

対談集：原子力の利用

—エネルギーと放射線—

専門家に聞く 現状・課題・方向

社団法人 日本原子力産業協会
原子力システム研究懇話会

対談集：原子力の利用

—エネルギーと放射線—

専門家に聞く現状・課題・方向

編集：田畑米穂・堀 雅夫・松浦祥次郎・石井 保・町 末男

本書は、原子力のエネルギーおよび放射線利用における重要な課題を取り上げ、その課題に関係する指導的な立場、最先端で活躍する専門家と、そのテーマに関係した当懇話会会員との「対談集」である。

原子力利用に関わる今後の研究・開発、方針・政策の参考になるようまとめられている。

＜内 容＞

◆ エネルギー利用

- ・ 軽水炉の在り方 —地元との共生
- ・ 将来を見据えた原子力と燃料サイクルの展開
- ・ 第4世代原子力システム —国際フォーラム10年の成果
- ・ 原子力による炭素循環 —製鉄・合成燃料プロセスを革新できるか？

◆ 放射線利用

- ・ 放射線の産業利用と先端科学
- ・ 切らずに治す放射線がん治療と核医学によるがんの早期発見
- ・ 持続可能な農業と安全な食品に役立つ放射線技術

社団法人 日本原子力産業協会
原子力システム研究懇話会 発行

ISBN978-4-88911-306-8

対談集：原子力の利用

—エネルギーと放射線—

専門家に聞く 現状・課題・方向

原子力システム研究懇話会

刊行のことば

原子力システム研究懇話会（Nuclear Systems Association, NSA）は、1990年に（社）日本原子力産業会議（当時）の中に設立され、現在は（社）同協会（2006年4月より）のもとに活動しています。その活動の一つとして、1993年より毎年「NSAコメンタリー」を刊行しています。

本年度は、従来と趣きを異にし、いくつかの座談会を企画しました。原子力の広い分野であるエネルギーと放射線利用の両者につき、それぞれの分野の現状と課題について、先導的立場にある方々に語って貰い、それを収録した。

昨年度は、懇話会の設立20周年を記念して、創立以来在籍した物故者も含めて、なるべく多くの会員から、“原子力開発の光と陰を見つめて”と題して、遺稿や記事を収録した。我が国における原子力開発の歴史の一端を振り返り、貴重な数々の示唆に富む提言を戴いた。

今回は座談会の進行中たる3月11日の東京電力福島第一原子力発電所の未曾有の事故に遭遇した。我々原子力関係者にとって、残念至極であり、今だに退避を余儀なくされている皆様々に心から御見舞い申し上げたい。一刻も早い恢復と回帰を願わずにはいられない。当然のこと乍ら、原子力は安全に管理することが基本であり、過去の不足の分を反省し、今後最大限の努力を傾けなければと心に誓っている。

いづれにせよ、今回の新しい出版の試みが、皆様々にとって何らかのお役に立てば幸甚である。座談会に御多忙中にも拘わらず御出席頂いた対談者の諸先生に心から御礼申し上げたい。

最後に、今年号の企画、編集を主導して戴いた堀雅夫、松浦祥次郎、石井保および町末男の諸氏と一切の繁雑な事務処理に儘力して下さった宗像孝育氏に深甚の謝意を表したい。

平成 23 年 9 月

原子力システム研究懇話会
運営委員長 田畑 米穂

まえがき

今回の原子力システム研究懇話会発行「コメンタリー」の企画では、原子力のエネルギーおよび放射線利用における重要な課題を取り上げ、その課題に関係して指導的立場にある方、最先端で活躍している専門家などと、そのテーマに関係した当懇話会会員との間に対談を行い、これを編集して「対談集」とすることにした。

この対談集は、原子力界および広く関連産学政官界の専門家・指導者を主対象として、原子力利用に関わる今後の研究・開発、方針・政策の立案・策定の参考になるものとして作成することにした。

取り上げた対談のテーマは、「エネルギー利用」では4テーマ（軽水炉の在り方、燃料サイクルの展開、第4世代原子力システム、原子力による炭素循環）、「放射線利用」では3テーマ（放射線の産業利用、放射線の医療利用、放射線の農業・食品利用）で、合計7章で構成した。

それぞれの対談では、取り上げた課題について日本と世界を対比しつつ、経緯・現状・問題点・将来の方向・可能性について、解説・見解などを話して頂くことにした。

なお、3月11日に東日本大震災による福島原子力発電所事故が発生した時には、既に半数以上の対談が終わっていた。見解などの時点を明確にするために、各章に対談実施日を記載した。

本書がこれからの原子力利用の方向設定に役立てば幸いである。

「対談集：原子力の利用－エネルギーと放射線」編集担当
田畑 米穂、堀 雅夫、松浦 祥次郎、石井 保、町 末男

◇ 目次 ◇

◆刊行のことば	i
◆まえがき	ii
◆編集・執筆、対談者一覧	iv

敬称略

エネルギー利用

第1章 軽水炉の在り方－地元との共生（松浦祥次郎）	1
対談者：藤江孝夫 来馬克美	
第2章 将来を見据えた原子力と燃料サイクルの展開（石井 保）	40
対談者：小谷隆亮 藤家洋一	
第3章 第4世代原子力システム－国際フォーラム10年の成果（堀 雅夫）	57
対談者：松井一秋	
第4章 原子力による炭素循環 －製鉄・合成燃料プロセスを革新できるか？（堀 雅夫）	69
対談者：加藤之貴	

放射線利用

第5章 放射線の産業利用と先端科学（田畑米穂、町 末男）	79
対談者：岡田漱平 久保彰人 早味 宏	
第6章 切らずに治す放射線がん治療と核医学によるがんの早期発見 （田畑米穂、町 末男）	111
対談者：辻井博彦 井戸達雄	
第7章 持続可能な農業と安全な食品に役立つ放射線技術（町 末男）	139
対談者：中川 仁 林 徹	

◇ 編集・執筆、対談者一覧 ◇

(敬称略・所属は対談時)

編集・執筆

- 田畑 米穂 (原子力システム研究懇話会)
堀 雅夫 (原子力システム研究懇話会)
松浦祥次郎 (原子力システム研究懇話会)
石井 保 (原子力システム研究懇話会)
町 末男 (原子力システム研究懇話会)

対談者

- 藤江 孝夫 (日本原子力技術協会理事長)
来馬 克美 ((財)若狭湾エネルギー研究センター専務理事)
小谷 隆亮 (茨城県大洗町町長)
藤家 洋一 (原子力システム研究懇話会)
松井 一秋 (エネルギー総合工学研究所理事)
加藤 之貴 (東京工業大学教授)
岡田 漱平 (日本原子力研究開発機構理事)
久保 彰人 (住友電気工業(株)常務取締役)
早味 宏 (住友電気工業(株)高分子材料技術研究部部长)
辻井 博彦 (放射線医学総合研究所理事)
井戸 達雄 (日本アイソトープ協会常務理事)
中川 仁 (農業・食品産業技術総合研究機構バイオマス研究統括監)
林 徹 (聖徳大学人間栄養学部教授)

エネルギー利用

第1章 軽水炉の在り方ー地元との共生

対談日：平成23年3月2日、3日

対談者：藤江孝夫（日本原子力技術協会理事長）

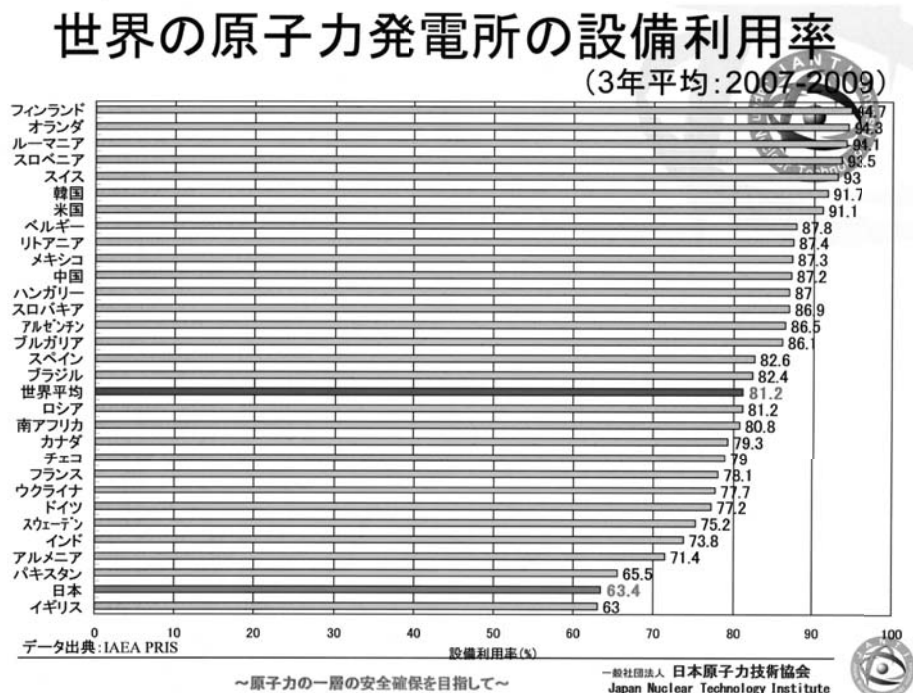
来馬克美（若狭湾エネルギー研究センター専務理事）

松浦祥次郎（原子力システム研究懇話会）

1.1 わが国の軽水炉技術

松浦）世界的に軽水炉利用は40年の経験がある。日本の設備利用率はかつて高かったが今は低い。ご自由に考えを述べていただきたい。

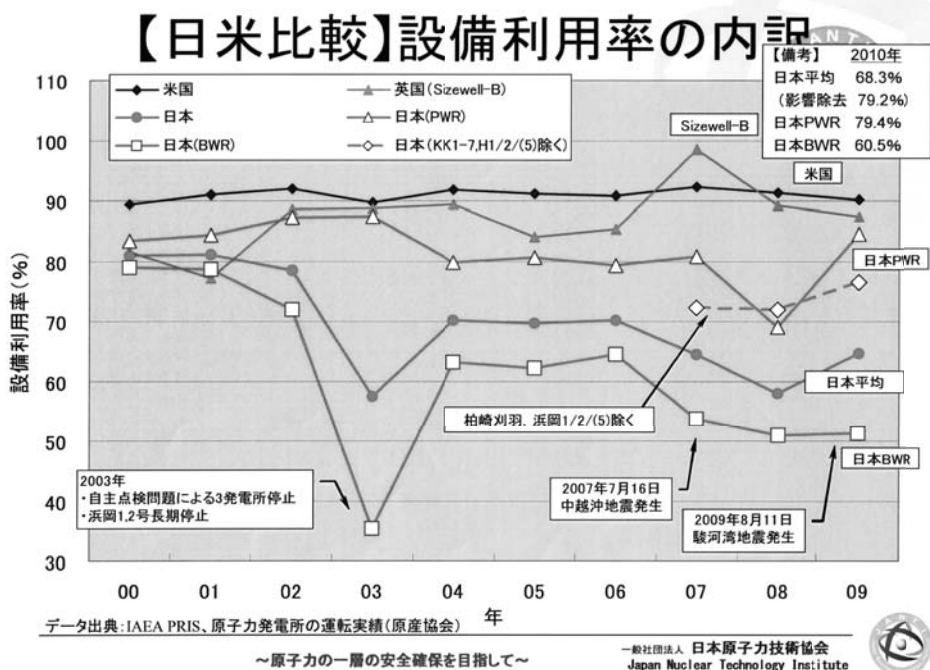
藤江）最近の世界の原子力発電所の設備利用率を示すと（第1図）、日本の値は軽水炉だと下から2番目、英国はガス炉を含むため最下位だが、軽水炉ベースだと日本が最下位になる。



第1図

原子炉の基数は米、仏、日本で半分を占める。プロモートするパートナーからは日本にもっとしっかりしてもらいたい、といわれる。持っている技術は高いので、関わる者としての責任を感じている。

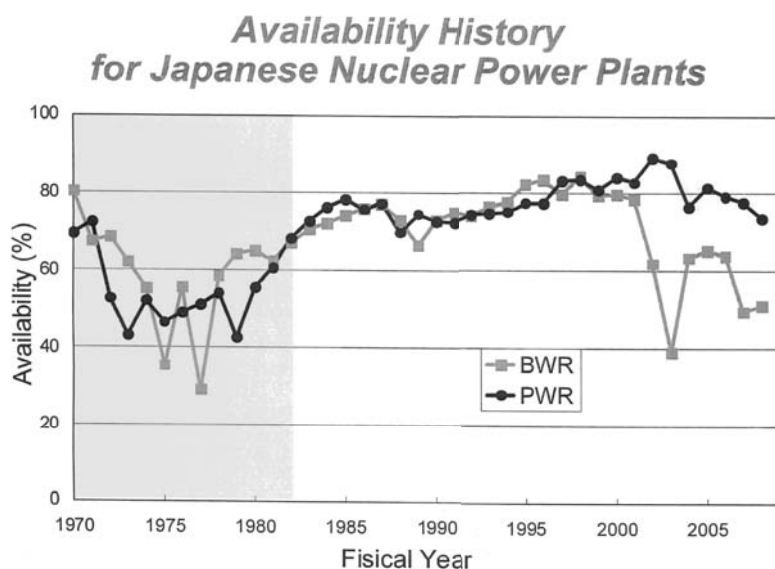
第2図は設備利用率の過去10年間の日米比較を示している。停止中の柏崎刈羽と、廃止を決定している浜岡（1、2号）を除くと点線で示す数値になるが、それでも現在の利用率は顕著に低い。



第2図

第3図は1970年から遡ってみているが、軽水炉の導入初期には初期故障に加え加圧水型炉(PWR)は蒸気発生器(SG)細管に、沸騰水型炉(BWR)は応力腐食割れ(SCC)のトラブルがあった。全体の基数が少ないため、1つのプラントにトラブルが起こると全体の利用率はがたっと落ちる。そこで75年から「改良標準化プログラム」を立ち上げ、国、メーカー、電気事業者が一体となって改善に取り組んだ。このプログラムは1次、2次、3次と10年余りにわたって段階的に進められた。第一ステップはまずトラブル低減を目指し、原因摘出、分析で対応をはかった。初期プラントはバルブ、モーター等輸入機器の品質が良くなかった事もあり、日本製に取り

替える等で不具合を克服した。しかし現場経験により、設計段階から改良すべき課題も多数摘出されたことから、関係者の知恵を結集して、第二ステップでは機器の信頼性向上は勿論のこと、保守作業の効率化、従業員の被曝低減を目指したプラント設計とした。その結果は、例えば格納容器の形状を変更し、保守作業に十分なスペースを確保できる設計とし、これを標準化し「改良標準型炉」と呼ばれているものを作り上げた。これらの努力が実り、1980年頃から日本の設備利用率は上昇してきている。

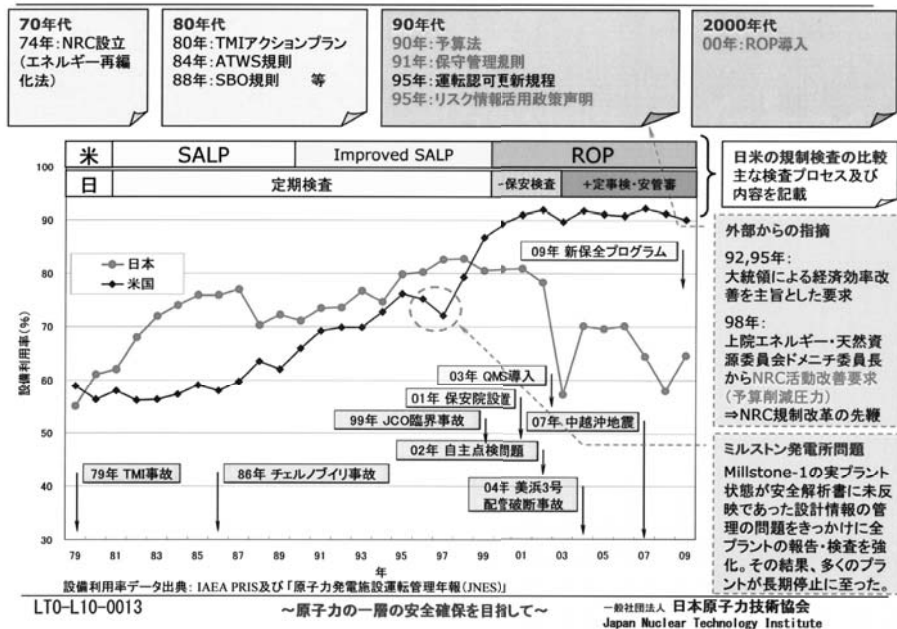


第3図

一方米国の利用率を見ると（第4図）、87年頃まで利用率は60%以下であり、その後もしばらく低迷が続いた。

このころ日本の利用率の方が比較的よかったので、米国の人がたくさん日本に見に来て参考にしようとした。その時ただ単に日本のまねをするだけでなく、良し悪しを選択して利用率を改善しようとした。事業者も米国原子力規制委員会（NRC）が作ったルールを守り、コンプライアンスを重要視した。その結果、細かいトラブルは減少し安全性は高まった。しかし、利用率は高くならなかった。そこで規制のあり方を改善する機運が高まり、まずNRCは安全上重要でないものを規制対象からはずした。

【米国NRCの規制改革の歩み(1)】



第4図

事業者も、経営上低稼働率で魅力がなく、原子力に嫌気がさし始めていた。そのため政治の力（92年にブッシュ大統領、95年にクリントン大統領が規制の効率改善要求を出した）が働き、更に98年には議会でドミニチ上院議員からNRC活動改善要求が出され、経済効率が見直しされた。



藤江氏

政治もメディアも、原子力の健全化をすべきだと
して、規制の効率化の動きを容認した。

一方、事業者も規制に改善を求めるだけではなく、自分たちもやれることをしようとスリーマイル島事故直後の79年に米国原子力発電運転協会（INPO）を設立した。また、86年のチェルノブイリのあとにソ連邦にある発電所の安全水準を西側と同じレベルに引き上げるため、西側の仲間に取り込んで世界

原子力発電事業者協会（WANO）を設立、94年に米国原子力エネルギー協会（NEI）をつくり、総合的な戦略を立てて活動を実行し、米国は民間と規制側が対等の立場で意見交換し、相互に確認しながら改善に成功した。

基本的に規制は安全上重要なものに特化し、重要でないものは事業者が行うこととした。

また政治もメディアも合理的なやり方を追求し、改善するという考え方を支持し共有していることも大きい要素である。

日本ではJCO、東電不祥事、美浜の事故などで利用率が落ちた。発電所の安全性向上活動は一生懸命に行っていたが、発電所でないJCOで事故が起こった事に鑑み、原子力産業全体の安全を高めるため、原子力事業者安全ネットワーク（NS-NET）をつくり、全産業関係者が同じレベルの安全を目指すようになった。これが日本原子力技術協会の活動に引きつがれている。

日本だけが原子力の全産業を高めようとしているところでユニークな活動になっている。

プラントのパフォーマンスの指標を見てみると、運転中停止は米国のほうがずっと多く（日本が31回に対して米国は188回）、スクラム率も4～5倍日本より高いにもかかわらず、なぜ日本の利用率は低いのか（第5図）。

【日米比較】1運転転サイクルにおける運転実績

	評価に用いたデータ	基数	運転期間の平均	運転中停止の回数	運転中停止の頻度(回/年・基)	運転中停止1回あたりの停止日数	平均定検停止日数	利用率(%)
日本	各プラントの運転期間とその前後の定期検査期間	53基	約13ヶ月	31	約0.54	約34	約140	約70
米国		103基	約19ヶ月	188	約1.2	約4.7	約38	約92

- ・ 各プラントの運転期間は、主に2007～2008年に定期検査に入った運転サイクルを対象とした
- ・ 運転中停止とは、運転期間中に発生した原子炉の停止（計画外停止、中間停止等）
- ・ 利用率は、調査対象の運転期間、その前後の定検停止日数の平均値（ただし、志賀2号機は、第1回定期検査のみを考慮）、運転中の停止をもとに算出
- ・ 廃止措置段階にある浜岡1、2号機は対象から除いた

～原子力の一層の安全確保を目指して～

一般社団法人 日本原子力技術協会
Japan Nuclear Technology Institute



第5図

米国は92%で発電所は103基、日本は70%で53基。要因の1つは、運転期間が日本は約13ヶ月に対し、米国の運転期間が1.5倍長いこと。2つめは、定期検査の停止日数は日本が140日に対して米国は38日、米国の発電所はほとんどベースロードで動いている。

定期検査の日米を比較すると（第6図）、3つめに、本格点検で分解点検する物量が圧倒的に米国が日本より少ない。4つめに、大型修理工事も大きく違う。炉内構造物であるシュラウドは米国にはBWRが35基あるが、維持基準があるため取り替えたことが無い。大型工事の扱いに差が大きい。5つめに、分解点検の間隔も例えばポンプシールで日本は1年、米国は3年と差がある。

【日米比較】定期検査期間、点検機器の物量等

		日本の例	米国の例
定期検査期間	標準工程	約58日	約13日
	平均の定期検査期間	約140日	約38日
定期検査時の 本格点検物量	ポンプ	64	9
	モータ	約100	1
	弁	約1,800	約100
大型工事の期 間など	低圧タービンロータ・ケーシング取替	約110日	25日
	シュラウド取替	約270日	実施せず
分解点検等の 間隔	原子炉冷却材ポンプシール 交換	1年	3年
	加圧器マンホール開放	1年	必要に応じ
	タービン開放点検	2年	7.5年
	格納容器漏えい率検査	1年	15年

～原子力の一層の安全確保を目指して～

一般社団法人 日本原子力技術協会
Japan Nuclear Technology Institute



第6図

6つめに、米国は運転中に分解点検を計画的にやっていく方法（オンラインメンテナンス）をとっているが、日本では認められていない。7つめに、米国は運転中の常態監視、安全性リスク計算をして、分解点検の最適化をしているが、日本はサイクルごとに点検しており、この違いが大きな差となる。また、事故データの解析の蓄積が少ない。米国は良いと思うことをまずやってみて、うまく行かなかったら変えたらよいというポジティブな姿勢で行っている。これらが大きな差となっている。

ここで問題を整理すると、大きく3つの要因がある。

- ① 運転期間の延長。規制が変わり可能となった。東北電力の東通発電所で、16ヶ月の計画で進んでおり、解決の糸口が見えてきた。
- ② 再起動の迅速化。この問題は一つのトラブルのあと、なかなか立ち上がらないことが問題。例外として一件のみ10日くらいで立ち上がった例がある。この問題は規制も改善の認識をしてきている。
- ③ 定期検査の短縮。この問題は規制が原因を作っているのではなく、事業者側に原因があるとしている。今後ディスカッションを行うことになっている。

外国の定期検査は短期間で終わっている。日本はこれまで述べてきたような多くの要因が重なり、長期間を要している。今後改善すべき大きな課題である。

昨年暮れ(平成22年11月)に原子力安全基盤機構(JNES)の安全セミナーで、米国の元規制責任者が「今の日本の状態は10数年前、これからどう改善していくかと悩んでいた時のNRCの状況である」といていた。我々の認識と一致している。

規制と事業者

ここで利用率と安全性について少し補足したい。

海外では高い安全性がなければ高い稼働率は達成できない、つまり高稼働率は安全性の高さを示しているという認識があるが、日本は違っていて多くの人が安全性を犠牲にして経済性を高めているという考えがある様に見える。従って事業者が利用率のことをあまり口にできない雰囲気があった。多分文化の違いといえる。

黎明期の頃、規制側も事業者側も同じテーブルについて真剣に議論してやってきた。初期のトラブル対応も、先述の改良標準化も、規制側と共に取り組んだ。できればそういう方向に戻ってほしいと思う。

日本の世界への役割は、ポテンシャルは世界で高い水準にあるが、能力を十分に発揮していない。効率のよくないこと、生産性に貢献しないようなことに時間を使いすぎる。生産的なほうに頭が動かない。

より生産的なほうに振り向けられるようにして行きたい。日本の工業力

の貢献が世界に求められている。その位置づけがいま、できていないので舵をきりなおしたい。

松浦) 次世代の軽水炉に向けてはどうか。技術面での意見を伺いたい。

藤江) 新技術を順次取り入れる。たとえば計測器などはアナログをデジタル化する。また地味ではあるが目の前のトラブルを解決して技術を蓄積していく。

炉のコンセプトとして、次世代炉というと大容量を考えがちだが、それに加えて中小型炉も候補の1つと思う。世界に目を向けると、単機が大きすぎてその国に向かないことがあるので、容量の選択のできる炉をつくる。かつては小型を大型化して改善してきたが、それとは違うアイデアやコンセプトを入れた経済的な中型炉など。例えば荒っぽく運転できる(ばかちゃん)炉や、高度の技術者でなくても安心して運転できる中型炉が望ましい。頑丈なものや、保修が容易なものなど世界的にニーズが出てこよう。

松浦) スケールメリットでなくモジュラー型か。ひとつの解決法のオプションか。

藤江) 建設時、プレファブ型。運転に高度技術が必要でない炉形。

ニーズに合わせたもので、まだ誰も手を付けていないもの、60万kWくらいで日本原子力発電(株)では検討した。まだ商品化まではいっていないが、緊急時炉心冷却装置(ECCS)を簡略化したもので、大出力では無理だが60～70万kWならばできる。小さいメリットを生かす。

松浦) フールプルーフ、エラープルーフの炉か。

藤江) そしてメンテナンスがやさしい炉。

松浦) これで見えてくる。よくする方向を見つけ出し、ニーズに合わせる。180万kWではより広い範囲のニーズに合わせられない。



写真 左 松浦氏、中 藤江氏、右 来馬氏

1.2 原子力発電所と地元との関係について



松浦氏

松浦) これから先の原子力問題を少し広げてみたときに、何が将来の問題か、それを過去のいろいろな経緯をふまえて考えて将来役に立つことを指摘しておきたい。主題は商業用発電炉だが、現在わが国には軽水炉しかないので世界でも主流の軽水炉に焦点を絞って伺いたい。軽水型発電炉の運用が始まった頃はどこの国もトラブルがあった。日本は初期トラブルを克服して正常な状

態になったのはよいが、2000年前後から問題が起こってきた。その回復に時間がかかった。関係者が重視している問題の一つは設備利用率をいかに向上すべきか。これが制度的な問題なのか社会的、文化的問題なのかあるわけだが、設備利用率という数字に目をとられると非常に誤解が生ずる可能性がある。工事をするときスケジュール先行ありきみたいになると、すぐに安全とか人々の社会的納得なしに合意するののかというのと同じような問題が起こる可能性がある。そこはそうではなく、本質的にどういうことがあるのだというのを、電力事業側からも、あるいは技術面からも研究開発面からも、地元の人達の気持ちとか考え方を含めてポイントをクリアにして、その結果として設備利用率が上がっていくというのが本筋だと思う。

昨日原子力技術協会の藤江理事長にうかがったが、電力事業者の立場から見て設備利用率がなぜ悪くなったか、国際的な状況、日本の原子力の運用の仕方、規制上の問題、そういう点からとくに指摘があった。地元との関係についての話はなかった。来馬さんにご意見を戴いたあとで、この後に藤江氏が見えるので、お2人が一緒になって事業者と地元という両方に関して、どこに課題があるのか、どういう方法で解決して行くべきかといったご意見をいただきたい。来馬さんにはお考えのとおりにお話いただきたいが、著書「君は原子力を考えたことがあるか」について、地元の生活の向上と、どこに問題があるか、次世代の地元の人々をどう育成するか、何が問題か、地元での原子力の価値はどうか等について、福井をベースとして話を伺いたい。他の地域でも共通するであろう。



来馬氏

来馬) 福井県は原子力と関わってほぼ50年の歴史がある。福井が原子力と関わったのは1957年（昭和32年）から。「福井県原子力懇談会」を産学官でつくった。当時の産業界、とくに繊維業界が中心となっていた。昭和30年代、戦前も含めて福井県は繊維王国といわれてきた。繊維王国だったから空襲にあって被災した。それから立ち直り、その後朝鮮戦争も経験した。先見

的な人は、技術革新の中で福井の繊維が残る方法を考えなければいけないということだった。

昭和28年の「アトムズ・フォー・ピース」、昭和29年の日本初の原子力予算、30年の原子力基本法、31年に日本原子力研究所がスタートするこの時期の動きを横目で見ると、原子力平和利用、放射線利用を産業界が受け止め、それを繊維とからめて福井が技術革新をする、そのことによって産業を振興していくという期待感があった。それを福井大学の学長、福井県知事、県内産業界と、文字通り産学官で懇談会を立ち上げた。未知の、大きな可能性を持っているであろう技術を地元の繊維産業にうまく使って福井の産業振興につなげる。そういうスタートだったと思われる。スタートというときに、偶然の重なりがあった。ABCC（原爆傷害調査委員会）にいた医師が福井県の衛生研究所の所長になった。原子力についてはゼロみたいな知識レベルの中で一人だけ理解と知識を持っているその医師が勉強会の講師役となった。具体的な目標はあったかどうかは定かでないが、ひょうたんからコマのように京都大学の研究用原子炉の立地が大阪でとん挫しているという報道があったようだ。しかし、福井の新聞に出た時には次の展開になっていた。住田健二先生（大阪大学）と話をした時「京大炉はもう熊取に決まっていたはず・・・」ということだった。

福井で新聞を見ていると、研究炉立地が路頭に迷っているみたいに見えたので、願ったりかなったりではないかと川西町（現・福井市）が誘致活動を始めた、というのが福井県が原子力と関わった経緯の始まりだった。

研究炉の誘致運動をしたが空振り、実際は大阪府熊取町に決まっていた。

上げた手が下ろせない状況になったとき、日本原子力発電の2番目の原子炉を西日本に作る計画が浮上、福井県があげた手をそちらにもって行った。福井県は、嶺北と嶺南の二地域に分かれる。福井県の原子力誘致運動は、嶺北を中心とした産業界、大学、行政の動きでスタートしたので予定した場所は当然嶺北だった。しかし、嶺北に適地が見つからなかった。コールダーホール型の東海1号炉の発電原価が1kW当たり5円位だったか10円だったか非常に高かった。当時の火力発電の原価は、オイルショック前で1kW当たり1円か2円だったと思う。したがって原子力発電所は採算性の取れない状況だった。どうやったら採算性が取れるようになるかを模索する時代であった。当初の嶺北の予定地はたまたま砂丘地帯で深く掘らないと堅固な岩盤が出ない。日本原電の判断でこの地点での立地は無理ということになった。しかし折角福井に誘致の機運があるのでどこか他の地点はないかということになった。

未来のエネルギー、未来の原子力をぜひ福井にという、当時、「表日本」に対して「裏日本」という時代、そういうところに原子力で光を当てたいという意識が強かった。まさに原子力誘致の時代。当時は、福井県土地開発公社が用地買収、あるいは県が漁業補償を漁業者と直接行い、地元調整を全部片付けて日本原電さんどうぞ立地してくださいということになり、引き続き関西電力も誘致した。

立地が決まる昭和38年、着工する昭和42年くらいまでその流れは変らない。

どこから変わったかという、実際に敦賀発電所1号機や美浜1号機が動いた昭和45年（1970年）以降。日本ではBWRにしろPWRにしろ初めて運転を経験している時代、弁から水が漏れる、燃料棒から放射能が漏れるなどトラブルが多発した。

たとえば環境放射能検出問題でも、当時は全ベータ放射能測定法でいくら測定しても出てこない低いレベル。たまたま水産庁の研究所が、たぶん当時は日本でどこでも測定分析できる状況ではないが、最新の核種分析装置を入れて測定分析したら、日本原電の放水口のムラサキイガイという貝からコバルト60が1ピコキュリー検出されて大騒ぎとなった。なぜセンセーショナルだったかという、たぶん東海地区水産研究所は学術研究

