

立場や分野の壁を乗り越えて

基礎主導研究会 2012—原子力・生物学と物理（2012/8/8～8/10）まとめ

坂東昌子 （NPO あいんしゅたいん 基礎科学研究所）

真鍋勇一郎 （大阪大学大学院工学研究科
環境・エネルギー工学専攻）

1 はじめに

3月11日同時に起こった福島1号事故は、我々に様々な問題を投げかけた。「事故の経緯をどれくらい明らかにできるのか」「原子力と原子核の連携」「低線量放射線研究はどこまで明らかにしたか」「放射線教育の具体的内容」など、科学者のなかでもいろいろな意見が飛び交っている。特に、放射線の生体への影響については、極端な意見が横行し、溝が埋められないままである。これらの背景には、原子核研究や原子力エネルギー導入の歴史、世界史的な政治も絡んで、価値と科学とが分離されないままの議論が横行している。

この研究会で、基本原則にしたのは、「立場を超えて、科学を基本にして真実を明らかにするための純粋に学問の内容に立ち立った議論を行う」ということであった。

参加者は、原子力・原子核という2つの原子物理学部門、生物学・医学・医療分野、そして、物理学一般・科学コミュニケーションや科学教育に係る多様な科学技術者、そして関心の高い一般市民も含めて、定員150名に達した。

「一般の方から専門家の方まで異分野の方が、150人も集まったのはすごいことです。同業者だけが集まっても何の意味もありませんし、反対派だけが集まっても困りますし、いろいろと悩んでいます」と参加者から感想を頂いたが、このことが今最も欠けていることであろう。立場を超えて真実に迫る努力をしないと、先が見えてこない。どの分野にも、きちんと考えている科学技術者がいるのだ。同じ目線で、議論できる場を提供することに寄与できたとしたら、うれしい。3・11以後、特に切実にこのことを思うのである。

分野を超えて、立場を超えて、学問の内容に立ち立っての議論ができたのではないかと思っている。以下、3日間を概観しておきたい。

2 原子力と原子核物理（第1日目）

原発事故にともなう科学技術的問題や原子力と原子核物理の相互関連を深める議論が中心であった。原子力と原子核物理のクロスオーバー（8-8-A）では、原子力開発と基礎研究が学問的結びつきを、さまざまな側面から千葉氏が紹介された。いろいろな共通のテーマが異なった側面から深められていることに感銘を受けた¹。次に、ADS(加速器駆動システム)による核変換技術が核物質のコントロールに役立つかもしれない、などという話もある。また、本質的に安全な高温ガス炉の話は、「どうしてこれまで安全な原子炉の可能性を追求できなかったのか」という疑問も出てくる。座長の中井氏は、核廃棄物処理について、

様々な可能性を探る努力をしておられたが、特に ADS に興味を持たれていた。また、中井氏は原子力発電では、安全性からいって小型原子の可能性を探っておられるようだったが、この高温ガス炉には、大変強い関心を示され、その後もさらに議論を進めておられるから、この研究会が大いに異分野交流を深めたことは間違いない。午後の、事故をめぐる技術的諸問題では、ちょうど反対の立場の講演を組み合わせ、科学技術の観点から対比させながら討論が行われ、それが総合討論につながった。

3 より安全な原子炉の可能性

原子炉にもっと安全な別のタイプのものがあるのではないかという疑問は消えない。どうして、軽水炉、BWR と PWR 型に絞られてきたのか、その歴史をたどると、やはりこの疑問はさらに大きくなる。坂東が授業に使っていた手作りのテキストには、1991年に開かれた「京都造形芸術大学環境科学セミナー」での永田忍特別報告が採録されている。坂東がトリウム原子炉に興味を持ったのは、この講演がきっかけであった。今読み返してみると、貴重な資料である。その後気が付いたのだが、原子力基本法で定められている核燃料として指定されているのは、ウラン、トリウムだ。「そうなのか、トリウムも入っているということは、初期からトリウム原子炉など他のタイプの原子炉も視野に入れていたのか」と思った。それでは、どうして、軽水炉型に決まったのか？他のもっと安全であろうと思われるタイプの原子炉はどうして消えていったのか？そういう疑問が残る。実際今回の研究会では、国富氏から「高温ガス炉」の講演があったが、これは、今もなお、私の中で重要な疑問として常に引っかかっている。座長の中井氏は、廃棄物処理については、海洋投棄という可能性がもっともリーズナブルということで、この方向を探っておられるが、今回の高温ガス炉にはいたく関心を示され、すでに国富氏と連絡を取っておられる模様である。このように、この研究会から出発して、ネットワークを広げる試みがすでに始まっているのは心強い。

4 原子炉事故の正確な情報による検討

時間的余裕がなく、あまり深く議論ができなかったのは、原子炉事故の真相を科学的に迫るという課題であった。総合討論では、立場の異なる報告のすり合わせがもう少し欲しかったが、それよりも、事故の評価と原子力発電の今後の方向を決める問題点が焦点となった。私たちの意見であるが、今回の事故は、事故そのものの追究、電源問題や初期の対応のまずさなどが、結局のところ、「安全神話」に乗っかって、シビアアクシデントと正面から向き合わなかった、いわば人災の面が、どの事故調でも強調された。しかし、私たちの詰めていきかかったのは、むしろ、地震と津波を切り分けた解明、並びに、電源喪失の各段階の評価など、より技術に踏み込んだ内容であった。田辺講演対宮田講演では、一体どここの評価がくい違うのか、それを明確にしたかった。その点は世話人として悔いが残る。時間的余裕がなかったのも残念だった。さらに言えば、一体、PWR と BWR の比較、なら

