.3.11)の経過

3月11日 14:46 東日本大震災発生 (M=9.0) 福島第一原発で稼働中の1～3号機は自動停止、鉄塔倒壊による外部交流電源喪失、 非常用電源(ディーゼル)稼働開始 (注：福島第二原発の稼働中の3機も自動停止した) 3月11日 15:37～15:42 津波(15m 高さ)による浸水で非常用電源が機能喪失 3月12日 1:20 1号機格納容器の圧力上昇 12日 13:00 3号機圧力容器の圧力低下 (配管破損?)			
	1号機	2号機	3号機
圧力容器破損(保安院推定)	11日 20:00	14日 22:50	14日 22:20
	12日一部ベント	14日に蒸気ベント	13日一部ベント
水素爆発	12日 15:36 (建屋損壊)	15日 6:20	14日 11:01 (建屋損壊)

3. アメリカから見た福島原発事故

東京電力福島第一原発1号機はアメリカ GE 社が開発製造したもので、マーク1とよばれる特徴的な形(フラスコ+ドーナツ)の格納容器をもつ。メーカーの GE 社で完成2年後の1967年に東京電力とフルターンキー契約(完成後引渡し)が行われた。当初、GE 社では炉心溶融を想定してなかったが、その後の GE 社内の安全研究の結果に基づいて、1970年代に構造上の弱点が問題視され、また1980年代には政府関係者との間でマーク1の廃止をめぐって検討・論議したことが NHK-ETV 特集番組で紹介(2011年8月14日 22:00 総合テレビ)されている。

S.R.グリーン(元 ORNL 研究員)：外部電源喪失後のシミュレーションでは、4時間まではバッテリーにより稼働、5時間以後に温度が急上昇し、2500℃で燃料は溶融、6.5時間後にメルトダウン、さらに8.5時間後に格納容器の破損にいたるとの結果を得ていた。

D.ブライデンボウ(元 GE 主任技術者)：日本に導入10年後、マーク1格納容器の安全性検証の社内チーム3人のうちの一人。コスト低減のために格納容器を小さくし、水素ガス処理などの余裕がない構造であること、圧力抑制室(ドーナツ構造部分)の壁が弱く破損実験を実証、会社と対立した。3人は1976年に GE 社を退職した。さらに米連邦議会で5日間の公聴会が開催され議論されたが、安全だとの意見も出され進展なく終わった。

スリーマイル事故(1979)の後でアメリカ政府関係者の考え方が変化し、NRC(規制委員会)が全原発の安全性の見直しを開始した。K.バジヨロ(元 Sandia 研究員、格納容器の大きさと安全性の関係を研究)はマーク1型の小さ過ぎる格納容器が最大の問題であるとした。

H.デントン(元 NRC 安全部長)：NRC は原発安全性の再評価と事故のリスク調査を開始し、1980 年代半ばに 8 つの型の炉を調査、マーク 1 型に重大な問題があるとしたが、1989 年 9 月にベント装置(圧力を逃す装置)を導入することで格納容器の破損を防ぐことができるとして、アメリカ東部における 40 台のマーク 1 型炉に対する運転認可を出した(注：地震・津波の多い日本にある 10 台のマーク 1 型炉に対する適用ではない！とのコメント)。その後、日本政府は電力会社にベント装置の設置を促したとされる。

さらに、1993 年に福島第一原発では非常用電源を増設したが、設置場所を海側の地下室としたのは「大きい過ち」(バジョロ氏)とされる。

4. 考えられる事故原因のリスト

福島第一原発に設置されているマーク 1 型炉の脆弱性が指摘されたが、対応できなかった。アメリカではベント装置を追加することで規制委員会側は認可したが、日本では地震多発国であるにもかかわらず、企業の自主性に任せて義務付けることはしなかった。また ベントの場合のフィルター(放射性物質捕捉用ろ過装置)を設置していなかった。

非常用電源を同種類のもの 2 組を地下室に設置した。アメリカ東部では地震津波はほとんどなく、その代わりハリケーンと竜巻に対する対策がとられ、そのために非常用電源は地下室に設けられた。津波の心配がある日本の海岸では、より高台に、あるいは原子炉建屋内で防水対策をした非常用電源が設置されるべきであった。海側の地下室に設置してあったために同じ津波で同時に使用不可となった。

冷却用海水をくみ上げるポンプの性能を GE 社の規格品に合わせるため、高台の土地そのものを削って低地として(海面上 35m から 15m に)福島第一原発を建設したとされている。規格品の購入は低価格であり、企業としては当然ということである。

復水器の操作法、水位計の扱い方、高圧気体を逃すベント装置などは地震にもかかわらず正常に作動するものと考えられるが、扱い方に習熟していなかったと思われる。そのため対策の検討に多くの時間が過ぎ、取り替えしのつかない惨事を招いた可能性がある。予め防災訓練をしていたら事故時に早急に対処できたのではないか。

5. 日本における原子力発電の研究開発

原子力発電は、17、18 世紀の物理学における自然法則の発見と 19 世紀の化学者の努力を経て確認された原子の存在から発展した科学に基づいている。20 世紀になり、放射線を用いた原子の内部構造の研究が進んだ。原子力は、これらの科学の成果を踏まえて得られた科学技術、すなわちウラン 235 の核分裂とその連鎖反応を利用するものである。それは複雑な巨大な産業技術である^{脚注 2)}。戦時下のアメリカ産業が総力を挙げて取組んで達成された。まず原子爆弾という兵器

脚注 2) 20 世紀では発見された放射線を用いての原子の内部構造の研究(ラザフォードの α 粒子を用いた原子核の発見、原子番号と核内陽子の関係、特性 X 線の波長と原子番号の関係、量子力学、相対論、 α 線を用いたチャドウィックの中性子の発見、フェルミや J. キュリーらの中性子による核反応の研究、ハーンらの核分裂の発見など)へと進んだ。注目したいのは、ここまでの成果が

として、さらには潜水艦の燃料としての軍事利用、そして 1953 年ころからアメリカ GE 社およびウェスチンハウス社から商用発電炉の製造・輸出が動き出し、産業技術としての道を歩み始めた。

日本では放射線に関する科学の経験は皆無と言ってよい状況であったが、明治維新以降に近代化を急ぐあまりすべての科学・技術は先ず輸入し、そこから学ぶという習慣が定着していたといえよう。太平洋戦争後に、日本でも原子力の基礎研究と放射線利用、放射性同位元素の利用の必要性が認識され始め、研究の進め方が日本学術会議などで検討され始めていたときに政治主導で実験用原子炉(JRR-1)が輸入され(1957)、東海村に日本原子力研究所が設置された。東京電力はアメリカのメーカーGE 社から最初の商用原子炉の輸入を計画(1965)、フルターンキー契約で完成後に日本の技術者に教えるという条件で購入した。運転開始は 1971 年である。JRR-1 の出力が 50 kW なのに対して商用原子炉福島原発 1 号機の出力は 46 万 kW(2 号機および 3 号機は 78.4 万 kW)であり、知識経験がまったく乏しいと推定せざるを得ない技術者・運転員たちに複雑な巨大な施設の安全管理が委ねられたのである。

6. 考察

先進諸国に比べて日本は原子力利用の基礎研究期間が極端に短い。また複雑な巨大・商用発電炉を“受け入れる日本側の技術者のレベルが低い”状態で建設を急ぎ、製造元のアメリカで安全問題が検討されたときに対応し切れなかったのではないかと思われる。

原子炉設置審議委員会や東京電力社内の安全審査委員会等で地震・津波の大きさに対する想定違いを指摘する研究者がいたことが明らかにされつつあるが、結果的には委員会は無視、あるいは採用できないで終わった。すなわち、地震・津波対策の不備がわかっていながら、「まさか」ですませ、想定範囲内だけを考えてきた。つぎに他国の研究者・技術者たちが開発した(地震・津波の少ない米国東部向けの)原発をそのまま輸入し、その後の安全性研究によって明らかにされた電源喪失事故の対策(非常用電源の設置、ベント装置・フィルター機能など)などの事前の準備が不十分な状態をそのままにしておくことが出来たのは何故かを考えるべきであると思う。

これは単に原子力分野に限ったことであるとは思えない。科学技術のすべての分野において、産業の振興が優先され、経済性が重視され、安全対策は後回しにされる傾向があったことが思い起こされる。公害問題、環境破壊、薬害問題などである。さらに学術関係の大学研究者も政府の委員会に推挙されるが、多くは政府官僚の作成した方針(=国策)に同意することが多いように思われる。そして何よりも研究費を得るためであるという言訳が聞えてくる。今回の原発事故からわれわれは何を学ぶべきであろうか。

筆者は、① 科学技術の導入における日本の後進性を再認識すること、② 教育内容・人材育成のあり方を検討することを提案したい。明治維新以後の日本の学校教育では、天下り式に手取り早く既成概念を会得させ、実理(技術の習得)を第一としてきたことがある。広く社会の動き

机上にのせられる小さな手作り装置を用いて得られていることである。1940 年ころまでに核分裂とエネルギー利用の可能性の発見へと進展した。

を見渡せる少数のエリート育成はあったかもしれないが、大多数の国民は専門職・研究・技術員になるよりも総合職・管理職になって肩書きを得て尊敬されることを人生の目標とする。このような教育では、国・政府関係機関、企業トップの方針なり考え方が与えられると、技術者・科学者はその範囲内で想定される物事だけを研究し、また検討をすすめる。このように教育あるいは指導されていると言えるのではないか。その枠にとらわれなくて問題を自分で見つけて行くような人材を育てることが、これからの日本の科学技術にとって重要なのではなかろうか。その体質作りに学校教育が大きく関わっていると考えられる。