のつもりで詳細測定したので、その結果を論文発表した。それを東京のプレスがみつけて新聞に掲載した。地元はその新聞を見て初めて敦賀発電所放水口から放射能（コバルト60）が出たと、そんな話は聞いていないとなったことが、県民に非常に大きなショックを与えたと思う。全国的には当時、昭和46、7年は反公害運動全盛の時代だったから、県内の立地地域もこれらの動きとシンクロするところとなったと思われる。公害による被害が全国でどんどん出ている中で、福井では東洋紡による敦賀湾PCB汚染があったし、火力発電所を造ればSOx、NOxが出る。そういう中で全国的、国民的な嫌悪感が出てきて、反公害運動が盛んになる。地域に対して企業が悪いことをする、悪い影響を与えるという風潮の中に原子力発電所も入り込むと、原子力に対してはもともとアレルギーがあるので反対運動が盛り上がった。

昭和46年、関西電力大飯発電所1、2号機は建設準備工事をやっていた、それをめぐって町長リコール運動が起きた。非常にセンセーショナルな反対運動になっていった。県内ではそれまでは全くそういう経験がなかった。それまでの原子力発電所の立地は県議会や市町議会がほぼ全員一致で決まっていたところで、昭和46年から町をあげての反対になった。そこが一つの大きな転機だろうと思う。それがあとで出てくるような安全協定締結につながる。勿論福井だけが安全協定を結んだわけではなかったが、法律ではない規制的なニュアンスのものが生まれた。安全協定は、法律と同じような規制的なものであるとは思っていない。原子力発電所は地元にとっては目の前にある巨大なプラント。規制当局である国は東京にある。電力会社は規制当局には法律上、情報連絡などいろいろなやり取りをする。ところが地元から見ると頭越しという状態で、プラントでいろいろな問題があったとき地元には何も知らされない。全国の状況は、公害防止協定締結が当たり前になっていく、そういうなかで、原子力にも協定が必要ではないかというところから、福井では昭和46年8月に覚書（安全協定）を結んだ。勿論もう一つの背景はあまり強調されていないが、実際は漁民等の反対の動きを収めるための損害補償の問題、立地の際は漁業補償をするけれども、もし事故があったら損害を補償してくれるのかという問題があっ

た。今では原子力損害賠償の制度があるけれど、当時としてはまだ全体が分かっていない。何かあったときも大丈夫だといっても漁民は納得しない。国が補償するといっても、当事者の電力会社が必ず補償すると、一筆書くべきという時代だった。それがもう一方の柱として安全協定を結ぶ要因で、それを結ばないと漁民が同意しない。その一つの回避策として安全協定に漁業補償という条項を入れている。だから単に通報連絡の協定ではない。地元の漁民から見れば法律でなく当事者である電力会社が補償をするという約束を条文化することが、安全協定を作る主因だったと思う。もう一つは情報を我々の頭越しで何も知らされていないというのは困る。だから地元ちゃんと連絡してほしい、それを担保するための覚書・協定だったと思う。安全協定を運用することが私の、原子力安全対策課の仕事になっていく。原子力発電所というのは電力会社が国の許可を得て造る。地元から見れば会社の存在が見えない。極端にいうと、隣に工場ができた、しかし塀がとても高くて人は出入りするけれどいったい中で何をやっているのか、見えない。中が見えないから、隣に住んでいる人から見れば不安だ。出入りするときにちゃんと挨拶してもらえとか、工場の様子を1年に何回か説明をしてくれるとか、我々はこういうことを考えながら仕事をしているとか、将来こういうものをやろうとしているとか。もっとわかりやすく言えば、もし隣の工場で白い煙が出たら何かあったのかと心配になる、隣人としては、何も影響ないものならそうと知らせてほしいと思うはず。原子力発電所もそのくらいのことは最低やってほしい。もし塀が必要でもそれを高くそびえる塀ではなく、こちらから向こうが見えるくらいの高さにしてほしい、というのが安全協定の精神ではないか。私はそう思って運用して来たつもりだ。すなわちその地域に住むあるいは地域で事業をする電力会社あるいはプラントにとって、地域との良好な隣人関係をしっかりと作り上げるために必要な情報のやり取り、あるいは挨拶をしっかりやるということが基本だと思う。

大飯発電所1号機の立地をめぐる大飯町政が混乱し、責任を取って時岡町長が辞職し準備工事も一時中断した。中川知事が調整に入り町政が落ち着いたので準備工事も再開し、建設計画が進んだ。昭和47年以降、

敦賀市に1基、美浜町に3基、高浜町に2基、大飯町に2基、さらに敦賀市の新型転換原型炉「ふげん」も入れて、福井県内で9基のプラントが立地する9基体制となった。

昭和49年、51年と二度のオイルショックがあった。関西電力は福井県だけに造らなければいけない理由はなかったが、兵庫県下や京都府下、さらに和歌山県下の立地は計画通りには全く進まなかった。オイルショック後に原子力発電の必要性がさらに高まっていった。その中で関電としては既設発電所での増設計画を推進せざるを得なくなった。地元も1,2号機を造って、原子力が地域にとっての経済的なメリット、例えば小さな自治体の財政にとっては電源三法交付金や固定資産税等の収入は大きなウェートとなる。極端な場合には不交付団体になっていく。小さな町にとっては考えられないような大きな財源として、あるいは有効な経済活性化の手段として原子力発電所が役立った。地元から増設したいという動きも表面化する。電力会社は当然いろいろあったと思うが福井での増設へ進む。敦賀市で1基、高浜町で2基、大飯町で2基、さらに様々な紆余曲折を経た高速増殖原型炉「もんじゅ」も入れて福井県内で合計15基が立地する15基体制ができた。

最初の敦賀発電所1号機が運転開始した昭和45年(1970年)から30年経った平成12年(2000年)になると、30年を越えて原子力発電所はどこまで運転するのかという話になって、長くても40年くらいじゃないかという議論があった。運転停止までに後継の原子力発電所をつくろうという動きとなって、敦賀発電所3、4号機の増設計画が出てきた。3、4号機は平成22年(2010年)には完成できなかったが、考えかたとしては敦賀1号機が40年を迎えるその時まで、敦賀発電所3,4号機を建設しバトンタッチをしようという考えだった。同じように美浜発電所1号機も平成22年(2010年)に40年を迎えることになるが、関西電力は40年でやめるのはちょっと惜しいと、もう少し先伸ばしたいので、敦賀1号は40年と決めたが、関電はフリーにしておいた。ご承知のように美浜発電所も高経年化と後継炉問題が出てきて、40年では停止しないが、50年までは運転しないという約束の中で、次の後継炉の準備をすることになった。

福井ではどのような意識の変遷があったのかという話については、先ほど15基体制ができる過程で、これ以上の増設反対という、いわゆる9基以上に増やさないという県民運動があったが、経済的理由から地元が期待するという誘致運動が大きくて、反対運動そのものが推進をひっくり返すほどの力にはならなかった。

ただ、「もんじゅ」については県民の受け止め方が違っていた。福井での軽水炉の建設・増設計画は、全国の反対運動が注目するという話にはなくて、ある種ローカルな話題、県議会で反対する議員がいるとかいないとか、あるいは周辺自治体が反対するとかはあったが、日本全国の反対派が福井に集まってくるということではなかった。

ところが「もんじゅ」については、研究開発段階の原型炉だということ、あるいは世界でもまだ運転実績が少ない高速増殖炉だったこと、核燃料サイクルの是非、プルトニウムとかナトリウムだとか、全国の注目を集める研究炉だということで、一次公開ヒアリングを開催した時、全国から1万人くらいの、福井ではいままで経験のない規模の反対派が集まった。県内からの参加は1000人くらいだったと思うので、県外から1万人くらいが集まる県内では唯一の大規模な反対行動だった。そこが「もんじゅ」がほかとは違っている。日本の原子力政策のなかで「もんじゅ」の役割がたぶん反対派の戦略的視点としては大きいということで、それに対して抵抗する、福井県内の反対派はもちろんいるけれどもその思惑を乗り越えて全国から勝手に福井に集まるようになったと思う。いずれにしろそれも含めて15基ということになった。そうってから以降は、「もんじゅ」の裁判運動とかは別だが、原子力全体を動かすまでの反対とはならなかった。もちろん美浜2号機の問題（1991年2月、蒸気発生器の伝熱管1本の疲労による破断）あるいはその前のTMIがあったり、チェルノブイリがあったり、そのことは県民がというよりは、県外の、大阪府だとか京都府だとかというところから福井が責められる。チェルノブイリのような原子力災害があるということになってしまうと京都府も、あるいは大阪府も地元だ、という意識の中で、我々福井県が悪いというか、福井県に原子力があるから悪いというみたいな、そういった反対運動になって、県民が反対しているので

はないのにという感じなのだけれど、でもそれはそれで一定の力となり我々は苦しめられた。県民はそれほど動揺する話にはならなかったのではない。もちろん、美浜3号機の事故（2004年8月、2次系配管の蒸気漏れによる）のようなことが起きれば、県議会では事故の再発防止とか風評被害への補償とかいろいろな問題が議論された。

先程の軽水炉にもどるわけではないが、昭和45年（1970年）の運転開始後になぜ軽水炉の安全性がそこまで大騒ぎになったかというのはいろいろな要因があった。誘致というときは、電力会社も国も、事故は絶対起きません、放射能はだしません、安全ですと、誇大ではないだろうが、基準値に対して一万分の一だから安全ですという話と一緒に極端に強調された。それを地元は素直な気持ちで受け入れるわけだから、それがたった1ピコキュリーでも貝から放射能が検出されたことはショックで、規制値以下でも、詳細に測定分析すれば放射能が検出される、放射能は発電所から微量でも出ていることが分かった。それまでの全ベータ測定やったら出ないわけだが、核種分析測定法ではより微量に測れるので目に見えてしまう。目に見えてしまうと今までは放射能は出ていないというのも測って出ないから納得していたのが、検出レベルを下げて、あるいは核種分析になると「放射能検出」となってしまう。一緒のことなのだが、見えてしまうと不安がでる。こういう話とやや似ているのが、「もんじゅ」のナトリウム漏洩だった。ナトリウムは漏れないとか、ナトリウム火災なんてそんな危険はないということを強調してきたところもあって、二次系のナトリウムが漏れればやっぱりそれは危ない、という受け止めになったのは事実だ。なぜ「もんじゅ」の問題がこれだけ長引いたかというのは、いろいろ要因があって一口には言えないが、「もんじゅ」立地の際の安全性に対する説明が正確でなかった面もあるだろう。

わかりやすく言えば、美浜発電所3号機は「もんじゅ」よりはるかにひどい人身被害を起こしているが、プラントということでみると配管が壊れただけで、モノが壊れただけで、それは新しいものと交換すればよくなる。すなわち壊れたモノは直せるし、直したことについて、みなさんにもわかり、新しくなり大丈夫だと納得が得られやすい。それはモノだから。

ところが「もんじゅ」の場合は壊れたものはモノだけではなくて、安全協定は何かということをお話ししたように、工場で起きたことを我々隣人に説明していることがごまかしだったり、あれこれ情報操作をしているのではという不信だったり、そういう住民の信頼を壊すという部分、ココロの部分、そういう曖昧なものが壊れると、これを治すというのは並大抵でない。どう説明したら皆さんにもう大丈夫治ったと理解されるのかが不明。すなわち信頼回復というのは、事業者で出来ることと出来ないことが結局あるわけで、モノが壊れたのであれば事業者だけで直すことは出来るが、それは見てもらって確認してもらって、だから直った、良くなったと納得してもらえればオーケーという話だけれど、信頼は、ここをこう治しましたと、それを見せろと言われても見せられるものではないというところが、住民から見ればなかなか納得し難いという話だ。「もんじゅ」では初期の情報伝達において住民の信頼を失うという一番難しいものを壊してしまったということ。だから「もんじゅ」は再開に時間がかかったと言えるのではないかな。

白木の地域で事業を運営する人が事故に直接関わり、地域住民に対して今までと違った悪い印象を与えてしまったということは全く取り返しがつかない。もちろん所長を代えた、担当課長も代えた、それは住民に見えるけれど、代わった所長や担当課長がどれだけ信頼を回復できるかというのは時間のファクターが必要になる。そこで結果的に時間がかかってしまったと思う。ナトリウム検出器を交換するとか、あるいはドレンの容量を増やすとか、火災報知器を増設するとかは、時間とお金さえかければ新しくなるし、誰もが良くなったと認められるけれど、地域との信頼関係をどう組み立て直すか、地域のみなさんに納得してもらえるかというところが残念ながら非常に時間がかかった。

これまでの福井の歴史は、必ずしも一本道ではなかったと思う。ほかの自治体はわからないが、試行錯誤、あるいは紆余曲折があったと思うけれど、しかしながらその40年を見れば結果的には原子力とともに歩み、日本の原子力を支えてきたと思う。事故や故障などトラブルはたくさん経験したけれど、原子力と地域との関係はそう大きくは崩れなかった。ある意味で順調

に40年が過ぎたのではないかと思う。それは勝手な解釈かもしれないが。

安全協定の変遷については、いわゆる規制法的な関係ではない緩やかな関係、すなわちお隣さん同士の関係として最低限のご挨拶を交わすというか、そういうコミュニケーションをとる手段の担保として安全協定がスタートしたと思う。そのことは何ら当初も今も変わってはいない。しかし、安全協定に基づく通報連絡を地元が受ける、これを法的に義務化するかどうか、そういうところはいろいろと議論があった。あるいは環境で放射線監視のモニタリングをする、先程のムラサキイガイという貝の話もあったように、福井県はこの分野で常に日本の先頭を走る位に体制を充実させてやってきた。そういうことはできるので、場合によっては環境モニタリングをするという責務を地元が負うことはあるかもしれない。そういう役割を地元が担う、すなわち事業者だけではなくて地元自治体が環境を監視するというのは、あってもいいのではないかと思う。議論の分かれるところである。

原子力発電所を立地する14の関係道県でいつも議論となるのは、福井県の考えが他とは常に同じにはならないということである。そこが自治体の自治体たる所以でもあるが、国は1つだが自治体は1つではないので、それを統一した考え方にしないと法的なものではできない。もし各自治体が条例で決めるというのなら個別にやればできるだろう。そういうものを福井県で追求したこともあった。条例化できないかと、国と議論をすると、現時点で議論するとまた違うかもしれないが当時は、国の法体系があるなかでそれを越えるものを条例で規制することはできない、というひとつの原則論がある。そこから不可能だというのが法律屋さんの見解だ。そうすると自治体は何も手を打てない。こうなると現状のいわゆる紳士協定と言われた安全協定、その役割はそう変らない。ここにもあるように権限を持つということは責任を持つということなので、自治体が責任を持つという覚悟は果たしてあるのか。その踏み絵を例えば知事に踏めと言ったら、まず100パーセントだと思うがその自治体は踏まないと思う。知事が権限をもつことはすなわち責任もちろんもつということだから。

松浦) 責任を持つから権利をよこせとまではとても言えないということ。ところが責任を持たずに権利というのは認められないというのは普通の常識

だが。

来馬) 東海村のJCO事故以降、原子力防災対策特別措置法ができた。あのなかでは原子力防災という限定の中で地方自治体の役割は一応明記されたので、自治体はある意味で責任を持つことになった。あくまでも平常時ではない。

松浦) あれは非常に特別の場合でないと発動しない。

来馬) 有り得ないわけではないけれど、そういう意味では非常に限定的だから、皆さんはあれなら仕方がないと、それはそもそも一般的な防災という業務が、地方自治体が、消防もそうだけれど持っているという、そういう延長線上で考えれば、原子力を除くということはあるので、あの役割は原子力についてももちろん持つというのは当然だと言う話になっている。原子炉等規制法の関係とかあるいはもともとの防災対策基本法との議論があったが、あの特別措置法で当然原子力を含めてやるのだと言う話が明確になって、そこははっきりした。平常時に、原子力発電所の安全管理に関して何らかの法的な役割を自治体を持つべきというのは、なかなか困難である。個人的には、自治体が環境モニタリングという周辺の監視をするというのは自治体に、限定的だが役割分担することは可能ではないかと思う。平常時と緊急時のモニタリングは自治体が今までやってきたから。緊急時のモニタリングをやるということは、平常時のモニタリングもやるということでもあるから、そのことくらいは場合によったら自治体はやるべきである。責任を持つというのはあってもおかしくはないと個人的には思う。全体としてはそれが合意されるどうかは別の話だ。だからここという自治体の権限と責任というのは、いろいろな考え方があって難しいと思うが、福井県の場合は原子力安全対策課が安全行政をしっかりとやってきたという点から言うと、地方には地方の役割があると思う。ただ国のようなオールマイティの組織ではないので、福井県ではこれ以上やらないという線引きを自らひかないと、どこまでもやってしまうという話になるのはまずいと思ってきた。言い訳的になるが、福井県の原子力安全対策課には原子力職が6人ぐらいしかいない。原子力安全対策課には、電気や化学専攻を入れても技術者は7人しかいない。どうあがいたって仕事の幅は広

がりようがないと思うので、福井県の役割というのは、要するに出来ることしかできないので、そういう意味では限られているし、深掘りをして際限なくいくなどというのはありえないと思っている。そういう体制である限り、自治体への権限の付与は現実的ではないと思う。

松浦) むしろ福井県が全日本を見ると、一番しっかりとそういうのを造られたところでそうなわけだから。

来馬) 他の県でも原子力の専門家が1人か2人いればいいほうでしょう。福井の原子力安全対策課はいろいろ言われるけれど、原子炉15基もあっても原子力の専門家は6人くらいしかいない。例えば玄海発電所は4基あるけれど、我々のところはそれの4倍近くあるわけで、玄海にもし2人いたら、我々には最低8人いなければならないけれど、5人位がせいぜいという話から言うと、非常に過剰な期待というか過重な労力を担当職員に実際は強いている。私もそうだったし、今の職員もそうだろうけれど、そういう少ない人員の中で仕事をやりすぎるほどやっていると思う。そこが他とは少し違うかもしれない。一人ではやれない、2人でも殆どやれないけれど、やはり5～6人というチームになればやれることはやれると思う。仕事はそういうものではないかと私は思っている。

国の原子力安全・保安院は我々から見ると非常に巨大な組織であり、我々とは比較できないほど多くの原子力などの専門家などを擁している。トラブルが続いたためか、仕事のための仕事に陥っているのではないかと指摘も聞く。人材と資源をもっと効率的に活用し、プラント現場での規制の実をあげてほしいと願っている。

松浦) 過剰になっているとよく指摘がある。

来馬) 従来、我々自治体が、国の規制以上に事業者に注文をつけてきたといわれてきた。確かにそういうところはあったと思う。例えば柏崎刈羽原子力発電所とか、美浜3号機の事故の際もそうだったけれど、国は何をやっているのだ、保安院は何をやっているのだ、もっとしっかりしろと、国会などで追及された。こうなると当たり前だが、どんどん国のコミットが増えてくる。増やすようにと外圧がかかる。その結果、規制というトータル性、規制というセオリー性が無く、やれるところだけをどんどん深く掘っていつ

てしまうみたいなことが起きている。

松浦) アンバランスを感じる。

来馬) 保安院の中で、やらなくてよいというブレーキを誰もかけられなくなっている。それが一番大きな問題だろう。福井県は大体もう再開オーケーと言っているけど、保安院がだめだから再開できないという例もある。あれも注文、これも注文、今すぐ出せといっても出ないだろうという注文もでてくる。

松浦) そこは重要なところだ。さっき言われた「しっかりしろ」の意味がどこかで食い違って行ったところがある。利害が変わっていった。それは直さないといけない。

来馬) 今の規制は法律の枠からはみ出しているように感じる。

松浦) 厄介なことに、規制はいっぺんこうだと決めるとそれをなくす、厳しいものを緩やかなものにするというのはものすごく難しくなっている。そして何かというと厳しくしてしまう。非常に難しい。これからおそらくそれはかなり治して行かなければいけないと思う。昨日藤江さんからうかがった意見の分析の中にもそういう分析がある。

1.3 今後の課題と将来展望

松浦) 地元としてはこのくらいでよいと思っていたところが、保安院がどんどん深堀をしてしまっただけで、それが手足を縛って動かなくなっているのではないかということになりかけていたところだった。これからはお二方に一種掛け合い的に、これから先に原子力発電所がどの地域でもそうだが、長く軽水炉を使っていかなければいけない。かつ40年となってくると初期に入った炉がそろそろ退役して次にどうするかという話になってくる。そのなかでいままでの経験を踏まえて原子力発電所のある地元というのは今後どういうように社会が形作られて行けばよいのか、また事業者の立場から言うと今までの経緯、雰囲気踏まえてこれから先どういうふうに行っていくべきかということをお話していただければと思う。

(福井県が原子力を) 導入したときはうまくいったが、ムラサキイガイの1ピコキュリーの放射能で、「話が違っているのではないか」ということになっ

た。物事がともかく「納得がいかない」という話が起った時がいろいろ問題だ。おそらく事業者は事業者でこれで十分納得してもらえらるだろうと思ったのが、地元からとるととても納得という話ではない、ということがあったのだと思う。それらをようやく次々いろいろあったものが少しずつ克服して今の状態になってきた。ある意味でお互いに信頼関係みたいなものができたか、できつつあるか、そういう時ではないかといろいろな所の方々から伺って思う。これから先もそれをずっとつづけて行くために、さらによりよく、東海はもともとからそういうものはあるし、福井でもエネルギーセンターを作られて、ある種の原子力発電所以外の原子力に関するセンター的、あるいは知的な施設を作られることでより地元に着する、一種の環境を作っていられるような動きになっている。他のところはまだどうなっているかよく見えていない。そういう意味で言えば地元から今の信頼関係を続けていき、かついつも納得の得られるようにしてもらうために事業者はどう気をつけてもらえばよいか。また事業者のほうから原子力発電というものを考えたときに地元の中でどうやって行きたい、あるいはどうやっていけると思っているか。そのためには地元にこういうことをぜひ考えていただきたいということがあるか、そういうふうなことをお互いに話していただきたいと思う。そのあとで時間次第だが、両方にとって、地元から見て、また事業者から見て、規制のあり方についてかなり要求があると思うので、ざっくばらんに話していただきたい。

来馬) 福井の原子力と地域とのかかわりは、40年よりもう少し長く50年というその中で、平坦な道をまっすぐ歩いてきたかといわれれば、勿論いろいろあった。でこぼこもあるし紆余曲折もあると思う。この40年を全体としてみれば、地元と原子力事業者との関係は基本的には良好にきちんとやって、それぞれの信頼関係も作られて、今があると思う。

大きな流れで見ればいろいろあったけれども地域と原子力事業者は一緒にやってきたし、今後もそういう形で一緒にやっていこうというところは出来上がっていると思う。それを更に発展させ、今後50年、100年と、どういう期間で見るかわからないが、その関係をより良くしていく必要があると思うので、そのために長期的に考えながら取り組むため、我々は6年

前に「エネルギー研究開発拠点化計画」を策定し、スタートした。いろいろ言い方はあるが、地域と原子力の関係をさらに今まで以上にもう少し高いレベルに持って行きたい。あるいはもっと安定的な状況に持って行く。それはどこがどう安定か、というのは難しいが。今は安定していないという意味ではなくて、もっと深い、しっかりとした、原子力と地域との信頼関係を作り上げていきたいという考えである。そのために何が必要かという話の中で、一つの方向性は当然原子力だから安全ということは大前提だから、それをどうやったら今まで以上にしっかりとやっていけるか。その上で課題となる高経年化みたいなものをどう克服して行けるかというテーマと思い、「安全・安心の確保」を第一のテーマとした。高経年化だけではないが。二つ目は、福井の場合はとくにプラントということで、これは電力を生産する工場だから、生産された電気は地元で消費されるというより県外に送られてそこで消費される。生産した成果物は都会で消費されるという関係でいえば、そういう原子力プラントが福井にある。そのことで税財政的な波及効果はもちろんあるが、そこをもう少し変えて行こうとすると、原子力プラント、あるいは原子力事業の持つ技術的な価値あるいは人的な価値、そういう資源を地域にもっとうまく活用して行く方法が必要だ。そういうことになる研究開発機能を高めることが必要となる。福井の場合は原研東海とは違って、研究的な要素は原子力機構の一部はあるものの福井ではそこは弱かったこともあって、私どもの若狭エネルギー研究センターをつくったが、そこをもっと強化して行きたい。また研究開発機能を福井に集積するため、研究所や大学を作っていきたい、というのが二番目のテーマの「研究開発機能の強化」である。三番目は勿論、安全も含めて言えば当然「人材の育成・強化」だと思う。人材を育成して行く。それは産業人材であるか研究人材であるか、あるいは教育という意味の人材育成というのもあると思う。人材という資源を集める、育てるというのが三つ目のテーマだ。そういうことをきちんとやっていくことによって、地域の産業が育ち、地域の産業が新たに生まれてくることを期待してやっている。そういうことを大きく意識しながらいろいろなテーマや具体的な取り組みを議論してきた。福井大学に国際的な原子力工学の研究所を作る、

あるいは新しく国内外の運転員・補修員等の研修をするための総合的な施設を日本原電に建設していただくとか、あるいは今後やろうとしている国際人材育成のための受け皿、窓口を作っていこうとか、あるいは関西電力が新しく電子ビームの会社を興すとか、そういう計画の策定と実現にこの6年やってきた。

これは地域と原子力との関係を、単にプラントがそこにあって電気を起こすという関係からもう少しレベルを上げようという試み。原子力の平和利用すなわち放射線利用あるいは医学利用、農業利用、そういう多角的な利用によって福井の産業を興していき、国際的にも安全技術の向上や人災育成への貢献につながるような取り組みをして行くということを、さらに5年、10年とやっていけば、福井は単に電気を起こす県ということではなくて、原子力の産業、あるいは原子力の人材が生まれてくる県という風に大きく今後変わる可能性をもっていると思う。これからの福井と原子力の関係も今までの延長線上だと思うが、地域の意識をどんどん変えて、単に原子力に依存する関係から、原子力事業とうまくコミュニケーションをとりながら地域自身が大きく発展していく、そういうものをイメージして安定的・持続的にやっていくことが必要と思う。

もう一つ、高経年化してくる炉をどうするか、高経年化は仕方ないので次のプラントを準備することもこの地域にとっては重要。原子力が将来どうなっていくか、これは関西電力や日本原電が原子力と将来どうかかわっていくかという問題。関西エリアに供給している福井の原子力発電は全電力の50%以上を占めている。関西電力は今後20年くらいかけて、それを6割7割に高めたいという大きな目標を持っているので、後継炉を準備してバトンタッチして行くことによって、それは可能になるだろう。そのためにも地元と原子力事業者との関係が今まで以上によい関係にならないと、中々そういうことは約束できないので、確実に次の後継炉計画につなげていくということが、地域共生の目標となるから、そのことを意識しながら地域共生を事業者もやる、自治体も取り組むというのが大きな流れとなるべきと思う。

松浦) 後継炉について、ずっと以前だが、原子力委員会の廃炉対策専門部

会が日本は将来どうするかと。基本的な思想としては元原子炉があったところを完全解体させた後に後継機を造っていくことで、その地域はほとんどある意味恒久的に、大きさはともかく、ほとんど考えられる範囲においては原子力としてやっていくのが基本的には施策としてできる。そういう場合では地元の受け入れとしては、そういう考え方は、まあいいじゃないの、という雰囲気であるのか。今ある地域に解役して後継機を建てて行くその方向は全体的としてはアクセプタブルか。

来馬) 全体として原子力プラントの跡地にまた原子力プラントをとということだろうと思うが、今の福井県の状況であれば、立地の市町の抵抗はあまり無いと思う。ただいわゆるリプレース、いったん更地にしてその場所にもう一度新たなプラントを造るというのは現実的かということそうではないと思う。美浜発電所に後継炉計画があるが現在1、2号機は運転している。その1号機を今すぐ停止して壊し始めても更地になるのはいつになるかわからない。

松浦) 止めてすぐそこにというわけにはいかなくても、ずれたところに建てると思うが、同じようなところに建てる。

来馬) 東海1号機の廃止措置はいつ終わるのか。

藤江) 時間がかかる。

来馬) 敷地内としてみればそこに建設する。

松浦) サイトの有効利用というか。

藤江) サイト全体でローテーションする。壊して新しく建てて、また寿命がきたのは、また新しくする。

松浦) 実はその小型を実証しようとしたのが原研のJPDRで、完全に更地にして。地下の杭だけ残っている。岩盤まで通っている。あの上に小型あるいは中型の原子炉を造ることは不可能な状態ではない。やってみればいいと思っているが、そうはいかないが。

今のところで交代していただき、今のような話あるいは違う視点で話されてもよいが。

藤江) 来馬氏のおっしゃったことには全面的に賛成する。もしも本当に信頼を得ていない場合は新しいものを絶対に造れない。寿命まではよいがやめ

てくれになる。県民の方はいろいろ意見があるが、ある意味で理想的だ。

松浦) 最近福島の方と話したが、福島の方も同じ考えであった。福井と福島はある意味で典型的な、最初からやっているから。日本の状況の一つの現われとして理解してもよいのかとも思う。

藤江) 今、理想的な展開をされていると思う。信頼されていなかったらやめてくれになる。そのときに単なる発電所の基地、電源基地でなくとも地場産業化する。保修をする技術を持つ会社が、地域の中で育って行くというやり方も一つある。今充分できていないこれからの課題だと思う。それと電源基地としてだけでは非常に色は淡色だ。もう少し広い意味での産業に、地場産業にしよう。ということで今やられているのは、学校教育とか人材育成とか、今エネ研でやっている医療の利用だとか、そういうものに今着々と計画を立てて実行されている。これも全く前向きの姿勢として全面的に賛成、やっておられる方向性にも全く異論は無い。今から10数年前には福井の方が言われる一つのモデルとして茨城地区は発電所だけではなく、いろいろな産業が混在している。核燃料会社などもある。福井県は発電所しかない。収入の面でも償却していくと収入も減っていく。あまり希望的でない。ひとつのモデルとして茨城県のように目指せないかという気持ちがあった。知事を先頭とした会合があり私も一度出たことがあり、そのような問題提起がありあれと同じことをやろうとしてもなかなかそうはいかないところが現実にあるから、その中で一番実現性が高い方向を選ばれたのが今やられているコンセプトだと思う。そういう意味では非常に現実的な路線を着々とこなしていつている。私は非常にいいモデルが新しく出来たのではないかという感じがする。

松浦) 東海と北陸を比べると、私は東海に長く住んでいて感じることは、研究開発をする人材という観点で見ると実は東京と東海の関係と、福井と京都大阪の関係はあまり距離的に変わらない。ほとんど似たような条件が作れる。違うのは東海には日立という大工業地域がある。日立という大工業地帯がじつはあそこのいろいろな下請けをする会社などが東海地域にもそれなりにできる。日立にも東海の仕事をするのがあるし日立の仕事を東海のあたりのまわり全体でしているところがあるという、そのところが少し状

況が違うところがある。そこは内容をどうするかによって多少工夫していけると思う。特に解体などが本格化したときには解体に関する事業をやる人々が地元で相当の人員を要求するようになると思う。それに対しての人材育成が何年か前もってやってあれば、それはずいぶん違うのではないかという気がする。

来馬) なぜ我々が「エネルギー研究開発拠点化計画」推進というか。知事は変わるので、原子力との関係については知事によって表現の違いがある。中川知事は「アトムポリス構想」実現という言葉を使った。中身はほとんど一緒に発電所があるからその地域が農業であれ工業であれ何か産業が活性化し地域が豊かになって欲しい。そういう原子力発電所を軸とした地域、エリアの全体の振興、そういうものの実現をイメージして、国にお願いしたのが「アトムポリス構想」。ところがなかなか難しいという話で、我々も知事から言われていろいろ取り組んだがなかなか実現しなかった。それを中川知事の次の栗田知事が、アトムポリス構想実現を国に働きかけたが実現しないので、何かひとつに絞って実現したのが「福井県若狭エネルギー研究センター」だった。すなわち原子力の技術というのは、東海村ではたぶん違うのだろうけど、福井県では原子力イコール発電所になっているから、原子力イコール発電所じゃない原子力、原子力というのは放射線利用とか医学利用とか非常に広い科学技術。そこのところをもっと県民にわかってもら、そのことによってまた原子力に対する理解が深まるという目標を持ってエネ研をつくった。加速器を使って、一番県民が分かりやすいのは医療だということで、陽子線によるがん治療研究をやった。栗田知事の後の西川知事は、若い頃に茨城県庁にいたので、茨城県の原子力関連研究施設についてはわかっていることから、「もんじゅ」のいろいろな議論の中で、福井は発電所しかない、発電所があるのはわかるけれど、それだけでは茨城のような地域の活性につながらないと認識。今松浦さんがおっしゃるような首都圏との関係とか地の利というのが一般的にあって、その上でなおかつ研究機能、研究所、あるいはそこから産業とか、いろんなものが、実際は日立も絡んでいるのだろうけれど、というものを、知事は（茨城には）こんなものがあるのに福井はそれと比べるとほとんどない、そこ