びに BWR でもマーク I という古いタイプと新しいタイプではどう違ったはずか、事故初期の段階で日本のマスコミや政府の発表に信頼がおけず、ABC や NBC それにニューヨークタイムズなどのアメリカの報道機関の記事を必死に検討した科学者は多かったはずだ。例えば、2011 年 3 月 16 日のニューヨークタイムズのアジア版、

<http://www.nytimes.com/2011/03/16/world/asia/16contain.html?nl=todaysheadlines&emc=tha2>

は事故を起こした福島 BWR の危険性が 1972 年既に指摘され、GE 製の BWR は生産停止を答申していたという。この記事はいまだに心に引っかかっている人も多いと思う。米国ではある程度の改良が加えられたが、それでもマーク I に比較してマーク II は危険だというのはどうなったのか。東電はこうした事実を知りながら、企業の利益の為に安全性を犠牲にして安い炉を選択したのか、等を明確にしないと、原発の再稼働などの評価にもかわると気になっている。(松田卓也氏の NY タイムズ記事の翻訳を参照のこと

<http://kagakucafe.org/matsuda110321.doc>)

5 核廃棄物の深刻さ

更に重要と思われるのは、今回の事故で、核廃棄物処理が、如何に危機にさらされているかが、多くの国民の前に明らかになったことである。もちろん、従来から「トイレなきマンション」といわれ、原発導入時から深刻な問題だったのだが、今回、停止中だった 4 号炉の燃料プール、それに 6 基ある原子炉建屋の使用済み燃料プールとは別に、約 6400 本もの使用済み燃料を貯蔵した共用プールがある。ここも満杯で、それを処理すべき六ヶ所村もほぼ満杯で行き先がないということを知って、改めてショックを受けた人は多いだろう。こういう実情から、総合討論で「いろいろな技術の向上はあったにせよ、廃棄物処理の技術は未完成なのに、一体どうするつもりなのか」といった鋭い質問が、よく勉強しておられる市民の中から湧き上ったのは、当然であった。技術の未完成な廃棄物処理と、どのように向かい合うのか、原子力関係技術者に突き付けられた課題は大きいのではないかと。さらなる突っ込んだ議論が必要だと感じた。この深刻な問題が提起されたので、総合討論のかなりの部分はこの議論に費やされた。これも致し方のないことであった。日本の原子炉導入に関しては、核兵器を作らないはずの日本では、プルトニウムを主とする核廃棄物は、そもそも資産ではない。原爆をもつ米英ソ仏などの国々とは違うはずだ¹。その資産の処理の見通しが無いまま、大量の廃棄物を出し続けている。

6 原子炉事故の解明に当たっての疑問と総合討論

¹核燃料廃棄物はやはり資産であるらしい(佐藤文隆氏の情報)。確かに、核燃料サイクルを狙っている限りやはり燃料という資産なのだろうが、実際に実現できていなくても資産とはおかしな話である。どの段階で資産となるのか、プルトニウムを分離したらということなのだろうか。

午後は、原子炉事故の解明のセッションであった。いわば物理学会原子核物理関係のメンバー等が数百名も協働して成し遂げた福島県の土壌汚染調査報告（下浦享）は、科学者の今回の組織としての威力を発揮したものであり、今後に活かせる教訓を多く含んでいる。そのあと、「事故の解明はどこまで進んだか」では、「事故進展プロセス解明と方法論」をこつこつと分析された田辺文也氏と、事故の概要を報告いただいた東京電力の宮田浩一氏という異なった立場の意見を聞くことができた。そのあと、我々がもっとも興味を持つ、日本の原子力発電の技術水準について、現場で技術を支えてこられた40年間の体験を金氏顯氏（元三菱重工工業常務取締役）が語られ、そのあと、日本の原子力開発史とシビアアクシデント問題を館野淳氏（核・エネルギー問題情報センター）が語られた。日本原子力学会の取り組み（田中知前原子力学会会長）には、「事故の解明はどこまで進んだか」「原子力発電の技術水準：歴史と現状分析」の講演を基礎に、原子力発電の技術的現状・事故の解明・安全性、原子力の基本技術の現状と将来性、廃棄物処理の歴史的展望と評価、今後の見通しなど、率直な意見交換と情報の共有できる議論の導入部を語ってもらった。

その後の議論は、江口・大塚座長によってまとめられているが、今回の事故が起こった最終責任はどこにあるか、メーカーの責任はどこまでか、などの議論が中心になった。また、そのなかで、最も深刻な廃棄物処理の問題にかなりの時間が費やされた。他の問題については、時間切れの為、議論は十分尽くせなかったのが残念であったⁱⁱ。今後、以下のような問題については、大方の参加者がもっとも気にしている問題であろう。これまでいくつか報告されている事故調では、「聞き取り調査」の域を脱し得ていず、今回、このまとめを書くにあたって、資料として参考になるところを探したが、あまり役に立たなかった。まだまだ、いろいろな疑問がのこった。