放射線教育に関して言えば、「地球誕生から放射線は地球上の至る所で存在し、生物はその中で進化した。放射線の種類はアルファ、ベータ、ガンマ線の3種で、それぞれ紙1枚、薄いアルミ板、厚いコンクリートで遮蔽できる。他に中性子線も、また宇宙線もある。100ミリシーベルト(=0.1 J/kgのエネルギー吸収)以下は健康に影響がないとかあるとか、いや20ミリシーベルトだとか」。これらは手っ取り早く教える典型例の一つである。試みに、どれかについて生徒から「なぜか」と質問を受けるときを想像してみるとよい。講師はどのように説明するのだろうか。自然に親しみ、自然の仕組みを理解することを目標とするためには、星の中の反応、超新星爆発、地球の生成、原子核の構造と安定性、放射線の運動エネルギーが生物の分子に伝わる仕組みなどの自然現象を真に理解し、自分で考え、考え抜いて納得し、客観的に判断する必要がある。具体的な内容については、このシリーズの(2)として次の機会に報告する予定である。

参考資料

1. NHK: ETV 特集「原発事故への道程」(前編 2011.9.18、後編 2011.9.25)
2. NHK: NHK スペシャル「原発事故 謎は解明されたのか(事故調査・検証委員会中間報告)(2011.12.27)
3. NHK: NHK スペシャル「メルトダウン 福島第一原発、あのとき何が」(2011.12.18)
4. NHK: ETV 特集「アメリカから見た福島第一原発事故」(2011. 「放射線教育」 *Radiation Education*
5. 原子力学会編:「原子力がひらく世紀」(日本原子力学会)(200 Vol. 15 No. 1, p. 16- 20 (2011)
6. NPO 法人放射線教育フォーラム:「放射線学習指導資料<http://www.ref.jp>」(2010)

【研究報告】

放射線授業の工夫と課題

大島 浩

佐野日本大学高等学校教諭

〒327-0192 栃木県佐野市石塚町 2,555

(受理月日:2012.1.19 ; 修正:2012.2.1)

【要旨】 中学校理科指導要領の改訂を受けて、平成 23 年度文科省委託事業「どこまで知ってる放射線」による小学校・中学校・高校への、放射線出前授業に講師として携わってきた。今回の福島原発の事故と線量に対する市民の不安は、従来の教育において「科学的な受容や判断（態度）」を育てることが不足していたことが示唆される。知識の普及と同時に、科学的な態度を如何に育てるかの試みを報告する。

1. はじめに

文科省委託事業「どこまで知ってる放射線」^[1]は事業計画の段階において、東北地方太平洋沖地震と、その津波被害による福島第一原発の放射性物質の漏えいと東北・関東地方への高放射線量汚染は予期しておらず、平成 23 年度の申込限度数を 56 校としていたが、6 月末の期限では 153 校に達した。

放射線出前授業の申し込みは、児童生徒への健康影響を懸念した保護者からの要望を受けたものが多く、小学校 91 校、中学校 44 校、高校 18 校の内訳となった。（私が実施した学校は小学校 2 校、中学校 3 校である。また、勤務校で 3 クラス実施している。）

授業内容は対象の学年あるいは学校種、地域の特性など個別の事情が異なるが、放射線の性質と利用、測定器による計測や霧箱による飛跡の観察が基本であり、配当時間は 1～2 時間（45 分～90 分）で実施した。

11 月中旬には全国の小中高校向けに放射線副読本^[2]が文科省より配布された。授業に際しては準拠すると共に適時参照することとなっている。本文は各々 27 ページ余りであるので、理科の授業に限らず、保健体育科や社会科（地歴公民科）、家庭科や総合的学習の時間、継続的に取り組まれることが求められている。対象の学齢によって表現は異なるものの、教えるべきポイントを整理すると以下ようになる。

（学習指導の項目）

1. 自然には放射線が存在すること（自然放射線の存在）
2. 放射線の単位・量（マイクロシーベルト・ベクレル・グレイ）
2. 放射線の人体（健康）への影響
3. 放射線の種類と性質（距離・遮蔽・時間・防護）
4. 放射線の医療や産業（工業・農業）への利用
5. 演示または実習として、測定器「はかる君」による教室や校庭の放射線量の測定、霧箱

による飛跡の観察を推奨している。(測定器についてはJSTを通して無償貸与される。)

6. 測定(観察)結果を発表する、などである。特に小学校では、発達段階を考慮して放射線の種類については具体的に触れないこと、単位はマイクロシーベルトのみを扱うなどの配慮がなされている。指導項目には十分な配慮と内容が盛り込まれている。その反面、すべてにこたえようとしているため、学校現場での配当時間、項目の取捨選択が必要である。また、指導項目を教科内容とするのか防災教育として取り組むのか、さらに科学リテラシーとしてどのようなことを最低限身に付けさせるのかなどの整理が必要となってくる。

2. これまでの放射線教育 (エネルギー資源としての放射線利用)

3.11の大地震による福島原発の事故を受けて、放射線教育の学習環境は大きな転換点を迎えている。従来の放射線教育においても押さえるべきポイントは1～7であったが、中学校理科の学習指導要領の取り扱いにおいては、〔(7)「科学技術と人間」のア. エネルギー、(イ) エネルギー資源〕となっており、

1. エネルギー資源としての(原子力発電)の利用
2. 放射線の産業への利用(の紹介)となっており、放射線とエネルギー利用を結びつけた教育、あるいは放射線のエネルギーとしての利用と環境(対策)や原子力利用促進の基調となっている。

放射線学習を推進するにあたっては、技術に基づいて原子力の利用を図る「正しい放射線の知識」の普及と価値中立的な科学知識の伝達、適切に社会での科学技術の受容を判断できる能力の育成が目標となっていた(具体的には原発立地の確保やバックエンド事業の推進を目指すものでもある)。また技術利用には便益の選択が必要であるとされた。

産業界での放射線利用とエネルギー資源の確保を背景に、(主張はエネルギー資源としての有用性からエネルギー確保の安全保障、二酸化炭素を出さない環境優位性へと変化して来たが、唯一の被爆国という経験から、原子力利用の負のイメージを払拭し、放射線の市民生活に対する親和性と認知を高めることが目標であった。

3. これからの放射線教育(授業の構造化により判断力を育てる授業)

しかし現在、福島原発の事故を契機に放射線の健康影響、管理技術への不安が国民に急速に広がっている。放射線の広域汚染は社会経済への大きな損失とともに、単なる放射線の性質と利用では学習者の要求にこたえることができない。出前授業においても放射線で思い浮かべる言葉は何か?の問いに、「放射線でガン(病気)になる。」が最初の応答である。生徒たちの懸念と不安にこたえることができれば授業への関心を得ることは難しい。また一方でリスクや危険性を説明し線量を計測するだけでは、社会生活に根差した科学リテラシーを育てたことにはならない。また、原発事故で避難を余儀なくされ経済的被害や風評被害に苦しむ人々たちへの共感を伴った指導も必要である。学齢に応じた、放射線利用に対するリスクの取り扱いと児童生徒が主体的に考える知識の準備や場面(意見を発表し、話し合う)の設定が授業の構造化を通して必要である。

4. 放射線授業の構造化の試み

【中学校理科での学習指導案（実施例）】

1. 日時 平成23年10月4日（火） 第2校時 理科室

2. 対象クラス 2年1組

3. 指導者

4. 単元名 第1分野 （7） 科学技術と人間

ア. エネルギーの(イ)エネルギー資源

人間は、水力、火力、原子力などからエネルギーを得ていることを知るとともに、エネルギーの有効な利用が大切であることを認識すること。

イ. 科学技術の発展の(ア)科学技術の発展

科学技術の発展の過程を知るとともに、科学技術が人間の生活を豊かで便利にしてきたことを認識すること。

5. 単元の構成と指導計画

6. 指導目標

(1)放射線の性質（はたらき）と日常生活での利用を知る。

(2)学習を通して、互いに意見を発表し、話し合う積極性と楽しさを味わう。

7. 教材観・指導観

東日本大震災と地震にともなう原子力発電所の事故をきっかけに、原子力や放射線（の利用）に対する不安と、知識に対する欲求は高まっている。

放射線の性質と日常生活での利用を知ることにより、科学技術が私たちの生活にどのように関わり、豊かで便利にしてきたかを考える機会としたい。

8. 授業の構造化の視点と評価単元の配置

(1) 生徒が日常見聞きする知識や情報（報道）が、どのような内容を伝え、意味しているのかに答えられるような導入とする。事故の重大性については受け止めつつ（共感ある指導）、放射線の身体影響については科学的知見に基づいた知識と態度を養う。（科学的態度の育成と、判断力の育成）

(2) 児童生徒の発達段階に応じた学習内容を取捨選択する。（単位、放射線の種類と性質、放射線発見の歴史などの物語性の挿入など。）

(3) 知識の伝達に偏らないための実習でなく、結果を発表させる、結果から言えることは何かをまとめさせるなどの探求的態度や表現力を育成する。

【展開の例】

過程	指導内容	時間	学習活動	指導上の留意点	評価
過 程 導	(1)放射線について、どのようなこと（言葉）を知っているか書き出してみる。？		(1)放射線や（放射能）という言葉から連想されることを上げて見る。	(1)言葉から関連する極を引出、概念図で表し、学習の関連性に気付かせ	(A) (G) (D) 放射線への関心と

			(9)結果を各班発表し互いの結果を知る。	とめる。	発表をさせることにより、考える力を育てたい。
まとめ	(9)学習の結果をまとめる。		(10)学習結果を整理する。	学習を整理させ、課題や発展を考えさせる。	

5. 授業評価と課題

低学年の授業であっても、性質と利用を理解し易くするためには放射線の測定や飛跡の観察など授業の視覚化が効果的である。当初、出前授業は2校時分の実施を想定していた。ところが要請した学校のほとんどが1校時分の実施を望み、その中で測定の体験も希望している。年間の学習計画を考えれば、放射線学習の導入に際して割り当てられる授業時数は、1校時分が妥当ということだろう。導入の学習時間が1校時分であっても、児童生徒の学習が導入だけで完結するわけではないことや小学生であっても放射線についてのレディネスは豊富に持っている（中には正すべき誤謬が混じっているとしても）ことは予定してよいことである。むしろ肝要なのは、児童生徒が「学習したいと思うような内容の提示と展開」や「学習したことを生活に活用したい(行動を起こしたい)」と思う授業の展開の構成が大切である。