からスタートしている。同じものはコピーしてできる訳ではないので、我々の地の利は何か、持っているもの・ポテンシャルというのは何かというと、それは実用プラントにこだわる。もちろん原型炉「もんじゅ」もある。「もんじゅ」という高速炉の技術開発のポテンシャルはある。圧倒的な優位は軽水炉を持っていること。軽水炉の発電所が多数運転している地域、そうするとそこから出てくる人材であったり技術であったり、「もんじゅ」があるので、そういう高速炉技術の研究開発や人材育成も含めていろいろやってきてようやく少しずつそれなりの進展がある。目標がたとえば東海村あるいは東海・大洗地域だとするとまだまだ差があると思って私はやっている。そこは全く同じものは勿論できあがらないと思うけれど、これから何を求めるかといわれれば、原子力事業を安定的にあるいは地元が信頼できるというか、根付くとかいろんな言葉もあるがそれをきちっとやるために必要なことはすべてやるということだと思うので、そのための研究開発機能の充実とか企業誘致とか、やることは嫌と言うほどある。全部できればいいし、ひょっとしたらできないかも知れない。一つ一つを5～6年やったことで次の展開が見えてくる。今回、国際人材育成などと言えるようになったのも、次の展開だ。そのためには広域連携原子力大学院大学ができるとか、日本原電の新しい国際レベルの研修施設ができるとか、そういう状況も作りあげてきたのでまた次のことができる。そういう意味で将来についての課題はまだまだいっぱいあるけれど少しずつ進んでいくと思う。

藤江) 着実に進んでいると思う。その元になるのが最初に言われた安全に対する信頼、50年の歴史を経てある水準にまで到達したということではないか。

松浦) 安全に対する信頼はもちろんそうなのだが、安全に対する信頼はおそらく事業者、事業所で働いている人に対する信頼、そういうのが、いちばん底にあると思う様な気がする。

藤江) それがなかったらだめだ。

松浦) 発電所が実際に動いていくということは、周りにその協力会社と一般に言われる小さな会社がたくさんあるわけだ。そういう会社が継続的に経営できていくような雰囲気作りを電力事業がかなり意識的にやっていくと

いう可能性はあまりないのか。

藤江) それは、その地元に近い方の地場でできるだけ比率を高めたい。事業所はそう思っている。今の実態はずっと運転中は補修などはしないで、定検の時にだけ集中する。1000人とか1500人とかが外から来て、終わらせてぱっと帰るスタイルになっている。アメリカとかヨーロッパではかなり一般化しているが、オンラインメンテナンスなどで計画的にずっと一年中安定した仕事の配分ができれば、それこそずっと常駐の人プラス技術を習得した地元の方が割と安定したスタイルで常にずっと1年通している。ピークが、定検の時少しだけ立つのは、どこでも2,3週間の話だ。(日本では)一年間のある限られたところだけがわっと一杯になって、あとは何もないというみたいな形は余りうまく育たない、というか、それはやっていけないというのがある。事業者は基本的に本当はそうしたいと思っているが、まだそこまで至っていない。

松浦) 本当に集中的にやるのがどうしても必要な時間というのは、とことんいけば必要時間は40日とか50日とか、そういう期間になりそうだと、あとは平準化できそうだと、それをやっていくうちの上での非常に重要なポイント、規制のやり方を変えてもらうということになるのか。

藤江) 今のやり方を変革しないと成り立たない。オンラインはいま認められていない。米国では当たり前に行っている事実があるから、法事例というか、事実があるので、できるだけ積極的に取り入れるべきではないか、というのが私らの意見だ。そうすると地元の方がだんだん安定的な形で、だんだん産業として、単に一過的に人を出すとかいうのでなく産業化する。そこまで育てば逆に他府県に、小さな発電所、基数しか持っていないところにでばっていける。そういうのが非常にしっかりとした形になるベースではないか。

松浦) たしかに福井県のように15基あり、福島でも柏崎でも8基も7基もある。しかも今後それは増える可能性もある。そういうところがそれだけあれば、かなりの人員がそこで生活できるというはずだ。

藤江) 定常化できる。年間を通じて仕事があるというようにいけると思う。

松浦) おそらく新潟もかなり似たような状況が作れるだろう。

藤江) 自然発生的に放っておいてそうなるというものではない。かなり意図

的にリードしなければだめなのではないか。そういう意味では福井県の場合は他府県と大きな違いは、来馬さんがいらっしゃるから言うわけではないが、もともと県の中に来馬さんのような技術評価ができる職員がおり、自分で判断ができるようにするというのを、ずっと最初からやられている。それがベースになっていると思う。規制の問題などでよく言われるのは、何か起こったときに本当に重大な問題なのか、枝葉の問題なのかということ判断できて、これは国に対しても我々はいつも言っていることだが、アメリカの話でもそれがごちゃまぜである間はいろいろなことをやったけれど、全部うまくいかなかった。重要なものに特化して国がリードしてやる。

松浦) そういう拠点を作ると同時にキーパーソンを育てることがかなり重要になりそうだ。

藤江) 例えば住民の人から見ると、安定した運営がなされている、トラブルもあまり無いという、計画通りに動かされて計画通りに止まって、また計画通りに運転するという比率が非常に高いことは安心だ。それが一番終局的な安心とか安全の気持ちを高める方法だ。予想外のことが起こっていくと何となく不安に見える。どんな数式で難しいことを言うよりも、計画通りに運営しているということで、何も言われなくなる。

来馬) 結果的には確率論ではないが、10回に1回起こるか、100回に1回起こるかではないけれど、それが何となくしょっちゅう起きているな、というのがどうも信頼度を落とす。これは大したこと無いというトラブルも10回起き続けると大したことがある事故のようになってしまう。それは心理的にそうだ。先ほども「もんじゅ」の話をしたが、「もんじゅ」のときもあれこれあった。我々原子力の担当職員がなぜ福井県庁にいるのか。一つは、そもそも安全協定を運用するという役割。ある意味では、県民への原子力通訳士ということだろう。すなわち私が昭和47年（1972年）に県庁に入ったときに、なぜ入ったかということは本にも書いたが、福井県は昭和46年に情報連絡のやり取りができるよう覚書（安全協定）を作った。情報をやり取りしたとしても、事業者側はものすごく専門知識を持っていて、県庁側が、もしゼロだったとすると、結局情報を鵜呑みしているだけであって、ほんとうにやり取りしている、情報がやり取りされている状況ではない。

単に流れてきて単に受けているだけ。そういう意味で覚書は十分運用できないという議論があったらしくて、それで県庁にも原子力を理解できる職員を入れること、そこがスタートだと思う。端的に言えば、事業者側、情報を発信する側があり、それを受ける県民がいるとすれば、直接やり取りすればよい。単純に言えば、事業者が住民のところに行って説明すればよいが、情報が専門的情報であるから必ずしもなかなかそうは行かない。安全協定ができていいる所以がそこでもある。難しいものを県民のレベルでわかりやすく、通訳ではないが、その役割を我々が果たすのだろうと思ってやってきた。情報の公開は無原則に何でもかんでも出せばよいのではなくて、そこに、これはこういう意味を持った情報だ、或いは、これはこういう性質の情報だ、という付加価値ではないが、我々が通訳者として常時それに関わっている、あるいは県民から見れば、任せている、そういう専門のセクションにいる職員に任されている、付託されている我々がある程度、あれは大きなことなのか、これはそこそこのことか、これは取るに足らないことなのか、という一定の判断、それとその判断に対する信頼性を我々と県民との関係で持っている。我々が間違った判断をすれば、県民は我々は信用できないとなるから、その役割が、我々原安課(原子力安全対策課)に課されている。そういう点で信頼される立場になる、すなわちAからもBからも信頼される。事業者側からも信頼がないと我々に情報が来ないという話になる。

藤江) 一つだけものすごく特徴的な、象徴的なことは、チェルノブイリで騒いだ話の最初に、炉型が違って、日本では我々が扱っているのはそういうことは考えなくていいという情報を発信されたのは福井県だった。あれは象徴的な機能だ。原子力安全委員会も何も言わないうちに言われたから。それだけ技術的知見があったということ。やたらに皆さんが「心配しないでよい」というメッセージをいち早く出された唯一の県だ。それだけの技術力があったということだ。

松浦) どうしても原子力というものはなじみの無いものだけに、住んでいる人たちに納得してもらえような通訳を頻繁にやることが重要なこと。そういう人を何とか用意しておかないといけない。若狭エネルギーセンター

に何人かそういう人が用意されれば福井県は強くなる。よその県でもそういう人をどういう位置づけでどういう形かにしろ用意されればずいぶん違うだろう。考え直してみると、東海村は、その通訳者はどこにいたかという議会にいた。議会に原研の職員が議員になっていた。これは考えてみたら、そういう中で通訳をやっていたのは、今にして思えば効果的なあり方だという気がする。

来馬) 福井はそこが逆に無い。例えば敦賀市議会があるが、一人はいる、原電の労組出身が。本来ならばあれだけの事業をやっていて、市町村レベルでもそうだが、本来はそこ関係者が出ていても……。東海村はそうだった。福井の場合そういう政治状況ではないかどうか分からないが、なかなかない。本当はそれが議会の中でちゃんと説明するというのも決しておかしくは無い話だと思う。いずれにしても我々原子力安全対策課の考え方は、すなわち福井県の考え方は、我々が現場にいるかいらないか、あるいは現場のことをいかに把握できるかどうか重要であるということ。「もんじゅ」のナトリウム漏れの問題のときもそうであったし、いろいろな場合にも現場に近いところにいる。もちろん、いまは国の保安院があるので、別に我々が行かなくても保安院が任せておけばいいのではないかという考えもある。そこは県民の代弁者というか代行者みたいな立場で行くので、我々は県民に代わって見るものは見る、あるいは聞くものは聞くというのをずっとやってきたので、これはちゃんとやればさっきのような通訳者としての人が育つのではないかと我々は期待している。人材も先ほどの第1世代、第2世代ではないけれど、第1世代がいなくなる。いま第2世代を育てている。大学を出たばかりの学生を毎年原子力職で採用している。そうすると4、5人はまだ20代で、経験は3年程度とかという、空白はできないと思うが、そこは我慢どころで人を育てて何とかつないでいる感じ。もう原子力が終わりならば人は要らないが、それは地域との関係で、例えば敦賀3、4号機もそうだが、これを造るというのは今後100年のプロジェクト、これは地域にとって100年を考える体制を作らないといけないと思うので、人材をいかに地域でしっかりと作れるか。産業はもちろんだが、そういう様々なタイプの違った人材を、広報とかPAとか、あるいは我々

県職員の人材も含めて、しっかりと長きにわたって育てる必要がある。そういった意味では我々が福井大学に原子力専攻の大学院や工学研究所をつくったというのは、将来的にはそこの出身者や地元の出身者が福井県の原子力、さらに世界の原子力に深くかわり、それがあっちに行ったりこっちに行ったりして、事業者側にいたり、国の規制側にいたり、また県庁側にいたり、それはいて当然だと思うので、言い方は悪いが、地域にとって原子力が対立的な関係ではなくて、地域が原子力をリードするような関係でもおかしくは無いという風になってくるのではないかな。

藤江) 根付くというか、共生するというのか、本当の意味での共生。お金のことでの共生ではなくて、本当の意味で共生するというのは、そういうことではないかな。

来馬) 「エネルギー研究開発拠点化計画」とは何かというのがわかりにくいということで、「地域と原子力の自立的連携をめざす」というサブフレーズをつくった。単純に原子力との連携はいままでもしてきているのだけけど、自立的という意味は、もたれる、あるいは、任せる、あるいは、頼る、という連携をずっと40年やってきた地域からの脱却だ。地域から見たらおねだりみたいなものだった。そうではなくて地域が自分できちっと人材を育てたり、あるいはそこで経営をしていく、原子力を活用、利用するが、ただお金を出してくれという話ではなくて、そういう資源をうまく使える地域、あるいはその資源を使って地域が独立、自立して行く、そういう環境を作るといのがまさに拠点化が描く大きなイメージだろうということ。共生といえば共生だけれど、共生はすでに使い古されている。無理やり作った言葉かもしれないが、「自立的連携」というのはそういう意味で使った。

藤江) もう一つ、人の育成で、エネルギー研究センターで始めていること、地元の人のためでも無く、もう少し大きくなって行くと日本国中から人が集まる。そういう拠点になる。価値が大きくなっていく。

来馬) 敦賀「原子力」夏の大学というものを毎年一回やっている。なぜやったかというと、全国から原子力を専攻する大学院の学生に敦賀に集まってほしかった。福井大学の大学院に原子力安全工学専攻を作ったが、力も存在感もなかった。その学生に刺激を与えるために京都大学、東京工業大

学、名古屋大学などで原子力を学んでいる大学院生を集めて5日間の合宿を夏の大学と称して敦賀で開催している。毎年40人ほどが集まる。この事業を文科省の原子力人材育成イニシアティブ予算ができたので、全国大学連合の事業「原子力道場」の一部として組み入れて昨年から進めている。

藤江) こういう（会合の）果たすべき役割が、自然にだんだん重くなっていくと思う。一番理想的な姿だ。

松浦) それが本格的に進むことによって、最初の繊維（産業）のかわりが徐々に実現して行きつつあることになる。

来馬) とりあえず放射線医療分野は成功した。この3月福井市内にある県立病院に福井県陽子線がん治療センターが完成し、開所式が今週の日曜日にある（平成23年3月6日）。

松浦) 京都大学や大阪大学が医学面のサポートをしているのか。

来馬) 若狭エネルギー研究センターでは60人ほど臨床治療研究をやった。その山本先生がそのまま新しいセンター長に就任した。もともと山本先生は京都大学を卒業後福井医科大にきて、私どもの研究センターで陽子線によるがん治療研究をスタートする際に、福井医科大から来てもらった先生。今度のセンターは、患者さんを年間200人から400人治療する病院となる。

藤江) 研究から実業になった。

来馬) これからも医療研究はやっていくが、研究の主流としては、生物系、ベトナムから研究所の職員を研修で受け入れて、ここのビームを使って品種改良に取り組んでいる。また、ビームを利用して、今話題のグルコサミンをカニの殻から製造するための菌株を作った。カニ殻を溶かして、そこからグルコサミンを抽出する。今までの製法は酸やアルカリなどの薬品を使うが、それを全く使わずに酵母菌で分解するという環境に優しい新製法。

松浦) それは非常に良い。というのは、松永安左衛門氏が電力中央研究所を作ったときにその思想として電農、電気で農業を起こすことを考えて作った。電力中央研究所に行くと松永氏の（それが書かれた）書がある。その極めて近代的な実現形態だ。

来馬) グルコサミンは皆さんご存じの一般的なもので、その製法が合理化できたので安く売り出せる。

藤江) それはものすごくストレートな話だ。

来馬) 福井は越前カニがブランドでもある。もちろん捨てるカニ殻から抽出するが。

松浦) そういう発想でいろいろな地域にできると、その間の交流をすることで全体のレベルアップができる。

来馬) もう一つは、植物工場では葉物野菜を作っているが、ビームで2割ほど成長の早いレタスができた。

藤江) それは品種改良か。

来馬) ビームを当てた品種改良にも取り組んでいる。細胞を培養して優良株を選抜していく。ようやく2、3年かけて2割程度早く育つレタスを作った。2割早いというのは、3ヶ月で収穫するレタスを1年間に3回出せるものを4回出せて、非常に経営的にもいいので、今品種登録のための準備をしている。

松浦) そういうめどが立つと、考え方自身を下北に移植していただきたい。あそこは農業がものすごく厳しいところだ。土地は沢山ある。あそこの電気を東京に送るならロスだけで相当損をする。損する分くらい安く提供してもらえればよい。

藤江) 何か特許があるか。

来馬) 菌株(酵母菌)が特許のようだ。福井県立大の木本先生、発見者が持っているので誰でもが使えるわけでない。木本先生が我々と共同でビームを使って品種改良した。今後、キチンキトサンを使って別のことをやろうとしている。

藤江) こういうのが一般の人に一番わかりやすい高度利用の例だ。

来馬) ビーム利用は材料系でもやっているが、新しい材料創出はなかなか難しい。5年10年とやっているとそのうち忘れられてしまうので、とにかく早く成果を出そうと必死。10年やってなにも芽が出ないと事業仕分けされてしまうので、共同研究の会社としても早く成果がほしい。

たとえば、グルコサミンの場合も、研究者の目標はもっと高機能の酵母菌を探そうと思っていたが、目標から見たらまだまだ下なのだが、企業も待ってられない。分解能力が2割でもよいとまず実用化に走った。より

高いレベルの研究はさらにやっている。

松浦) 福井は敦賀もそうだが、酵母のような産業が昔からある。「へしこ」などがまさにそうで、地場のもともとあるものとなつなると理想的だ。

来馬) 魚の酵母菌も探しているが、なかなか何万分の一の確率で探している。スタッフが地道な努力をして進めている。ビームを撃つのは簡単だが、選別は簡単にいかない。

松浦) 生物系の仕事はそういうのが多い。

来馬) もともとはエルローズという県内で女性の下着などの衣料メーカーと県立大学との共同開発。福井は繊維関連企業が多いが限界もある。新しい事業にチャレンジすることが健康食品で、まずは県内特産品の一つのらっきょうがある。らっきょうのなかの成分にフルクタンがある。フルクタンが何に役立つかわからないが、抽出して健康食品にしたが、売れているかどうかは知らない。第2弾がこのグルコサミン。次は化粧品で、グルコサミンはヒアルロン酸と同じくお肌がつるつるになるというものだが、これは関節部の軟骨生成だ。次の展開は化粧品を準備している。一つ成功すると次もやろうかという、会社としては意欲が出てくることになる。研究開発は研究者だけがいくらがんばってもなかなかこうはいかないが、企業が何とかしようとすると実現する。研究者ががんばっていくらビームを当てても実際には商品化ができない。研究者は当てたらおしまい、稲に当てたら面白いものができた、で終わってしまう。これは栽培しないと先には行かない。それはビームを当てる我々ではないということになる。農業でまた別の世界になってしまう。そういう意味で実用化は難しい。例えば漢方で冬虫夏草がある。コルジセピンという抗酸化物質で抗がん剤の医薬品になるが、これにビームを当てている。そうすると生成能力が上がる。

藤江) そうするのはものすごく大当たりする可能性がある。

松浦) 冬虫夏草はものすごく高いものだ。

来馬) 今製薬会社と共同でやっている。1 g 何万円のオーダーでもものすごく高い。人工的にそれをつくるということを目指してやっている。

松浦) 天然の冬虫夏草の生えているのを見たことがあるが、探すのがものすごく大変だ。

来馬) まだ成功とまでは行っていないが、これからを期待している。

松浦) 非常に面白い。

藤江) クラゲから抽出するとかは。

来馬) それも今やっている。

松浦) エチゼンクラゲも。

来馬) いろいろやっている。これも電子線を当ててやっている。

藤江) やってみる価値があると思う。

来馬) エチゼンクラゲにあるものを取り出すだけでは、膨大な労力がかかる、結局労力はものすごくかかるけれど、得られる価値はたいしたことは無いということになる。労力とのバランスから。いくらでも取り出せるけれど、どれだけの労力を得て価値あるものを取り出せるか。

藤江) 結局最後はどれだけ商品化できるかということだ。

来馬) 海水からウランをとる話と一緒に、ものすごい労力をかければウランを捕集できるに決まっているが、そこまではどうかという話。しかし、海水からウランをとる話もやろうとしているが、何をやろうかというのと、昔やったような海水を集めるということは一切しない。

松浦) 集めるではだめで、ひとりでに集まるというところを使う。

来馬) 今やろうとしているのは温排水で、あれは海水をぐるぐる回しているわけで、集めなくても。その出口にカーテンではないがウランを吸着する素材を作ってそこを通じて外へ出せばウランを自然に捕集できる。今それで実験をやろうとしている。

松浦) モールみみたいなもので、温度は高いほうが良いに決まっている。

来馬) 福井は繊維なので、そういう吸着する繊維をグラフト重合で作る。

松浦) アミノキシル基をナイロンにつけるのは放射線で作るから。

来馬) いま電子ビームの工場と研究所を美浜町に作っており、今年中に稼働する。そこでグラフト重合をやり、地元には繊維会社がいっぱいあるので、最初に言ったようやくそこへたどり着いた。先祖がえりしているところがある。

松浦) そういう放射線利用がうまくできるようになれば可能性が広がる。例えばカーボンファイバーなども放射線を使ったほうが非常に性能のよいも

のできるはずだ。

来馬) 今おっしゃったのは炭素繊維の話だが、それもカーボンファイバーも今何かやろうとしている、先行しているところがあったりとか、それも結局どうやって追い越せるルートがあるか一緒に道を歩いても後ろから行くのも、道を先回りするなどないかという、いろんな道を探っている。

松浦) そこはビームテクノロジーをいかに使うかという、たしかに共通的なテクニックとしてあるはず。

来馬) 22年度中に美浜に電子ビームの会社を関電が作ったが国内でトップで、もちろん滅菌、殺菌はするが、我々は滅菌、殺菌だけではだめで、研究機能、新しい材料開発をすすめるそういうフィールド、研究用の照射スペースをちゃんと持ってもらって、それが研究スタッフではないけれど、単なる照射ビジネスではなくて、ということで大学と一緒に、地元企業とやれることを一生懸命探している。

藤江) それもエネ研の仕事としてオーガナイズされているのか。

来馬) 拠点化の研究開発、産業育成という形でオーガナイズしている。電子ビームの会社を作るところから始まっている。当然、関電を巻き込んで、関電が作るという形で、原子燃料工業が半分出している。原子燃料工業はじつは泉佐野にビーム照射の会社を持っている。医療機器とかの滅菌のビジネスはビジネスとしてやりつつ、なおかつR & Dもやっている。あとは発電所等で使うパッキン、これも原子力用のノンアスベストパッキンの成型工場を美浜に作りつつあるが、これもビームを当てて少し改良してより耐久性の高いものにする研究をやっている。とにかく美浜町発の原子力関連部品を作って、県外はもとより世界にも輸出して行くことを今狙っている。一部県内で、先ず試験的にやっている。原子力発電所は経験の無いものをまず使わないということなので、いくら地元でも使わないというので、先ず火力発電所から使っている。火力発電所でこれならよいということなので、関西電力の火力発電所とか、北陸電力やJパワーの火力発電所で使えないか検討してもらっている。

藤江) パッキンの評価されたのは。

来馬) ノンアスベストのパッキングはできているが、本当は原子力用を納入

したい。すぐには使えないというところを少し回り道して、今、原子力発電所で試験的に使っており、今年は使用後の結果が出る予定。何をしてもうまず技術開発がないと、先ず優位性がその先に行くものに取り残されてしまうので、人材もそうなのだが、先ほどの定期検査の場合も、今までは地元企業が業務に入っているが、悪く言うと人足で出しているだけ、技術ではなくて。その辺は我々も改善しなければいけないと思って、教育訓練・研修、あるいは技量認定、そういう部分までやって、きちんとしたレベルの人材を出すというところ、協力会社の人材育成を一方でやっている。そういうものがうまく絡んでくると長期的にはいろんな意味で安定した人材が地域の振興につながると思う。

藤江) だんだん自治体に芽が出てきて見えてくる感じだ。今の話を伺うと。

来馬) 拠点化の5年というのは下積みというか準備の段階で、我々はこれからの5年でそれらのものがきちっと形になる。本来は10年で終わるのではなくて、10年が初期の第1ステージだが、拠点化は持続的にやるのが前提だと思っている。10年以降、第2ステージで何をするかを準備している。

藤江) これは続けてそんなにせっかくいいモデルができたのを10年かけることは絶対に無いと思う。もっとどんどん発展させる。

来馬) 10年以降にさらに何を目標とするか、もちろん今やっていることは具体化させて行くが、プラスアルファのところをどういうイメージを持って、それは先ほどの国際人材育成も今から5年後には十分な結果を出してくるだろう。ベトナムがどうなるか、相手のあることなのでわからないが、たぶんPWRをどこかの国で作ることになれば、福井県がPWRの世界の拠点になることは可能で、そこを目指している。

藤江) それは非常に希望的だと思う。前向きの話だ。

松浦) どうもありがとうございました。おかげで長期的に地元の中で原子力をどう資源化していくかというそういう方向の話で、将来に明るさが見えてくるいい話だった。

第2章 将来を見据えた原子力と燃料サイクルの展開

対談日：平成23年3月4日

対談者：小谷隆亮（茨城県大洗町町長）

藤家洋一（前原子力委員長、Nuclear Salon Fujiie 代表理事）

石井 保（原子力システム研究懇話会）

石井）前原子力委員長の藤家洋一先生は、最近、自由な立場になられ、NPOニュークリア・サロンを率いて活動を開始されました。今日は長年の朋友で、研究炉や燃料サイクルに造詣の深い大洗町の小谷隆亮町長さんと、原子力開発の歴史を踏まえて将来を展望し、国際的な視野も含めてお話頂く対談を企画致しました。

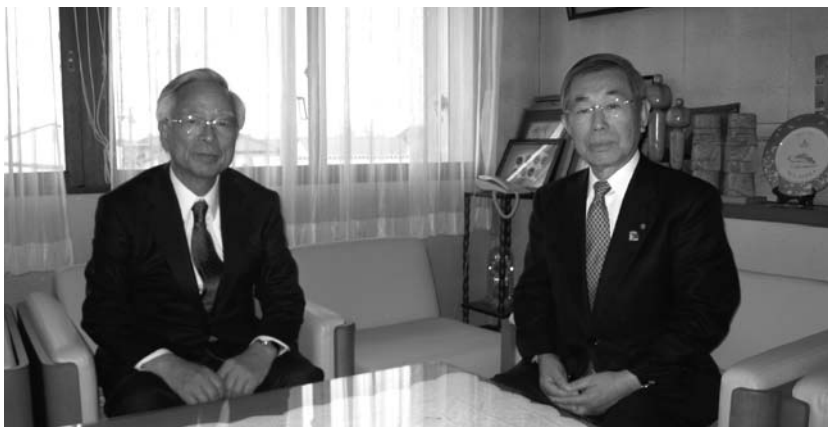


写真 左 藤家氏、右 小谷氏

原子力フレンドリーな大洗の雰囲気



藤家氏

藤家）今NPO活動を通じ、民間人としてフリーな立場で発言しています。今いろいろ整理中ですが、これから何を世界に訴えていくのか、原子力とは一体何なのか、ということ、国内的にも国際的にも皆にわかり易く伝えていくことが大事だと思います。

特に国内で原子力をどう見るのかということでは、世の中では政治的あるいは社会的に見る傾

向が強いようですが、原子力が今までの化学エネルギーに代わるものだという認識があまりない。これから数十万年これを使うんだという認識があれば、また言うことが変わって来るんだと思いますね。

そういう意味では今原子力リネサンスという時が来て、私もこのところ一般の人に講演しています。現在、燃料サイクルや放射性廃棄物をどうするんだ、ということが取りざたされています。この話になると今までの原子力はどこまでやって、どこまで成功して、これからどうしていくか、ということが問題になります。

大洗町がこれまでやってこられた原子力への取り組み、これがまさにこれからの原子力を見る上で非常に大事だと思います。これからどうするかという時にこの出発点について小谷町長とお話しさせて頂くことになり、大変嬉しく思っています。



小谷氏

小谷) 大洗に眼を向けて頂きありがとうございます。

わたし達の町は昭和38年に民有地40万坪を買収して、原子力の研究施設を誘致しました。その誘致の出発点になったのは、大洗港の建設の際にラジオアイソトープを使って漂砂の調査を行ったことです。それは初代大洗町長の加藤清さんの時ですが、これからわが国の経済成長を考えたとき、この大洗町に何を誘致したら良いか、当時いろいろ町の振興策を検討した結果、国策である原子力研究施設をわが町に誘致したら良いのではないかという結論になって運動を展開しました。

あの当時のことですから原子力施設を誘致するというのは、非常に勇気ある決断だったと思います。そんな中で群馬県の高崎とRIセンター誘致の競争になりました。RIセンターは高崎に決まったので、では大洗には国産の原子力発電を発展させていくための材料試験炉（JMTR）をつくろう、ということになりました。

そして昭和40年から43年にかけて展開し、これが大洗における第一号の原子炉になりました。これに続いて、当時の動力炉・核燃料開発事業団

が高速増殖炉を作りたいという話が出てきましたので地域内で議論しました。漁業関係者との間で排水問題なども話し合いましたが、あまり大きな補償問題もなく円滑に進みました。こういうことが、わが国が原子力を推進していく上で、非常に誇れる取組みだったのではないかとと思っています。

藤家) 私も長く原子力にいましたが、大洗町に関しては一度も嫌な思いをしたことがない。今お話があったJMTRは日本の原子力研究の広がりをつくるために非常に重要なんですね。いきなり発電所をつくるという話ではなくて。そのあと話があった高速炉常陽もそうですし、高温ガス炉もそうです。これはまさに今から重要になっていく話なんですね。

新しい日本の原子力をどう発展させていくか。この話は10億を超えた人口を持つインドや中国を初め、アジア諸国の人口問題がこれから相当大変になるので、私はこれらの国々のエネルギー問題とも関連してくると思っています。

ところで研究炉の開発といっても、楽しい事ばかりではなく、常陽などではご苦労されたこともあったかと思いますが。

小谷) 常陽といえば、推進してきた中で一番苦い思い出となったのは、平成13年の常陽の附属施設の火災でした。全国テロップで「常陽火災、延焼中」と流され、大騒ぎになったんですよ。その時は知事からも電話を頂いて、「大洗だけではその火災は止められないだろう」と言われて大騒ぎをした経緯もありました。あの時は一番苦労しましたが、そのほかには大洗誘致以来、さほど問題になったことはありませんでした。

私が町長に就任したのが平成8年ですが、翌9年には原子力のあるわが町で、特に子供たちに科学に関心を持つ心を育てていこうということで、原子力関係のシンクタンクを利用してサマースクールを立ち上げました。そして、子供たちの科学の心を育むような科学館を創ろうということで、なんども国に要望し、13年に科学館がオープンしたのです。科学館をつくれれば、やっぱり原子力というものを推進していくために、子供たちに原子力の知識を、あるいは原子力で事故が起きたときにどう対応するかという意識を、しっかり持ってもらおうということで、原推研（原子力推進研究会）というものを学校に立ち上げ、先生方もここに赴任してくれば、それを学

んでいただくというようなことを一緒にやって貰いました。そういう中で藤家先生にもご講演して頂きました。

藤家）そうでしたね。大洗中学3年生に原子力のお話をさせて頂いたことがありましたが、あれは楽しかった。あのときに非常に素直な質問が出ていたし、そして司会を取り仕切っていた女生徒が素晴らしかった。このことで大洗について私には非常に良い印象が残っています。ああいう子供たちが育っているというのは、町にそんな雰囲気があるからだと思います。