- 1) 今回の事故は、技術の問題というより、システム（マネジメント）の問題であり、指摘された不都合や問題点に耳を傾けようとしなかった原子力コミュニティの体質の問題であるという意見がある（特に民間事故調）。これはどこまで、言い切れるかⁱⁱⁱ。
- 2) 再稼働の問題は、「電力がこの夏足りるか」という問題ではなく、今後の原子力エネルギーの位置づけの問題である。人災も含めてシステムの的に解決する具体的論点を整理すべきである。（この点については、大前研一の「原発再稼働最後の条件」がかなりよく整理されている。）抽象論でなく、具体的な改善点を整理すべきである。
- 3) 5月16日の共同通信配信のニュースによると、「経済産業省原子力安全・保安院と東京電力が2006年、想定外の津波が原発を襲った場合のトラブルに関する勉強会で、東電福島第1原発が津波に襲われれば、電源喪失する恐れがあるとの認識を共有していたことが15日、分かった」とある。電源喪失という点に絞れば、そのコストは堤防に比べれば格段の差のはずである。この点の見解がききたい。
- 4) 複数の事故調において、見解やデータが異なる点は整理が必要である。
- 5) より将来的なことを言うと、再生可能エネルギーの実力の評価も必要だが、これ

は今回の研究会の域をこえるので、別途考察するとして、現在の原子炉の老朽化、使用済み燃料などの課題と今回の事故はどう連動しているか。

- 6) 使用済み核廃棄物の問題は、今回の事故でかなり白日にさらされた。これを放置したままというわけにはいかないだろう。評価を聞きたい。

今後、さらにエネルギー問題も大きな課題としてのこるだろうが、これは物理学の範囲を超えて、より広い専門家のネットワークを駆使した考察が必要であろう。「再生可能エネルギーで電力が賄えるか、原発なしで可能か」などは、この10年、その方向で施策を売ってきたドイツが、かなりトーンダウンしている。「ドイツレベルまでは到達する価値がある」という意見もあろう。欧州と異なり国内で閉じたエネルギー授受で賄う日本にとって、送電技術・蓄電技術が重要な情報となる。別途、さらに広いテーマを議論する機会が必要だろう。

7 低線量放射線の影響と生物学

第2日目は、放射線の生体への影響と放射線治療などをテーマとしていた。これについては、内海博司氏（京都大学名誉教授・体質研究会主査）のまとめがでている。「がんの機構と幹細胞の役割」(丹羽太貴：京都大学名誉教授)と「放射線生物学は生命を解く鍵」(渡邊正巳：京都大学名誉教授・京都大学放射線生物研究センター特任教授)とのお二人は、放射線が生体に及ぼす影響について、ベルゴニー・トリポンドーの法則（1906）とヒット理論が標準理論となっているが、詳細なメカニズムは、これからの課題のようである。お二人は、上記の「セントラルドグマ」に対して、独自の見解を示された。今後、より詳細な検証を経て、正確なプロセスが解明されると思われる。さらに、藤田哲也氏（ルイ・パストゥール医学研究センター分子免疫研究所長）は、長期間、患者のデータを観察して得られたヒトのガン成長過程のデータを紹介され、興味深かった。座長の阿部光幸氏（京都大学名誉教授、元国立京都病院院長 兵庫県立粒子線治療センター名誉顧問）のまとめは、現状を明解に大変参考になる解説をいただいている。

総合討論では、「放射線の生体への影響」「がんの発生機構」の講演を基礎に、放射線生物学、放射線生体影響研究が、どこまで進んでいるか、そして、それがICRPの放射線防護の原則にどう反映されているかについて、科学的到達点を明らかにするとともに、今後の放射線生物学の展望も語られた。

午後のセッションでは、放射線医療関係者を含め、様々な知見を出し合いながら、率直な意見交換と情報の共有を目標に、議論を深めることができた。若い世代で、物理学と生物学の境界領域に挑戦する方々が、各々の方向で何を狙っているか、それが具体的に見えて興味深かった。その中で、がん治療にターゲットをおいている研究者と放射線防護側からの研究者とで、評価軸が全く逆な発想が随所に見られたことである。例えば、がん治療のためには、いかにがん細胞を死に至らしめるか、そのために放射線をどのように照射す

ればいいか、という問題が大切になる。逆に、放射線防護の立場からは、できるだけ正常細胞が異常細胞に添加するのを抑えるために線量を低くすることが「目標」になる。またがん細胞の増殖を抑えるために血管や酸素を如何に腫瘍に送り込まないように兵糧攻めにするかが目標となる。がん細胞にとっては増殖のために酸素を必要とするので、血液と酸素が必須である。座長の国友浩氏（京都大学基礎物理学研究所）が若い世代の研究にもっとも興味をもたれたのは当然であったろう。まさに、現場の放射線照射治療の現場からの解説（西尾禎治：国立がん研究センター）や、「がん細胞の動きを見る」（原田浩：京都大学生命科学系キャリアパス形成ユニット講師）、「放射線治療における Cone beam CT の画質改善と被ばく低減の試み」（木田智士：東京大学大学院医学系研究科博士課程、学振特別研究員）の若い方々の今後の活躍が期待される。僭越ながら、筆者の一人である、真鍋も「放射線の生物影響の数理モデルの構築」という題名で発表を行なった。このセッションでは、低線量放射線の検証を、試験管における実験、動物実験、といったより実証性の確かなデータで確かめるタイプが主流を占めた。