そこで学習指導案の作成に際しては観点別の評価項目を明確にすることで授業を構造化し、知識の伝達に偏らないよう留意した。授業の観点は次のようになる。

(評価の観点)

【興味・関心】 映像資料などの視聴覚教材の利用・文科省 HP 放射線資料「あとみん」と同省作成の副読本の電子データを利用した。

(A)メディアから報道される情報(知識)を理解できる。

(B)放射線の日常生活での利用を知ることや確認。

(C)放射線が測定器を利用して音、数値、飛跡として計測、観察できることを知る。

【知識】 放射線の性質（と利用）を知る。

(D)自然放射線の存在を知る。(2)放射線で使われる単位を知る。

(E)放射線、放射能、放射性物質などの用語を知る。(4)放射線の発見や研究の歴史を知る。

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

(G)エネルギー資源の利用とその問題について考える。

【技能・意欲】 知識の整理と活用

(H)自然放射線を調べてみる(放射線の測定や霧箱による飛跡の観察する。)

(I)インターネットで放射線やエネルギーについて調べる。

(J)グラフ・図表を正しく読み取る。資料の調べ方を身に付ける。

(K)疑問なことを調べてみる。多面的、客観的な見方を身に付ける。

【表現力・客観的判断】測定結果や観察のようすを発表する

(L)科学的合理性に基づいて自分の考えを発表できる。

(M)プレゼンテーションソフトなどを利用して、発表に工夫ができる。

(N)友人の発表や意見に耳を傾け、多面的、客観的な見方ができる。

以上を学習と活動の要点とし、評価と定着に結び付けた。具体的な学習指導案や本時の授業案は、教育センターや多くの機関のものが公開されている[4]・[5]。入手できるものを下敷きに、各学校の実情に合わせて実施していただきたい。児童生徒の意欲的な活動を引き出すことや発展的な学習(知識を活用する力)につなげることがねらいであり、今回の「どこまで知ってる放射線」の出前授業では、「分かった」、学習に興味関心を持ったとの回答が 90%以上となっており、学習意欲は非常に高いものがある。しかしながら、次のような課題改善も求められていることを付記しておく。

【課題】

- (1) 放射線の健康への影響を懸念が児童生徒にとっても一番の関心事であり、学習の動機である。低線量被曝の影響は防護の目安が示されているが、学齢を考慮し、どのように得心してもらうか一層の工夫が必要である。
- (2) 放射線を計測して、放射線を実感した、自然放射線が存在が分かったとの結果を引き出すことができる。しかし放射線の学習内容は分量が多いので、導入だけで満足してしまうことになる。小・中・高校と継続的学習を促す内容の整理が必要である。
- (2) 校内でのアンケート調査では、生徒よりも教員の方が原子力(発電)や放射線に対する拒否反応が強い。またその忌避傾向に、教科領域の理系・文系の違いもない。放射線については、学校教育で学習を特にしていない年齢層であることを考えると、メディアを通しての誤った理解や恐怖感情のみの先走りが思われる。市民になってからの学習の機会が設定される必要がある。

6. 参考資料

- [1](財)日本生産性本部エネルギー環境教育情報センター 平成23年度文科省委託事業「どこまで知ってる放射線」
- [2]文部科学省(平成23年10月) 放射線副読本
小学校用 「放射線について考えてみよう」／中学生用 「知ることから始めよう放射線のいろいろ」／高校生用 「知っておきたい放射線のこと」
- [3]「放射線教育」Vol. 14, No. 1, 73 - 80 (2010) 原子力・放射線利用の進展と啓発活動の変遷
- [4]文部科学省ホームページ放射線学習サイト「あとみん」
- [5]放射線教育フォーラムホームページ学習資料

【解説】 放射線の性質を探る

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

(受理月日: 2012.02.05)

[要旨] 放射線発見の歴史をたどり、放射線がどのようなもの（＝物質）からどのようにして誕生し、またどのような物質をどのように変化させることで消滅し、また検出されるかに注目しながら放射線の性質を整理する。その中から放射線と称されるものだけがもつ性質を探る。放射線を定義するには、放射線そのものが単独で有する性質ではなく、放射線と他の物質との相互作用の仕方によって定義するのが妥当であろうとの結論を得た。

1. はじめに

放射線に関わる入門書や新聞の記述で、よく「放射線は目に見えない、われわれには感知できない」というような表現に出会う。その通りであろうが、実は、放射線でないものでこれと同じ性質をもつものが多い。例えば空気をはじめとする多くの簡単な分子は、いずれも同じ性質をもつ。さらに想像力を働かせば、微弱な光線、電線のなかを流れる電子、どこにでも浮遊している微細粒子や埃、またウィルスや植物細胞などの1個とか数個を考えれば、みな上記の性質をもつといえよう。本稿では、放射線が、そして放射線のみが有する性質は何かを探ることを目的としている。

そのためにまず、この宇宙に存在するあらゆる物質（素粒子、原子、分子、細胞、生物、惑星、星、銀河、宇宙塵、銀河系など）を対象にして調べ、そのなかから放射線とされているもの^bを探るやり方もあるが、われわれは宇宙に存在する物質をすでに知っており、放射線だけをまだ知らない（と仮定する）。ところで放射線に関する研究は100年余り前から学術論文として報告されてきて日常生活でも使われている。そこで放射線として報告されてきた中から、その放射線がどのような物質からどのようにして発生しているか、そして放射線が消滅するときどのような物質をどのように変化させているか、さらにどのようにして検知されたか（物質の変化を利用して検出する）に注目する。それは取りも直さず放射線と物質との相互作用を調べることに繋がり、放射線としての共通の性質、すなわち放射線であるための必要条件となる性質を明確にするであろう。

^a 東京工業大学情報工学研究所（〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259 J1-2）

^b 今日の社会通念として放射線とされているものは、19世紀末のレントゲン、ベクレルらの研究から始まるいわゆる電離性放射線（Ionizing radiations）や宇宙線、そして加速器の普及によって利用可能になった高エネルギー粒子などであろう。より広く紫外線・赤外線・電波などの電磁波を含めて放射線（Radiations）を用いる場合もあることを注意しておく。

本稿では、まず放射線発見の歴史をたどりながら放射線の性質を現象面から整理する（ステップ1）。つぎに放射線の発生と消滅のさいに近傍の物質がどのように関係しているかを考察する。その結果を踏まえてステップ1の現象が放射線と物質構成粒子との間に働くどのような力に帰せられるかをまとめる（ステップ2）。さらに物質の代表として空気を選び、放射線であるための必要条件を検討する。最後にこの必要条件が放射線であるための十分条件であるかどうかを検証する。こうして得られる放射線であるための必要十分条件は、そのまま放射線の定義として用いることができることが期待できる。

2. 放射線の性質

2.1 放射線の発見をたどる

放射線の発見をもたらした直接のきっかけは真空放電の実験であった¹⁾。真空ポンプと電気の実験（ボルタ電池の発明、1800）を組み合わせた真空放電の実験は、雷光・オーロラへの関心から盛んに行われたが、陰極から出る荷電粒子の（電荷 e ）/（質量 m ）の比が陰極材料や管内気体の種類によらずに一定であることから、物質を構成する普遍的な微細粒子（素粒子）の一つである電子が発見されたことにまず注目したい。

(i) 陰極線の研究²⁾

真空放電において陰極から何かが出て真空中を走り陽極に達するが、この何かは途中でガラス管壁と衝突して緑色光（グロー）を発する。この何か（＝陰極線）の道筋が電場や磁場によって偏向され、極めて薄い薄膜を透過し、運動量を持っていて小さい物体を動かすことなどから、陰極線は負の電荷をもつ微小な粒子の高速の流れであることがわかってきた。J.J. Thomson はこの粒子の質量を m 、電荷を e 、速度を v として一定時間内で多数（ N 個）の粒子を小物体（比熱が既知）に運び込み、小物体が受け取った電荷の総量 Q （ $=Ne$ ）とエネルギーの総量 W （ $=1/2 \cdot mv^2 \times N$ 、温度上昇から求める）のそれぞれを同時に測定し、別に陰極線が磁場の中で曲げられる曲率半径から v を求め、ここから m/e を求めた。この m/e は、陰極線（電子の流れ）に電気力や磁気力を作用させたときの飛跡の変化を解析することからも求められた。この値が陰極の材質にも、また放電管内に残る気体の種類にもよらないことからあらゆる種類の原子に共通に含まれる普遍的な粒子であると結論された（1897）。

(ii) X線

暗い部屋で高真空（ 10^{-3} Torr）、高電圧（50 kV）を用いて陰極線（＝電子）実験を続けていたドイツの Röntgen は、放電管壁に高速電子が衝突したところから透過力の大きい電磁波（＝X線）が発生することを見つけた（1895）。X線は分厚い書籍も透過し、2 m も離れた位置で覆いで隠された蛍光板（白金シアノ酸バリウムを塗布したもの）を光らせることから確認された。イギリスの Thomson と Rutherford は、1897年に、X線照射された気体中で電離が起こることを見出し、正と負の気体イオンの挙動を定量的に研究するのにX線を利用した²⁾。

(iii) ベクレル線（ウラン、トリウムを含む鉱石から放出される放射線）

X 線発生仕組みを調べようとしてフランスの Becquerel は何の処理も操作もしない天然ウラン鉱物から X 線と同じ性質をもつ自然放射線がでてくることを写真乾板の感光を手がかりとして発見した(1896)。その放射線を放出する物質を化学分離する研究から、フランスの Curie 夫妻は自然放射線の強さが温度・圧力・化学結合状態などの条件に関係なく、ウランなどの原子から出るものであること、ウラン以外にもトリウム、そしてさらに強力な放射線を出す新元素を発見（ポロニウムとラジウム、1898）した。かれらは放射線の放出量を定量的に測定する方法として気体の電離によって生じる微小電気を測定する装置を作成して用いた。ここで測定された自然放射線は、実はウラン・トリウム・ラジウム・ポロニウムなどの原子から何もしないでも自然に放出されるものである。数年後には原子構造も明らかにされ、すべての原子は大きさが原子の 1 万分の 1 程度の原子核をもちその周囲に複数の電子が取り巻いている（電子が定在波を形成して原子を形成している）ことがわかった。また電子から α 粒子などを含む自然放射線が出ることは考えられないので、放射線は重い原子核から放出されるものと結論できた。