国際的な展開を図る

藤家）そしてこういう話を国内だけではもったいないので、海外との連携につなげるべきだと思いました。特に韓国はアジアの原子力先進国として日本にとって大切な国であり、そのことをおよそ30年くらい言い続け、今でも韓国の大学や研究所の人たちとの交流を大事にしています。この4月20日頃、原子力の教育問題も含め韓国と話し合うことにしています。今度は韓国での会議ですが、この次は日本だと考えています。今や日本の子供たちにも自分の国のことだけでなく、世界の国の広がりとか、自分の国の自信とか、自慢できるものなどもわかってもらうことが大切だと思っています。

小谷）そうですね。先日大洗高校の卒業式でも、アジア地域に日本がどう貢献するかという話をしました。10年後の日本の環境といえば、より国際化が進んで、皆これから社会人になってから5年、10年くらいのうちには、朝、飛行機に乗ってベトナムへ行き、仕事をしてまた帰ってくるというような関係になるんじゃないか、という話をしました。

藤家）いやベトナムは元気の良い国です。

小谷）先日、原子力に関心があるベトナムの政府関係者が、わが町に来て是非とも原子力を勉強したいと言ってきました。それから中国の威海（ウエハイ）を訪問したところ、そこの市が私どもの町と姉妹提携しようという機運が生まれています。今年も見本市にわが町からも行くことになっています。威海の中にある上場企業の社長も熱心で、来日した際、とにかく中国では、これから40基くらいの原子力発電炉をつくるので、技術がどう

しても欲しい。特に大洗には研究施設があるので、そういう技術を身につけるために協力して欲しいと言ってきました。そしてその社長を日立製作所の工場や日本製鋼を紹介し会社見学したところ、非常に強い関心を持っていました。しかし、経済友好都市の締結の話が進んできたときに尖閣諸島沖の中国漁船衝突事件が起き、それで今はブレーキがかかってしまっています。

藤家) 政治的な話にどうコミットするか、我々には難しいですね。私はまだ中国の元の原子力委員長と接触を保っています。

小谷) 中国はやはり自国のものでやりたいと思っているのでしょうね。

藤家) そういう思いは非常に強いです。

小谷) この社長も日本製鋼のように圧力容器を製造したいと言うことですが、今の技術力では無理だけれども、やっぱりそれを何とかしたいという思いを語っていましたね。

藤家) インドにも何度か行っていますが、おわかりのようにNPT（核物質防護条約）に加盟していないからという理由で、難しいところがあります。ところがわが国が、インドがNPTに加盟するのを前提で議論しているうちに、もうその間に米が入り、仏が入りで、日本の入る余地が無くなってしまいそうです。話を続け日本はこういう立場だということを説明しながらだんだんと進めていかないとうまくいかないのですが、それでも恐らくインドとはだんだんと話が進んでいるので、インドとの交流も盛んになってくるでしょう。あそこは今電気出力50万kWの高速炉を作っています。そして従来インドがやってきたトリウム炉に代えてウランを使い、プルトニウムを使うことにしているようです。

それからカザフスタンですが、ここへも私は十数年にわたり、十何回か行きました。カザフスタンに最初に行ったときに、相手に対し、「日本に招待しますが、まずNPTに加盟してからいっしょに、そうすれば日本のサービスが随分変わりますよ、」と言ったら、本当にNPTに加盟してきました。言う方も言う方だけどよくやってくれた。それから関係が続いてきたんですね。今は民間ベースでウラン資源確保でも話が進んでいるようですがそういう意味では日本というのは安心して付き合える国だと向こうの

皆さんも思っているらしい。そしてこれからは各国とは国や企業ベースだけではなく町単位で関係を持っていくのが大事だと思いますよ。

小谷) 今度JMTRの竣工に絡んで東京で講演会がありますが、その際ベトナムや韓国が出席し、町の方に表敬訪問に来たいと言っているので、歓迎したいと思っています。JMTRも一度は廃炉になりかけたのですが、こちらもお願ひして産官学が一生懸命取組んだ結果、立ち上がって竣工に至った訳です。これがアジア地域の原子力の発展に大きく貢献する原子炉になると思っています。

藤家) このような地味な施設の価値が重要です。研究開発に使うということが非常に大事だし、日本の持っている原子力の根の深さを見せることができます。

小谷) JMTRを照射施設として国際的にも中核の拠点炉として使っていく。そして人材育成の機能も果たす。サイエンスパーク創生という取り組みをしていく。そして国内的にはモリブデン-99の製造とか、半導体用シリコンの照射などの構想もあります。

好かれる放射線利用

藤家) 今町長がおっしゃっておられることは非常に大事です。この20年来見ていると、そういうサイエンスの部分がどんどん衰えて、工学というか大きなもの作りばかりに焦点が移った時期がありました。それでは困るというのでやっと今その反省が出ています。むしろそういうサイエンスを通して何をどうやっていくか、ということは、原子力機構の方が地元ときちんと対応してくれることを期待しています。

そういう意味ではサイエンスを重視すべきでしょう。子供にとっては将来に夢を描くことは楽しいでしょう。大洗は幸いなことにその良さがあると思います。

小谷) JMTRの再稼働とモリブデン-99の国産化計画の取組みなども日本として画期的なものになります。がん検査薬などの原料になる放射性物質モリブデン-99は、乳がんや前立腺がんの転移、アルツハイマー病の検査などに使われます。注射で体内に入れた薬から出る放射線をカメラで写し、

体内の様子を調べる薬ですが、日本は世界2番目の消費国で、100%輸入に頼っているということです。そして、海外の主な生産施設が故障したり、空輸が止まったりして、不足する問題が起きていた。こうしたことから、国内での生産が出来ないかということで、JMTRでの生産の検討に入っている。

藤家) それは加速器のようなものでもできるわけだし、レーザーを使っているいろいろ見えるようになってきました。やっぱり原子力というか原子核を使った話は、見えない世界をどう見せるか、という方向であり、それが放射線利用です。もともと原子力はレントゲンがX線を発見したときから始まっているわけですから、そこを大事にしないとね。

これを子供さんに伝えるのが難しいのは、日本では放射線と原子力がありにもかけ離れているところが問題で、同じものだよ、というのがかなり難しい。

この話が原子力の発電から始まると、途端に安全で一番嫌がられるのが放射線です。ところが話が放射線利用から始まると放射線はそんなに悪口は言われません。同じものが何故こんなに違って受け止められているのでしょうか。

小谷) そこで私どもは、健康福祉センターにラドン温浴施設をつくる計画を立てています。これは元原子力委員の竹内先生が鎌倉のご自宅で作っておられるものと同じです。そこへ行って私も入れて頂いて、これはなるほど良いなということで、うちの町民にも是非こんなところに入れるようにしてあげたいな、ということで人形峠ドールストーン（ラドン発生源となる岩石や土砂を原料として製造した素焼きタイル）を利用した温浴室をつくることを計画しました。

そして町民の方々に科学館に集まっていただき、竹内先生から直接、ラドンによるホルミシス効果や温浴施設の効用の講演をして頂きました。杖をついていた竹内先生ご自身が温浴施設の効用ですっかり快復されたお話、リュウマチで足が痛む方がここに入ってその痛みが取れた話、そして心臓を患っておられる先生の奥様もここに入っていたら心臓の方も良くなったという話などです。これを聞いた町民の反応は、こういう良いものは早く

作ってほしいという声が多数聞かれました。

人形峠といえば、たまたま岡山と鳥取がウラン残土の受入問題で解決できず、その処置に困っていました。それで、そのとき私の方へ国の方が来られて、大洗で何とか残土を引き受けてくれないかという話がありました。しかし要らないものを残土という形で持ってくるのは、向こうでの騒ぎをこちらに持ち込むことになる。そこで国の方に、残土と言うのではなく、宝物にしたらどうか、と申し上げました。すると「宝物と言うのは何でしょうか」ということでしたので、岩盤浴というのが流行してるので、その残土をタイルに固めて岩盤浴に使えるようにしたらどうか、と提案しました。先方からは大洗にその製造工場をつくってくれないかという要請もありましたが、急な話だったので調整期間が取れませんでした。

その後、ウラン残土の一部は米国内での製錬作業と、人形峠レンガ加工所でのレンガ製造にいたったのです。今では、歩道や花壇などに使われています。大洗でも花壇を引き受けています。

藤家）放射線を味方にしてしまうところが大洗の先進性でしょう。

小谷）先日、三朝町へ行って、吉田町長といろいろ話しましたが、うちのラドン温浴施設は三朝温泉の成分と同じだから、三朝温泉が大洗に来たということを宣伝しますよ、という話をしました。それから岡山大学に行きまして、山岡先生などが取組んでおられるお話を伺って、温泉浴の導入が町民の健康づくりに寄与できるなあと思いました。

次世代高速炉へも積極的に対応

石井）ところで高速炉については、研究開発ということで常陽に続き、将来の高速炉を担うFACT（高速炉サイクルシステム技術開発プロジェクト）を大洗の原子力機構で進めています、どのように評価されていますか。まず先生から一言お願いします。

藤家）このようなプロジェクトを日本がリーダーシップを発揮していかなければならないという認識がまだ日本国内では少し不足しています。高速炉で言えば、むしろ大洗の常陽を中心に、これと燃料サイクルをセットで取組むのが良いですね。これは今、世界でどの国も狙っているわけです。今

はご承知のように産油国ですら原子炉をつくろうと言っている時代です。そして今は軽水炉を中心に考えていますが、それでは燃料が100年も持たずになくなってしまいます。

その解決法として、高速炉でプルトニウムをつくる、燃料サイクルをきちんと行う、ということになりますが、これを世界でどこが一番先に実用化していくかが問われています。

フェニックスというフランスの高速炉が昨年運転を終了する際、私はその終了式典に出席して挨拶してきましたが、その際今後高速炉はもんじゅを持つ日本が中心でやります、と言ってきました。

ところが高速炉を推進するには、炉だけではなく、燃料サイクルをセットにした展望が開けなければだめだと思います。ではこの辺をわかっていただけの自治体の長がおられるのかどうか、そこを町長さんにお伺いしたいと思います。

小谷) 私どもは一早く高速増殖炉を立地させました。そして、それがもんじゅにつながっているわけですが、昭和40年代前半に高速増殖炉常陽を立地させたわが町としましては、もんじゅが立ち上がってそれなりの成果を挙げてくれば、次の段階で今先生がおっしゃられるような取り組みを、わが町でできないかと考えています。議会側も関心を持ってそういう話をしています。

ただ今お話のあった原子炉と燃料サイクル、つまり加工、再処理など、全体を含めた具体的なエリアとして、大洗が敷地条件を満たすかどうかという点で心配はあります。しかし今まで取組んできた常陽では、何ら問題もなく進んで来たわけですから、地域としてはできたら次の段階も是非取組みたいという思いはあります。

藤家) そういう意味では、わかっている人をお願いする、そして将来それがプラスになると思って頂くことが大事なのですね。高速炉のサイクル問題もまず研究開発に取り組み、それが実用化段階になればどこかへ持っていく、と言うのでも良いのだと思います。

小谷) 高速増殖炉の実証炉については、いろいろ国の方にも話に行っています。そうしたら国の方も最近の実証炉について各方面から声があると言っ

ていました。こういう話を聞くと、今まで大洗で取組んできたことは良いことだったのだという風に思えます。わが方も関心を持っていますが、方々から声が上がると日本原子力の方も定着してきたという思いです。

藤家) 今、高速実証炉をつくりたいという発注者がいないのが困るんです。だから30年前に決めたような体制ではもう無理ですよ。国際展開を図るのも良いでしょう。100万kWをつくる必要はありません。もんじゅと同じ30万kWもあれば十分でしょう。もんじゅは施設の大きさから言えば100万kW級です。

小谷) その規模なら大洗でも大丈夫かなという気がします。

藤家) 30万kWなら実用規模だと言ってもおかしくありません。軽水炉でも初期の美浜は35万kW、原電敦賀は50万kWで、そこで既に実用炉だとしています。それが間もなく、100万、130万に上がってきました。高速炉もやはり30万kWくらいのものを作ってこれが実用炉だと言うべきでしょう。そうでないいつまで研究ばかりやっているんだ、と言われてしまいます。

小谷) 一応機構の計画では、実証炉は2025年に作るということになっていますね。設計はどんどん進んでいるようです。

藤家) 実用炉は2050年ということですが、こんな時まで責任を持てる人はいないので、中間の話を出さざるを得なくなったんでしょうけど。だいたい技術で50年先というのは見込めないですよ。研究をやっている分には良いけれど。それとやっぱりそれに見合った燃料サイクルが必要です。燃料サイクルを先に完成させた方が勝です。世界に向けて。

この実施場所としてこの大洗で何とかできればよいですね。ここだって結構広い場所はあるんでしょう。

小谷) あるにはありますね。今は隣の銚田になりましたけど、旧旭村にも少しは原子力施設がかかっていますし、向こうも関心を持っています。大洗周辺を含めて考えれば、さらに良い場所がありますし、広い場所もある。私は大洗を中心とした隣接地でも良いと思っています。同じ思いで今まで歩んできたわけですから。

藤家) その時は少なくともアジアの中心としてアジアの国を皆呼び込んで一緒にやろうと言うくらいの腹を日本は見せるべきでしょう。それでおっしゃ

るように高速炉をここに作る話と、燃料サイクルを一緒にやると言う話が出てきます。私は今たまたま青森県の顧問をしていますが、六ヶ所村での燃料サイクルを見ていると、まだ最初の苦しみから脱しきれているとは言えないものの、結構いろいろなものが見えてきました。従って場合によってはかなり早く進むこともあり得るかと思います。これが上手く行ったとき、次の話が出て、さてこれから、というのではちょっと世界に対し遅すぎると思うんですね。

少し振り返ってみますと、日本の原子力開発は昭和30年代で決めたパターンからほとんど変わっていません。最後は電力が全部やるということで。研究開発も途中まで国がやったら、あと実用に持っていくのは、メーカー、民間だというパターンになっています。それでいつも地方自治体は押し付けられる。そういう意味では、新しい日本の、日本らしいパターンをつくるのが非常に大事だと思っています。

既に町長さんは日本中ほとんど足を運んでおられ、それだけ各自治体との関係も作られていていろいろお判りになっておられると思いますが、本来はそういうものを作りたいところがあって初めて実現するのであり、国がやれと言って実現するものではないんだろうと思いますね。

廃棄物ゼロに一步近づける高速炉サイクルを

小谷) 先日、我が町の漁協役員の方々を連れて六ヶ所村へ行ってきました。施設もいろいろ見せていただきましたが、六ヶ所には広大な土地があつて素晴らしいな、こんな土地があつたらいろいろなことができるのではないかな、と思って帰ってきました。

高速増殖炉FBRの発展のためには、FBRの再処理も確立しなければならないのでしょね。

藤家) 今の軽水炉の使用済燃料は六ヶ所再処理の方式をスケールアップすることで対応が可能でしょうが、高速炉の使用済燃料となると、夢の話が大分入ってきますから、きちんと研究開発をしてからどこかでバトンタッチするというやり方なのでしょうね。

高速炉の再処理になると、もっと先を読んだ考え方が必要で、全く放射

性廃棄物などが出ないような展望を視野に入れなければならないでしょう。これはまさにサイエンスの世界です。そういうものを実施するには、今までのご経験から見て、六ヶ所よりここの方が相応しいと思うんですが。夢物語をだんだんと現実近づけていく努力ですね。現実に応用化していくという話とはちょっと事情が違うと思います。

小谷) それにしても高速増殖炉の研究段階でも使用済燃料がプールにだんだんと貯まってくる訳ですから、その対策の仕組みを早く考えないと、次へ進めませんね。運転していくにはプールが一杯になれば何とかしなくてはならない、という問題が出てきます。

またドラムに詰まっている廃棄物もう少し減容したいですね。そのため大洗にOWTF（大洗廃棄物減容処理施設）をつくることになりました。これは高速増殖炉の廃棄物の減容を中心とした施設で、今までの軽水炉から来る廃棄物とは違ったものを処理する施設ですが、結局これまでやってきたので心配ないだろうということでスタートしました。あとは出てきた廃棄物をどこへも持っていくところがあれば、ある一定期間、先が見えるようになるまでの間、中間貯蔵していくことになるでしょう。

藤家) おっしゃる通りです。廃棄物をゼロにするということの前提は何でもすべて一旦は中間貯蔵です。その長さが場合によっては200年くらいになるかも知れませんが、それは私たち人類が生きている文明の単位から言えば短いものですからね。そこをどうやって理解してもらえるか。だから永久処分などという言葉は決して使いません。皆中間貯蔵です。むつがあれば原子力船で騒いだ町ですが、中間貯蔵を受け入れてくれました。説明のしかたが重要です。

小谷) あの施設は私も見てきました。しっかり周りの環境整備をやっている。まあしかし中間貯蔵なら動くものもないし、自然の風で冷やしながら安全この上もない。そして地域は潤うし、良い施設だと思っているのではないのでしょうか。

それから原子力を発展させる大きな問題は、やっぱり廃棄物ですね。最終処分がまだ見通しが立っていないということにあると思います。特にこれからのアジア地域で原子力の取組みにはまず処理、処分をどうするか、

というところから話を始めるとスムーズに行くでしょう。原子炉技術は日本で出来上がっているわけですが、廃棄物の処分だけはなかなか場所が見付かりませんね。

藤家) 私はやはり地層処分と、それから放射能をなくす話との両方を平行にやるべきだと思っています。皆さんが地層処分は大変だと言っていますけどね。ウラン鉱山というのは地層処分みたいなものです。地球はウランをちゃんと保持しているし、天然原子炉だって20億年前のものが残っています。だから地層処分は地球の持っている一つの良い特性を利用しているんです。

それから放射能の方はですね。これはもう2～300年で放射能が無くなるような研究をまさに大洗でやれば良いんですよ。常陽が動き出したら。

そういうところでサイエンスの方向に今まで眼が向いていなかったのです。高速増殖炉、という言葉からまだ増殖という文字がなくなるから。これから原子力は資源を確保すると同時に環境を保全することをやらなくてはいけない。こういうことを日本の中で徹底するというのが将来に対する展望です。

だから最初に話したように、これまでの化学反応を使ったエネルギーが200万年くらいも続けられたのだから、核分裂のエネルギーも少なくとも数十万年は持たせないと。それからは核融合に譲っても良いですけどね。核融合は図体が大きいという意味で、核分裂のような小さなスケールで今のところできそうもない。それだけ大きい展望を持てば、燃料サイクルの位置づけが当然取組むべき話として頭の中に入ってくるはずです。

もう20年も前から言っていることですが、この本「リサイクル文明が求める原子力」には、まず高速炉で燃料を作って放射性廃棄物もなくしてしまう、ということが書いてあります。これをわかり易くして今年の夏過ぎくらいには出版しようと計画していて、今その勉強会をしています。アジアもこれを要求してきているので。

高温ガス炉と水素製造への期待

石井) 高温ガス炉（HTTR）は順調に動いているようですが。

小谷) 昨日、バイエリアの見本市へ行ってきましたが、水素電池を活用した商品や水素自動車等たくさんの商品が展示されていました。私どもは総務省から、「緑の分権改革」の委託事業で水素を使った町づくり構想、そして、それを実現させていくための諸課題と、それを乗り越える方策等の検討委員会を立ち上げ取り組んでいます。是非とも軌道に載せて行きたいと思っています。

これは高温ガス炉での水素製造をもって、それを燃料として、この地域のエネルギー源とすることを目指して展開してみようということです。

藤家) それをもっときっちり位置づけるべきでしょうね。原子力では電気だけでなく、化学エネルギーも作れます。社会は両者を必要としているのです。そのために高温ガス炉をどのように展開するのか、はっきりさせることです。

高温ガス炉による水素製造はそのうち必ず出てくる話です。製造した水素のガソリンスタンドを東京にでも置くというような考えはいかがでしょうか。展望はあるんですが、なかなかこの頃皆さんコンサバティブで、ほらを吹かなくなりましたね。

小谷) 大洗につくった「緑の分権改革」という検討委員会では、水素エネルギーによる街づくりをテーマにしていますが、早く高温ガス炉による水素製造プラントを作り、どんどん水素を使っていけるような環境になるといいなと思っています。この委員会では日産自動車が非常に熱心ですが、ホンダ自動車、岩谷産業、東京ガスなども参加しています。

高温ガス炉が大洗にあって、水素製造ができて、その水素がわが町の生活に結びついて、しかも産業にも結びつくと言うことになると、画期的なことだと期待しています。

藤家) そんな風に原子力を素直に受け入れてくれる自治体は少ないですね。愛媛県や佐賀県などにはそういう雰囲気はありますし、青森県も燃料サイクルの拠点としての自負心をお持ちのようですが。

小谷) 私は六ヶ所村の再処理などの燃料サイクル施設や、むつの使用済燃料貯蔵施設も見っていますが、どちらも地元の皆さんに信頼されているようでした。

今後も研究開発を続ける

石井) 以上、お話を伺って原子力の研究開発や燃料サイクルに大変前向きに向かっている大洗町の姿が見えてきました。また将来展望についてもいろいろお聞かせ頂きました。今後向かわれる方向についてもう少しお伺いしたいと思います。

小谷) 私どもが昭和38年に日本原子力研究所を誘致するに当たっては、夏海地区を選びました。あそこは旧大洗町に合併する前は鹿島郡のエリアでしたが、大洗の町に分村合併しました。原子力を入れることによってこの地区には新しい原子力を入れた文化村ができるという夢をかきあげて皆さんに説明しました。

ところが原子力立地以降、その夢が思うように実現しません。最初は話が違うじゃないかという不満が少しありましたけど、いろいろな対策の結果、それを解消して今日に至っています。

一方、東海と大洗の歩みが違ったのは、東海では原子力研究施設を立地させると関連企業がどんどん入り、それが原子力を盛り上げるようなきっかけになったと思うのですが、これに対し、わが方は研究施設は張り付いても企業は日本核燃料開発と日揮だけでした。あとは東北大と東工大です。関連企業がもう少し張り付くと良いな、とは思っています。そして最近千代田テクノルが放射線測定技術業務のメッカとして、大洗事業所ががんばっています。

藤家) あそこはとても積極的な会社ですが、どういう活動をされているのでしょうか。

小谷) 大洗には県の住宅供給公社が買収した土地がありましたが、公社が破綻したのでその使い方を考えていたところ、千代田テクノルが、個人モニタリングのガラス線量計の測定センターとしての事業拡充を検討してくれています。ここには10ヘクタールほどの広大な土地があります。この会社は医療機器の販売をしていますから、医師や放射線技師などのトレーニングセンターを作ろうという構想も持っておられるようです。それができるんだったら治療までやったらいかがですか、と言っています。

藤家) 治療まで始めればコミュニティーは広がりができますね。

小谷) そこで千代田テクノルの細田社長に知事に会っていただき、そんな話をしたところ、知事も治療センターには関心を示し、バックアップすることでした。

藤家) そういう放射線関係ではやはり放医研と話をするのが良いでしょう。こういうことはどうやったら上手く行くかと考えるべきでしょう。できるかどうかという考え方だとうまく行きませんね。

小谷) 私は大洗でいろいろな大会や総会などで挨拶することが多いですが、これらの席では必ず大洗の観光の話をするし、原子力の話も良く入れます。大洗に原子力施設があることは意外に認識されていないんです。私は皆さんに、今日、日本の原子力がここまで発展してきたことについては、大洗の研究施設が大いに貢献してきたんだということを申し上げています。

石井) その研究施設の活用ですが、人材育成の面での活用はいかがでしょうか。

小谷) 時間とともに人材が失われ、そのブランクが大変ですね。大学の方も原子力にあまり力を入れなくなった時期もありましたし。最近は少し良くなってきたみたいですけど、この大洗の研究施設が人材育成でより充実発展できれば良いなと思っています。

藤家) それには今から教える学生の眼がそちらに向くように育てないと。何となく社会科的議論ばかりが多すぎて科学技術がおろそかなっているところがある。幸いなことに最近私学が原子力を教育の中に取り込んできました。私も協力していますが、そこで聴衆の学生数が増えてきています。

小谷) 先生のお力添えでオールジャパンで大洗に、そのような大学の研究室のようなものを立ち上げて頂くと良いですね。勉強のできるような雰囲気をつくっていかないと。アジア地域のどこからかも来て貰ってね。

藤家) 良いですね。アジアもそう言ったら喜んで来ると思います。課題はトータルとして何を教えるか、ということでしょう。原子力の本質論が重要です。そういう意味では町長さんにお話し頂くのも意味があると思います。それにしても大事なことはここから発信して日本の一般の人が理解してくれるような話をどうやって作っていくか、ということです。

そして外国へも早速その話を持ち出しましょう。私は3月終わりにカザ

フへ行きますから、カザフの連中と話をします。4月には韓国との会合です。それからインドへはまだちょっと行くチャンスを見つけていないんですが、インドもチダンバランという元原子力委員長がまだ力を持っていますから、彼といろいろコンタクトして見ましょう。

小谷) 茨城県は東海に始まって東海に終わるという原子力のシンクタンクです。東海は、先駆者として歩んできたところもあり条件的にはいろいろなものが揃っています。そしてこれに大洗を一体化していけば、世界に発展させる大きな存在感が相当に示せる場所です。

藤家) 私は4月には韓国に行き、また11月頃には韓国、カザフスタン、インド、中国、(台湾)、ベトナム、などの研究者を日本に集め、もしお許しいただければこの地で、3～4日の国際会議を開催したいですね。

小谷) その時は是非大洗で。

石井) 今日はどうもありがとうございます。

第3章 第4世代原子力システム－国際フォーラム10年の成果－

対談日：平成23年 4 月25日

対談者：松井一秋（エネルギー総合工学研究所・理事）

堀 雅夫（原子力システム研究懇話会）

堀）第4世代原子力システムの国際フォーラムがスタートして今年が10年目ですので、今日はその仕組・成果・今後などについて、突っ込んだ話をいろいろお伺いしたいと思います。松井さんが第4世代原子力システムに関係したのはいつ頃からですか？



松井氏

松井）第4世代原子炉に関する最初の国際会議が2000年1月にワシントンで開催された時に出席してからです。米国がこの新型炉開発国際協力の会議への参加を世界の主要国へ呼びかけ、日本には公式ルートで資源エネルギー庁とサイクル機構および原研に声がかかり、私と相澤清人氏（サイクル機構）、落合政昭氏（原研）の3名が参加しました。

この会議はエネルギー省（DOE）のビル・マグウッド原子力局長が提唱したもので、会議冒頭の挨拶でマグウッドは、「21世紀になるとエネルギーと環境の問題が途上国の経済発展とともに大きな問題になっていくので原子力の果たす役割は大きくなるに違いない、これに相応しい第4世代の原子力システムの開発を世界の實力のある国と協調して進めていく必要がある、そのための場を提供する用意があるので開発の方法などを皆で相談して決めていきた」という主旨のことを述べていました。2日間の会議の後に、この主旨の共同声明を採択しました。

堀）松井さんは第4世代原子力システムの国際フォーラムに設立前から関係していた訳ですね。国際フォーラムが正式にスタートしたのはその翌年ですね。

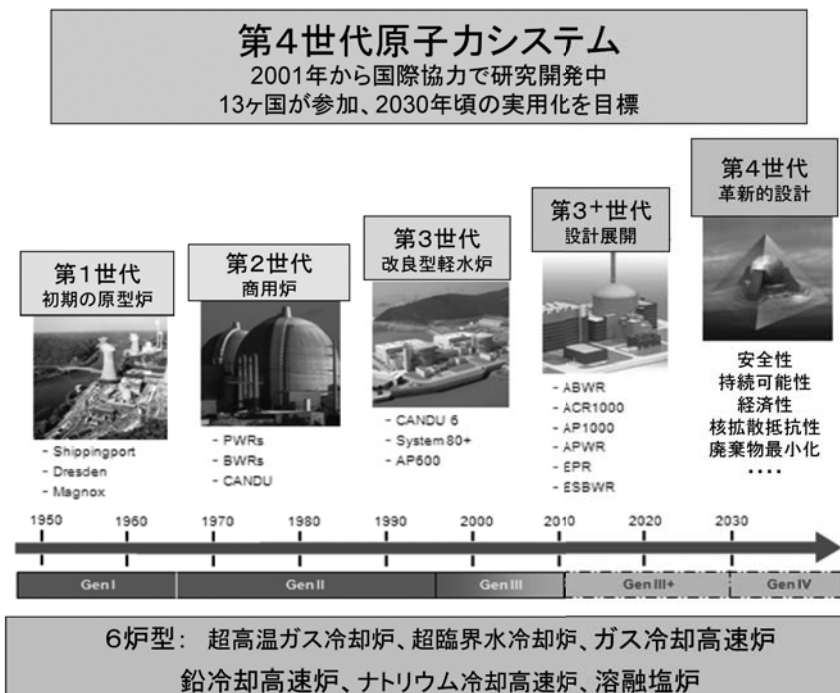
松井）この最初の会議の後、準備会合が開催され、第4世代原子炉の目標（Goals）を各国で議論して今の安全性、持続可能性、経済性、核拡散抵抗性、

廃棄物最小化、などが決まりました。この中の持続可能性 (Sustainability) は核燃料リサイクルによるウラン資源の有効利用のことで、日本が提案して入ったものです。これを含めたことには、後で米国側から日本が提案してくれて良かったと感謝されました。

そして、2001年7月に「第4世代原子力システム国際フォーラム」、略して「GIF」の国際憲章が署名され、正式にスタートした訳です。最初は9ヶ国でしたが、今は13ヶ国が参加しています。

堀) そもそも、「第4世代原子炉」という概念は、いつ頃から出ていたのですか？

松井) 第4世代原子炉、略して「GenIV」という言葉そのものは、1999年頃にマグウッドが米国原子力学会で講演したときに使用した様です。この背景としては、1997年に発表された大統領科学技術諮問委員会 (PCAST) 報告書での、21世紀における途上国の生活水準向上・人口増加によるエネルギー需要増大に対応するための革新的原子力システムの必要性の指摘があります。21世紀に、原子力分野での米国の競争力を復活し、リーダーシップを確保するための戦略として、DOEは原子力研究イニシアティ



ブ（NERI）計画を開始し、革新的原子力分野の研究を採択するとともに、その国際化を提案したと考えられます。

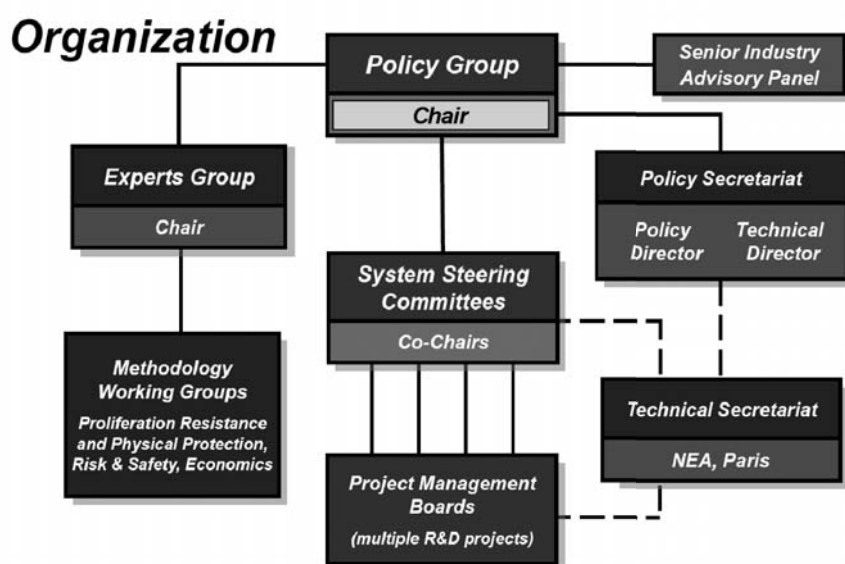
その意味では、GIFに協力することは米国のお先棒かつぎと言う見方が出来ないこともないですが、フランスや日本がGIFに積極的に関与することによって米国、さらにロシアの原子力を活性化することは、世界の原子力開発を推進していくために意義があることと思います。