物理学では、すでに放射線治療や放射線を用いる多く応用分野が開けている医学生物学とは、放射線に対して異なった評価をする場合も多い。放射線生物学は、物理学と生物学の両方の知見をもとに組み立てられるべきなのだが、お互いに専門領域が異なるために、齟齬を生じていることも珍しくない。これは、今回のようなシビアな事態を前にして、大きな食い違いを生じた原因となった。シビアな自体を前にしているからこそ、真摯に知恵を出し合い、領域横断的な交流を通じて、より深い知見へと高める必要がある筈である。原子力分野、生物分野、物理学分野を横断する研究会の意味もそこにある。

とはいえ、まだまだネットワークは形成されていない。この研究会の焦点は、物理学の専門家が何か出来ることがあるのか？という重い課題を、科学者、特に基礎科学研究者の中で、学問の内容に立ち入って議論しようとする第1歩に過ぎない。しかし、今回の研究会を通じて、わずかだが可能なチャンネルが開けたのではないか。今後のさらにネットワークを拡大していきたいものだ。

8 土壌調査の意義と日本物理学会 2012 年春の大会での議論

午後の、「土壌中のガンマ線放出核種分析による福島周辺放射線マップ」（藤原守氏：岐阜大学教育学部准教授）では、1日目の下浦氏の話とともに、原子核物理学者を含めた数百人もの共同作業を通して、綿密な福島県の土壌汚染調査報告が、いかに綿密にそして正確に、相互チェックをしながら成し遂げられたかを知って感銘を受けた。自発的な動きを、大きなネットワークへとつなげていった

この報告に関連して、この春(2012年3月)に開かれた日本物理学会での議論を、関連して報告しておきたい。3月末に開かれた物理学会では、沢山の震災関係のセッションがあった^{iv}。このセッションでは、原子核研究者を中心にした、精密で大規模な土壌調査の取り組みの報告が印象的だった。阪大 RCNP と東大理学部、そして理研が中心となり、全国を組

織して行ったものだ。700人にも及ぶ沢山の研究者が、協力して行った調査は、まさに、下からの力で、科学者が分野や大学の枠を超えて協力した素晴らしい実践で圧巻だった。下浦さんが「この仕事は、みんなの協力の結晶です。」と結ばれた。国際的にも大変貴重なデータとなるだろう。

考えてみると、当時の測定技術の未発達があったにせよ、広島・長崎の線量分布も、チェルノブイリ事故の線量分布も、しっかりしたデータがない。線量を実際に測定したのは随分後の話で、結局、推定するしかなかった。福島事故では、幸いにも、科学者が自ら動きだし協力して大域を系統的に測定した。このこと画期的である。ただ、もったいなかったのは、このプロジェクトを進めるための手続きが、セクションをまたがるお役所仕事の為遅れて、初期のヨウ素の調査がしっかりとできなかったことだ。測定が行なわれた2011年6月の時点ではヨウ素は半減期が8日、すでに放射性ヨウ素(131)は測定が不可能になってしまっていたのだ。会場は一種の熱い思いで満たされ、ミュオンを利用したイメージングなどで活躍されている永嶺謙忠氏(KEK 物構研)は、「こんな調査が行われているのを知りませんでした！素晴らしい仕事ですね」といわれ、理研の延與氏は「これらのデータをもとに、新しい学会を作っては！」という発言もでて盛り上がっていた。科学者への不信感が募っている中、科学者の良心と知恵が結集した取り組みとして歴史に残ると思う。

今回、組織的に取り組んだ染料調査チーム代表として藤原・下浦氏に講演いただいたが、相当な影響を与えた物理学者として早野龍五氏(東大)や野尻美穂子氏(KEK)をどうしてプログラムに入れなかったかといった質問も参加者からあった。プログラムに含めることが出来なかったことは後悔が残る。今回、多くの方々がその経験を活かして自主的に調査や情報発信した多くの科学者がいる。学会がボランティアを募って自ら調査に取り組んだ例、学会ホームページ上でQ & Aを始めたところ、いろいろな自主的な活動がたくさん目を引いた。

9 広島・長崎 チェルノブイリ 福島 V/S 疫学 動物実験 分子生物学実験

総合討論、放射線リスクと医療のクロスオーバーは、大塚孝治氏(東京大学大学院理学研究科教授)と一瀬昌嗣(神戸市立工業高等専門学校准教授)の司会で行われた。放射線の生体への影響評価と医療における放射線治療という、放射線の両側面のアプローチが、歴史的に絡み合って現在につながっている。土壌汚染とがんリスク、疫学データ等を総合して、これからの放射線影響の研究の方向性を探り、放射線リスクについても議論を深めた。事前討論では、今回、研究会に不参加だった沢田昭二氏(名古屋大学名誉教授)と今中哲二氏(京都大学原子炉実験所)の論文を検討して質問を投げかけそれをまとめたものも出された。今まで、溝が深かった広島の被害状況と線量評価について、何が齟齬を生じさせているのか、今中氏と「科学的論議」(ができるようになったことを心強く思っている。