(iv) α 線

イギリスの Rutherford らにより、ラジウムからの自然放射線のなかには性質を異にする 3 種類（ α 線、 β 線、 γ 線）のものが存在することが明らかにされた(1898, 1900)。性質とは磁場の中の挙動の違いであり、電荷（正、負、中性）と質量の違いによるものである。ラジウム塩を含む水溶液が連続的にエネルギーを放出（1 グラムのラジウムから 100 cal/時の発熱）し、さらに水素、酸素、過酸化水素の発生が観測され（Curie, 1901）、 α 線によって水が分解されることとして説明された³⁾。Wilson の考案した霧箱を使って α 線の飛跡が観察され、 α 線は空気中を数センチだけ走って消滅することもわかった(1911)。飛跡に沿って多数の空気分子が電離され生成したイオンを核に水蒸気が集まることで目に見える飛跡が形成されると解釈された。さらに Rutherford らは電磁場による α 粒子の偏向から電荷が正で電子の 2 倍であること、質量は水素原子の 4 倍であることを示し、さらに α 粒子を回収して放電を行わせたときの発光スペクトルがヘリウム気体のスペクトルと一致することを示した(1908)。

(v) β 線、 γ 線

β 線の本性は電子であり、従って電場や磁場の影響を受けて曲がること、そのエネルギーにはある上限値があり低い方は 0 まで連続的に分布すること、また γ 線は X 線と同じく電荷をもたない高エネルギーの電磁波であることなどが報告された(1900)。こんな放射線がどうして出てくるのかが理解されるようになるのは、原子の構成要素が原子核と電子であることがわかり、クーロン力のもとでの電子運動の仕組みの理解が進み（量子論、~1925）、つぎに原子核の構成要素が陽子と中性子であることがわかり、さらに陽子や中性子を結合している力（核力、あるいは強い力）の理解が進んでからである。

(vi) 中性子線、陽子線、加速器¹⁾

細い孔を通した鉛ブロックの中心にラジウムまたはポロニウムの強い線源をおく。細い孔から α 線のビームが取り出されるが、さらに必要に応じて気体を調整するために薄い窓(金箔など)を通し、これを用いて α 線の性質が研究された。原子中を走る α 線の飛跡を解析することから、原子の構成要素としての正電荷をもつ原子核の存在(Rutherford: 1911)、さらに原子番号 Z の原子核が Z 個の単位の電荷を有することを明らかにした。また窒素(N-14)の原子核と α 粒子の反応から水素原子核(陽子 p)が飛び出すこと(1919)、ベリリウム(Be-9)と α 粒子の反応では陽子と同じ質量の中性の粒子(=中性子の発見)が飛び出すこと(Chadwick, 1932)がわかり、以後、中性子や陽子を使った様々な原子核の反応が調べられ(Fermi ら; Joliot-Curie ら, 1934)、多数の人工放射性元素が作られ、また中性子によるウランの核分裂も発見(Hahn ら, 1938)された。このころになると水素やヘリウム気体を電子線で衝撃して電離させ、生成した陽子やヘリウム核を静電場で加速する、あるいは高周波電場で繰り返し加速してさらに高エネルギーとしてから放射線源として利用する加速器技術が発達し(米 Lawrence ら、1930年代)、今日まで世界中で普及し放射線の性質、素粒子同士の反応、超高エネルギー現象の研究が行われている。

(vii) 宇宙線¹⁾

われわれの銀河系で星の寿命の終わりに超新星爆発を起こし、その成分が長い年月を磁場や電場の影響を受けながら宇宙空間を走り太陽系に入射してくるのが宇宙線であると考えられている。ほとんどが高エネルギー($10^9 \sim 10^{20}$ eV)の陽子であり、ほかにもヘリウム核、以下宇宙の組成を反映する粒子が含まれる。地球大気に突入して酸素や窒素の原子核と反応を繰り返し、中間子(パイオン)の発生、電子のカスケード生成などが観測される。1912年にHessにより、写真乾板、霧箱、検電器などによって確認された。

2.2 重要な捕捉説明

X線の発見後まもなく結晶格子によるX線の干渉効果が発見され、電磁波であることがわかった。X線の波長、干渉の結果であるX線の散乱方向の2つから結晶格子の間隔が求められ(Bragg: 1911)、さまざまな物質における原子間距離が得られるようになった。また高エネルギーの電子衝撃を受けた原子から放出されるX線(特性X線)の波長(波長と光速の値からX線のエネルギーが定まる)と原子番号 Z との間の関係(Moseley: 1913)も明らかになり、原子中の電子の運動状態が(飛び飛びの状態としていくつも存在することが)理解できる準備がととのった。こうして微細な高速の粒子(=放射線)と原子・分子との相互作用に関する知見が得られるにつれて、その記述にふさわしい新しい力学理論が必要となってきた。それは量子論と相対論の誕生である。

つぎの課題は、原子核の構成要素である陽子と中性子を結びつけている力である。それは、相対論と量子論に基づいて展開された湯川の間接子(パイオン)予言(1934)とそれから始まる素粒子物理の展開を促した。また相対性理論と矛盾しない量子力学の研究からは反粒子の存在が予言され(Dirac, 1928)、陽電子の発見(1932)がなされた。

放射線の検出には、写真乾板の感光、蛍光物質の発光、気体電離（霧箱観察を含む）などが用いられたが、とくに気体電離は電離量を定量的に測定できる点で優れている。1本の放射線が入射した場合でも放射線のエネルギーに応じて多数の気体分子を電離できる。たとえば自然放射線の数 MeV のエネルギーの α 粒子の場合では 10–30 万個の分子を電離する⁴⁾。電離箱を用いて正負いずれかの電気の全量を測定できれば、放射線のエネルギーが測定でき、また測定の応答時間を調整して出力を増幅し、入射する放射線の 1 本 1 本を計数することも容易である。また気体の代わりに半導体を用いた固体検出器も用いられている。

2.3 放射線の現象論的な性質（ステップ 1）

前節で調べたことを中心にまとめたのが表 1 である。この表で運動エネルギーは、放射線として発見されたときの情報を参考にした大まかなものである。

表 1. “典型的な放射線”とされてきたものとその性質(ステップ 1)

名称	質量	電荷	速度	運動エネルギー	他の物質に対する作用
X 線	0	0	c	10~100 keV	蛍光板発光、写真感光、気体電離、結晶による回折
α 線	$\sim 4n$	+2e	0.05c	~ 5 MeV	蛍光板発光、気体電離、水の分解、原子核と反応
β 線	0.0005n	-1e	0.1c~c	10~100 keV	気体電離（検電器の放電）
γ 線	0	0	c	10~1000 keV	気体電離、写真感光、ガラスの着色
宇宙線	n	+1e	$\sim c$	> 1 GeV	気体電離、写真感光
中性子	n	0	0~c	> 0 eV	原子核と反応
陽子線	n	+1e	> 0.01c	> 100 keV	気体電離、写真感光、原子核と反応

注 1) 質量の単位は陽子の質量 n ($= 1.67 \times 10^{-27}$ kg)、電荷の単位は陽子の電荷 e ($= 1.6 \times 10^{-19}$ C)、速度の単位は光速 c ($= 3 \times 10^8$ m/s) である。

注 2) 陰極線を表に載せなかったのは、陰極線が 1860 年頃から半世紀にわたる真空放電の中から次第に浮かび上がってきた実体ではあるが、低真空・低電圧のためいわゆる放射線としての性質が注目されなかったことによる。

表 1 のなかの「他の物質に対する作用」の中で、「原子核との反応」とあるのは放射線が物質中の原子核に侵入して核内の核子との間で強い力が作用しあうことである。その他はいずれも物質中の電子に作用することから始る現象である。たとえば写真乾板の感光はハロゲン化銀（AgBr など）結晶中で銀イオンが電子を受け取って銀に還元されることから始まり、ケイ光発光は解離した電子が再結合するときに起こり、ガラスの着色は余分に発生した電子が原子結晶の欠

陥に捕捉されて起こる現象であるが、なかでも気体電離は定量的な測定が可能であり、また電離のためのエネルギーや頻度など既知の要因と関連付けられるので重要視したい。次節では、気体電離の中でもとくに霧箱で観測される α 線飛跡を取り上げて検討を進める。

2.4 放射線はどのようにして発生し、どのようにして消滅するか

(i) 霧箱における α 粒子の消滅：

霧箱内で観測される α 線の飛跡はまっすぐな数センチの長さで太さはほぼ均一である。25°C、1 気圧の乾燥空気の密度 0.001184 g/cm^3 から空気中の分子密度はおよそ $(0.001184/29) \times \text{アボガドロ数} = 2.5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ であり、5 MeV の α 粒子の飛跡の長さを 5 cm とする。 α 粒子は +2 単位の電荷をもつので走行中に同じように電荷をもつ粒子（原子の中の電子。原子核との衝突は無視できる）との間でクーロン相互作用を行う：すなわち α 粒子は、電荷が -1 単位で質量が α 粒子のおよそ (1850×4) 分の 1 の電子と衝突して自らの運動エネルギーを電子に与える。5 MeV の α 粒子が 1 気圧の空気の中を 5 cm の距離だけ進む時間はほんの一瞬（3 ナノ秒 $= 3 \times 10^{-9} \text{ s}$ ）であるが、その間に衝突する分子数（半径： $\sim 1 \times 10^{-8} \text{ cm}$ とする）はおよそ 4 万個である（図 1 左）。また原子核（ α 粒子も原子核も同じ大きさ $r = 10^{-12} \text{ cm}$ とする）との衝突数は図 1 右に示すような計算で見積もると（原子核の数密度は分子密度の 2 倍なので） $\pi(2 \times 10^{-12} \text{ cm})^2 \times 5 \text{ cm} \times 5.0 \times 10^{19}/\text{cm}^3 = 3 \times 10^{-3}$ となり、分子との衝突に比して無視できることがわかる⁴⁾。