堀) プロジェクトを国際化すれば、そのプロジェクトが安定化する効果がありますね。

松井) どの国も自分の国のプロジェクトとリンクする期待で、GIFに参加していました。ただ、自分の国のエネルギー政策や原子力政策とうまくリンクしない場合は、GIFの活動を休むことになっていきます。例えば、英国、アルゼンチン、ブラジルはGIFが活動の中心を高速炉などの新型炉に持っていくことになった時に、未だ当分軽水炉で進めるというその国の方針と違うなどの理由で、GIFを休会することになった訳です。

堀) 現在GIFで活動している国はどこですか？

松井) 英国、アルゼンチン、ブラジルが休会しているので、活動している国は、



日本のほかに、米、カナダ、ロシア、仏、スイス、南アフリカ、中国、韓国、それにEUのユーラトム（Euratom）の合計10ヵ国・機関です。

堀) 松井さんは、現在はGIFの組織の中でどのような役割を担当しているのですか？

松井) GIFの政策を決めるポリシーグループに日本代表として参加しています。

堀) 松井さんは、GIFのスタートから関係していて、今もGIFの企画・運営を担当しているので、GIFに関しては生き字引のように詳しい訳ですね。他の国の代表でも同じような人はいますか？

松井) フランスCEAのジャック・ブシャールや米アイダホ国立研究所のラルフ・ベネットなど、長い間GIFの活動に関係していましたが、私が一番長くなりました。

堀) ところで、GIFの運営はどこがやっているのですか？

松井) 全体運営の事務局であるポリシー・セクレタリアトは、日本の議長秘書団と、米国原子力学会会長を務めたアイダホ国立研究所副所長のハロルド・マックファーレンGIF 技術部長、仏国CEAのパスカル・アンジーGIF政策部長が協力して務めています。個別のR&D協力運営の事務局であるテクニカル・セクレタリアトはOECD・NEA（原子力機関）に委託しています。

GIFのスタートの時に、運営のための恒久的な機関を設けると硬直化や自己増殖するおそれがあるということで、このような身軽な体制にしています。

堀) 日本のGIFとの国際的取り決めはどのようになっていますか？

松井) 日本の窓口は資源エネルギー庁と文科省です。国際的な取り決めについては、米国の強い主張で国際的に拘束力がある条約並みのものになることになり、「フレームワーク・アグリーメント」と言うのを結びました。これは対外的約束なので、外務省が関わっています。

堀) 国内の推進・調整はどのようにしていますか？

松井) エネ庁と文科省の下で、実質的には原子力機構（合併前はサイクル機構と原研）が担当しています。最近、国内委員会を作って、日本の関

係機関や研究開発コンソーシアムからメーカーや大学を含む実務レベルの人が入って相談をしています。

堀) GIFは国際協力を進める六つの第4世代システムを選考したのですね。

松井) 超高温ガス冷却炉 (VHTR)、超臨界水冷却炉 (SCWR)、ガス冷却高速炉 (GFR)、鉛冷却高速炉 (LFR)、ナトリウム冷却高速炉 (SFR)、溶融塩炉 (MSR) の6炉型を最初の頃を選んでいました。

6炉型の中で、高速中性子炉が3炉型、熱中性子炉が1炉型、高速・熱両方になり得るのが1炉型、熱外中性子炉が1炉型で、高速炉が中心になっています。

Overview of the Generation IV Systems

System	Neutron Spectrum	Fuel Cycle	Size (MWe)	Applications	R&D Needed
Very-High-Temperature Reactor (VHTR)	Thermal	Open	250	Electricity, Hydrogen, Process Heat	Fuels, Materials, H ₂ production
Supercritical-Water Reactor (SCWR)	Thermal, Fast	Open, Closed	1500	Electricity	Materials, Thermal-hydraulics
Gas-Cooled Fast Reactor (GFR)	Fast	Closed	200-1200	Electricity, Hydrogen, Actinide Management	Fuels, Materials, Thermal-hydraulics
Lead-Cooled Fast Reactor (LFR)	Fast	Closed	50-150 300-600 1200	Electricity, Hydrogen Production	Fuels, Materials
Sodium Cooled Fast Reactor (SFR)	Fast	Closed	300-1500	Electricity, Actinide Management	Advanced recycle options, Fuels
Molten Salt Reactor (MSR)	Epithermal	Closed	1000	Electricity, Hydrogen Production, Actinide Management	Fuel treatment, Materials, Reliability

ガス冷却高速炉は欧州系、フランス系が推していて日米が付き合う形でしたが、米国ではブッシュ大統領がリサイクル路線に変更し、フランスではシラク大統領が2020年代高速炉実用化を発言した頃に、フランスもよくよく考えてみると2020年代の高速炉としてガス冷却はないということになり、ガス冷却高速炉への関心は薄れてきました。日本からはJAEAが参加しています。

鉛冷却高速炉は、東工大の関本博先生が熱心に検討していて、ロシアも関心を持っていた炉型です。昨年新たに締結されたMOUに現在参加しているのは日本とEUで、日本は東工大の矢野豊彦先生が担当しています。

超高温ガス冷却炉は、原研が「高温ガス炉」として開発してきたのと同じ炉型です。大洗で出口温度950℃の高温工学試験研究炉の運転を既に10年以上も行っているのも、日本が「一日の長」がある炉型です。このシステム研究開発のパートナーは9ヶ国と最多です。この中でも、アイダホで出口温度750℃のNGNP（次世代原子力プラント）計画を進めている米国、清華大学で高温ガス実験炉を運転していて山東省で出口温度750℃の高温ガス炉原型炉計画を進めている中国、などが熱心です。

堀) 超臨界水冷却炉は東大の岡芳明先生が研究・提唱していた炉型ですね。

松井) そうです。この炉型は日本が技術的に中心になっています。ほかにカナダとEUが参加しています。

堀) 熔融塩炉はどこが進めているのですか？

松井) これはシステム選考プロセスの最後に、フランスのブシャールが言い出し、米のオークリッジ国立研究所のチャールズ・フォルスバーグが賛同したもので、今はEUとフランスがMOUベースの協力として情報交換している程度です。このパートナーに日本は入っていませんが、オブザーバーとして時々参加しているようです。この関係では、EUとロシアが熔融塩利用の高速炉の共同研究を考えているようです。

堀) さて、ナトリウム冷却高速炉には多くの国が参加していて、超高温ガス冷却炉と並んで第4世代システムの本命と考えられるのですが、どのような経緯で始まったのですか？

松井) 第4世代というか、将来炉の本命として高速炉は歴史的にも位置づけられてきて、その中でもナトリウム冷却は長い開発の歴史があったわけです。したがって特に日本の技術者は実証が必要であって革新炉としての研究開発とか検証は短くて済むとまで主張しました。マグウッドが寄ってきてナトリウム冷却炉は第4世代というか近未来炉ではないか第4世代から外さないかというぐらいたったことを覚えています。

堀) システムパートナーの一覧表を見ると、GIF提案国の米国が超高温ガス

炉とナトリウム冷却高速炉の二つのシステムを選んで参加しており、ロシアは一つも参加していません。EUが全部のシステムに参加するのは理解できますが、日本は五つのシステムに参加している。この辺については、それぞれの国の事情があると思いますが。

松井 本来の趣旨からすると特に米国のような技術巨人国は幅広の開発に参加すべきであるというのがブシャールの主張でしたが、多分に予算上の制約から国内の政治的な圧力があったのでしょう。新たにロシアが昨年7月にナトリウム冷却高速炉に参加しました。

System Partners

Apr 2008

									
VHTR	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
GFR		◆	◆	◆		◆			
SFR		◆	◆	◆	◆		◆	◆	
SCWR	◆	◆		◆					
LFR		◆		◆					
MSR		◆	◆						

Partners: NRCan JRC CEA JAEA, ANRE MEST, KOSEF PSI DOE CAEA, MOST DME

ANRE – Agency for Natural Resources and Energy (JP)
 CAEA – China Atomic Energy Authority (CN)
 CEA – Commissariat à l’Énergie Atomique (FR)
 DME – Department of Minerals and Energy (ZA)
 DOE – Department of Energy (US)
 JAEA – Japan Atomic Energy Agency (JP)
 JRC – Joint Research Centre (EU)
 KOSEF – Korean Science and Engineering Foundation (KR)
 MEST – Ministry of Education, Science and Technology (KR)
 MOST – Ministry of Science and Technology (CN)
 NRCan – Natural Resources Canada (CA)
 PSI – Paul Scherrer Institute (CH)

VHTR – Very-High-Temperature Reactor
 GFR – Gas-Cooled Fast Reactor
 SFR – Sodium-Cooled Fast Reactor
 SCWR – Supercritical Water-Cooled Reactor
 LFR – Lead-Cooled Fast Reactor
 MSR – Molten Salt Reactor

堀 このようなシステムの選考では、いろいろ難しいこともあったと思いますが。

松井 GIFのシステム選考の理念としては、世界中で使用できるシステムで燃料サイクルも一緒に入れることでスタートしたのですが、燃料サイクルは核拡散とのからみですべての参加国で可能ということではないので、結局燃料サイクルに関する協力は、可能な国の間のみで別枠で行うことにして、GIFのスコープから外しました。また、実証プラントもGIFのスコ

プから外し、R&Dのみで協力することになっています。燃料サイクル関係では経済性評価などが実施されています。

2006年頃に始まったGNEP（国際原子力エネルギーパートナーシップ）構想はサイクルの部分の協力と実証まで取り込みGIFと相互補完として考えられました。しかし紆余曲折の結果、GNEPは後にIFNEC（国際原子力エネルギー協力フレームワーク）と名称変更されましたが、ここでも再処理・濃縮に関することは限られた国にせざるを得ないことになりました。因みに、このGNEP-IFNECはGIFをモデルにして出来たようです。

堀) GIFと同じところにIAEAがINPRO（革新的原子炉および燃料サイクルに関する国際プロジェクト）を作り始めましたね。日本は2006年から正式参加し、現在30ヶ国以上が参加していますが。

松井) INPROはロシア主導で、ロシアの特別拠出金で始まったもの。IAEAのプロジェクトですので事務局スタッフがいること、途上国が多数メンバーに入っているのもそのニーズを汲み上げることが出来るなどの利点があります。GIFとINPROは対立するコンセプトだと言う話が一時出ていましたが、尾本彰氏がIAEAの部長だった頃から相互補完し合う関係になりました。GIFの会議にIAEAの部長が招待されて出席しています。INPROでは炉の研究開発は行わず、途上国がこれから原子炉を入れる時にどのような条件を備えていなければならないかなどのガイドラインづくりをしています。

堀) ほかにGIFからスピンオフしたアイデアや組織はありますか？

松井) GIFでは、開発の早い時期から規制側との意見交換が必要という認識を持っていて、米原子力規制委員会（NRC）やカナダ、英国の規制当局者との会合を何度か持っていました。とくに、NRCのニール・ディアズ委員は積極的でした。その間に、規制者側がこのような会合の必要性を認識し、OECD/NEAを事務局としたMDEP（多国間設計評価プログラム）という組織をつくりました。当初日本の規制当局はあまり積極的でなかったという印象を持っています。

ここで討論した中には、ある国で安全審査を通ったものは他の国で審査なしに認めるような国際的な安全認証を実現する方式や、国際的に通用す

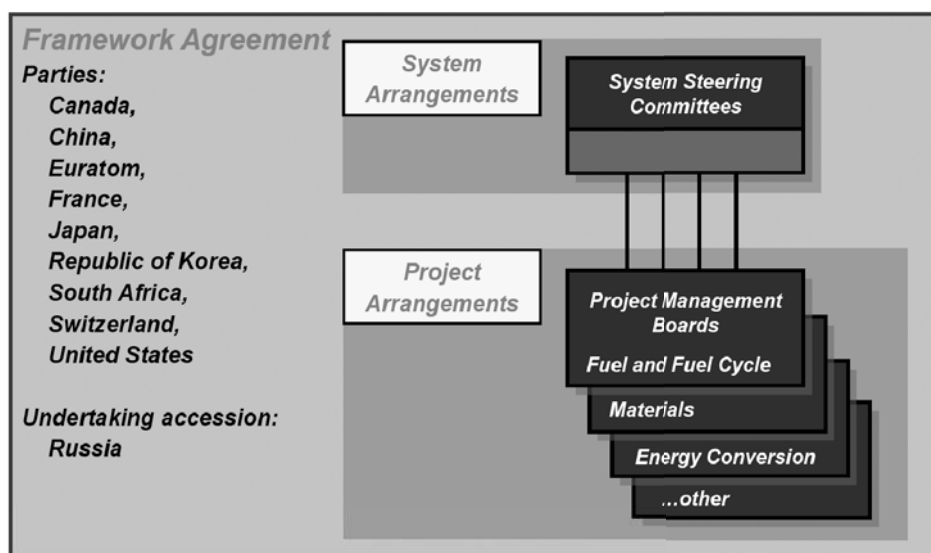
る安全要求をつくることなど、新しい仕組みやアイデアがありました。
堀) GIFの運営について伺います。一番上の外交レベルのフレームワーク・アグリーメントの下での運営の構造はどのようになっていますか？

松井) システムごとにその研究開発に参加するパートナーは「システムアレンジメント」(SA)を結び、各システムの個別の研究開発協力に関しては「プロジェクトアレンジメント」(PA)を取り交します。SAは各システムごとのステアリング委員会が管轄し、PAは各研究分野ごとのプロジェクト管理理事会が管轄しています。

MOUは法的な拘束力を持たないということで正式な国際取り決めではないので、ゆるい制約で協力ができるという仕組みです。昨年LFRとMSRについて締結されました。

これらの協力において金銭のやりとりは基本的にはありません。ただ、プロジェクトで使った時間・費用などは報告されます。将来、技術の売買が必要になれば可能です。

Structured Agreements



堀) 組織についてお伺いしたいのですが、組織図の中にエキスパート・グループとその下にメソドロジー・ワーキンググループが三つありますが、これはどのようなことをする組織ですか？

松井) エキスパートグループは、6 システムに分かれて研究開発を行う縦の組織に対して、横串を刺すようにして評価を行うグループで、核拡散抵抗性・核物質防護、リスク・安全性、経済性の三つのワーキンググループはその評価の方法論・手法を検討して開発するグループです。

堀) これまでに6 システムの比較評価をしたことはあるのですか？

松井) 重要なことですが、未だやったことはありません。評価が出来るアセスメントグループをつくる必要性は認識していますが、未だ出来ていません。もし、評価が行われて、あるシステムの研究開発が終わることになると、この成果の権利・帰属なども解決していく必要性が出てくると思います。

堀) 組織図にあるシニア・インダストリー・アドバイザー・パネル (SIAP) の役割は？

松井) 電力、メーカーなどのトップクラスの人に集まって貰って、実用化の際の技術ユーザーである産業界の立場から評価して貰おうという主旨のパネルで、SIAPは既に10回以上開催されています。最近の会合には、日本から日本原子力発電の鈴木英昭副社長と三菱FBRシステムズの岡田敬三社長が参加しています。

堀) GIFは結成以来約10年活動してきていますが、今目標に対して何合目までできていますか？延々と登り続けていくものですか？

松井) 例えば、ナトリウム冷却高速炉では、実証炉をつくる段階になったら、そこが一つの区切りになると思います。

堀) 私は、2003年ころ、科学技術広報財団の「Science & Technology Journal」誌にGIFについて論説記事を載せたのですが、その中に「研究開発の協力中に、どこかが集団を抜けだして実証・実用へサポートできるような緊張を秘めた“競争と協調”の協力形態にすることが、この種の国際協力を効率的にする方法」と書きました。実用化に向けて抜け駆けする国が出てくることは「成功」だと思うのですが、このような状況は近い将来期待できそうですか？

松井) 例えば、ナトリウム冷却高速炉では、米国の具体的計画は既になくなり、フランスと日本が残っているが、これも今の原子力への逆風の中では、競争なしの資金も技術も協調で実証炉をつくるということはあるかもしれない、という程度ですね。

堀) 実証炉を国際協力でつくるのでは、その後の商業化への道程が長いように感じますね。先ほどの産業界パネル（SIAP）に出ているメーカーの中のどこかが、抜け駆けして実証炉をつくる状況になればよいのですが、そこまで行っていないということですね。

松井) 例えば、高温ガス炉の場合は、以前ドイツで経験のあるペブルベッド燃料で出口温度750℃だが、中国では実際に原型炉の建設にかかっており、南アフリカでも建設に近いところまで行っていた。高温ガス炉では、このような進展の例はあるが、この先プリズマティック燃料の米国NGNPなどが続くかという、民間投資の見通しが立たない。

堀) 2030年頃導入を目指して国際協力で研究開発を進めてきた第4世代原子力システムは、10年経過した今、国際協力による研究開発の新しい体制をつくり、技術開発としては着実に進展してきている。ここは是非、次のステップの実証炉へ効果的に繋げるようにして欲しいですね。

ところで、最近起こった福島第一の事故以降、原子力を巡る状況は大きく変化していますが、これが新型炉開発に与える影響はどう考えておられますか？



写真 左 松井氏、右 堀氏

松井) 未曾有の震災が起因ではありますが、炉心溶融事故というあってはならないことを起こしてしまったわけです。第4世代炉の安全性の目標は究極的には炉心溶融は起こさない、外部への放射能の放出はないシステムとしてますが、現行炉の安全性に問題があるという認識ではありませんでした。最後はAM（アクシデントマネジメント）ということにはなるのですが、より静的なシステムの活用などにより設計でいわゆる苛酷事故まで対処するものを目指すことになるのではないかと思います。

いずれにしても人類の未来は原子力エネルギーを使いこなすことにかかっているわけで、その意味で第4世代開発の意義は薄れることはないと思信しています。

堀) 今日は、第4世代原子力システム国際フォーラムに最初から関わっておられた松井さんから、発足の経緯から現状・今後までお聞きすることができました。大変参考になるお話をどうも有難う御座いました。

【本対談に関係した参考文献】

1. Gen IV International Forumのサイトにある各種報告書（英文）
<http://www.gen-4.org/>
2. 「第4世代原子力システム技術開発」
松井一秋、岡芳明、小川益郎、一宮正和、野田宏
日本原子力学会誌 Vol.45, No.3 p.161-172 (2003)
<http://www.soc.nii.ac.jp/aesj/publication/kiji/tokusyu/t0303-11-22.pdf>
3. GEN- 4 原子力システム
日本国際問題研究所
「原子力平和利用戦略に係る調査・研究・第6章」
<http://www.cpdnp.jp/pdf/003-01-002-09.pdf>

第4章 原子力による炭素循環

ー製鉄・合成燃料プロセスを革新できるか？

対談日：平成23年 3 月 2 日

対談者：加藤之貴（東京工業大学原子炉工学研究所教授）

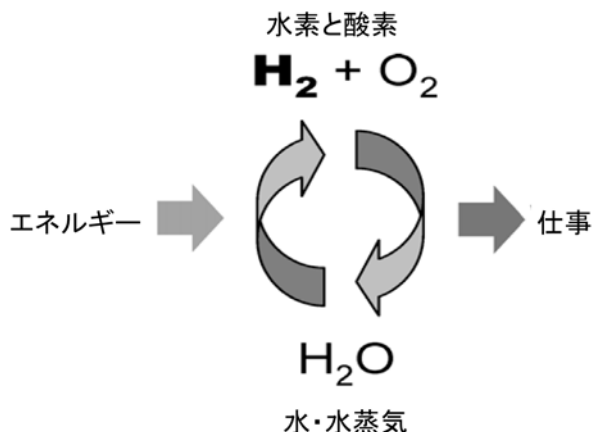
堀 雅夫（原子力システム研究懇話会）



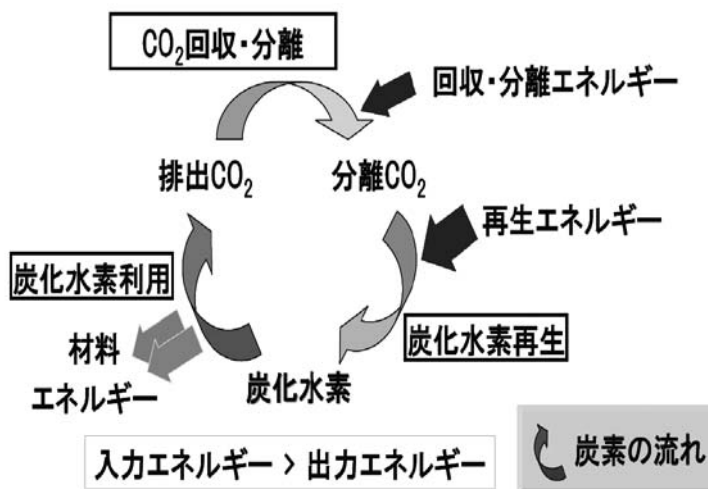
写真 左 加藤氏、右 堀氏

堀） 加藤先生は、ここ数年、「能動的炭素循環エネルギーシステム」について、研究・発表をされていますが、これはどのようなコンセプトですか？

加藤） 先ず、水素エネルギーシステムと比較してみましょう。図のように水素エネルギーシステムでは、水を入力エネルギーによって水素、酸素に分解し、この水素が酸化して水に戻る際の反応からエネルギーを取り出しています。すなわち、水素をエネルギーを運ぶ媒体、すなわちエネルギーキャリアーとして使用するシステムです。水素は単位質量あたりのエネルギー密度は高いのですが、常温で気体なので圧縮したり、液化したりして使うので、輸送・貯蔵などの供給インフラの整備が課題になっています。



私が提案している能動的な炭素循環エネルギーシステムは、炭素（普通は炭素の化合物）をエネルギーキャリアーとして利用するシステムです。この図は炭素を含むエネルギーキャリアーとして最も一般的な炭化水素（ガソリンや天然ガスなど）を使用する例です。この場合の炭素循環システムは、①炭化水素を燃焼させてエネルギーを取り出す利用過程、②利用過程で排出する CO_2 を回収・分離する過程、③分離した CO_2 を炭化水素に再生する過程の三つのプロセスで構成されています。この場合、回収・分離と再生の過程で入力するエネルギーとして原子力を考えています。「能動的炭素循環エネルギーシステム」はActive Carbon Recycling Energy Systemであり、通称ACRESと呼んでいます。



堀) 自然界では、この図のCO₂の回収・分離をする過程とCO₂を炭素化合物に再生する過程を、植物が太陽光をエネルギー源として光合成によって行い、バイオマスを生成しているのですね。

加藤) 必要なエネルギー供給がバイオマス利用のみで済めばカーボン・ニュートラルなので理想的ですが、我が国のように必要なエネルギーに対してバイオマスが量的に少ない場合は、原子力などの非CO₂排出一次エネルギーをエネルギー源として能動的に炭素循環をさせる必要があります。太陽や風力などの自然エネルギーを利用する場合、変動して発生するエネルギーをこのシステムによって炭素の化学エネルギーとして貯めることができます。

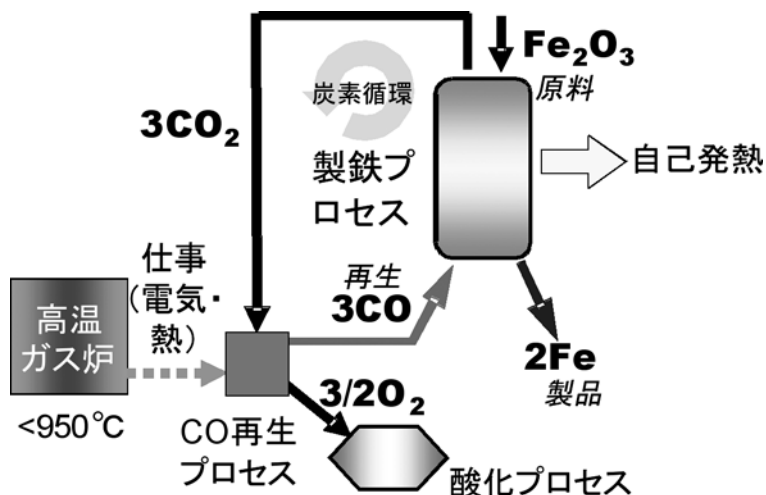
堀) 自然界の炭素循環では大気中のCO₂を植物が吸収して光合成していますが、能動的炭素循環でも、CO₂を一旦大気中に放出し、その後大気中から回収・分離・再生するオープンサイクルの方法と、炭素のエネルギーを利用した時に排出するCO₂をそのまま回収・分離・再生するクローズドサイクルの方法があると思いますが、加藤先生が現在研究しているのはどちらですか？

加藤) 私は、今、産業利用を考えているので、クローズドの方法を考えています。現在、産業の燃焼排ガスには高濃度のCO₂が含まれているので、これを回収・分離して再生するのが、この方法の一番効率的な適用と考えています。

堀) この方法の産業利用の一つ、製鉄への利用については、日本鉄鋼協会の国際論文誌に昨年発表されていますね。

加藤) その炭素循環製鉄のコンセプトをこの図で説明します。製鉄の主プロセスの高炉では、原料の酸化鉄(III) Fe₂O₃をコークスを用いて還元して鉄Feにしています。この時、コークスの中のCが酸化して最終的にはCO₂になって排出されます。現在、製鉄は日本のCO₂排出の7%を出しており、これを半分に削減するのが製鉄業界のミッションになっています。

炭素循環製鉄とは、このCO₂を回収して原子力によってCOに還元して高炉に戻す方法です。高炉におけるFe₂O₃の還元にはコークスから生成するCOとH₂が主に作用していますが、COによる還元は発熱反応なので自発

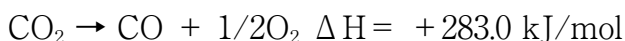


的に進みますが、 H_2 による還元は吸熱反応なので熱を供給しないと持続しません。このような理由から、COが最も重要な還元剤ですので、排出される CO_2 をCOにして戻す炭素循環製鉄は高炉プロセスに適合した方法だと思います。

堀) 原子力によって、 CO_2 をCOにどのようなプロセスで還元するか、これが炭素循環製鉄のキーテクノロジーだと思いますが、どのような方法ですか？

加藤) 大きく分けて二つの方法を考えています。

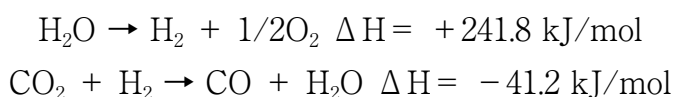
一つは、 CO_2 を高温で電気分解して、COと O_2 に分ける電気化学的方法です。この目的には高温ガス炉の熱と電気を利用するのが合っています。これは、高温ガス炉を利用して水を分解して水素を製造する高温水蒸気電気分解と同じ発想です。



ただ、電気分解の量は電極面の面積できまるので、大量の電気分解の場合に装置は二次元的にスケールアップすることになります。これに対して化学プラントのような反応量が体積できまるプロセスでは、装置の三次元的スケールアップによってコスト低減の効果が期待されます。

そこでもう一つの方法は、原子力で製造する水素を用いて、 CO_2 と H_2 を

反応させてCOとH₂Oを生成する「逆シフト反応」と言われている化学的な方法です。この方法で還元したCOを高炉に戻します。この反応は、適当な温度と触媒を選べば化学平衡論から進行することが判っていますので、この後はエンジニアリング会社の仕事ですが大体実現すると思っています。



堀) 二番目の逆シフト反応を使う方法には、原子力発電による水電気分解の水素を利用する方法も考えられますが、やはり高温ガス炉利用のIS法などの熱化学的方法による水素製造が、スケールアップ効果などからも、合っているようですね。

加藤) 水素製造には高温ガス炉利用が最も可能性があります。この方法では、逆シフト反応で出来るCOリッチの混合ガスをそのまま高炉に戻す方法も考えられます。また、高炉ではコークスは構造物としても重要なので、コークスによる還元と炭素循環を併用する方法も考えられます。要するにCO₂の排出を可能な限り減らす方策を探っていくことが重要です。

堀) 一番目のCO₂の高温電気分解は大変チャレンジングな方法と思いますが。

加藤) 私は、現在、主にこの方法の実験を進めています。高温電気分解が上手くいくとワンプロセスで済むのでシンプルですし、副産物の酸素は高純度で転炉での炭素分の調節のためなどに有効利用することができます。

高炉1基には、2GWほどの熱が必要になります。大体、100万kWの原子力発電所1基分弱です。CO₂の高温電気分解の今の性能ですと、電極面積として10平方kmくらいと大変大きくなる計算なので、実用化するには電極を通過する酸素イオンの透過率を上げるなどの技術のステップアップが必要です。

堀) ところで、CO₂を高温ではなく常温で電気分解して、COとO₂に分解することは可能ですか？

加藤) 勿論、可能ですが、温度が下がるとエネルギー消費量が増加します。これは水の電気分解の場合と同様で、水素製造においても高温ガス炉を使

用して水の高温電気分解の開発が行われているのと同じです。ただし現在開発が進んでいる固体高分子型燃料電池の応用で対応できるため、高温電気分解に比べ、実用性、量産性は高いといえます。

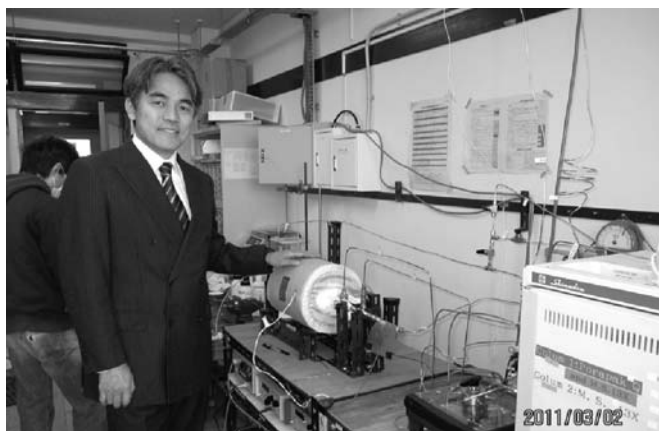
堀) CO_2 の高温電気分解の研究は世界的にはどうなっていますか？

加藤) 高温電気分解には、固体酸化物電極を使用します。SOFCと呼ばれている燃料電池に使われているのと同様の材料です。この電極を使用して CO_2 の高温電気分解の研究をしているのは、デンマークのMorgensenのチーム、Morgensenらと共同で研究しているコロンビア大学のチーム、日本では九州大学の石原先生と東工大の石谷先生らで、研究者の数は未だ少なく、データも少ないです。

普通は、800 ～ 900℃ の高温で酸素イオンを良く透過する固体酸化物YSZを使用していますが、石原先生は600℃ 程度で効率良く作動する電極材料を開発して使用しています。

Morgensenのチームは反応メカニズムを主に調べていますが、私の研究室では800 ～ 900℃ でYSZ電極による電気分解の実験を行っており、電極の単位面積あたりどのくらいの量のCOが生成するか調べています。実際に CO_2 はCOと O_2 に分解されますが、透過率は未だ小さいので製鉄プロセスが必要とする量の分解を行うには、先ほど話したように大きな電極面積が必要になってきます。

堀) 実用化するには、これから相当のブレークスルーが必要ということですか？



加藤氏

ね。ところで、製鉄業界では炭素循環製鉄のプロジェクト化のような動きはあるのですか？

加藤 今年の4月から日本鉄鋼協会の中に、15名くらいのメンバーによる「炭素循環製鉄研究会」が出来て、私が主査になりました。3年くらい前から鉄鋼協会の中に「水素製鉄」の研究グループがあって、この中で炭素循環の可能性が検討がされてきましたが、これからは炭素循環製鉄として研究を進めていけるようになりました。

堀 製鉄のCO₂排出量を削減する国のプロジェクトもあったと思いますが？

加藤 鉄鋼連盟がNEDOの委託事業として「COURSE 50」というプロジェクトを5年計画約100億円の予算で進めており、今年が3年目です。これはエネルギー高効率利用、CO₂貯留、水素利用で2050年に約30%削減を目標としています。ここでは、炭素循環製鉄は未だ採り上げられていません。

堀 コンビナートにおける熱供給に原子炉を利用する話もありますが、炭素循環製鉄が実現すると製鉄所の側に原子炉が建設されることになりますね。

加藤 高温熱を電気とあわせて供給する場合にはそのような構成になります。製鉄も、コンビナートも熱需要は大きいので、その供給に原子力を利用出来たら非常にパワフルです。