レントゲンがX線を発見したのが、1895年、それから120年余りの月日がたつ。放射線

は、発見された時から、それによって受ける被害と、それによって医療に役立てる営みとの2つの側面を持っていた。そもそも、マリーとともに、放射性物質を取り出すのに成功したピエール・キュリーは、自ら自分の腕にラジウムを接触させ、放射線の影響を観測している。ピエールは「細胞を破壊する放射線はがん細胞も破壊するはず」と、医療用に放射線を積極活用することを提案しているのである。「万病に効く放射線」「中を見通す放射線」という放射線の活用が大いに論じられたのであった。しかし、同時にまた、放射線障害も報告され、徐々にその功罪が認識されるようになった。放射線被ばく限度について初めて提案をしたのは、モルモットに全身 X 線照射実験を行った（1901年）ロリンズだそうである。その後、医療で使った放射線や放射性物質が、思わぬ悪影響を及ぼし犠牲者が出た。また、謎の病気だった鉱山病は、実は放射線だとわかったのも、放射線の性質が徐々に明らかになったからだ。徐々に、細胞分裂が盛んな部位ほど感受性が高いこともわかってきた。1906年には、現象論的な整理も進み、

- 細胞の新生能力が高いほど感受性が高い
- 細胞分裂長周期のものほど感受性が高い
- 形態機能の未分化のものほど感受性が高い

といういわゆるベルゴニー・トリボンドーの法則としてまとめられるほどになってきた。こうして、リンパ組織・骨髄・生殖腺などの感受性が高いことも知られるようになってきたのである。しかし、その大部分は、放射線を取り扱う医療関係者、時計の文字盤を描くダイアルペインターや鉱山労働者のような放射線取扱作業者だった。しかし、原子力エネルギーを人類が利用し始めたとき、人工的に作られた放射性物質が及ぼす影響が出てきたのである。不幸なことに、原爆を受けた広島・長崎をはじめとして、核実験が世界にばらまいた放射性物質が現れた。のちに、核実験への非難が世論を動かし、地下核実験が主流となったために、これから来る放射性物質は徐々に減少した。かわって、「原子力の平和利用」で登場した原子力発電所から、放射性物質が周辺に撒き散らした事故を人類は経験した。こうして、広島・長崎、チェルノブイリ事故から、放射線の人間に及ぼす影響を調査し（疫学調査）解明が続けられているのである。

一方、それを動物実験で確かめ、比較する研究も進んだ。特に、マラーのショウジョウバエの精子の実験結果(1927年)から LNT 仮説が採用されることになる。また、オークリッジ国立研究所の大規模なプロジェクト（ラッセルのメガマウスプロジェクト）は、異常細胞発生の貴重なデータを提供している。このメガマウスプロジェクトは、現在に至るまで、最も大規模な放射線の生物への影響実験として知られている。それに加えて、最近では、原子や分子のレベルで何が起きているかもわかる時代になった。特に、注目しなければならないのは、ここ 10~20 年の生物の修復機能のデータの蓄積である。疫学 動物実験 分子生物学実験、という 3 つの流れが、各々、お互いに連携しながら、放射線の生物への影響の全容を解明している現在、お互いの領域の長所と欠点を自覚しつつ、全容を明らか

にすることを、領域間の壁を越えて解明する時期に来ていることを強く感じる。

放射線も、他の科学の領域と同じく、その発見の時から、そのプラスの部分とマイナスの部分とを必然的に持っている。それを解明してきた歴史を振り返る時、放射線の障害と、放射線の利用、プラスの面とマイナスの面、そういうものが歴史の中で、同時に絡まり合いあっていることを痛感する。

広島・長崎 チェルノブイリ 福島・・・この3つは、いわば人類が新しく原子力を大規模に使った結果引き起こされた為に起きた。これによって生物への放射線の影響をあらわになった事象である。これを通じて、私たちはしっかり学ぶべきなのだ。そして、広島も・長崎も、チェルノブイリも、後手後手に線量調査が始まり、あるいは調査をしても長く公開されていなかったことを考えると、今度こそ、データを正確に測定し、情報を公開して、科学の目でしっかりと情報を把握することで、より正確な生体への影響が集約されるはずだ。それが私たちが何をなすべきかの科学に基づいた指針を与えてくれるのではなかろうか。