つぎに α 粒子と分子内の電子との衝突について考える。電子の質量は α 粒子の質量に比べて著し

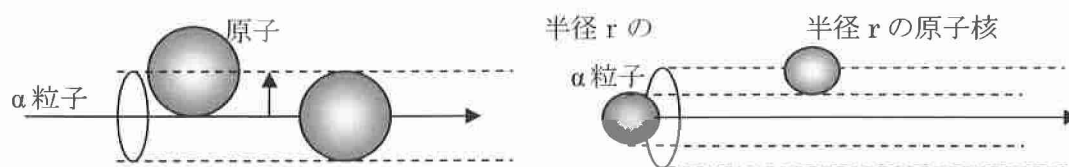


図 1. α 粒子と原子及び原子核の衝突数を計算する方法*)

(左) α 線飛跡から原子中心までの距離が原子半径よりも小さいときに衝突が起こる。

(右) α 線飛跡から原子核中心までの距離が (α 粒子の半径 + 標的原子核の半径の和) よりも小さいときに衝突が起こる。上の図では、左図の原子の大きさは 10^{-8} cm 、右図の原子核の大きさは 10^{-12} cm であることに注意

く小さいので、 α 粒子が高速で電子の近傍を走るときに電子だけが跳ね飛ばされて、 α 粒子の進行方向は妨げられない。ただし電子が飛ばされるときに必要なエネルギーは α 粒子の運動エネルギーから受け取るほかない。そのエネルギーはイオン化エネルギー（およそ 15 eV）と飛ばされる電子の運動エネルギー（平均して 15 eV とする）の和であり、1 回のイオン化についておよ

そ 30 eV 程度が消費される^④。5 MeV の α 粒子の 5 cm の飛程中で全イオン化数が $5 \times 10^6 / 30 = 1.7 \times 10^5$ になると α 粒子は運動エネルギーがなくなって停止する。また最初の α 粒子のエネルギーが 2 MeV であれば、霧箱で均一な飛程が観察されることから、おそらく 2 cm だけ走ってエネルギーを使い果たすと考えられる。飛跡が観察可能な限界を 1 mm と仮定すれば、そのときの α 粒子のエネルギーは 100 keV となり、このときの速度を $(1/2)MV^2=100 \text{ keV}$ から見積もると $V=2.2 \times 10^6 \text{ m/s} = 0.007c$ 、また飛跡が観察可能な長さを 5 mm とすれば $V=0.035c$ 、すなわち光速の 100 分の 1 程度である。

(ii) 放射線が発生するとき：

物質は原子から、原子は原子核と電子から出来ている。さらに原子核は陽子と中性子の集合体であるが、ここに高速の陽子または中性子（場合によっては他の原子核）を衝突させたときに何が起こるか(=核反応)の Bohr の考え方を紹介する。入射粒子は原子核内のどれか一つの粒子（核子）に衝突して運動エネルギーを与え、自分は運動エネルギーを失って核内に止まる。原子核内の内部エネルギー（全核子の運動エネルギーの和）は入射粒子の運動エネルギー+(核内と真空のエネルギーレベル差)だけ増加し、次々と起こる核子同士の衝突で平衡に達し高温状態（励起状態、あるいは加熱状態とも言われる）の原子核が続く。しかしそのエネルギーが偶然にある 1 個の核子に集まることがあればその核子が原子核の外に飛び出すことが起こり、核反応が観察される。もちろん入射粒子が持っていたエネルギーが大きくなると高温状態のエネルギーは高くなり、高温状態の持続時間は短く、また放出核子の種類も個数も変化に富んでくる。また高温状態のエネルギーが低いときそれが 1 個の核子に偶然に集まる確率は小さく持続時間は長くなる。このとき核内に存在する中性子 N と陽子 P の個数比による原子核の安定性が関係してくる。もっとも安定な比からみて、たとえば中性子が多過ぎるとき



の反応が、また陽子が多すぎるときは



の反応が、いずれも核子間に働く弱い相互作用によって起こり、それぞれ陽電子および電子が放出される（ベータ崩壊）。同時に放出されるニュートリノ (n) との間でエネルギーが分配されるため、放出される電子または陽電子のエネルギーは一定にならず 0 から一定値までの間の連続した値をとる。また核内の荷電粒子である陽子の運動状態がある特定の状態から別の低い状態に変わる（遷移）ことによって余分のエネルギーを放出するときは γ 線放出となる。

一方、 α 粒子が原子核から放出される現象は 1928 年に Gamow によって量子力学的な高い障壁を越えるトンネル効果として理解されている。

④ 分子の電子軌道はいくつもありイオン化エネルギー(=結合エネルギー)の値は数多く存在する。またイオン化で飛び出す電子の運動エネルギーも低いものから高いものまで広く分布し、さらにイオン化に満たない場合でも電子が分子内に留まり分子の励起状態をつくる場合もあり、複雑である。しかしながら実験的に 1 イオン化あたりに要する放射線からのエネルギー吸収量は W 値として報告されており、簡単な気体分子の場合ではおよそ 30 eV とされている^⑤。

2.5 放射線である粒子と物質構成粒子との間の相互作用からの整理（ステップ2）

表1で記載したうちで、X線と γ 線は周波数の大きい（エネルギーの高い）電磁波である。また α 線、電子、宇宙線、陽子線は荷電粒子としてまとめる。さらに物質中の粒子として原子核と電子の2種類を考えて表2にまとめた。物質中の電子に対して作用するのは電磁波と高速の荷電粒子であり、物質中の原子核と作用できるのは陽子線と中性子線である。

2.4では霧箱内で観察される α 粒子飛跡を手がかりとして1本の α 粒子は4万個の分子を通過し、十数万個の電離（イオン化）を起こすことを見積もった。イオン化から多くの化学反応が誘起される。写真乾板の感光は化学反応の一例であり、また電子とイオンの再結合による発光も起こる。これらの現象はすべて入射粒子と物質内電子との間のクーロン力によるものであり、そのさいに入射粒子が高速で走っているために電子の位置における電場が急速に変化するさいに衝突が起こるのである。衝突の結果、入射粒子の運動エネルギーが電子に移行し、移行したエネルギーが電子の束縛条件を超えるとときに電子がはじき出される。ここで重要なのは電荷（正負は問わない）をもつ入射粒子の速度だけであり、質量は無関係であることである。

表2. 放射線である粒子と物質構成粒子との間の相互作用(ステップ2)

名称	電荷	速度	他の物質中の粒子との相互作用
電磁波	0	c (周波数 $>10^{16}$ Hz)	物質中の電子を振動させ、はじき飛ばす。 物質中の電子とコンプトン散乱を起こす
荷電粒子	$-e$ $+Ze$	$0.01c \sim c$ $0.01c \sim c$	物質中の電子をはじき飛ばす 原子核中の核子と相互作用する
中性子	0	$0 \sim c$	原子核中の核子と相互作用する

また電磁波は空間を一定速度 c で伝わるが、エネルギーに応じて周波数に違いがある。電子の位置における電場の変動（振動）により電子が電磁波のエネルギーを吸収することがあり、物質内の電子が電離される。その条件は 10^{16} Hz以上の周波数のときである。多くの分子では、束縛されている電子の固有の振動数は 10^{16} Hz以上であることに注意して欲しい。しかし 10^{20} やそれ以上の高周波の電磁波に対して物質内電子は応答しきれなくなり、電磁波としてよりも高エネルギー光子として衝突するようになり、コンプトン散乱が起こる。すなわち高エネルギーの電磁波（X線、ガンマ線など）も粒子としての性質をもち、エネルギーが $E (=h\nu)$ である光子の質量0、大きさ0、電荷0、速度は真空中で $c (=3 \times 10^8$ m/s、物質中では少し小さい)、運動量 E/c である。原子や分子の内部を走るときも、光子は電荷をもたないため、距離を隔てて存在する電子には力を及ぼすことはないが、微細な電子（電子の古典半径として 2.8×10^{-15} mが使われる）に直撃する（非常に近接して走る）ときに電子をはじき飛ばし(コンプトン散乱)、高エネルギーの電子が発生する。

2.6 放射線の性質（ステップ3；放射線であるための十分条件の検証）

われわれは放射線の持つ共通の性質を2つの立場から考察してきた。1は放射線の発生、2は放射線と他の物質との相互作用である。放射線の発生は、核力（強い力）が働く条件において(i) 原子核のなかの核反応、(ii) 弱い相互作用による中性子と陽子の間の相互変換、(iii) 宇宙空間、とくに星の内部における重力エネルギーの解放に伴う核反応（例えば超新星爆発など）や星間電磁場による加速などで起こる。さらにクーロン力が働く条件下においても(iv) 電子系への高エネルギー粒子の侵入による電子放出や X 線放出、(v) 荷電粒子の電場による加速（加速器）などを挙げることができる。

放射線の物質に対する性質については、「物質内部の電子の束縛状態からの解放」で表1に掲げたすべての事項をまとめることができる。束縛電子の解放に平均 30 eV を要することも説明した。具体的にどのようにして平均 30 eV のエネルギーが物質内電子に与えられるかを考察する。

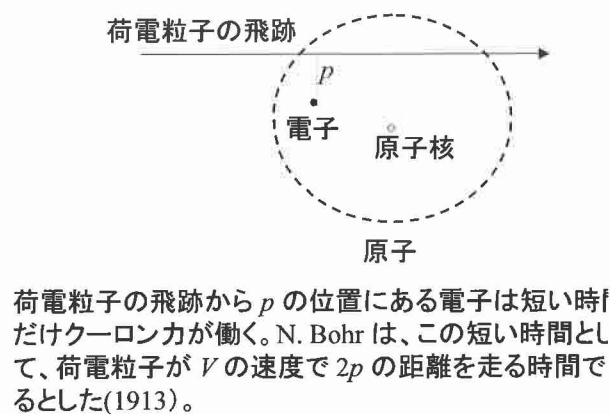


図2. 原子の中を通過する荷電粒子と電子との相互作用

電荷 Ze 、速度 V の荷電粒子が質量 m の物質内電子に 30eV 以上のエネルギーを付与する断面積 $\pi p^2 = (\pi e^4 / m 30) \cdot (Z/V)^2$ である。ちなみに $Z=2$ 、 10^7 m/s の α 粒子の場合で $p < 1.5 \times 10^{-8} \text{ m}$ のとき 30eV 以上のエネルギー付与となる。原子・分子の大きさ ($\sim 10^{-10} \text{ m}$) に比し、きわめて小さい領域で電子との反応が起こる。