堀 とところで、炭素循環の鉄鋼以外の利用についてはどうですか？

加藤 今、CO₂の再利用・再資源化がホットなテーマになっています。例えば、CO₂からのメタノールの製造などです。あるいは、CO₂から合成ガス（COとH₂）を作れば、後はフィッシャートロプシュ（FT）反応で合成燃料ができます。原子力利用の合成燃料製造は堀さんの方が詳しいと思いますが。

堀 ガソリンなどの液体燃料は、運搬・貯蔵が楽なので運輸用燃料として有用ですので、いろいろな炭素資源から液体燃料が合成されていくと思います。合成燃料は、原理的には、炭素・水素（水）・エネルギーさえあれば、製造可能です。この表は、原子力による合成燃料製造の主なプロセスをまとめたものですが、炭素資源としては、石炭、バイオマスなどが先ず利用されますが、表の一番下にあるようにCO₂を炭素源とする合成燃料も可能であり、実験が行われています。

プロセス	原料・炭素源	原子力供給	中間製品	最終製品例	検討者	備考
水分解 水蒸気改質	H_2O $C(H) + H_2O$	熱 (1a) (1b)	水素 H_2	下記のプロセスの原料	各国	原子力水素製造の各種方法は別表参照
超重質油 回収・軽質化	$CH_{1.5}$	熱(水蒸気) 水素	合成原油 SCO (CH_2)	ガソリン 軽油など	加、南阿 米、日	オイルサンドから水蒸気でBitumen抽出、これに水素添加Upgrading
石炭 ガス化	$CH_{0.7}$	熱 (2) 水素	合成ガス ($CO+H_2$)	FT油 (4)	南阿、米 GA	製造プロセスにおける CO_2 排出は全体の半分、原子力により削減
バイオマス ガス化	$(C_6H_{12}O_6)_n$	熱 (2) 水素	合成ガス ($CO+H_2$)	FT油 (4)	米、日	原子力使用により燃料転換率向上、CCSで大気中 CO_2 削減
炭酸ガス 還元	CO_2	熱 水素 (3)	合成ガス ($CO+H_2$)	FT油 (4)	E、米 GA	車上改質排出 CO_2 の循環利用。火力発電排出 CO_2 から燃料製造

(1a) 水分解水素製造 $H_2O \rightarrow H_2 + (1/2) O_2$

(1b) 水蒸気改質水素製造 $CH_4 + 2H_2O \rightarrow CO_2 + 4H_2$

(2) 水蒸気ガス化反応 $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$

(3) 逆シフト反応 $CO_2 + H_2 \rightarrow CO + H_2O$

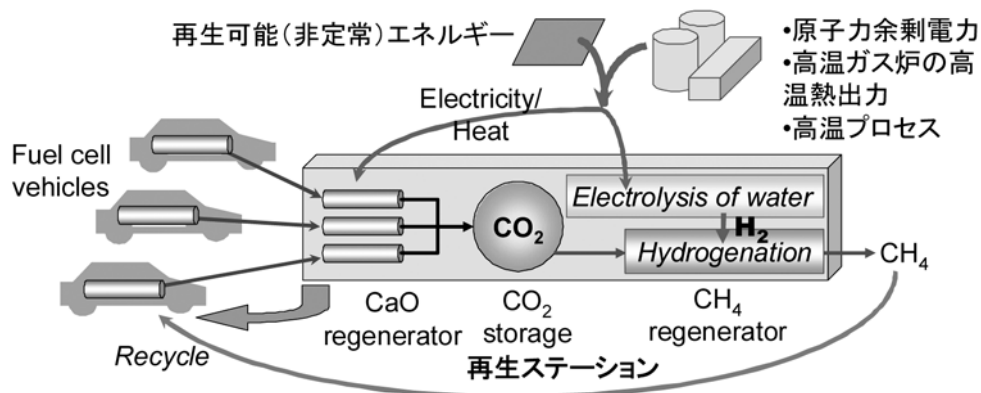
(4) Fischer -Tropsch (FT) 反応 $CO + 2H_2 \rightarrow 1/n(CH_2)_n + H_2O$

CO_2 の炭素を利用する合成燃料製造では、原子力ベースの水素と CO_2 から逆シフト反応によって合成ガスをつくり、これからFT合成で軽油などの合成燃料をつくります。

CO_2 と原子力による合成燃料製造については、米国のGeneral Atomicsが前からいろいろ検討してます。石炭火力の排ガス中の CO_2 を利用する場合に、水素を高温ガス炉・熱化学法と軽水炉・電気分解法の何れかで製造するとしてコストを出しており、前者の場合は CO_2 クレジットを含めれば、化石燃料ベースと将来競合可能としています。また、空気中の CO_2 を分離・回収するプロセスの評価もしています。

加藤) 米国では、DOEの資金でCal Techが CO_2 再資源化の研究を進めています。

堀) 加藤先生は、数年前に、車上でメタンの水蒸気改質反応により水素燃料電池自動車を動かし、反応で排出する CO_2 はカルシウムに吸着して、高温ガス炉の熱・水素を利用して CO_2 の脱着と水素添加をしてメタンに戻して、燃料として再び自動車に積むという炭素循環自動車システムの実験をしていましたね。これも CO_2 からメタンをつくるので、原子力による合成



燃料利用の一つですね。

加藤 自動車会社では、将来を睨んで、合成燃料についていろいろな方式を検討しているようです。

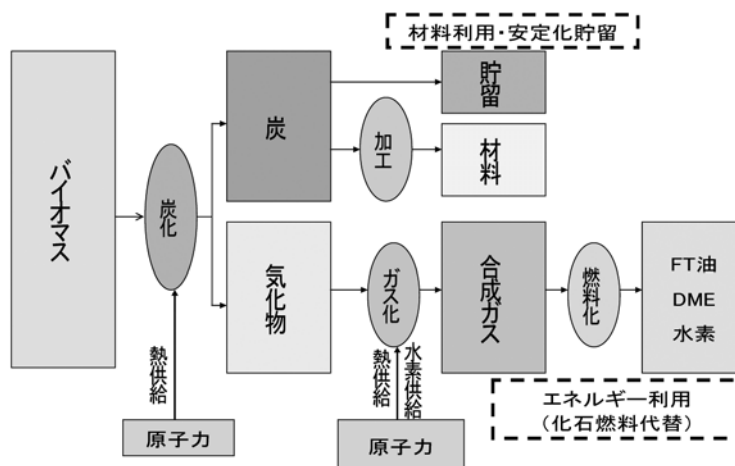
堀 ところで、自然が行っている炭素循環でできるバイオマスをベースとしてバイオ燃料や合成燃料がつくられています。これは、本来、カーボン・ニュートラルですが、この燃料化の過程でエネルギーを消費するので、これにバイオマス自身のエネルギーを使用する場合は収率が低くなり、またこれに化石燃料のエネルギーを使用する場合はカーボン・ニュートラルではなくなってしまいます。

そこで、バイオマスからの燃料製造プロセスに、原子力による熱、電気、水素を供給することによって、バイオマスの燃料化の過程でのCO₂排出を回避し、バイオマスの効率的・効果的な燃料転換を行うことが検討されています。

加藤 自然の炭素循環に原子力がアシストする訳ですね。

堀 この図は私が提案しているバイオマスと原子力の両方を使用するシステムです。バイオマスの炭化と燃料化のプロセスに必要な熱や水素を原子力から供給することによって、物質・エネルギー転換の収率・効率の向上が可能になります。

このプロセスでは、炭化反応でできる炭素（個体）は安定なので、材料などとして使用する分が自然の炭素循環から除かれるので、大気中からCO₂を除去する、所謂カーボンマイナスの効果があります。



出所：堀 雅夫「バイオマスの原子力炭化・ガス化による大気中炭酸ガスの削減」
木質炭化学会・第5回研究発表会（2007年5月）

加藤) CO₂を含む炭素資源と原子力の両方を使用するエネルギーシステムは、
いろいろな応用・メリットがあり、有望な研究開発分野ですね。

堀) では、最後に加藤先生から、原子力による炭素循環システムに関する抱
負をお聞きしたいと思います。

加藤) このような炭素循環エネルギーシステムについては、日本ではまだ動き
が少ないと思います。日本は、CO₂の問題を重視しており、技術力もある
ので、今日お話したようなコンセプトを発展させて、世界をリードしてい
きたいと思っています。

堀) どうも、有難うございました。

【本対談に関係した参考文献】

1. 加藤之貴、「能動的炭素循環エネルギーシステムの可能性検討」、伝熱 2009年4月号 pp.34-39 (2009)
2. Yukitaka Kato, "Carbon Recycle for Reduction of Carbon Dioxide Emission from Iron-making Process", ISIJ International, Vol.50, No.1, pp.181-185 (2010)
3. 加藤之貴、「炭素循環型エネルギーシステムの技術ロードマップ」、"実装可能なエネルギー技術で築く未来－骨太のエネルギーロードマップ2－" (加藤之貴監修) Map 4-1 化学工業社 (2010)
4. 堀 雅夫、「原子力による水素で新しいエネルギー社会に」、エネルギーレビュー 2009年5月号 pp.15-18 (2009)
5. Masao Hori, "Nuclear Carbonization and Gasification of Biomass for Effective Removal of Atmospheric CO₂" Progress in Nuclear Energy, Volume 53, Issue 5, Article 37, July 2011 (Published by Elsevier)

放射線利用

第5章 放射線の産業利用と先端科学

対談日：平成23年 4 月22日

対談者：岡田漱平（日本原子力研究開発機構 理事）

久保彰人（住友電気工業(株) 常務取締役）

早味 宏（住友電気工業(株) 高分子材料技術研究部部長）

田畑米穂（原子力システム研究懇話会）

町 末男（原子力システム研究懇話会）

5.1 わが国の放射線利用の歴史と展開



田畑氏

田畑） 初期の歴史の話から始める。原子力全体から言うと1953年アイゼンハワーが国連でアトムズフォーピース演説があつて、これで世界での原子力平和利用が始まった。1954年日本でも最初の中曽根康弘氏を中心とした予算要求が出て2億3500万円の予算がついた。1956年には日本原子力研究所（原研）がスタートをした。IAEAの設立が1957年、その後1964年に日本原子力研究所

高崎研究所（高崎研）がスタートして、放射線利用が本格的になった。原研が発足した頃、放射線高分子研究協会（放高研）があり、日本の産業界が中心になって放射線高分子を中心にして放射線利用の研究・開発がスタートした。

町） 放高研はそれは大阪と東京にあったが、いつごろできたのか。

田畑） 放高研は1956年に認可され、57年に大阪研究所がスタートし、58年に東京研究所がスタートした。57年の放高研がスタートした後でIAEAが設立された。1964年になって放高研が発展的に解散、移行して高崎研ができた。高分子に対する照射効果の研究は戦争が終わった直後にアメリカでシスマンボップが、ありとあらゆるポリマーを原子炉にて照射、テストを行ったというのが最初ではないか。具体的な形になってきたのが、



写真 左から 町氏、田畑氏、岡田氏、久保氏、早味氏

M.Doleがシカゴパイルを使って、ポリエチレンの照射を行った。そのときには架橋という言葉あまり使っていない。彼はメカニカルプロパティなどを調べて、明らかにポリエチレンが架橋しているということをはっきり示して、ペーパーを書き、レポートにも出しているので、Charlesbyより早いのではないか。

早味) 架橋といわず何と言っていたのか。

田畑) メカニカルプロパティが非常に変化した。その変化したデータがでた。

町) Charlesbyのほうが早いのか。

田畑) Charlesbyが1952年に論文として大々的に発表した。1952年にポリエチレンの架橋ということ言って、レポートを出した。53年に団野氏(元・原研)たちが、Charlesbyのレポートを日本で紹介したので、初めてそれが日本に入ってきたのは1953年になる。1954年になって桜田先生がミラノで高分子の国際会議に出席し、架橋やグラフトがフランスやイギリスで行われていることを帰国して紹介した。この一年先にCharlesbyの研究が団野氏によって紹介をされているから、これは京都と東京で、どちらが先という論争があることはあるが、雨宮先生と篠原先生が一緒になって、団野氏が1953年に紹介したポリエチレンと他のポリマーを使って、理化学研究所(理研)の加速器で照射の実験を始めたので、これが日本における放射線高分子研究の最初だったといえる。桜田先生と岡村先生は、桜田先生が1954年にイタリアにおけるシンポジウムで得た知見を元に重合とグラフト

の研究をスタートさせた。それで篠原先生と岡村先生の間に論争はあるが、私は篠原先生のほうが早いと思う。やっている仕事はそれぞれ分担している。片方は加速器を使ったポリマーの照射効果、もう一方はコバルト60を用いたガンマ線重合系の研究を行っている。

町) 「放射線と産業」は放射線利用振興協会が出している本に書いてあるのか。

早味) そんな歴史があるのですね。

久保) 架橋には電子線加速器を使ったのか。

田畑) イオン加速器を使った。

久保) 面白いですね。

田畑) これが世界における放射線化学の始まりだ。Charlesbyがやったのが報文で日本に伝わり、1954年に日本において放射線化学の研究がスタートした。

早味) イオン加速器のイオン種はなんだったのか。水素か。

田畑) ヘリウムだったと思う。1954年は私にとっては非常に印象に残っている。



町氏

町) 私が学生の頃に桜田先生と岡村先生がシャピロ (Chapiro) とマガー (Magat) を日本に呼んだ。お二人の放射線グラフトの講演を京大の楽友会館で聞いて感銘を受けた思い出がある。

田畑) 桜田先生は1954年にイタリアの国際会議に出て、Magat教授のところに訪問されている。それでフランスでどんなことをやっているかよく見てこられた。1958年だったか、Magat教授は2

度目に日本に来られた時、東京大学でコバルト60の見学をされている。

町) 日仏協力の始まった頃はMagatもその日本での会議に出席しておられた。

田畑) 国際会議関係は、放射線プロセスでいうとIMRAP (International Meeting on Radiation Processing) が有名だ。このスタートは1976年Morgansternによって提唱された。我々も相談に乗ってほしいということでSilvermanとかStannett、Ballantineそれと私、Chapiro、Charlesbyが下相談をして、事務局はSilvermanがやった。彼がプロシーディングを印刷

したものをまとめた。1976年に一回目をプエルトリコでやって、その2年後にマイアミで行った。3回目は日本で開催した。

町) 会議開催の資金お金集めや多くの事務的な作業をほとんど原研高崎研でやった。ドブロボニクでやったIMRAP会議のときには住友電工の東野社長さんが放射線利用の産業利用に成功した業績で受賞された。私も推薦人の一人だったので、東野さんが立派な絨毯を貰われたのをよく記憶している。

田畑) あの時は日本から日本原子力産業会議が派遣し、東野さんが団長で、私が副団長だった。IMRAPの話は今でもずっと続いている。これは2年間隔でやる。遅くスタートしたがIRaP (International Symposium on Ionizing Radiation and Polymers) が2年おきに丁度間に入ってやっている。これも高分子の照射効果が中心だ。日本では放射線プロセスシンポジウムで1985年にスタートしている。原研の皆さん、産業界の方からも希望があって、私と石樽教授が2人で始めた会議だ。それから1986年Rad Tech Conferenceがスタートした。これも石樽教授と私が言い出して始めた会議だ。大線源の工業利用に関するIAEAの国際会議第1回が、1959年にワルソーで開かれた。日本からも参加していると思う。1963年にザルツブルグでIAEAの主催で大線源の利用に関する第2回の国際会議（ザルツブルグ会議）が開かれた。原研東海研究所から百田さん（その後東北大学に移って東北大学の教授になられたひとで、加速器をやっていた）、高崎研から堀田さん、京都大学の岡村先生の代理で吉田宏さんが、スウェーデンの留学先から出席した。それと私が出席し、4名が日本から参加した。これは非常に大きな会議だった。このときに話題となったのが放射線プロセスの関係で、Dow ChemicalのHarmerさんのエチルブロマイドの放射線による合成で、これが放射線による工業プロセスの世界で最初の例だといわれている。

町) この利用はその後どうなったのか。

田畑) 何年か続いた後にやめたのではないか。住友電工さんの法貴さんと辻さんより、住友電工よりのペーパーを読んでもほしいと頼まれた。ポリエチレンの放射線架橋だった。NSタイプの加速器、ロータリーのスイッチング

方式の大型加速器を使って、ポリエチレンのケーブルを架橋するプロセスで国際会議に出すということで、とても張り切ってペーパーを出された。私に代読してくれといわれて持っていったが、会議の主催者たちが代読はだめだ、と断られた。本人が来ないと駄目と、結局読まなかった。この会議で私も座長をさせられたが、住友電工から出されたペーパーは、産業界から出てきたということで非常に期待されていたので、残念に思っている。

町) 住友電工での実用化は何年か。



久保氏

久保) 電線ケーブルの照射という意味では1971年
がスタートだが、関西の熊取ではチューブの関係
は1964年となっている。

田畑) 1963年にペーパーで発表して。

町) 高崎研ができた頃には実用化していた。

久保) 製造だから実用化では。

田畑) 話はわかりやすい。1963年にすでにペーパー
になっていて、1964年に商品にしたという。実用

化がそういう意味で早い。

早味) 日新電機さんと一緒に開発した加速器を利用している。

田畑) 機械的に回転して、スイッチングを繰り返す。特徴のある非常に大きい加速器だ。私も見学をしたことがある。歴史の大筋はそのようなことになる。

田畑) 東京での第3回のIMRAPでは、高分子学会と原研で事務局を引き受けてくれた。

町) あの頃の高崎研の事務の今井氏(後に原研理事)が一生懸命やった。

田畑) 今井さんと森さん。森さんは事務局長だった。

田畑) (森さんは) 高崎研にいた、しばらく。彼が中心になって、今井さんも参加され、高分子学会からも出向があり事務局を構成した。というようなことが、歴史的なことだ。熱収縮チューブ、発泡ポリエチレンとか、この辺がきっと住友電工とか町先生から説明があれば。

町) レイケム社は産業界の中ではパイオニアとして価値があった。細い熱収縮のチューブとかをやっていた。

久保) 大きい会社で太いものをやっていた。

町) 住友電工もこういうのを参考にしたのか。

久保、早味) 住友電工はどちらかといえば細いほうを一本化してやっていて、レイケムさんは結構太いところが強い。

田畑) レイケムは石油の輸送パイプで、地上に出るパイプの溶接部の腐食を防止するための熱収縮シートを大々的にやっていた。

久保) 防食用だ。今でもトップシェアだ。収縮チューブは世界の、グローバルトップシェアだ。現在はタイコ(TYCO)という会社の傘下に入っている。買収された。

町) セキスイ化学などは発泡ポリエチレンを、発泡ポリエチレンは日本がパイオニアだ。

田畑) 東レとセキスイ。

久保) 古河電工さんがやはり発泡ポリエチレンを、車用の断熱材とかそういうところに使う、照射を使った発泡ポリエチレンは古河電工さんが電線業界の中では一番盛んだ。

町) 発泡ポリエチレンは日本がパイオニアだ。

田畑) セキスイの関根さんが一生懸命で。

町) その当時、高崎研ができた頃は産業界がものすごく熱心だった。今の田畑先生の話のように。私は高崎研ができた時に入所したが、ポリエチレンのプロジェクトには宗像初代所長が特に熱心で、ポリエチレンのメーカーがみんな参加した。三井化学、住友化学、三菱油化、昭和電工など多くの会社が研究者を高崎研に派遣してくれて、一緒に放射線重合でポリエチレンを作るという大プロジェクトを進めた。しかし、残念ながらこの開発研究は最終的には実用化できなかった。得られる放射線重合ポリエチレンは、それまで無かった中密度のポリエチレンで、純度が高く、誘電損失が非常に低いなどの特徴があったが、値段が高いことが大きな理由の一つで産業界が取り上げる事にならなかった。

田畑) 製品は触媒切片が入らない、非常にピュアなものであった。

町) 電氣的性質はすごくよかったのだけれど、実用化に至らなかった。そのときの民間の貢献はすごく大きかった。

久保) 放射線重合ではまさに田畑先生のフッ素と。

町) 田畑先生のフッ素のほうが実用化に近かった。

久保) フッ素とアルケンとの共重合体の開発というのは産業界に非常に貢献した。

田畑) アフロンとアフラスは実用になった。

久保) 非常にインパクトがあった。

町) 四フッ化エチレンとプロピレンの放射線共重合は田畑先生と高崎研の共同研究で私が室長として担当していた。

田畑) アフラスのほうは小島さんが派遣されて、

町) 放射線重合で開発された新しい高分子などでも、他の触媒法などでもつくれる場合には、そちらの方法で実用化される例がある。誘電特性が良いなど放射線法でつくったものにしかない特徴があることが望ましい。

岡田) 誘電損率が低いという特徴は、昔は「売り」にならなかったかもしれないが、いまは「売り」となる可能性がある。そういう付加価値のあるものを、もういちど見直し、発掘することも考えてみる価値がある。

田畑) 他にも沢山ある、そういう見直すべきもの。

町) 見直すのは非常に必要だ。

田畑) そのときの環境が適してなかったので、応用まで行かなかった。だけれど30年、50年経って、環境、周辺条件が変わり、これは物になる、というのが出てきている。

町) それは非常に大事で是非実行すべきだ。

岡田) いろいろな使い方が違ってくる。産業界が視点を変えて見直すことは必要かもしれない。

早味) エチレンの重合の線源は何だったのか。

田畑) コバルト60でパイロットの装置。

町) コバルト60だ。圧力400キロの高圧でやったから、壁の厚い圧力容器の中で反応していたから電子加速器はとても通らないからコバルトしかなかった。

岡田) 研究所だが、開発試験場といわれた。

町) その当時はパイロットプラントを用いた工学的研究を中心に民間と連携

してプロジェクトを進めた。宗像所長（当時）実用化を目指す研究が高崎研の使命であるという明確な考えを持っていた。



早味氏

早味） それは触媒も何も使わずにできるから、非常にクオリティの高いポリエチレンができるわけだ。

町） ガスから固体ができてくるわけだ。電子顕微鏡を使ってその過程を調べる研究そのでき方の研究もやった。

岡田） 宗像所長がラジカルをバケツいっぱいもってこいといわれた。

田畑） 先駆的な仕事は、工業技術院出身の武久氏が中心になってやっていた。

町） 当初は駒込の放高研で実験していたが、高圧のエチレンにガンマ線を照射しても全く重合しないなど苦労があった。よく調べたら、ごく微量の不純物の酸素が邪魔をしていた。

岡田） ラジカルを食っちゃう。

町） 本当に純粋なものを川崎まで行って日石から貰ってきて、それでやったものすごくよく重合した。そういう思い出もある。

田畑） 熱収縮チューブ、発泡ポリエチレン、ラジアルタイヤ、電池。

町） 塗装は何年ごろから実用化したのか。

田畑） これは次のところに出てくるから、ラドテック研究会ができる頃。

早味） 新日鉄のEB鋼板というのが。

田畑） EB鋼板と、その前が瓦を九州でやっていた。非常に早く実用化した。

早味） 今も高速道路に入ったら横に白い板がずっと張ってあるが、たぶんEB鋼板が張られているのではないか。

田畑） そうらしい。非常に耐汚性がよいし硬度も高く、耐衝撃性も高い。

早味） EB架橋モノマーの中に酸化チタンとかが入れられているのだと思う。

田畑） 最近はいろいろなことをいろいろな企業がやっている。前述したように日本ではラドテック研究会があり、UV・EBで160社くらいが入っている。

早味） 住友は大阪での会合のみ行かせて貰っている。

田畑） 他の研究会と比較して、産業界が非常に力を入れてきている。

早味) UVをやられている方も一緒になってやっているのです。

田畑) UVのほうが実は多いと思う。EBはだんだん出てくると思う。前に述べたように、EB研究会は1986年にスタートしている。

早味) UV・EB表面加工研究会、今は。

田畑) ラドテック研究会。



岡田氏

岡田) 補足したい。政府はどうだったか。昭和31年（1956年）原研が設立されたときに原子力局長（佐々木義武氏）が、衆議院の科学技術振興対策特別委員会で説明をしている。原子力の中にエネルギーと放射線利用があり、まずはエネルギーの問題の解決をと。2番目にアイソトープと高エネルギー放射線利用の緊急性ということで、ここで取り上げられている。

その中にも化学反応機構の解明とか、人体および動植物の生理機構の解明、土壌改良、施肥法、突然変異も言っている。合成樹脂、合成繊維の品質改良、非破壊検査、このときに網羅的にいっているのを、この線に沿って大体進んできた。

町) 原子力基本法にもとづいて、最初の原子力長期計画ができたときにすでに平和利用の両輪として原子力エネルギー利用と放射線利用が明記されている。

岡田) 原子力基本法では言っていない。原子力委員会の原子力長期計画で二本の柱と言っている。基本法で出てくる放射線というのは、放射線障害防止法やそういうものに関係してくる。これに従って日本はやってきて、先生の説明にあった大先達の方々のいろいろなご努力で、平成17年度の経済規模の調査結果だが、原発などのエネルギー利用が4兆7000億、これに対して放射線の農業利用、医学利用、工業利用もそれと同じくらいだ。こんな風に現在のところ発展してきた。定量的なデータだ。

田畑) 工業利用がこの中で2兆3000億円くらい。

岡田) 一番多いのが半導体、工業利用の中の、イオン注入。

田畑) 原子炉に入れて中性子の照射か。

町) シリコンへの中性子のドーピングも含まれているのか。LSIのための電子線リソグラフィも大きい部分をしめている。

岡田) リソグラフィとイオン注入。

田畑) ドーピングは別なのか。

岡田) ドーピングも入っている。

田畑) それは結構大きいと思うが。

町) 日本は炉の照射の能力が少ない。

田畑) だから、外国に頼んでいる。

岡田) 日本の産業規模になっているので、入っていると思う。

田畑) それは当然入っている。フランスのオシリスを使っているのではないか。そろそろ廃炉にするかもしれないが。

岡田) 韓国のハナロとか。

町) オーストラリアのオパールが大きい容量をもっている。

岡田) これはオフレコなのだが、いろいろ今で言う事業仕分けとか特殊法人改革とか、平成13年あたりから、小泉内閣のときからうるさく言われて、なんで原子力の研究所で放射線やっているのかと、お役人が言う。だから、あなたたちの大先輩が言っているではないかと。それで調べた。

5.2 未来の発展に向けての課題

田畑) 日本の中核的な組織の一つはEB・UV研究会で、中核企業がほとんど入っている。160社。この特徴は、ケミストリー、加速器とUV線源およびプロセスを横断的に結び一体になっていることで、極めて特徴があるグループだ。

町) 私は環境ということ考えたときに、従来の塗装法だと有機溶媒がかなり出る。それに蒸発させるエネルギーもいる。それに対して、電子線法は非常に環境にやさしいのではないかと。こう思っているが、そういうことはあまり強調されていないのか。ニーズはそういうところにあると思うが。

早味) おっしゃるとおりで、工業的にはUVが大きくなっている。

町) UVとEBでは飛程が違う。

早味) 設備は安い、UVのほうに偏っていることが現実としてはあるが、原理は非常に似かよっている。

田畑) いま表面加工の特徴のことについていくつか言われたが、それは今でも変わっていない。スタートしたのが非常に早くて、1960年の末くらいにはスタートしていた。あの頃から表面加工はEB・UVによる特徴的プロセスと、言われていたが、今でもその特徴については変らない。

町) 今はその当時に比べると環境問題とかエネルギー問題が、昔に比べると厳しくなっているから、電子ビーム塗装法のニーズが高まっている。UVの飛程は短いので、厚みのある塗装は電子線でないと出来ないなどの特長を生かして利用すべきである。

田畑) 顔料を入れたら無理だとか。

町) そうすると電子線法のメリットが生かせる場所は沢山あると思うが、そうではないのか。

早味) 厚みのあるところとか、顔料が沢山いるところとかはEBが生きてくると思う。でもあまりEBとかUVとかいう区別をするのではなくて、両方とも放射線プロセッシングを考えたら、それでいいのではないかと思う。

町) 紫外線も放射線。

田畑) 多くのプロセスはEBとUVをコンバインしている。一つのラインの中でEBもUVも使う。EBは今後そういうことで伸びるだろうといわれている。

町) それが私は気になっている。

岡田) (加速器を) いかに安く、それと国の許認可の緩和、合理化というか、そういったものがないと、それがあればUVと拮抗してきて、深くまで行くとか、ド・ブロイ波長が短いとか、電子ビームの特徴を活かすことができる。

町) 許認可が1 ミリオン以下はいらんはず。そうすると表面塗装は300keV以下だからいらんはずだ。

早味) 最後に申し上げようと思っていたのは、最近、超低電圧加速器というのがでてきている。数10キロボルトが出てきている。非常に小型でコンパクトなものが出てきている。

町) 安いのができているか。

早味) まだ安くはないが、それが安くなると工業的利用がUVに取って代わ

る可能性が出てくるであろう。

田畑) 今言われた低いエネルギーというのは、ハンドリングがかなり難しい、ウインドウの問題だとか、間の空気の問題だとかで。それをきちんとコントロールすることが重要だし、できると思う。そうすると非常に薄い面で、しかも傾斜材料みたいなものも十分可能になってくる。デプスドーズプロファイルに基づいて非常に薄い塗膜で表面と接着面が非常に違ってくる。

早味) 表面は架橋しているのだけれど、内側は接着面であるという使い方ができる。

町) 接着面はあまり架橋しないほうがむしろいいのか。いま50keVの加速器というのはどこが製造しているのか。岩崎電機とか。

早味) 岩崎さんとか浜松ホトニクスさんが作っている。鷲尾先生が浜ホトさんと一生懸命やられている。

町) 商業的に売られているのか。

早味) 商業的に売られている。

田畑) 技術的に難しいが原理的にはできるから、当然できると思う。非常に難しいというか、容易ではない。最近はナノテクノロジーで細かいところをきちんとやっているから、それはできないはずがない。

岡田) 特に電子は荷電粒子なので、光と違い、収束ビームにしたり、曲げてライティングマスクなしでライティングができるので、ナノテクの必要性が高まれば。

町) 表面塗装は今後増えてくる。

田畑) 増えてくる。特徴を出して先端的技術に対応できる側面もある。

町) 塗料が高いということはないか。

早味) 一時はフロッピーディスクをTDKが一時商品として出していた。フロッピーディスクそのものが無くなってしまった。磁性体が入っているものを塗料にして固めて使った。

田畑) 放射線滅菌ではどんなものが。

町) ここで言いたかったのは、飲み物のペットボトルの殺菌をEBでやりだした。1分に600本という高速処理ができる。それまではオゾン水で滅菌してそのあときれいな水で洗って、非常に煩雑な工程でやっていたことが、

照射するだけでできてしまうから効率が高い。

早味) 何グレイくらいあててるのか。

町) どのくらい当てるか、これは滅菌だから25kGy程度以下だと思う。

田畑) 2.5メガはマキシマムだ。

岡田) ポリマーが分解するほどではない。

町) 日本では食べ物の包装材、電子レンジへ入れれば暖めて食べられるというご飯の包装材とかの放射線滅菌をやっている。医療用具の放射線滅菌はもちろん一番今までに広く使われている。

田畑) 食品関係は是非広げたいが、微妙なところがあって、照射フィルムと食べるものとの関係で全く放射線による実害はないけれども表に出さない。

町) ペットボトルの電子線滅菌は業界新聞には出た。一般の新聞ではなかったが。

田畑) 産業界は風評被害を恐れて非常に警戒感が強い。

町) パブリックアクセプタンスがまだ課題に依然としてなっているかどうか、住友電工さんにお聞きしたかった。

早味) 医療用具の滅菌とかは実際に使われている。エチレンオキサイドの残留問題が影響がある。

田畑) よくCharlesbyが食品照射と放射線滅菌の話をしょっちゅうしていた。注射針は血管に刺す。注射針に放射線を当てるが、受け入れられている。しかし食品照射は全然受け付けないのはどうなっているのかと。もう一つは、血液を輸血する前に放射線を当てている。