10 放射線教育

8月10日は最終日。放射線教育を、小・中・高校教育、大学教育、市民教育、などを通して、様々な実践が紹介され、聴衆の興味をそそった。最初の、「たのしい放射線授業が目指すもの」(山本 海行氏・山田 明彦氏)では、テキストづくりに取り組み、それを実際の授業で使ってみての生き生きした報告であった。仮説実験グループは従来から、「原子は小学校から導入すべき」という主張をしているが、納得がいく。というのは、原子で説明した方がよく分かる概念をわざわざ使わないで、回りくどい方法で学ぶことが多く、ずっと不満だった。実際、著者の一人である坂東が理事を務めるNPOと京大理学部で開いている親子理科実験教室に来る子供たちの中の幾人かは、原子を知っており元素表を楽しそうに眺めている子もいるぐらいである。しかし、原子の知識を回避して、放射線を子どもたちに教えるということはなかなか苦労がいるようである。見て聞いて感じる放射線から自然の中にある放射線について学ぶと、単に怖いということではなく、日常どう付き合っていくかの問題だということがわかるはずだという展開の仕方が面白かった。話の中で、ばい菌と放射線は、どちらも周りにたくさんあるということを感じさせるらしいが、ついでに、その違い、ばい菌は増殖するが、放射線は半減期があって、減る一方だということや、どちらも使いようによって毒にも薬にもなることを説明すると対比がよく分かるのではと思う。面白かったのは、佐藤文隆氏のコメントで、自然放射線を可視化したカウンターを科学館においたら、見学に来た主婦から「どうやって集めたのですか？」と言われたという。「いや、このあたりにうようよしているので別にここにだけ集まっているのではありません」といったら、その方は怖がって大騒ぎになったそう。その後、科学館はこのカウンターを展示するのをやめたそうである。福島原発事故以後の放射線の感じ方を見ていると、身につまされる話であろう。ここで、以下の2つの教えは印象に残った。

見えないもの知らないものに出会ったとき、それは力になる
予習は泥棒の始まり（西村敏郎）

次は、博士の高校教員(秋田県が先進的に採用)とし「中学校教員を対象とする放射線研修会」にもかかわっている瀬々将吏氏のお話であった。感心したのは、この研修会を複数の博士教員で受け持って、お互いに情報交換し、高め合っている様子であった。瀬々氏はそもそも素粒子論(理論)であり、放射線を扱ったことはなかったが、今回の研究に係った際に、生物屋さんが、頻繁に放射線に慣れ親しんでいることにびっくりしたという。放射線はまさに、放射線は生物研究の強力なツールであり、生物の構造を探る probe として大活躍しているのだ。

11 霧箱の工夫

今回、多くの人々が、霧箱づくりに取り組んでいるのに驚いた。霧箱はいろいろと工夫によって、自然放射線のレベルまで可視化できるという。霧箱は、過飽和状態の霧を発生させて、それにわずかでも放射線などが通過する際に攪乱を与えるので、霧が可視化できるというわけである。霧箱を発明したのはチャールズ・ウィルソン(1897年)であるが、Wilson's Bubble chamber といわれているが、実は彼はビールを飲んでいてその泡が発生する様子を見て思いついたらしい。しかし、実際に霧箱を作って、生徒たちに自然放射線を見せて、どれだけ効果的な授業が組めるのかは疑問であると思っている聴衆も多かったのではないだろうか。しかしながら、現場の先生の授業のありさまを実際に紹介していただくと、放射線を見る装置の必要性を再認識できたような気がする。というのは、これで、ベクレルの実体験ができるのだ。実際に数えてみることも出来るのだから。ともかく、自ら授業を組み立てられる先生が行う実体験の授業の面白さを認識することができた。

他にも感心したこととしては、瀬々氏が、霧箱を生徒といっしょになって、より効率的に見える条件を検討し、新しく工夫し、それを Science Education (英国学会誌) に生徒と共著で投稿し掲載されたことである。生きた教育とは、こうした高まりまで上り詰めるのだということを見せたい。日本は、科学実験教材の宝庫だそうだが、それが国際的にそれほど認められていないのは、英語の論文を書かないためらしい。博士はそれができるから、もっと先生方ともネットワークを作って、大いに日本のレベルの素晴らしさを世界に情報発信してほしいものである。

工藤氏と生徒たちの実践教育は、また印象深かった。工藤氏は、放射線は日常的な現象の1つ、いわば放射線は気候の1つだということ、広島にここ10年以上も生徒たちと調査して、実感しているといわれる。生徒たちは、地層による違い、天候による違い、雨が降ったら線量が増えることなど、測定を続けることで熟知しているのだ。我々は、今回、福島原発事故後、線量に注目するようになったわけであるが、その特性をそれほど知らなかった。だから雨が降った後、空間線量が増えたのに、「また事故が起きたのか」と心配し

たりしてしまったものだ。それも徐々に気が付いて、天候による線量の変化もまた、日常見うけられることだと実感するようになるのだが、生徒たちは、測定を通してそれがよく分かっているのである。また、広島の場合、上空を見上げた角度がどれだけか、建物の中か外か、当時着ていた服は何色だったか(黒の場合は被ばくの割合は明らかに甚大である)、などの違いで、被ばく線量が違うのだ、そういうことも、生徒たちは徐々に認識するのである。その後、京大 2 回生、間浦氏の発表は簡潔で短く要領を得ていて、たっぷり討論の時間を確保した発表だった。これをみて、なるほど、プレゼンの訓練をうけただけあると感心したのは、その過程を知っているからだったかもしれない。えてして、全てしゃべらないと気が落ち着かないが、要点だけしゃべって後で質問の中で充実させていく手法を身に着けている。こういうプレゼン訓練は若いうちにやっておく方がいい。いや、そもそも間浦氏の特質かも知れないなどと感心してしまった。著者の一人である坂東などつい多めにスライドを作ってしまうが、そういう意味では、見習いたいものである。