物質中の電子に近づくまでは、荷電粒子は真っ直ぐに真空中を走るが、標的電子の近傍を走る短時間だけ力（クーロン力）が働く。力の大きさと力の作用する時間によって標的電子がどれだけのエネルギーを受け取るかを調べる。

電荷 Ze の粒子が速度 V で電子の位置から p の距離を走りぬけるとき（図2）、クーロン力 Ze^2/p^2 が短い時間（粒子が $2p$ の距離を走る時間 $2p/V$ ）だけ作用する。そこで電子が受ける運動量変化（＝力積）は $\Delta M = 2Ze^2/pV$ 、したがって電子に移行する運動エネルギーは $(\Delta M)^2/2m_e = (4Z^2e^4/p^2V^2)/2m_e$ となる。この値が 30 eV を超えるためには荷電粒子と電子との間の距離が p よりも小さい、言い方を換えれば標的の電子を中心とする半径 p の円内に入射粒子が侵入すればよい。これをイオン化の衝突断面積が πp^2 であるという。

3. まとめ

放射線であるためには物質内の分子をイオン化し、そのためには電子におよそ30 eV 以上のエネルギーを与えることが必要である。こうしたイオン化を仮に1万回繰り返すだけのエネルギーをもって入射するとしたとき、その入射エネルギーは 3×10^5 eV以上でなければならない。速度もまた大きくなければならない。

放射線の定義は「(i) 物質中の原子・分子の中に入り込む高速の荷電粒子、および (ii) 高速荷電粒子を発生させるような粒子」としてもいいであろう。高速とは少なくとも原子・分子における一部の軌道電子の速度 10^6 m/s 以上のことである。これ以上の速度で入射する荷電粒子は少なくともその軌道電子の振る舞いに邪魔されることなく原子・分子内に侵入できるからである。またこれよりも遅い荷電粒子はその軌道電子のクーロン反発力の影響を受けて侵入は困難になり、原子・分子の全体を跳ね飛ばす。このときイオン化は起きないし、化学反応も始ることがなく、ただエネルギーを受けただけ温度が上昇するのである。また (ii) の高速荷電粒子を発生させるような粒子の具体例としては、2.4 で論じたように、原子核反応を起こす中性子やコンプトン散乱を起こすX線・ γ 線などの高エネルギー光子を挙げることができる。見方によっては間接的に電離作用を行う放射線と言ってもよいが、それは物質との相互作用の観点から放射線を定義しているからである。

終わりに特に述べておきたいこと：放射線の発見やその性質の研究は、およそ半世紀の時間をかけて原子の中の電子の存在、原子核の存在、原子・分子中の電子軌道の存在、イオン結晶によるX線の回折、電子線の回折現象、発見される粒子と原子内の粒子との間に働く力などの研究と並行して進められてきたものである。放射線だけを取り上げて理解できるものでないこと、とりわけ原子・分子の構造と粒子間のエネルギー移行に関係する力学的な理解が前もって必要であろうことを注意したい。

参考文献

- 1) S.ワインバーグ：電子と原子核の発見、日経サイエンス社（1086）；E.セグレ：X線からクオークまで、みすず書房
- 2) J.J.Thomson, E.Rutherford: Röntgen 線にさらされた気体中の電気の通過について、Philosophical Magazine, **42** (5), 392 (1896) 物理学論文叢書 7 (東海大学出版会)
- 3) P. Curie, A. Laborde: ラジウム塩によって自然に発散される熱について、物理学論文叢書 7 (東海大学出版会)；M. Haissinsky: Nuclear Chemistry and its Applications, Addison-Wesley (1964)
- 4) 大野：霧箱による α 線飛跡からわかること、放射線教育、**10**, (1), 15-22 (2006)
- 5) Y. Tabata et al: Handbook of Radiation Chemistry, CRC Press (1991)

【意見】

An Interpretation on the ‘Natural Nuclear Reactor’ of

P. K. Kuroda

荒谷美智

六ヶ所村文化協会

〒039-3212 青森県上北郡六ヶ所村尾駁字野附 1-8 文化交流プラザ スワニー

要約：黒田博士の自然原子炉は、フランスのグループによりアフリカガボン共和国オクロ鉱山で 20 億年前に稼動していたことが実証された（1972）。20 億年前には電気をつくるヒトは存在せず、それは熱源としてのみ終始した。21 世紀の今、千年に一度級の大災害により日本の福島で起きた現象は、原子炉が、突如、発電炉として機能しなくなり熱源としてこの地上に現出した一例と解釈できる。この解釈が福一の復興に活かさないものか。

In 1956, an idea of a naturally occurred nuclear reactor was advocated by Dr. Paul Kazuo Kuroda, a cosmo- and geo-chemist, who immigrated into the United States from Japan in 1949 after the World War II. An outline of his idea (Kuroda 1956) is as follows: natural abundance of uranium 235 is 0.72 percent throughout the earth and the cosmos (on meteorites). As a half-life of uranium 235 is shorter than that of uranium 238, the value of abundance of uranium 235 at long enough past is apparently higher than at present. The minimum value for a chain fission reaction to initiate and continue, namely criticality, is known to be 3 percent, and the time is estimated to be 2×10^9 years before, when a nuclear reactor might have naturally occurred. This is an essence of the idea of the ‘natural nuclear reactor’ of Dr. P. K. Kuroda. There was no living creature such a human as wanted to generate an electric energy, so the reactor might remain only as a heat source for water to boil intermittently, as if it were a hot spa, especially a kind of geyser (the Geysir gusher).

The idea, however, had not been in the spot, until the French Nuclear Energy Agency announced in 1972, 1) abundance of uranium 235 in the ore from the Oklo Mine of the Gabon Republic, equatorial land in Africa, was lower than 0.72 percent, 2) there were detected several elements derived from no other than a fission reaction, 3) elements decayed from fission fragments were distributed not far around the sites at Oklo (within a few meter). After this announcement, the idea of the ‘natural nuclear reactor’ was greatly appreciated, interpreted variously, and widely exploited by individuals or groups related, depending on their interests or advantages.

Here, I should like to propose an interpretation of the ‘natural nuclear reactor’ in relation to taking care of the Fukushima Dai’ichi Nuclear Power Station (Fuku-ichi). On the 3.11 Catastrophe, a chain reaction was stopped in the reactors at the Fuku-ichi at the stage of the quake. This is the most important

fact during the history of a fuel, and also is the most advantageous condition as a starting point for succeeding processes. Because all the processes happened after that are responsible for a decay heat from radioactive elements in the fuel. An amount of the decay heat may be estimated to be about 7 percent of the Fuku-ichi. Just at this stage, whole Fuku-ichi has changed into a huge heat source by radioactive elements, in detail, elements decayed from fission products mainly from uranium 235, and partly from heavier trans-uranium elements (containing plutonium 239+240), which behave mainly as alpha-emitters. They, however, behave partly as spontaneous fission elements. The recent newspapers wrote that radioactive gases from fission products of a heavier element in the fuel in the second reactor at the Fuku-ichi were detected by the Japan Atomic Energy Research & Development Organization. What is meant by this fact?

The reactors in the Fuku-ichi behave mainly as a heat source due to the ordinary fission products, and, in addition to this, a spontaneous fission of a heavier element occurs, but only sporadically, in the second reactor. Under a variety of these circumstances, heat generation may be thought to continue for long, until uranium 235, plutonium 239+240 (from uranium 238), and their fission products in both solid and liquid phases in the reactors will have decreased. Therefore, it may be said that conditions of the nuclear reactors in the Fuku-ichi should be controlled to utilize as a heat generator, because the reactors in the Fuku-ichi have already attained to a stable condition as a natural heat generator so that we may distinguish one fission reaction from another. Also, all the radioactive elements unfortunately spread from the Fukuichi should be returned back to the Fukuichi, the original place, be concentrated there, and be utilized there as a resource but not to be thought as a waste, because what has been spread is waste, but what has been concentrated is resource.

It is meant that a natural heat source has just appeared in the 21st century Fukushima, Japan by the Catastrophe, though an artificial process of concentration of uranium 235 (decrease in entropy) have been concerned, it is of no doubt only a heat source without fear for a chain reaction to start even under the sporadic spontaneous fission (in a sub-critical condition) irrespective of shape of the fuel. If the heat generation will lower due to decay of fission products, one or more of any possible conditions should be controlled so as to keep heat generation constant. This may be thought to behave as a natural and a mild (sub-critical) heat source as long as we want.

This is my interpretation of Dr. P. K. Kuroda's 'natural nuclear reactor' (Aratani 2011, 2012) as a natural heat source, a kind of a resource with decreased entropy (due to uranium 235 abundance of higher than 0.72 % and lower than the critical value).