町) 輸血の際の拒否反応をなくすために。

田畑) 放射線をそんなに身近に使っているのに、食品照射はだめだと言う。血液への放射線の使用は多くの皆さんは知らないと思います。

久保) ほとんど知らない。輸血。

岡田) 今回の福島第一原発事故（2011年3月11日）で、私どものところで健康相談ホットラインをやっている。いろいろなところから相談を受けているが、放射能と放射線の区別がわからない。車を運転していて放射線を一旦浴びると、放射能を帯びてしまうと思っている。いくら除染しても残っているのではないかと。

田畑) 福島県の車はお断りだとか、転校してきた学生は隣に来てはいやだと、そういう話になっている。

久保) これを機会に見直さなければいけない。私ども栃木で電子線関係をやっている。福島第一が原因でバックグラウンドレベルが上がった。市役所から連絡が来たみたいで、住友で放射能を漏らしたのではないかと。実は停電で全く電子線関係ができなかった。一般ではそれすらも区別が付かない。わからない。

久保) 一般の高校まで放射線など一切教えない。

田畑) 今度教育指導要綱に初めて入ってきた。そのことを有馬先生が強調していた。

町) 住友電工さんが耐熱電線を電子線で作っているということを別に秘密にしていない。けれど、タイヤメーカーではタイヤを作るときに放射線を使っていることをできるだけいわないでくれと言っている。我々はラジアルタイヤを作るときに電子線プロセスを使っていると言うのだけれど、彼らは決して言わない。

早味) それは人によるのではないか。

岡田) 電子線だったら良い。

久保) 我々は言い方としては放射線と言わず、電子線と言っている。テレビの大きいのだと。

岡田) 創傷被覆材に書かれているがニチバンの製品に高崎研で電子線照射で開発された商品だと書いてある。電子線だったらいいが、放射線は悪いイメージが。

田畑) エレクトロンビームは良いのだろう。

岡田) それで私ども研究所では量子ビームと言って使っている。大先輩には放射線というのをちゃんとと言わないと、という方もいらっしゃる。

田畑) 量子ビームは紫外線やレーザーなどいろいろなことを含めている。包括的な意味で良いのではないか。

町) 量子ビームの方が放射線より受けがいいのだろう。

岡田) いろんな所に量子ビームの学科などができている。

町) 東大が量子工学と。

田畑) いつかカナダの放射線化学者Freeman教授に量子工学、カンタムエンジニアリングということをやったら、いいな、それはいい名前だといった。Freeman教授がえらく感心していたことがあった。

田畑) 滅菌については如何か。

町) いまでも滅菌はコバルト60のガンマ線で殆どがやっている、70%くらいは。ところが今コバルト60の入手が難しくなっている。一つは運送する船会社が嫌がって輸送しない。だからコバルトが日本に入っていない。これは半減期が5年くらいだから、その代わりに電子線に変えていこうという動きがある。テルモとかそういうところがはっきりと言っている。それが一つの傾向だ。加速器だとエネルギーが10MeV以上とかなり高くないと内部まで十分に照射ができない。両面から照射することも必要になる。また電子線をエックス線に変えて使う方法もあるが、変換効率が悪いという技術的な課題がある。このような問題に対応する研究が必要だが、行われていない。

岡田) エネルギーの高い加速器が必要になってくる。そうすると許認可の問題が出てくる。本当にうまく遮蔽の仕方とかを工夫して、国に納得して頂かないと。

田畑) エチレンオキサイドによる滅菌と放射線滅菌の比率は？

町) この間きいたら意外にエチレンオキサイドが残っていて、日本は40%くらいがエチレンオキサイドだという。

田畑) アメリカもまだ結構残っている。

町) その40%のエチレンオキサイド法の場合その有害ガスが医療用具に残留する危険性がある。そういう意味でも放射線の方がずっと良い。

田畑) それから排ガスと排水の浄化、これは町さんが非常に関与されている。スタートは荏原と高崎の共同研究ということで、荏原の方が言い出され、世界に先駆けてこういう技術を高崎研で確立されて。世界的に普及される努力を町さんが随分やられた。

町) 荏原が高崎研究所に持ち込んできた。そのときは亜硫酸ガスがとれることは分かっていた。小さな実験装置で、流通系ではなくバッチでやっていた。それで高崎研でぜひ大きい規模の流通系で試験して欲しいという話があっ

て、高崎に重油を焚くボイラを付けて排ガスを作って流通系でガスを連続的に流しながら電子線を照射をした。そのとき初めて窒素酸化物も同時除去できることが見つかって、国会にまで報告されたくらいだから、新しい技術として注目された。

この結果が世界の研究者にも注目されて、ドイツ、ポーランド、中国、アメリカなどで研究が始められた。ポーランドが目をつけた。エネルギーの大部分が石炭から作られているポーランドの原子力研究所では、キメレフスキーが中心になって、高崎より大きいパイロットプラントを建設し、工学的な研究をした。

一方、日本では荏原製作所がやはりパイロットプラントを藤沢に造って、それで高崎研と協力しながらやっていた。高崎研では工学的な研究と同時に基礎研究をして、反応のメカニズムの解明をした。多くの人が協力していい成果が上がった。

日本で実用化は高崎研、荏原製作所、中部電力を中心に科学技術庁（当時）の応援ももらって進められた。大型のパイロットプラント試験に成功し、その結果に基づいて、中部電力が荏原製作所と協力して30万kWの重油発電所の排ガス処理のできる世界最大の実用機を建設した。大量の排ガスを照射するために500kWというそれまでなかった大容量の電子加速器を専門の会社が製作し設置した。試験運転は順調に進んだが、長時間の連続運転を行うと加速器に高圧・高電流の電力を供給する電源が故障し、2年間近く再三改造を試みたが、長期運転に使用できる電源の製作が出来なかった。そういう経緯があって日本では実用化ができなかった。ポーランドと中国では日本のほぼ半分の規模で、工業用プラントを建設し、長期運転と実用化に成功した。

岡田） 特殊な加速器だったか。

町） 特殊なことはないと思うが、電源にはガス絶縁と油絶縁があるが、日本では油を使っていたが、ガス絶縁の方が安定性が良いという意見もある。今後大型で長時間運転可能な加速器の開発が大事だと思う。

田畑） 今の環境に関連して、排煙は中国でたしか2か所やっていたのだけ

どその次の計画でもあるのか、それからブルガリアでも計画していたというが、その辺はどうか。

町) 中国は2基実用化した。もっと大きい3基目を北京の郊外に建設した。それは私自身も見に行った。このプラントでも500kW以上の大型加速器を使う計画で、ロシアから輸入する事になっていたが、結局、加速器製造が計画どおり進まず、中国の3台目は中断した。

ブルガリアは私がIAEAにいた時代にブルガリア政府の要請でパイロットプラントを造った。ブルガリアの石炭は非常に質が悪い。排ガスの中の亜硫酸ガスが5000ppmというべらぼうに高い濃度なので、先ず、パイロットプラントで試験し、実用化したいという。パイロットプラントの運転とその結果は大変良かったが、資金問題などもあり、まだ、実用化していない。現在も電力会社の一つがソフィアの近くの石炭火力発電所で、実用機を設置する計画を持っている。

今サウジアラビアのサウジアラムコという非常に大きな石油会社がこの電子線排ガス処理技術を使おうという計画がある。サウジアラビアのハイサルファの石油を燃焼利用した排ガスの脱硫・脱硝に利用する。IAEAがコンサルタントとなっている。

田畑) 化石燃料はCO₂の排出が問題。世界的な環境保全という観点からいった時に、SO_x、NO_x処理の問題というのは、相対的にCO₂との関係はどうか。

町) CO₂は温暖化を引き起こすし、亜硫酸ガスは酸性雨の原因となり環境を破壊する。で両方とも防止対策が必要だ。特に中国は国土の三分の一が酸性雨で汚れているといわれている。炭酸ガスによる温暖化問題は中長期問題として非常に大事だけれど、もっと近い将来の話としては酸性雨問題の解決は依然として重要である。東欧では湖が酸性化し、森林もかなり破壊されているという現実がある。

田畑) SO_x、NO_xについては非常に重要だということを常に言っているが、ほとんど広がらない。

町) それは従来法との競合がある。従来法は石膏石灰法と言うのがある。水酸化カルシウムによって中和して亜硫酸ガスをとる方法だ。この場合、硫

酸カルシウムが副生する。これは石膏だ。NO_xは高価な白金触媒を使って、アンモニアを入れて還元する。この2つのプロセスを組み合わせる方法が広く使われている。電子線法だと肥料が副産物としてできるという大きな違いがある。石膏石灰法の副産物の石膏はポーランド、ブルガリア、中国では廃棄物となっている。電子線法の実用化が広がるためには長時間使える大型加速器製造技術を確立する必要もある。

田畑) 今の話に関連して、硝安とか硫安とかができるけれど、それも限度があって余り使うと土地が酸性化する。それも問題だと。どんどん作って肥料として使えばいいという話は通るかということと必ずしもそうではない。

町) 両方の方法それぞれの特長を活かして適切な割合で利用することが必要だ。ただ、硫黄という成分は植物の成長には欠かせないので硫安肥料は不可欠だ。

田畑) 限界があるというか。

町) 排水処理への電子線利用は韓国が非常に進んでいる。高崎研では40年余り前が桐生市の染色工場から黒色の染色廃液を持ってきて、ガンマ線照射すると色がきれいに取れる事は見つけていた。だが、必要線量が大変大きかったので経済的にペイしないとあきらめた。

ところが韓国は十数年余り前から研究を始め、電子線照射をした後で微生物による生物分解法とを組み合わせることで線量を大きく下げる事に成功し実用化を達成した。私はIAEAにて応援した。現在、日量一万立方メートル規模の実用機で染色廃液を処理している。

田畑) これは水系で良く溶けているというのは間接効果というかセンシタイゼーションというか、水に放射線が当たって活性種ができて、非常に微量な染料に対して効果的に作用する。色を消すのに増感効果が使われている。

町) 排ガス処理の場合も水分子に電子線が照射され、放射線分解で酸化力の強いラジカルができて、それが実際に亜硫酸ガスを酸化している。排水処理の場合も同じ原理である。

田畑) 次は機能性高分子の関係を。

町) この分野は高崎研で一生懸命やってきている研究だ。

早味) イオンビームの話で放射線と工業というところに、生体親和性の材料

をイオンビームでこしらえるというのがやられている。これはポリスチレンにネオンのイオンビームを当てるとその部分だけ細胞が増殖するとか、あるいはその反対であるとか、というものがやられているのと、それと生体になじむ材料、細胞本来、ただPTFEになったら生体と絶対にくっつかないけれど、イオンビームを当てることによって生体と非常に馴染みやすい接着しやすいような材料になって、たとえば人工硬膜が臨床的に使われているとか、そういうところの利用は、これからの将来技術として絶対……。

町) どこが研究しているか。

早味) これは理化学研究所の小林先生が「放射線と産業」誌の2009年No.123の23ページに書かれている。

町) 実用にはなっていないのか。

早味) これは硬膜として臨床で使っている、髄液が漏れないようにするというようなことで。

町) 原料はテフロンか。

早味) エキスパンデッドテフロンを使っている。多孔質テフロン。当社のパワーフロンもそう。そういうことをやったり、あるいはまさに田畑先生のところの大島先生のイオンビームでフッ素を直接微細加工する、リガという方法が当然あるわけだが、フッ素になるとリガの適用が難しくなるということで、イオンビームで直接形のあるものをこしらえる、非常に細かいものをこしらえる。そういうものがイオンビームの利用だ。ナノインプリントも勿論そう。イオンビームとかリソグラフィの。最近これを見て感心していたのは斎藤清先生のグラフト、昔からずっとやられているけれど最近では2段グラフトということをいろいろされていて、根本につけるグラフトモノマーと、先端につけるグラフトモノマーの種類を変えると、いろいろなものの分離が非常に効率が上がるとかいう研究をされていて……。

町) 斎藤先生とは千葉大学の教授ですね。

早味) はい。

田畑) ヨードや何かの分離ができるという……。

早味) 例えば実際にオリンピックの選手のドーピング検査に、血液を調べて、

タンパクは外にすぐ出て行くけれど、ドーピングで代謝される物質はグラフトしたモノマーの所に吸着されるので、この選手はドーピングをしているかどうかすぐ分かるという。グラフトというのは古い技術だが、見方を変えていくとあるいはやり方を変えていくとまだまだこれから新しい利用方法が出てくるのではないかという風に思う。

田畑) 同じポリマーに同じモノマーをグラフトすると結構面白いと思う。そういうのはあまり無いが。そういうアプローチもある。

早味) 原研の燃料電池のイオンの話とかは新しい。日新電機さんもこのようなグラフト重合を使った水のイオン吸着剤で、水の中のいろいろなイオンを取って配管の中を洗浄しなくてもいいようにするとかに使われていたり、イオンビームの応用とか、グラフト重合の新展開ということと、先ほどお話しした超低電圧エネルギーの電子加速器というのはいろいろな技術的な問題があるかも知れないが、UVに対抗しうる、また新しいそういうものができる形成材料ができるということで、恐らく使われてくるのではないか。

田畑) 去年とその2年前のIRaPに出たときに聞いたが、荏原の子会社の研究者によれば、水の洗浄のための膜を、放射線グラフトで低エネルギーの加速器が2台を使って連続で照射をして製造しているとのことである。

早味) まさに低エネルギーが向いている分野だ。

田畑) 表に出てこないけれどもいろいろなところで、やっていると思う。

町) 高崎研はご承知のとおり一時やったのは海水からウランを吸着することをまさにグラフト物を使ってやってきた。かなり大掛かりな試験までやったのだけれど、値段が高いために実用化にはなっていないが、岡田理事が一番新しいことを知っていると思う。

岡田) ガンマ線や電子線を利用した橋かけ技術により機能を付与した資材を開発して、環境中に希薄に存在する有用資源を回収する技術開発を行い、海水中のウラン捕集に成功している。他にレアメタルの問題が非常に重要で、備蓄が60日分と本当に少ないので、輸入が途絶すると困る。これを日本が自前で何とか捕まえることができないかということ。

田畑) バナジウムなどがずいぶんあるというのではなかったか。

岡田) バナジウムは温泉水から取る。

町、早味) 電子線グラフト吸着材を利用して、バナジウム、スカンジウムを温泉水から回収する研究を高崎研が進めている。

岡田) 海水からのウラン回収コストはスポット価格と比較して3倍（3万2千円/kg-U、スポット価格は\$46.5/lb-U3O8（2010年9月27日現在））、これからウランが高くなってくると、吸着剤の耐久性を高める研究もやっているが、それをあわせると経済性もあうかもしれない。

田畑) レアメタルを一緒にとってやれば、ウランを単独で採取して他を捨てる場合と比較すれば経済的には非常によくなる可能性がある。

岡田) 漁業補償はこの価格の中に入っていないので、そこらへんをどう解決するか。技術的には大分いいところまで来ている。

温泉水ではスカンジウムの回収をやっている。スカンジウムはわざわざ取るということではなくて、ウランなどを取ったついでに取れるものらしい。スカンジウムの価格は需要でかなり変るので、経済性とのからみがある。

田畑) レアメタルを中国で禁輸したということは良く知られているが、レアメタルはそろそろいろんなところから（輸入を）考えたほうがいいというのは一般的な方向だ。

岡田) 多様化しておかないといけない。

田畑) 多様化しておかないと、いざというときに困ることになる。

町) 草津温泉の温泉水からのスカンジウムの回収は現在は、小型のパイロットプラントでやっていると聞いているが。

岡田) 本当に小規模な実験装置だ。

町) これからの計画実用化に向けてスケールアップすることになっているか。

岡田) そこまでには踏み切っていない。経済性の問題とか、いま基礎実験の段階で。

町) 民間会社が少しは研究費を出して、大型パイロットをやろうか、というのは出てこないのか。

岡田) レアメタルの価格次第だ。金属捕集だが、半導体の洗浄液から金属を除去する技術は実用化になった。半導体を洗うのにその中に金属が入っていると、半導体にコンタミが起こるので、非常に高純度にしないといけないということで、微量のものを採るのにこのグラフト重合体を使って、

これは実用化になっている。そういった用途開発も重要ではないか。

田畑) 原子力発電所で使う水も本当にppbレベルのピュアな水にしないといけないらしい。例えば東芝とか荏原とかがやっていると思うが、荏原の話によれば放射線のグラフトで作成したイオン交換樹脂を使うと格段にピュアな水ができるという。

岡田) いまこのグラフト重合でつくったものを、いままさにセシウム、ストロンチウムが取れないかをやっているが、ゼオライトのほうが有利のようだ。

田畑) 3つある。ゼオライトと凝集材とイオン交換体だ。濃度とかイオンになっているのかいないのか、別の形態になっているのかでいろいろ違うが、3つをあわせて使うとセシウムはきちんと取れると思われる。福島の問題ではセシウムをとることが最も重要なこと。それがとれば水も捨てられるし、循環して使ってもいいし、そうすれば曲がりなりにも冷やしていればいいわけだから、そこがキーポイントだと思う。

町) フランスの技術を入れるというわけだ。日本にも使える技術があると思う。

田畑) のんきな話で、時間がかかり過ぎている。国難なのだと政府は言っているのだから戦時体制であらゆる力を集中してやればよい。早急にやる必要がある。

岡田) 今高崎ではいろんな材料の照射を、原発に絡んだ材料の照射を即日やっている。問題が出てきたらその日のうちからコバルトや電子線の施設を使って……。

田畑) ポリマーを放射能のある核種の飛散防止のために撒こうとしている。それとセシウムの吸着、これも検討している。

田畑) セシウム吸着には我が国には実績を持っている人々がいる。ああいう人たちを使えばいいののだが。何とか急いでしないと駄目だ。

5.3 新量子ビームの展開

田畑) 新量子ビームの展開は、TIARA、J-PARC、SPRing-8、関西研の研究について、岡田さんの方からまとめて下さい。

岡田) 教科書的な説明になるが放射線や量子ビームの働きは、「観る、創る、治す」、それも原子、分子レベルで観たりつくったり、細胞レベルでなおしたり、と、こういうことができる。観るということについては、超電導機構の解明を行って、これからますます重要になってくる省エネに役立つ高温超電導材料の開発に繋げることなどが重要。つくるについては、例えば、これからの技術として、石油がなくなってくる、そうするとプラスチックが無くなってくるので、石油由来では無いプラスチックの材料としてポリ乳酸の開発、実用化などが出てくる。これには放射線法が非常にいい。

田畑) ポリ乳酸は住友の早味さんがやっている。これは早味さんがずっと昔からやっている。

町) 実用化しているのか。

早味) 実用化はしていないが、ポリ乳酸は確かに放射線架橋がし易い。

町) 架橋すると耐熱性がでるのか。

早味) ある。面白いことに結晶性も無くなり、非常に透明性のいい材料ができる。

町) いま高崎でもやっている。

早味) 吉井先生のところに行かしていただき、金沢君というのが勉強している。

岡田) 観る技術は大事で、今原子、分子レベルで観測して、分子設計する時代になってきていて、SPring-8がいろいろなところで活躍している。ダイハツさんがパラジウム系で半永久的に使える触媒を開発した。いまパラジウムでないのも開発しているが、自己再生機能触媒といっている。ダイハツ以外も使い始めている。SPring-8がメカニズムを解明した。このように量子ビームは、分子設計に役立つ。ミクロの観察の結果実用化につながっている。

次に、中性子の観る技術を使って、物質の界面の構造を調べることによって、レアアースに替わる触媒を開発途中だが、TDKとかトヨタ自動車が共同でやっている。また、3号炉（研究炉）やJ-PARCで、中性子を使ってたんぱく質の構造解析を行っている。新薬の開発では、HIVの増殖を助けるHIVプロテアーゼをブロックする新薬の開発をキリンビールと共同で

開発している。中性子回折という手法を使う。いま3号炉やJ-PARCは地震で止まっているが、これからやろうとしているのはセシウムをとるたんぱく質の開発。これは既にデータがあって、急遽始めている。どうなるかわからないが。

次はTIARA（イオン照射研究施設）で品種改良を、突然変異を誘発し、花のキクで、葉をあまり出さない品種をつくった。従来のキクでは葉を切る手間が大変なので、この経済的シェア、市場は大きい。ヒメイトビという道路などの植栽に使うものでNO_xの吸収能力の高いものも開発した。

医療への応用では、レーザーを利用して、極短パルスレーザーをターゲットに打ち込むとプロトンが出てくる。

田畑) ターゲットはたんぱく質？

岡田) ターゲットは水素を含まないといけない。プロトンが出てきて非常にコンパクトでプロトンの加速ができる。今のところ10MeVくらいの加速だけれど、200MeVくらいまで狙っている。僅かだけれど今のところ50MeVくらいまできている。あたらしい方向のターゲットを用いている。これは将来、小型のがん治療装置を狙ったもの。

町) これはイオンではなくプロトンによるがん治療に応用するのが目的か。

田畑) がんの治療はプロトンかカーボンのどちらかだ。

岡田) 水素エネルギーの利用に役立つ燃料電池膜の開発も行っている。普通の燃料電池膜は日東電工さんで生産ラインに放射線グラフトを使ったものが入っている。自動車用、家庭用となるともう少し耐久性をあげなくては行けない。これも電子、ガンマ、あとイオンビームを使った孔あけ法による。孔あけにはTIARAを使う。

田畑) あれは実用になるのか。イオンで穴を開けてまたグラフトして、理屈からいえば面白いけれど。

岡田) 耐久性の強いものができる。

田畑) 耐久性が非常に重要。今までフッ素系のベースのポリマーを使ってスチレンをグラフトして作成すると、スチレンが弱いものだからあまり長くはもたない。

町) 今高崎でやっているのは別に穴を開けなくて、テフロンに直接グラフト

する方法を研究している。

田畑) スチレンはずっとやっていたけれどあまりよくない。テフロンは架橋しないと耐放射線性が悪いから架橋して、架橋サイトのところにラジカルを生成させ、それでグラフトをさせる。いままではスチレンをグラフトしてスルホン化してやっているから、一応の性能は出るけれどあまり耐久性がよくない。だからそこを今度改良してやっているわけか。グラフトするものを変えて。

岡田) モノマーだけでなく基板の方も変える。

田畑) もう一つは日東電工がやっているのはエチレンとテトラフロロエチレンの共重合体のアフロンをベースにしてやっていると思う。

岡田) それ以外のもので行っているのと、あとは穴あけだ。両方のアプローチで行っている。なにしろ80度とかで何万時間使わないといけないので。

田畑) 日東電工で工業化したというものは具体的に中身は何。

久保) あれはアフロンを使っている。

町) 今、燃料電池はどうなっているのか。

田畑) 住友電工さんがいろいろとやっているのではないかな。

早味) おっしゃるとおりで、スチレンを使うと何を持ってきてもだめだった。「放射線と産業」を見ていたら、原材料にインプラでピークを使うという研究を原研さんでされていることを知った。これはスチレンを使うが。

田畑) ピークをベースに使う。

早味) これはスチレンだけれど、どうなるのだろうと楽しみなこと。

田畑) ピークはラジカルのGバリューが非常に小さいのではないかな。

早味) 小さい。ですから微小性のピークを使って作ってということ、ラジカルが出易くされているみたいだ。これはどうなるか楽しみに見ている。

岡田) それでも耐久性は自動車用になるほどではない。

次は省エネということで超伝導材料、なかなか高温超伝導といっても常温で動くようなものはできないが、そういったものの設計には欠かせない観察として中性子と放射光の両方を使ってやる必要が出てくる。

田畑) 工大の先生が少し温度の高いところで超伝導を示すような材料を、鉛系統か、記憶がはっきりしてないが、一年位前からその話が有名ではないかな。

岡田) 鉄系ではないか。東工大ではなかった、青学大で鉄系がいま有望だといわれている。

町) この物性研究に使うのはJ-PARCか。

岡田) これは今のところJRR-3でやっている。

町) 将来はJ-PARCを使う事でより高度な観察が出来るのではないか。

岡田) J-PARCはもう使い始めている。

レーザーの使い方で注目されているのは核検知技術。去年4月の核セキュリティサミットでオバマ大統領が核セキュリティの脆弱性を4年以内に排除するということを述べたことから、隠匿物質を見つける核検知技術が注目されている。レーザーコンプトン散乱というのがあるが、これは電子線とレーザーを衝突させると電子線のエネルギーが光の方に乗り移って、高エネルギーのガンマ線が出る、というもの。このガンマ線で隠匿物質を光核共鳴散乱法という方法、つまり、入ったガンマ線と同じ波長のガンマ線が出てくるのでそれを観測することによって検出する。物質に特有のガンマ線を放出する現象を使って、プルトニウムやウランを検出しようということで、これはオバマさんと鳩山さんが約束したことで予算がついた。研究の原理実証はできている。

町) このガンマ線がコンテナに入ったプルトニウムかなんかに当たると何が出てくるのか。

岡田) 同じエネルギーのガンマ線が出てくるのを検知する。入れた方向でないとところから出てくるので検知ができる。

町) これは京都大学の太田先生のところとなにか共同でやっているか。

岡田) 京大と一緒にやったり独自にやったりしている。

例えばウラン検出だと350MeVの電子線、そこらへんの領域が必要で、いかにコンパクトな、港とか空港に持っていけるような加速器を開発するかにかかってくる。10年くらいのスケールでの開発になる。

町) スキャンもできないといけない。コンテナが大きかったりすれば全体検査しなくてはいけない。

田畑) レーザーに興味を持っている。短パルス、強力なレーザーはありとあらゆる放射線が発生できる。X線からイオンまで。プロトンが出れば中性

子まで。基礎研究というか研究のために使うことを考えると原子炉の代わりになるのではないかと思う。もちろんポジトロンも出る。

岡田 J-PARC計画だが、残念ながら（3月11日の地震で）すごいダメージを受けていて、たぶん建設関係の人から言わせると1年はだめだろうというが、J-PARCの人たちは遅くとも半年で立ち直らせるといっている。ターゲット部などがずれている。

J-PARCでやろうとしていることは、創薬とかりチウム電池材料の開発。これは産業界が乗ってきている。最近の成果としては基礎的な段階だが、水素貯蔵合金とか、超伝導材料。ビームラインは23本しか作れないが、今18本予算化されていて、バイオから超伝導材料、大型の材料の応力解析、そういった利用計画が立てられている。2008年の産業界の利用は27パーセント。2009年は前後半を平均すると30パーセントくらい。J-PARCは2008年から動いている。

産業での利用を進める中性子産業利用推進協議会がある。会長は新日鐵名誉会長の今井氏（原産協会会長）、あとは庄山氏（日立製作所会長）など、いろんなところが実用化に関係してこれに入っている。そして実際に使っている。

町 茨城県はどのように使っているか。地方自治体が使っているとはユニークと思うが。

岡田 茨城県はビームラインが二つあって、バイオと工業材料。

町 それは茨城県にある民間会社が使っているのか。

岡田 茨城県の民間会社は優先的なのだが、他の人たちにも使わせている。

町 茨城県が枠を取っていて茨城県に存在している産業界の研究に使うときにはこの15パーセントに入っているということか。

岡田 茨城県はまた別だ。茨城という中に産業界が入っている。あとは茨城大学が使っている。茨城大学が県に全面的に協力している。

茨城県は、iBIXというたんぱく質構造解析装置を持っており、これは原子力機構でも使わせてもらっている。また、iMATERIAという材料構造解析装置があるが、これはたぶん大型材料の応力解析をやるものと思う。

田畑 国際協力についてはどうか。

岡田) 中性子利用はそんなに多くないが、素粒子の方は多い。外国人が多い。

田畑) ニュートリノ。小柴さんの提案で。例のカミオカンデに打ち込む実験は進んでいるのか。

岡田) 進んでいた。データが出始めたが(3月11日の)地震で止まった。国際協力といえば、韓国の出店ができて事務所を構えている。J-PARCの近くに。

町) 韓国の原子力研究所ではないだろう。

岡田) 韓国のいろんな研究所が集まって一つの組合というか、東海村に事務所を借りて韓国の研究者が来たときのいろんなお世話する施設。国際センターとしてのJ-PARCがある。これからはいろんなところの国際協力は非常に大事でそのためにいま国際化を図っているところ。施設は立派で来る人も立派だが、インフラが問題で、宿舎が整っていない。東海村の旅館とかは外国人お断りと。なぜかと聞くと英語ができないからという。村長に、生涯学習センターを作るとおっしゃるので、宿舎も作ってほしいとお願いしているが……。それと我々原子力機構の中もいろいろなものを英語化していくとかする事が必要になってきている。

町) 地震が来る前は100人くらい来ていたのか。

岡田) 100人以上来ていた。材料試験炉(JMTR)も国際化を狙っていて、シリコンドーピングとかモリブデン99の生産、ここらへんは定期検査で止まっている間は提供できない。そういうときにうまく国際的に、外国のものを使うような、国際協力のネットワーク作りにとりかかっているところ。

田畑) アイソトープ協会の井戸常務理事が深く、広くかかわっている。

町) この課題にはこれからアジア原子力協力フォーラム(FNCA)が取り組む。文科省の新しいプロジェクトで、「研究炉ネットワーク」というプロジェクトをを今年度から開始した。第1回の会議は韓国で開く。原子力機構大洗研究所の河村副所長にリーダーになってもらう。

岡田) ここらへんで世界的なネットワークを作って……。

田畑) OPALはどこの炉か。

町) オーストラリアにある新しいアルゼンチンがつくった研究炉だ。

岡田) 国際的拠点化を達成するためネットワーク作りを進めている。ス

ウェーデン、ベルギー、ポーランド、カザフスタン、韓国、タイ、インドネシアとは協定調印済み。

町) FNCAのアジアのネットワークは10カ国ぐらいが参加する。これをFNCAがいま、文科省が音頭をとってやろうということになっている。韓国はRI製造用の新しい炉を5年後に造るといっている。

田畑) アイソトープ専用の炉を。そういう話がある。あれも国際協力が前提になるというか、韓国一国だけではやれない。

岡田) こういうネットワークはすごく大事かと思う。供給を途切れさせないため。シリコンドーピングは使い回しが効かないと大変なので、JMTRが止まりましたというと自動車産業にとって非常にダメージが大きくなるので、そのときは替わりにここで、ということが大事。JMTRは使い勝手が悪いという評判があったが、ここら辺は改善して行かなくてはいけない。河村というリーダーに一生懸命やっていただく。

町) シリコンドーピングはJMTRでかなりの量ができるようになるのか。JRR-3と両方でやる。

岡田) そうだ。

田畑) SPring-8も話題になることが時々ある。産業界とのつながりが結構ある。自動車の触媒、サイクルして使えるとか、寿命が長い。基礎研究から始まって

岡田) 観る技術は大事で、量子ビームと原子力エネルギーとはまるで違うというわけではなく、量子ビームの利用が原子力のエネルギーに役立っている。

田畑) 相互関係は必ずある。

岡田) SPring-8はものすごい基礎的な研究をやっているように見えるが、今何をやっているかという、ガラス固化体の中の白金族の動きを観るために放射光イメージングという新しい方法を開発している。ガラス固化体の中で白金がどういう状態にいるのか、すなわち、いま六ヶ所で運転が止まっているのは白金族の挙動が影響しているのではないか、白金がいったい原子の形なのか、イオンだとすると何価のイオンなのか、そういったことを調べるのに放射光イメージングが使われようとしている。

町) 問題となっているガラス固化体を作るの部分は日本の技術だ。

田畑) 規模が大きいからといって、理由がだんだん変わってきて、このごろ不純物のせいだという話になって、今の白金族の話。

町) 話が変わるが、研究を進める上で産学官の連携は大事だと思う。高崎研究所もがんばって共同研究を民間とやっているが、こういう観点から民間の方からの注文などについて議論をしたらどうかと思う。