12 大学教育と社会人教育

東大教養での放射線教育(鳥居 寛之氏)の取り組みは、教科書に放射線の項目がなかった時代に教育を受けた典型的な大学生たちへの見事な模範である。単に授業をするだけでなく、それを見事にテキストとして完成させ、役立たせることができるのだ。それと並んで、「放射線リスクを科学的に思考するために必要な情報」(寺崎 朝子)では、あふれる放射線の危険を強調する情報が氾濫する中で、研究者仲間ですら、バリューとサイエンスを切り分けられない傾向が、いかに科学教育を阻害しているか、現場の教員の苦悩がよく分かる話であった。さらに大変困難な仕事としては、実際に被曝の危険にさらされた福島の市民との対話がある。「低線量放射線の生体への影響と食の重要性：福島での市民向け講演会の経験から」(宇野賀津子氏)、「市民と共に学ぶ放射線知識の基礎と応用」～ベラルーシ ETHOS プロジェクトから『福島のエートス』へ～(水野義之氏)の講演は、これらが、現実に純科学的な基礎知識だけでは、人の心に届かないことは、チェルノブイリの事例でも明らかになっている。しかもそれは、初期の当局マスコミの情報発信、行政の対応などとあいまって、人々の不信感を募らせた後には、社会に決定的なダメージを与える。低線量放射線の生体へのリスク評価、それらを 20 年前の知識で語ることはできない、ICRP の基準値と規制値の微妙なニュアンスの違い、そのもととなった考え方に対する理解、そういうものがないところに色々な情報が氾濫した。そのような状況の中でどのように、科学者の信頼を取り戻し、どう復興への力にしていけるのかが問われる。この研究会では、純学問的な議論に尽きるといっても、このあたりのサイエンスとバリューの切り分けは難しい。宇野氏の「いきがいから免疫へ」という免疫のプロからの情報発信の努力は、かなり浸透しているようでもあるが、全体にいきわたるにはまだまだ人材が足りないと思われる。市民自身が自ら本当のことを知りたいという熱意が高まっている今、教えられる側から教える側になれる人材が必要なのではと思う。エートスの考え方もその方向を目指しているの

である。そしてそれが、チェルノブイリからの教訓でもあるのだ。水野氏の福島市民との具体的な会話の再現は、科学者の一方的な思い込みだけではなかなか伝わらないことを如実に示していた。

実際の現場を考えると、ストレス度を数量化し、それを生体の影響につなげることはできないか、より客観的なリスク評価ができないかといった疑問に答えるいくつかのデータは説得力があった、というべきであろう。放射線 環境 健康 震災の国 日本、その現実を踏まえて、今、私たちは多くの教訓を学びつつ、日々改善の努力をすることが要求されているのだと思う。

さいごになったが、『放射線とひかり』キュリー夫人の理科教室事例報告～」（吉祥瑞枝氏）では、サイエンススタジオ・マリー主宰のいわばドラマ風に仕立てられた紙芝居を見せていただいたのは、一風のリクレーションの時間となった。厳しい現実の中で、マリー・キュリーの思いが伝わった。こうした、思いこそ、生きている私たちにとって、放射線のプラスもマイナスも含みつつ、人類が長い間かかって、生き延びてきた命のしたたかさを実感する。まだまだ、道のりは遠いが、科学者が、領域の壁を越えて、協力して、この困難を乗り越えていくべき時なのだと思感する。

13 おわりに

私たちは、できるだけ、お互いの知識を交流し合っ、事前の情報交換をするチャンスも作った。HP 上での討論では、丹羽太貫 ICRP 委員に対して、放射線教育関係の方から、質問があり、丹羽氏からの回答も掲載した。また、広島の被爆者のリスクをめぐる、焦眉の問題も、できるだけ学問に基づいて理論を行った。それらは、貴重な財産である。

これを契機にして、さらに、科学者間のネットワークがひろがり、分野横断的な新しい学問が構築されることを願ってやまない。

2012 年 6 月に行われたアメリカ原子力学会（ANS）では、会長直々の特別セッションが持たれた。その内容は、かなり衝撃的でもある。それに比べると、日本の学会の発信力はごく一部の科学者が大きな声で語り学問的なコンセンサスを得る努力が少ないように思われる。LNT をめぐる議論も凄まじい勢いで展開しているが、今後、さらに、綿密な検討を経て、人類の知恵が大きく実り多い結果を導くことを期待している。

私たちも、科学者の意見の相違がどこから来るのか、それは現在どのような評価なのか、合意できることは合意し、まだ今後の研究にまたねばならないものは、現時点での評価を総合して、市民に情報をできるだけ正確に伝える義務がある。その前に、科学としての客観的な評価ができる地点までの徹底的な議論と検討を重ねることこそ必要である。

わずか 3 日間では、議論を尽くせなかったことは確かであるが、少なくともこの期間、異なった専門の科学者が一緒になって議論できたこと、しかもそこには、高関心層ともいうべき、よく勉強してこられた市民も一緒になって、新家院に討論できたこと、これは大変貴重な経験ではなかったろうか。