References

- 1) Kuroda, Paul Kazuo (1956). "On the Nuclear Physical Stability of the Uranium Minerals" *Journal of Chemical Physics* 25: 781-782; 1295-1296
- 2) Aratani, Michi (2011) "黒田和夫博士の「自然原子炉」に関する一つの解釈について" *六ヶ所村文化協会読書愛好会会誌*、第 257 号、2-3、12 月 18 日
- 3) Aratani, Michi (2012) "六ヶ所村等、原子力立地地域における復興の考え方"、東北地方の震災復興（要旨）、日本女性科学者の会懇談会、アルカディア市ヶ谷、東京、1 月 22 日

[書評]

幻冬舎新書 228

内部被曝の真実

児玉龍彦

幻冬舎 2011年9月25日第4刷発行

ISBN978-4-344-98229-1 定価(本体720円+税)

著者は2011年7月27日に衆議院厚生労働委員会で「放射線の健康への影響」について参考人として意見を述べた時、“満身の怒り”を表明したが、その意見内容と関連事項について記述したのが本書である。

著者は東京大学医学部卒業後、東京大学医学部助手、マサチューセッツ工科大学研究員などを経て、現在東京大学先端科学技術研究センター教授および東京大学アイソトープ総合センター長を務めている医学者であり、第1種放射線取扱主任者で、医学のいろいろな分野の研究をされているが、その中に内部被曝の研究も含まれる。この本を読んでみて先ず感じたことは、原子力発電をはじめとして医療などいろいろな分野で放射性同位体、放射線を利用している現代に生きている我々にとって、内部被曝の研究は大変大事で、これからますます多くの研究者によってなされていかねばならないということである。

本書の構成は「第1部 7・27 衆議院厚生労働委員会・全発言」、「第2部 疑問と批判に答える」、「第3部 チェルノブイリ原発事故から甲状腺がんの発症を学ぶ—エビデンス探索20年の歴史と教訓」、「第4部 チェルノブイリ膀胱炎—長期のセシウム137低線量被曝の危険性」、「おわりに私はなぜ国会に行ったか」、および「付録 国会配布資料」からなっている。

第1部では、国会で先ず述べた著者の意見だけでなく、その後の国会議員(名前明記)との質疑応答までが記述されている。

また第2部では、国会出席後の8月6日に「ニュースにだまされるな!」(CS 放送朝日ニュースター)という番組にゲスト出演した時の質疑応答が記述されている。この第1部および第2部の内容には、福島原発事故の発生した日本の国民として知らねばならない大事なことが多数含まれている。例えば、①子どもが ^{131}I の内部被曝を受けると甲状腺がんになることがある証拠が見つかること、② ^{137}Cs は体内に入ると尿管上皮や膀胱にも集まることが知られているが、そのため膀胱炎になり、その後かなりの率でがんになることもあるとのことである。

また、流れ作業で素早く放射線量を測定出来る高性能の装置があるので、これを用いれば多量の農産物などの食料品の放射線量を短時間で調べられる。原子力発電所事故発生後すぐに計算ソフトスピーディを使用して、原子力発電所から放出された放射性物質の拡散を予測したにもかかわらず、政府は必要データが十分にそろっていない状況で得られた結果だから発表しなかったと言っているが、それは間違いである。データが足りないから、予測結果が大事なのである。さらに閾値論、ホルミシス論などについても、基礎医学を研究している医学者の立場から興味ある意見を述べている。

第3部では、1991年にベラルーシの研究者が小児甲状腺がん発症の増加を報告してから、2005年にその増加の原因は、チェルノブイリ原発事故によって放出された ^{131}I

であるという世界の研究者のコンセンサスを得るまでの歴史と、それから得られた教訓が述べている。甲状腺がんのように放射線の影響で発症するがんは、発症までに長い時間がかかり、しかも発症までの途中で発症に至る確かな証拠（エビデンス）を得ることが難しいものがあると述べている。

第4部では、日本とチェルノブイリの研究者が共同で行った ^{137}Cs の内部被曝の研究について述べられている。それによると ^{137}Cs 汚染地域の住民に前がん状態であるチェルノブイリ膀胱炎の発症がみられるとのことである。昨年の福島原発事故後、福島、二本松、相馬、いわき各市の女性の母乳から2〜13ベクレル/リットルの ^{137}Cs が検出されたことが厚労省研究班の調査で報告されている。この濃度は共同研究で明らかになっているチェルノブイリ住民の尿中の ^{137}Cs の濃度にほぼ匹敵する。母乳に ^{137}Cs が検出されたことを異常だと思わなくなっている行政当局、研究者の判断に猛省を促したいと述べている。

現行の「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」は多量の放射性同位体が環境に拡散してしまった福島原発事故の場合に適用が難しいので、早急に新しい法律を制定して最善の除染が出来るよ

うにする必要があると第1部および第4部で述べている。

著者は本書のなかで“危険を危険だとはっきり言うのが専門家”、“専門家が本質論を言うことで、初めて専門家は信頼されるし、事態が回避される”とも述べている。まさにその通りだと思う。科学者（専門家）は専門の分野にかかわらず、このことを心に深く刻みつけておくことが大事であろう。

本書を読んで多くの収穫があった。大事な内部被曝の研究の中には、結論が出るまでに長い年月のかかるものがある。数年で何も起こらないから安全であると言い切れないものがある。言い換えれば内部被曝をすると、十年位後で人体に重大な障害や病気が生じてくることもあるということを理解しておく必要があると改めて思い知らされたが、これもその収穫のなかの1つである。

結論として、現代に生きる我々には内部被曝の知識は不可欠と考えるので、多くの人々に本書をぜひ読んでいただきたいと思う。

（小高正敬 NPO 法人放射線教育フォーラム、同位体科学会）



【書評】

放射線とのつきあい

—老科学者からのメッセージ— 岡野真治著

発行所： かまくら春秋社

平成 23 年 10 月 11 日発行

価格： 1000 円+税 I S B M978-4-7740-0535-5

著者の岡野真治氏は長年理化学研究所で放射線計測の研究に従事され、特にガンマ線計測に関してはわが国の第一人者である。古くはビキニの水爆実験で第五福竜丸の事件の直後には調査船に乗り現地を調査され、チェルノブイリでも現地に赴き、また今回の大震災でも福島原発周辺の線量測定をされ、さらに飛行機、鉄道、自動車を利用して国内各地の放射線量や宇宙線量測定など常に現場主義の測定を続けてこられた。本書はそれらの多くの経験のまとめともいえるものである。

内容は三つの部分から構成され、第一章放射線の歴史と認識、第二章環境の放射線を知る、第三章子どもたちを放射線から守る、となっている。

第一章では放射線・放射能の発見に始まり、放射線の種類とそれらの性質、各種放射線測定器の紹介、放射線の単位など基本事項が分りやすく解説されている。

第二章は本書の中心をなすもので、飛行機や鉄道、自動車などでの測定の実際を紹介するとともに環境放射線測定の留意点などが述べられている。具体的なデータが豊富で大変興味深い。また、各種の測定器の

特徴や原理が紹介され、特にスペクトルメーターの重要性について触れ、その機能が詳しく述べられている。

第三章ではまず内部被曝と外部被曝が解説され、その具体的な防止方法が述べられている。そして放射線障害のメカニズムが述べられ、具体的な線量と障害の関係が説明されている。

原発事故以来これまで放射線測定に無縁だった人が多数測定器を手に入れているのが現状だがそれらの方々にとっては手ごろなガイドブックである。また、専門家にとってはほとんど分りきった内容だが一般の人にはいかに分りやすく説明するかに苦慮すること多いと思われる。そのような場合、本書のような記述方法は参考になると思われる。図や写真も豊富であり、とても分りやすい。少し残念なのはスペクトルメーターの丁寧な説明があるにも関わらず、具体的なスペクトルのデータがないのは惜しまれる。たとえ一般の人がスペクトルメーターを取り扱うことがないとしてもデータを示して核種の特定方法に触れてほしかった。

(菊池文誠)

[書評]

放射能汚染—ほんとうの影響を考える
フクシマとチェルノブイリから何を学ぶか

浦島充佳

化学同人 2011年7月31日発行 254頁

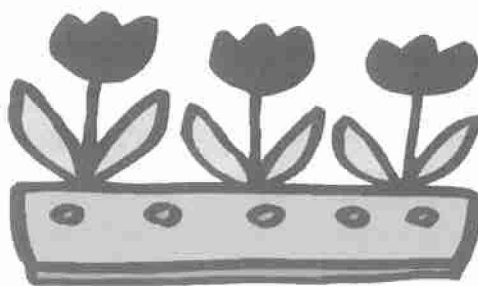
1900円＋税 (ISBN978-4-7598-1340-1)

著者は大学医学部に勤務する小児科医である。今回の福島原発事故に際し小児科医の発言が極めて重要であるとの認識の下、人々に放射能の知識を与えること、また精神的ダメージを取り除くことが喫緊の問題であると考え、チェルノブイリ原発事故後の人々の健康や環境に及ぼした影響を参考に、現在進行中の福島原発事故との比較を行い、現状分析しながら将来予測を行い今何をなすべきかについて纏めた（本書脱稿：2011年4月25日）。

チェルノブイリ事故と今回の福島原発事故を放射能、健康及び環境への影響、その時の政府の対応等について詳細に対比している。文献の引用等も当を得ており、信頼に値する状況解析を行っている。「処方箋」の項で、今回の事故と医療現場で患者と向

き合う際のリスクコミュニケーションの方法が書いてあるのは大いに参考となる。著者は私見であると断っているが、今回の事故の諸事情の下では、自然界や医療被ばくも含め、年間 10mSv までを許容範囲としている。最後の「まとめ」では、臨床医の立場から本書の内容のポイントを簡単に要約している：チェルノブイリ原発事故ではヨウ素 131 汚染牛乳摂取による子供の甲状腺がんの増加が見られたが、福島ではこのようなことは無いであろう；先天奇形も明らかな増加は無く心配は不要；母親や妊婦の食品汚染に対する心配は政府に対する不信感とネット上で氾濫する情報によるもの；両親の不安・慢性ストレスが子供の情緒障害や知能指数の低下を招き、将来の思春期における社会適応性障害等が懸念される、という。

(岩崎民子)



[書評]

「放射線測定と数値の本当の話」

佐々木慎一、森田洋平；取材・文 細田時弘／細谷淳

宝島社、2011年10月発行、96頁

600円＋税

一般に市販され、入手可能な個人線量計（実勢価格 5～20 万円程度まで）（以下、線量計）を比較している本である。線量計の情報はネット上にもいくつか見られるが、客観性に疑問符が付く内容が多いので本書を紹介する。著者の細谷氏と細谷氏はいわゆるライターで、科学的裏付けは佐々木氏と森田氏が助言と校正を行ったようである。