この研究会を準備するにあたって、多くの方々にご協力いただいた。また、初めて接することのできた多くの研究者の皆さんの、真摯な思いを知ることができた。これらの感想などは、別途、当あいんしゅたいんのホームページを通じて今後の発信していくつもりである。多くの方々から、「こうした機会をこれからも継続的にもってほしい」という要望を頂いている。原子力をめぐり諸問題、放射線の生物への影響、放射線教育、それぞれに、取り上げるべき問題は山積している。今後、さらに学問的な詳細に踏み込んで、異分野交流を通じた新しい研究の発展へとつながることを確信している。

ⁱ 坂東は、この時のコメントで、ニュートリノ検束が、地層の探求に使われた話をして、ニュートリノ測定の精密さを強調する例として、ニュートリノの測定で近くの原子炉から来るニュートリノのフラックスをみて、原子炉が停止しているかどうかを見分けることができるのだと強調した。その時、「例えば北朝鮮の原子炉が動いている様子もわかるかもなどという話が合った」とコメントした。後から、参加していた佐藤丈氏から「あれは嘘ですよ。さすがに日本で遠く離れた北朝鮮の原子炉稼働によるニュートリノが引っ掛かるにはあまりに弱いフラックスだから無理ですよ。」といわれてしまった。時間がなくて、このことを訂正できなかつたので、ここで、改めて訂正させていただくとともに、お詫び申し上げます。しかし、そこまではいかなくても、素粒子実験の精密さには感激する。例えば、今話題になっている、1 億分の 1 の確率のイベントでしか出てこないヒッグス粒子を探し出す（イベントセレクション）のにいかに精密で注意深く分析精査しているかわかる。ニュートリノ測定の精巧さも、相当なもので、バックグラウンドの評価の精度を上げないと肝心のものが見えない。この話は、「地上のニュートリノは、土地の気配を感じるか」
<http://jein.jp/jifs/discussion/scientific-topics/556-topic3.html>
で触れたことがある。これぐらい精密な観測ができていることに感激してしまうだろう。

ⁱⁱ原子炉事故の詳細については、次の参考資料が役立ちそうである。

「2012 年春の年会」福島第一原子力発電所事故特別セッション（2012 年 3 月 19 日（月））に福井市で開催された、「福島第一原子力発電所事故特別セッション」の講演資料は、このあたりを補うのに役立ちそうである。

第 2 部 福島第一原子力発電所事故対応の概要 （東京電力）福田俊彦

第 3 部 福島第一原子力発電所事故対応技術セッション

（1）福島第一原子力発電所事故 1)事故後の取り組みと今後の中長期計画

（東京電力）山下和彦

（2）福島第一原子力発電所事故 2)地震・津波の影響について （東京電力）土方勝一郎

（3）福島第一原子力発電所事故 3)事故時の対応状況とプラント挙動（東京電力）宮田浩

—

（4）福島第一原子力発電所事故を踏まえた関西電力における安全確保対策の取り組み状況

(関西電力) 吉原健介

(5) 福島第一原子力発電所事故に関する原子力学会の分析 (副会長) 澤田隆

(6) 放射線測定 (JAEA) 柴田徳思

(7) JAEA の除染活動 除染モデル実証事業と技術開発 (JAEA) 中山真一

<http://www.aesj.or.jp/information/session.html>

ここにある質疑応答などは大変参考になる。

<http://www.aesj.or.jp/information/120526qanda.html>

iii システムという視点から見たとき、今回、新幹線はほとんどトラブルを起こさなかった。これは、2007年7月16日に発生した新潟県中越沖地震の際の教訓を活かして対策が取られたためと言われている。これと対照的に、柏崎原発では、3号機建屋外部の変圧器から出火はあったものの、原子炉は緊急停止し、外部への放射性物質の流出は認められなかった。また、地震から1時間57分後の12時10分にている。IAEAによる事故評価レベル0であった(同8月14日)。正直、私などは、当時、日本の原発は案じていたより安全だとほったしたものであった。しかし、レベル0だったとはいえ、今回の事故に備える注意深い調査がなされ、シビアアクシデントに対する備えを強化できなかったのではないか。「必要なことは、原子力が21世紀初頭の過渡的なエネルギーなのか、それとも21世紀を超えて長期的に利用されるエネルギーなのかの見極め」(舘野淳 NERIC News NO.306 /2010年2-3号) には、2007年にはすでに、「多重安全機能」より重要な要素として「電源のトラブル」に触れられていたことは、注目に値するだろう。

iv 3月25日(実験核物理領域・理論核物理領域)、

16:45-17:15 大塚孝治： 東京大学大学院理学系研究科

「福島土壤放射線プロジェクトと核物理学者の対応」

17:15-17:40 下浦享： 東京大学大学院理学系研究科・附属原子核科学研究センター

「土壤放射線マップの作成」

17:40-18:05 篠原厚： 大阪大学大学院 理学研究科

「土壤放射線の精密測定」

(招待講演・企画講演・チュートリアル講演一覧表より

http://w4.gakkai-web.net/jps_search/2012sp/invited.pdf)

v The 200-page report from the ANS President's Special Session is now on the Internet.

<http://www.new.ans.org/about/officers/docs/special-session-low-level-radiation-version1.4.pdf>