4 分の 3 が「放射線に関する一般的知識」から「計測器の原理」、「放射線量と被曝」、「食品放射線量の計測方法」、「数値の意味（信頼性）」など最近の新聞や週刊誌に見られる用語や事柄の解説である。内容はひとつのテーマに付き、図や写真を含め見開き 2 ページにまとめられている。そして、最後に宝島社編集部による線量計 33 種の比較がまとめられている。市販されている（執筆時点で入手可能な）線量計をほぼ網羅しているのが特長である。発行された時点での販売価格が 20 万円を越える機種もあり、単純にこの本を参考にして消費者が購入することが難しいことはお含み置きいただきたい。現在の価格はやや落ち着いたもののウクライナ製やアメリカ製の \$500～\$700 クラスのものが 3 倍程度の価格で販売されている現実に大きな変化はない。

計測原理に係わらず、全て「ガイガーカウンター」と呼んでいるのはどうかと思うが、きちんと校正を受けたシンチレーション式線量計 HDS-101（フランス、MGP 社製）を基準として、都内と柏市の空間線量を比較し強度別に低線量・中線量・高線量の三種に分けて計測している。線量の強度別に分けている点は評価できる。

その理由も説明されてはいるが、もう少し詳しく書かれていればと残念に思う。理科教員でも GM 管よりシンチレーション式線量計の方が信頼性が高いと誤解している人が多いからである。

総合評価 1 位と 3 位はそれぞれフィンランド RADOS 社製 RDS-31 と RDS-30, 2 位はウクライナ Sparing-Vist Center 製の TERRA MKS-05 であった。専門家が低線量・中線量用として推薦するシンチレーション式の線量計について、このクラスでは満足な値が得られないと切り捨てている。また、「空間線量計としての使用に向かない」機種を 5 つ指定している。これらは全て中国製である。残念なのは、きちんと校正を受けたという「校正」はどのようなになされているか、基準とした HDS-101 はどのようなレベルの線量計なのかの紹介がないことである。

本書の解説は見開き 2 ページとしては総じて良く書かれていると思う。ただ、このページ数で解説するのは不可能であることを承知で言うと、核種の決定方法、内部被曝量の算定方法などもう少し詳しく書いて欲しいところである。その意味で本書の内容は、もう少し知りたいと思う人にはストレスの溜まる内容かも知れない。しかし、構成や内容はコンパクトにまとまっている。これから、放射線についての解説を大学生向けのレベルで書こうと考えている人にはとても参考になるであろう。類似の書籍も発行されているが、内容の正確性では本誌がお勧めできる。

（畠山正恒 聖光学院中学校高等学校）

物理学者ブルーノ・ロッシ自伝—X線天
文学のパイオニアブルーノ・ロッシ著、小田稔翻訳
中央公論社、1993年8月発行（絶版）
ISBN4-12-101145-7、239頁
720円（本体 699円）

宇宙線研究の黎明期に、単純な放射線測定器 GM 管で様々な工夫を凝らしながら同時計数回路を編み出し宇宙線の性質をつきつめてゆく過程が、探偵小説を読んでいるように面白い。同じ著者の、“Cosmic Rays”(1964)も合わせ購読をお奨めする。

高等学校の理科で地学の履修者は最も少ないと聞かすが、天文クラブに望遠鏡を買い与えたり、市民教育と称してプラネタリウムを作り情緒的に星空を眺めさせるだけでは真の科学教育に繋がらないのではないかと思う。現在ほとんどの天文情報は光学望遠鏡以外の観測装置で得られている。光学望遠鏡以外の方法で宇宙を見渡す、あるいは地球の外皮を認識させる教育がほとんどされておらず、いわゆる趣味の天文部的な「観望」で行き止まっているのではないかと思われる。

評者は、簡易放射線測定器を持って学生と富士山に登りながら放射線を測ったり、国際線の航空機の中の放射線強度を簡易放射線測定器で測って、確かに自然界には天然の放射線が充満していることを実感した。

最近この本を知り生徒と GM 管による 2 次宇宙線のミュオン簡易測定を試みてきた。宇宙線の強度が太陽活動と直接関係がある場合もあることを聞いて、ますます宇宙に興味を感じている。

どのような放射線事故の場合でも環境放射線測定には必ず自然放射線が混在していることを実感として知ることが重要である。

（松沢孝男）

一口メモ

ベクレルからシーベルト換算計数（内部被曝）

食品として摂取した場合の人体への影響

セシウム 137 のベクレルとシーベルトの換算

$$1\text{Bq}=1.38\times 10^{**(-5)}\text{mSv}$$

ヨウ素 131 のベクレルとシーベルトの換算係数がいくつかありますが、

吸収線量に放射線加重計数（RBE に相当）や組織ごと影響を考慮する組織加重計数を乗じて、人体全体について加算して算出するため、授乳期の乳幼児や成長期にある幼児と成人間では組織の感受性に差異があるため、異なった換算計数が生じます。

・ 食品安全委員会資料

成人に対して $1\text{Bq}=1.6\times 10^{**(-5)}\text{mSv}$

幼児に対して $1\text{Bq}=7.5\times 10^{**(-5)}\text{mSv}$

乳幼児に対して $1\text{Bq}=1.4\times 10^{**(-4)}\text{mSv}$

・ アイソトープ協会及び原子力安全研究協会

$$1\text{Bq}=2.2\times 10^{**(-5)}\text{mSv}$$

人口構成比率で加重平均を考量？

（EEE 会と SNW からの通信情報から引用、橋本哲夫）

「放射線教育」の投稿規定

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特定しない。「放射線教育」の内容及び体裁に合えば、誰でも投稿できるものとする。

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すると思われるもので、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

そのまま印刷される図表つきの原稿本文を下記あて送付する。またフロッピーの同封、もしくは編集委員宛の E-mail による本文の送付を歓迎する。最終的な原稿はプリントアウトをして下記に送る。毎年 1 月 31 日をその年度の締め切りとする。

(送付先) 〒105-0003 東京都港区西新橋 3- 23- 6 第一白川ビル 5 F
放射線教育フォーラム編集委員会
(封筒に「放射線教育投稿原稿」と朱書する)

論文の分類

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

放射線教育フォーラム編集委員会
放射線教育フォーラム

〒105-0003 東京都港区西新橋 3- 23- 6 第一白川ビル 5 F

[要約] 「放射線教育」の投稿にあたって原稿の書き方を紹介する。

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 30mm、左右それぞれ 25mm 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 of 原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 若しくは DOC
図	図 1、図 2……	図の下	JPEG 若しくは、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ぬときは、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】

東日本大震災から一年が過ぎた。その間も余震は続いているもののやっと平常心でもって原子力エネルギーの将来について考える時間が持てるようになって来たようだ。

先日(3/8)も、長岡技術科学大学において、「福島第1原発事故から学ぶ、原子力技術者と社会のコミュニケーションの課題」と題して“学生とシニアの対話 in 長岡 2012”が開催され私も地元 SNW(原子力学会シニアネットワーク)の一員として参加した。原子力・放射線教育に関心のある技術系学生(高専生と大学生)との対話では有ったが、学生からは大変前向きな発言が多く、一部のマスコミへの非難も見られたが、先ずは子供たちを含む国民への正確なこの分野のリテラシー教育が専門家により行われる必要があるとの声が多かった。原子力・放射線の話や記事を見ると専門用語が多くて一般の人は理解が困難であり、学校では関心のないことは学ぼうとしない子供が多いのでそこが問題だろうとのことであつた。しかしながら、放っておいて子供の何人が教科としての国語・数学・理科・社会や英語を自主的に学ぼうとするだろうか? 大部分の子供は易きに流れる可能性を有しており、国民として最低これだけは必要な事柄を義務教育の中で教科として課しているのだろう。だからこそ、出来るだけ早く義務教育期間中に原子力・放射線の基礎教育をキッチリやるべきとの議論になった。

遅きに失したとは言え、ご承知のように24年度から中学生に放射線・エネルギー方面の教育が一部取り入れられることになっている。引き続いて高等学校への波及教育も始まっている。

これだけマスメディアが原子力エネルギー・放射線に関する情報を玉石混交で流していると、知識の不足している市民はどの情報が正しいかの判断が出来ない。マスメディア関係者にも新しいエネルギー教育が必要となって来ているのかも知れない。近年、原子力や放射線を研究する大学や研究機関がかなり少なくなり、専門家の輩出が少なくなるとともに継続的な教育研究が維持できない状態も続いている。

幸いにも、数年前から原子力方面の高等教育も動き始めており、長岡技科大はこの春(24年度)から大学院の修士課程に「原子力システム安全工学専攻」が、また福井大学付属国際原子力工学研究所が敦賀移転を行い大学院教育を開始する。何れも学生定員20名である。大学の学部教育も長岡技科大は博士課程と共に2年後開設を目指していると聞く。最近の義務教育と高等教育への原子力・放射線教育の充実嬉しい限りである。特に従来にも増して中学・高校教員への放射線教育の協力が、放射線教育フォーラムに期待されている。(橋本 哲夫)

放射線教育 Vol. 15, No. 1 (2011)

発行日: 2012年3月

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: 放射線教育フォーラム編集委員会

橋本哲夫(委員長)、細渕安弘(副委員長)、堀内公子(副委員長)、
岩崎民子、大野新一、緒方良至、菊池文誠、小高正敬、鶴田隆雄
畠山正恒、松沢孝男、村石幸正
(五十音順)

事務局: 〒105-0003 東京都港区西新橋3-23-6 第一白川ビル5F

放射線教育フォーラム

Tel: 03-3433-0308 FAX: 03-3433-4308,

E-mail: mt01-ref@kt.rim.or.jp

電気事業連合会からのお知らせ

電力会社では、エネルギー・環境教育にお役立ていただけるような次世代層向けの教育支援活動を行っています。

- エネルギー教育教材の作成・配布
- 体験学習の場の提供
- 調べ学習に役立つ情報の提供（ホームページ）ほか

詳しくは電気事業連合会ならびに電力各社のホームページをご覧ください。



「電気についての楽しいワークショップ」（東京・科学技術館）

電気事業連合会ホームページ

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

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。



この星に、たしかな未来を

三菱重工株式会社

原子力事業本部 〒108-8215 東京都港区港南2-16-5 TEL 03-6716-3111

www.mhi.co.jp