久保) どちらかというと事業部門よりむしろ研究がこういったところと関連していると思う。

早味) 昔、原研さんに寝屋川支所があった。あそこに一週間くらいの集中講義を合宿みたいな形で研修会があったが、寝屋川がなくなってしまったものだから機会が無くなった。若手を教育する場を、我々忙しくてできないのでそういうものを是非作っていただきたい。教育の機関として。

町) 東海ではそういう研修はまだやっているのか。

岡田) やっている。

田畑) 相互乗り入れでむしろ逆のコースだ。それは原子力関係のエネルギー関係は大学のほうへ来てもらっている。

岡田) どちらかというと炉工学とか、放射線管理とか、例えば炉主任の試験を取る。そういったことを目指したもの、放射線取扱主任者というのもの。

町) 放射線取扱主任者も以前は寝屋川の原研でやっていた。

田畑) アイソトープ協会でもやっている。放射線取扱主任者。

町) 昔は原研がやっていた。

岡田) 研修所では今もやっている。その中に放射線利用もちょこっと入っている。放射線利用に関する講習会とか研修をやっているところは今は無い。

早味) 是非そういうのを再開してほしい。ニチバンさんのやけどを直すゲルのときも、ニチバンさんの方が何人も来られていて、研究されていることもそこで知った。同じ放射線をやっている民間企業同士もネットワークができるということも、たまには競合会社の人がいる場合があるが、いろいろプラスになることもある。是非そういう場を設けていただきたい。

町) 以前、原産に放射線利用研究会があって、まさにそこに民間の人が集まってきて、定期的に原産でセミナーをやっていた。東京だったが。民間

は競合相手であると同時に情報を共有するという、あるいは刺激しあうことも大事だと思う。

田畑) ラドテックは関西と関東でやっている。

早味) 年2回くらい大阪でやっている。

田畑) たしかにRIの観点と利用の観点の両方がある。

岡田) 貴重なご意見をいただいた。

早味) 材料を作るということと、観るということの大切さを、その辺の技術を、解析ばかりやっている人にもものづくりのことを分かってほしいし、逆に材料をやっている人も観るということの大事さを、お互いに知り合うことと、企業間のネットワークというか、表立ってお話できないこともそういうところではいろいろ話ができることは大きい。そして基礎から教えていただくことも。

田畑) 関西研で何かそういう企画を考える可能性もあるのか。

岡田) あると思う。東海からも中性子の人も行って、観るというのと創るというのと、治すというのものもある。

田畑) SPring-8もある。

早味) もちろんSPring-8にポートを置かしていただいてやっているし、それはずっと一人の人が行きっぱなしで情報が閉じこもっていることもある。

岡田) 技術情報相談会というのがある。産学連携推進部というのがあって、技術相談に応じている。マンツーマンで行っている。こういう特許もあるとか。

町) そういう技術があるというのを売り込むというのも大事だが、それも産官の協力の一つだ。

早味) 大学でやってきたことを企業でやるというのがレアケースなものだから、異分野の人が放射線の関係のことをやっている、私も実はそうだが、そういうところで勉強して役に立っている。

田畑) このごろラドテック研究会でも企業の人が講演することがずいぶんある。かなり新しく開発した製品のセールスの話も結構ある。産官学の接点のところで、企業が売り込むチャンスがある。他の研究会と較べると特色がある。企業として会員として参加するインセンティブがある。接点がある。

原研にも貢献してもらおう。

早味) 学会よりしきいを下げていただいて本当の素人でも分かるようなコースも設けていただくなり。

岡田) 広報も大切。東芝の田井副社長が大学の同期だったので、仕事上で量子ビームの説明にいったことがある。「量子ビームを使ってこういうことができるということはわかったが、企業の困っていることに対してどうやったら解決できるかそれが知りたい。企業にとってのメニューが分からない」と言われた。

町) 企業はニーズがあってそれに対応する、研究所はシードを生み出すといった、企業とは違ったアプローチの仕方が多い。それをうまくつなげることによっていい成果が出る。まさに産学連携が必要だ。

岡田) それで反省させられて、原子力機構のホームページの中、量子ビームのところに逆引き辞典をつくった。こんな問題があるけれどどう解決するかという課題のところから、関係する研究をやっているグループのところに飛んで行く。そんな工夫をしている。まだ発展途上で、グループに飛んでいっても、何言っているのかわからないというのものもある。課題解決型のアプローチをやらなくてはいけない。

田畑) 時間になったのでこの辺で終わります。多方面からの情報・ご意見今後に生かしていきたいと思います。

第6章 切らずに治す放射線がん治療と核医学によるがんの早期発見

対談日：平成23年 3 月 2 日

対談者：辻井博彦（放射線医学総合研究所理事）

井戸達雄（日本アイソトープ協会常務理事）

田畑米穂（原子力システム研究懇話会）

町 末男（原子力システム研究懇話会）

6.1 放射線医学利用の歴史、現状と展望

田畑) 放射線の医療への利用について伺いたい。歴史、現状、将来展望、診断、治療、予防について、どう考えるか。当面の課題を議論したい。医療の問題とくのがん治療の話に行くが、歴史的には1895年のレントゲンの発見に始まり、1898年キュリーによるラジウムの発見、発見直後に医療に使っている。さらにしうていうならば、1934年にチャドウィックが中性子の発見をし、1936年にロッシュ（Locher）が、ボロン・ニュートロン・キャプチャ・セラピー（BNCT：ホウ素中性子捕捉療法）の提案をしている。線源の発見は医療に直接結びついている。辻井先生がご専門の分野ですが、1975年ローレンスがバークレイで加速したヘリウム粒子を物理の実験に使っていたが、併行して、がんの治療に使用したらどうかということで、粒子線によるがん治療が始まった。

将来の話になると思うが、1979年に田島・ダウソン（Dowson）が高出



写真 左から、町氏、田畑氏、井戸氏、辻井氏

力のレーザーを使い加速粒子を発生させることを予測した。これが実現し、レーザーを使うがんの粒子線治療が提案された。医学と放射線、とくに線源との結びつきはきわめて大きい。

今後どう進むか。



辻井氏

辻井) がん治療において放射線は大きな比率を占めている。歴史的に見ると1895年にX線が発見されてからわずか2か月後に実際の治療に応用されている。それも医学生が知り合いの医者に声をかけて患者を紹介してもらい治療を開始したという記録がある。その後、装置のエネルギーが徐々に上がってきたため治療成績も徐々に向上したが、節目になったのは1950年代である。1950年代の

初めにリニアックが登場して実際に治療に使われるようになった。それからコバルト、さらに少しさかのぼるがベータトロンも治療に使われるようになった。放射線治療はすでに100年以上の歴史はあるが、近代の放射線治療という意味からすると、50～60年しか経ってないのではなかろうか。加速器としては今はリニアック全盛になっているが、コバルト装置は今でも発展途上国を中心に広く使われている。コバルトの放射線治療に対する貢献と影響はものすごく大きいと思う。そのような歴史の中で20世紀後半に高精度放射線照射法が開発された。これはまさに革命的な開発といっていい。定位照射とか強度変調放射線治療（IMRT：Intensity Modulated Radiation Therapy）がここ20～30年の間に開発され、いまではすっかり定着した。

一方、重粒子線治療の歴史も近代の放射線と同じくらいの長さを持っていて、1950年代から使われ始めた。本格的になったのは1970年後半にCTが利用されるようになり、実際の線量分析計算が容易になってからだ。一方、わが国では治療医、医学物理士の数が少ないのが、特に欧米に比べると一番の弱みだ。

町) がん治療の進歩があつたが、患者に与える副作用が、問題であると思う。そういう観点からすると先生がおっしゃっていたライナックの色々な当て

方で副作用を、少なくするという観点からの進展は目覚ましいという事か。

辻井) それはものすごく大きいと思う。私は卒業後すぐ治療に入ったが、40年以上昔だが、当時の考え方はがんは治ればよいという時代で、少々の副作用はある程度我慢していただくというのが常識的な考え方だった。今はいかに副作用なしに治すかということに焦点が移っている。

町) もう一つ、私がIAEAにいた時代に、放射線の誤った線量をあてることで被ばく事故がパナマなどいくつかの国で起こった。国によっては患者が死んだりした事故もある。そういった意味での放射線の危険性、放射線治療のリスクというのはどのように考えられているのか。

辻井) 我が国の場合は1980年代に立て続けに放射線治療に関する事故が起こった。ほとんどがシステミックなものだった。すなわち治療計画装置に入れるパラメータの入れ間違い、チェック不十分だったとかが原因だった。関連学会が集まって連絡協議会を作り、そこで原因を究明し対応をとった。もう一つの改善策は、医療機器のコミッショニングをメーカーと協力して責任分担を明確にしたことである。さらにQA管理士（放射線治療品質管理士）制度を創設したり、医学物理士を学会認定にしたりしたので、事故件数は明らかに減ったと思う。

田畑) 放射線の医学利用の一般論として、井戸先生の立場から。



井戸氏

井戸) がんの治療にアイソトープから出る放射線を利用できないかということで、まず注目を受けたのがコバルト60のガンマ線およびリン32のベータ線での治療が考えられる。身体の外側からがんに当てて治療する方法と、身体の中に放射線源を入れてがんの周りに集めて治療する方法の二つの治療法がある。外側から当てる方法は歴史的に古くからある方法で、これにはイリジウム、ヨード

131といった核種が使われた。これにも照射した所とそれに対する正常の細胞に対する副作用という問題があった。照射技術は現在において非常に進んできた。例えばコバルト60だとガンマナイフというような多数の線源をいろんな方向から当てて、あるところに焦点を結ばせてそこを攻撃す

るという方法が開発されてきた。また、患部のそばに線源をくっつけて照射するラースという方法の開発もされた。最近では身体の中に放射線源を投与して、そのアイソトープのついた化合物の性質によってがんを集めて照射する方法。これに使われるのがイットリウム90、ストロンチウム89、ヨード131が使われている。患部に接して照射するのには最近では前立腺がんに使われる、ニードル様の細いヨード125の線源を作ってそれを何本も患部の大きさにあわせて打ち込んで照射する方法が開発されてきた。

アイソトープを使った方法論としてはかなり発展してきている。

田畑) 照射利用で外部と内部照射がある。内部でも血液のがんの照射では一歩進んだ方法がある。

井戸) 非常に効率の良いターゲティング化合物を選んで治療薬に使う。その前に診断薬の開発がある。その系列から内照射の応用となってくる。とくに血液がんに対する照射の場合にはモノクローナル抗体という特異的にがんの表面に結合するものにアイソトープをつける。これは診断の方で使われたテクニックだ。

田畑) 最近、診断、治療が融合してきている。この流れについてご意見を伺いたい。



町氏

町) 私がIAEAにいた頃、核医学課が、ヨウ素やリン32を使って、治療を行うのは治療であるが。IAEAではこれは腫瘍放射線医師ではなく核医学の専門家のほうがやる、という風に仕分けをした。

井戸) 現在の核医学の先生たちは？

町) 治療もやっている。

辻井) ものすごく発達したのは診断によること。

今でこそイメージ・ガイドド・ラジオセラピー (IGRT) という名前と呼ばれているが、私は一番の貢献者はCT (Computed Tomography)、だと思う。CTで三次元のデータが得られるようになったため、三次元の線量計算が可能になった。多方向から撮影した情報に基づいて画像を作り出す考え方は、MRI (Magnetic Resonance Imaging) にもエコーにも応用されている。あれがあって場所を正確に特定できるよ

うになった。

田畑) CTではポジションの決定で、ポジトロンでは機能を診ることになりますか。

井戸) 核医学の立場から言うと、正確な診断が無ければ正確な治療はできないということ。診断をするにおいてもある病変の早期の状態は、まず機能変化から起こる。機能変化がある程度経常化してこんどは形態変化が起こる。したがって早期診断ということを考えるならば、早いところ機能の異常を診断する必要がある。これが我々核医学のほうの立場で、それは予防にもつながる。

辻井) CTは実際に役にたっているし、象徴的な意味もある。CTのような計算手法、つまり平面の情報を重ねて、立体像をつくる発明は、その後のいろいろな画像診断にその手法が用いられている。

もう一つはPET (Positron Emission Tomography) の貢献が大きい。

町) 機能はPETを使わないとはかれない。

辻井) 我々は「困ったときのPET頼み」と言っている。CT、MRIでは解剖学的情報が得られる。ところが、実際に治療するとなると、手術でも同じと思うが、正確に場所を同定しなくてはならない。そのときに、PETのような質的診断法を組み合わせることによってこれが非常に容易になっている。

井戸) 診断の測定装置開発も非常に目覚ましいものがあって、PETが開発されるまえにテクネシウム99mのようなシングルフォトン核種を利用するガンマカメラが開発されたが、二次元的な平面での位置と大きさを判定できるけれど、三次元的な取り組みをするのが非常に難しかった。最近ではシングルフォトン核種に対してもSPECTという装置ができて三次元的に患部を描画することができる。さらにはCTやMR装置と融合したPET-CT、SPECT-CT、PET-MRIなどの装置も現れてきた。

田畑) 先生方に診断と治療と予防を含めてお話を伺った。次は医療に関係ある具体的ないくつかの課題があるので、逐次お伺いする。

6.2 日本のがん放射線治療率はなぜ低いのか

辻井) 放射線治療でよく言われるのは、日本人の場合、放射線に対するアレ

ルギーがどうしてもある。医学教育というところに遡らざるを得ない。学生の医学教育の中に放射線に関する時間が非常に少ない。治療に限らず基礎的なことを教える時間そのものが少なくなっているし、ましてや治療や診断についてのより具体的な教育時間も少なくなっている。がん治療を考えても、いろんな専門分野がある中で放射線治療は歴史的に若い。外科や内科と較べると、どうしても若いということがあって、おろそかになっているのではないか。

研修制度についてみても、ローテーションの中に放射線治療が入っていない。だからまっさらな状態で最初に他の分野に行ってしまうと、そちらの分野を選んでしまう。これが最近の現象だ。ちなみに米国は（放射線治療医は）高収入だ。以前に米国でサミットミーティングがあり、そこで放射線治療医関係者が集まって自国の状況を報告しあったが、アメリカは、「Well paid enough number」で、日本とはぜんぜん状況が違う。

町) これはデリケートな質問かもしれないが、私が聞くとところによると日本の場合は、ある病院を除いて、患者さんが行ったところが内科であれば大体が薬で治す、外科に行けば切るという、総合的判断なしに治療法を決めている場合が多いという。患者のX線CTを撮って、PET-CTを撮って、がんが見つかった場合、どういう治療が最適であるか、ということを放射線治療、外科も内科の専門医が集まって、コンファレンスをやって、最適な治療を決めて行くというシステムが日本には広く定着していない。そのために放射線治療のほうに患者が来ないということを聞いている。将来の傾向は直されていくか。

辻井) 色々の疾患を治療する場合は、どうしても臓器別に分けることが多い。消化器がんとか肺がんとか。放射線は広い範囲をカバーできるから、必ずしも臓器を限定する必要はない。従って、臓器別の議論になると、どうしても外科などが主体になってしまう傾向がある。

町) 臓器の専門の先生が治療法を決める際に重粒子治療など放射線治療をご存知で判断できるようになっているのか。

辻井) 基本的にはやろうとすればできるし、できるはず。

田畑) 縦割りではない。横断的で総合的に関係者が集まって診断を下すとい

う傾向は出てきている。

井戸) 患者さんも色々なところから知識が入っているからセカンドオピニオンを求めるケースが多い。そういう場合は必ずしも臓器の専門の先生だけじゃないところに聞くということもある。

田畑) がんセンターの先生で静岡にいらした先生が総合的に専門の違った皆さんに集まって、一つの病気について議論した上で、どういう処方を考えようかという。今後広がってくるだろう。

辻井) がん専門病院ではTumor Boardというが、個々のケースを専門家のいるところに出して、どういった治療法が一番よいか議論しあうシステムになっている。

田畑) がんの治療の中で放射線利用が、日本は25%くらい、米国は65パーセントくらいだと聞いたが、現状はそうなのところか、改善されているか。

辻井) 日本はひと頃より改善されているが、欧米が5割とか6割とか言われるのに較べると、せいぜい3割くらい。その理由は、わが国では放射線治療医が少ないこと、また患者ははじめに外科とか内科に罹ることが多いが、そこでは放射線治療が選択肢に入っていないことが多いからと思う。

田畑) 医学物理士を増やさなければいけないということが課題の一つだが、現状はどうか。

辻井) 増えているがまだ十分ではない。日本は伝統的に、診療放射線技師がすべてやっていた。彼らは実際に治療も行うし、治療計画、線量分布計算、場合によっては技術開発も行う。これは日本の良き伝統だったといえるが、ここにきて色々な高度技術が開発されると、とても間に合わなくなった。そこで慌てて医学物理士を増やそうという動きになった。しかし、なかなか追いつけない。最近の統計を見ると患者数は2、3年前の16万人から今後20万～40万人近くなるのではないかと推定されている。それに対して医療従事者の数をみると、診療放射線技師の増加率が最も高い。医学物理士が一番少なく、医師がその中間くらい。患者数の増加を技師数の増加で補おうとしている傾向が見てとれる。

町) 技師のレベルを上げる工夫をすることによって、今のようなことがかなり改善される可能性があるか。

辻井) ある。医学物理士はどういったところにリソースがあるかといったときに、診療放射線技師にも受験資格を与えるのが良いと思う。我々が一番望んでいるのは、制度として医学物理士に国家資格を与えることで、これを長い間要望してきたが、残念ながら学会レベルでの資格になってしまった。国家資格になれば保険診療に組み込まれたりするメリットがある。かなりいいところまで行ったが、関連6学会すべての足並みが揃わなかった。

町) 海外はどうなっているのか。国家資格になっているか。

辻井) 東南アジアは数はいるけれど、必ずしも国家資格ではない。

田畑) 技師と医学物理士の関係は、技師が勉強して医学物理士になるということがあるのか。

辻井) 医学物理士の認定制度というものがあるのでそれに受ければよい。もう一つは、各病院が医学物理士のポジションをしっかりと作ってくれないと困る。そのときにきちっとした資格認定があると、ポジションを作ることによって診療報酬増にもつながるという循環ができる。制度が後手に回っている。最近は重粒子とか、IMRTや定位照射法とか、特殊な技術を要するものを行うにあたっては医学物理士がいなくてはならないという制度になってきている。少しずつは改善されてきている。

6.3 重粒子線がん治療の優位性と将来展開の課題



田畑氏

田畑) 最近重粒子線がん治療が話題になるが、中身の理解が必ずしも十分ではない。その辺を解説していただき将来展望と課題を、まずは重粒子線がん治療の場合について解説をお願いしたい。

辻井) 厳密にいうと粒子線治療の中に陽子線があり、もう一つがいわゆる重イオンといわれるもので、その代表が炭素線である。炭素線は日本では習慣的に重粒子線といわれる。陽子線と炭素

線という切り口で考えたほうが良いと思う。現在、陽子線は世界で30施設近くある。重粒子線、つまり炭素線治療を行っているところは5施設、

うち日本の3施設で重粒子線治療が行われている。これから導入を考えているところは、陽子線は10数施設あるのではないかと。重粒子も7～8施設が今後作られる予定である。着実に世界で粒子線治療が広まっている。放射線医学総合研究所は特に重粒子線治療を行っている。がん治療において、今まで治りにくかったものがより治るようになった。重粒子線治療においては、治療期間が大幅に短縮されるようになった。ちなみに一期肺がんだと一日一回の治療で終了する。患者さんは準備に来ていただいた日に、固定具を作ってCTを撮るだけでいい。その後、線量分布計算を行い、治療は一日で終わってしまう。患者さんは働きながらも治療できる。一番長い治療は前立腺であるが、これも一般の放射線治療あるいは陽子線治療が30回から40回かかるのところ、重粒子線治療では16回、さらに現在、臨床試験を行っているのが12回照射法である。一方、陽子線治療に関していうと、線量分布が優れているので、今まで治療できなかったことが治療できるようになっている。新しい適応疾患としては、小児がんに対して集学的治療のひとつとして陽子線が世界で幅広く使われている。成長障害とか二次がんの問題を考えると、できるだけ治療体積を少なくする必要がある。その意味で陽子線というのは非常に存在感を増してきている。

田畑) コストは1件300万円を超える。気になる人とそうでない人がいるが、今後高コストは一般に普及するためには安くする方向で考えてもらったほうがありがたいわけだが、現状はどうなるか。

辻井) コスト計算には根拠がある。建屋や加速器の建設費、消耗品費、水光熱費、人件費などを考慮して決められている。おそらくしばらくは高コストから脱却できないのではないかと。こういう治療を行って感じるの、今までは治療してみないと分からないことが多かったが、重粒子線ではしっかりと治せる疾患か否かがはっきりしているので、最初の段階で、治る確率とか副作用の確率を明瞭に言えるようになった。患者にとってはかなり納得感が高いのではなかろうか。最近、このように思うようになった。

町) 群馬大も一日何人を見ないとペイしない。それだけ患者を集められるかいろいろ言っている。米国のMDアンダーソン（がんセンター：テキサス大学）あたりでは24時間陽子治療を行っている。これによって初期のコス

トのペイバックを容易にする。技師さんには負担になっているかもしれないが、日本の場合も重イオン加速器の使う時間を長くすれば、1人の患者の負担が下がり、病院の収入も増えると思うが。

辻井) コストというのは建設費・維持費と治療可能患者数等で決まるので、そういう形でどんどん治療してメリットを受ける患者さんが多くなるとコストは下がるが、しばらくは今のまま続くだろう。

井戸) 重粒子治療は先端医療に認められている。生命保険に先端医療特をつけた場合は500万とか700万円まで見るという、月に数千円のプラスアルファの値段を払うだけというシステムが出来上がっている。必ずしも患者さんがそれだけのお金を全部払うかというと、そうでもない。

辻井) 先進医療特約をつけて最大1千万までカバーする保険商品は今では保険会社では普通になってきている。

田畑) 次に、サイバーナイフが出て、重粒子線治療と競合できるような話も聞いている。お互いに補い合う特徴というのはどんなところか。

辻井) 簡単に言うと比較的小さなものは、粒子線でもライナックによる定位照射あるいはIMRTでもおそらく同じ成績と思う。しかし、実際に分布を比較して見ると、周辺への低～中程度線量がかかるボリュームはライナックのほうが大きい。これが将来どういう影響につながるかは不明だが、少なくとも短期的に見ると治療成績はほぼ同じと思ってよい。一方、IMRTは、もう少し大きくて複雑な形状に適した治療法であるが、前立腺を中心に広く使われるようになっており、実力的にはかなり上を行くようになっている。重粒子線、陽子線、IMRTの役割分担が大事で、最終的には比較試験が必要だといわれるが、これはまだ世界で行われていないのが現状だ。重粒子線は主に骨軟部腫瘍、肉腫、腺がん系腫瘍、悪性黒色腫などで優れた成績が得られているので、優位性がある。同じ治るにしても治療期間が非常に短い。ここがかなり違うと思う。陽子線とIMRTを比べた場合低～中程度の線量がかかった領域が将来どういう影響をきたすかまだはっきり分かっていない。

田畑) サイバーナイフや重粒子線治療などで、技術的に両者に差があるか共通しているのか。両方とも医学物理士が必要なのか。

辻井) サイバーナイフも強度変調治療法も原理的には同じ。一番の開発のポイントは、最初に理想と思われる線量分布を指示しておいてそれを計算で実現すること。これをインバースプランニングというが、その技術が確立したので、サイバーナイフやIMRTが可能になった。ただそれを正確に行うための治療計画や線量測定およびそれに付随した技術開発が必要なため医学物理士が必要。

田畑) 海外の動向については先ほど説明があったが、日本で重粒子の治療で、外国の患者を受け入れるとか、海外に大型のほかの原子力の設備を技術輸出するときに、日本独特の重粒子がん治療の技術を抱き合わせで出すという、議論があるが、実情はどうなっているか。患者の受け入れはどうか。

辻井) 陽子線も含めて粒子線治療が日本で広まって行くと、それを受けたい患者が海外からも来るようになる。今後は特にクオリティを上げるのが大事。一般に放射線治療施設においては、まず低エネルギーの放射線治療装置から始まり、次にコバルトとかりニアックを導入し、最後に最新のハイテク治療法の導入という、ステップ・バイ・ステップの進歩が一般的と思う。ところが最近の東南アジアの開発途上国においては、中間が抜けてしまっている。受け入れ体制が不十分な状態でも、高レベルの装置をぼんと入れてしまう場合が多い。しかも最近は開発途上国であっても粒子線を持ちたいというところさえ出てきている。いまやIMRTとかサイバーナイフは必須装置の一つになっている。我々の立場からみると治療の質が保たれるかどうかはらはらするところがあるが、これが現状なのである。

町) そういう傾向はある。最新のものを持って来て欲しいという希望が多い。先進国の場合は約30台の陽子加速器が世界全体であって、しかもこれが更に増えて行く傾向にある。さらに重イオン加速器も増える。一方ではサイバーナイフとか高度なライナックを利用したものも進みつつある。そうすると将来的にはその辺をうまく仕分けて使って行く。例えば骨肉種とか重イオン以外では治しにくく、しかも患者の負担が少ないもの、また、一回の照射で治すことの出来る肺がんとか。そういう、重イオンのメリットのものすごくあるところはそちらでやって、そうでないところはサイバーナイフとか高度なライナックの技術で直していくということで続いていくと

理解する。

辻井) 専門家の育成を並行して行わないといけない。粒子線は諸刃の刃になる。少し加速を緩めたほうが良いという側面がある。

町) 途上国では最新のものをほしがるが、お金が安ければ良い。これが120億ということになると他のライナックをもっと沢山、10倍くらい買ったほうが国民にはずっと良い。IAEAもどういう風に指導していくか知らないが、当面は台数を増やす方向になるのではないか。

辻井) 将来の棲み分けとしては、比較的低い線量で治療できるものに対しては今までのX線とかIMRTを使う。また、予防照射も含めた広い範囲の治療が必要な場合はX線を用い、最後のブーストを陽子線で行う。陽子線単独で治療したほうが良いという疾患というのはいろいろあるので、そういった役割分担ができるのではないかと思う。

田畑) 重粒子線がん治療設備の利用で、300万円かかるという話があったが、安くするためには設備コストを低く抑える必要がある。千葉の放射線医学総合研究所では建設総工費が300億かかったのが、群馬では100億位。それは単純化できるところは単純化して目的を絞る。簡素化するという流れである。さらにもっとコストを下げようということだとシステムをさらに小さくしようということになってくる。レーザーによる粒子の発生で、その発生した粒子、当面はプロトンだと思うが、それを使ってがん治療する設備を開発する計画が進んでいる。レーザーに関しては皆さんご存知だと思うが、日本原子力研究開発機構の関西研究所が中心になって5～6年前にプロジェクトをスタートしている。1期、2期、3期とあるが、1期だけやって今度2期に進むというときに、2期に待ったがかかって進めなくなっている状況がある。そのような流れを我々はそれをサポートして推進する努力をすべきなのかどうか。専門の立場からはどうか。

辻井) 物理も加速器工学とか、一般物理、医学物理などいろいろな専門領域がある。いずれにしても、いろいろな専門家のサポートなしには考えられない。粒子線治療はたしかに高度なテクニックを必要とするが、技術的には開発途上である。専門家としては加速器の運転要員、医学物理士、診療放射線技師、治療計画実施要員、および医者等がいて、役割分担がで

きている。従って、確立されたルートに乗った疾患に関しては極めて安全だし、確実に治療できる技術である。しかし、まだ発展途上にある技術も多いのも事実。価格も含めて。治療技術はもっともっとよくなるというのが分かっている。もちろん、価格が高額であるとか、人材が不足しているため、遅々として進まない部分はある。

田畑) この線源は、日本初（原研機構関西）で、田島・ダウソンが1979年に提案した。日本発の新しい線源だ。新しい、まずは医学の分野で、実用化を進めたらよいと思っている。

町) これは10年かかり、10億円で建設できると原子力委員会でのJAEAの説明で聞いたことがある。つまり重粒子を出す加速器が10億円でできるという。今の十分の一でできるという話だと思う。これが実現すれば、お医者さんは使うほうだから、同じようなビームが出てくれるのだったら非常によいと思う。

田畑) 安定なビームで、必要な強度があって、エネルギーが相当高く出ないとまずい。少なくとも10ミリオン以上、100ミリオンとか出ないとまずい。ところが開発途上で、予算が切られた。残念なことである。今後復活を期待している。

辻井) これが実現すれば今のリニアック並のコンパクトな装置ができる。

田畑) 今度放医研では細いビームで当てようという。レーザーの場合はスキャンニングビーム。

辻井) スキャンニングビームは新しい方法だ。

田畑) 繰り返しになるが、今度切られたが、是非育てたらよいと思う。日本初の線源だから、歴史に残る話だと思う。

辻井) 結局、重粒子線といっても脚光を浴びるのは治療結果だ。治療をするためには加速器が無くてはならない。同時に開発も進めなければならない。それらがすべてそろって成績を議論できるわけだ。

田畑) BNCTなどは非常に早い時期に言い出されているが、遅々として進まない。何とかしようという話ではあるが。

辻井) 治療成績をもっとよくすることが大事。重粒子線は、狙ったところを照射できる特徴があるが、診断に依存するところが大きい。治療部位を決

めるとき微視的な病巣も含めて、明確に分かるようになるのもっとよくなる。

田畑) 重粒子でがんの治療をする場合、がんの位置に正確に照射されているか常に気になる話である。

井戸) がん組織の中心部は明確に描画できる。がん組織の周りにがん細胞が浸潤している場合、どのくらいの率で浸潤しているのか。どのくらいまで進展しているのかが重要。PETなどで診断するときに、どうしてもまわりのフォロー的なものは影としか写らない。それをもっと定量的にそういう部分でもできるということが大事だ。BNCTはその辺も治療対象としようとするもので、正確にがん組織の部位ではなくてもある程度グロスに照射してもBNCTの場合には正常細胞とがん細胞の間に照射効果のコントラストがつく。

田畑) その辺は周辺に必要な線量ではないけれど、ある程度照射をされるということは免疫性を高めてそれ以上増えないというような、何かそれなりの効果があるのかどうかというのは非常に気になるところだ。

辻井) 免疫性を議論するよりもはるかに高い線量で。

町) BNCTはここで議論する予定は無いと思うが、BNCTは30年以上も前から、普及が期待されていたにもかかわらず、これだけ年数がたってもなかなか広まらない。というのは、研究炉という非常に大きなものを使わなければならない。それこそ何百億もするものを使わなければいけない。また、脳腫瘍治療の場合は頭を開かなければいけなかった、現在はエピサーマル中性子を利用するので、開頭する必要はなくなっている。ボロンの化合物が腫瘍に選択的に集まる必要があるが、まだ完全ではない。

井戸) 研究段階において、かなり集積率のよいもの、細胞の核に集められるものがある。ただ、診断の場合はごく微量の投与量でよいのだが、治療の場合はかなりの投与量を体内に入れる。従って薬剤の毒性の問題が起こってきて、なかなか容易には解決できない。解決しているのが二つの化合物だけで、ボロノフェニルアラニンというアミノ酸と、BSHが実用化されている。この二つの薬剤はかなりの量を身体に入れても毒作用が出ないので安心して使える。他のものは実験室や動物実験レベルでは非常に特異的に

集積するものも見つかっているが、肝障害や腎障害が出たり、細胞分裂に異常をきたすような影響が出て臨床応用を難しくしている。

田畑) 日本で行うときにかなり良いボロンの化合物が開発されて、だんだん進むようになった。

井戸) BSHが開発されたところで一段飛躍があったと思う。初期にはホウ素の無機化合物を利用していたが、BSHにより細胞膜にホウ素を導くことができた。さらにボロノフェニルアラニンは細胞の中に入ってホウ素を細胞中に分布する。理想的なのは細胞の核の周りにホウ素を分布させて照射できるのが一番良い。そのような薬剤も開発されているが、臨床に使える段階にはなっていない。

町) 照射のほうは京都大学は研究炉だけでは大変だから加速器でやろうと、中性子加速器を開発して、そうすると何も研究炉が無くてもできる。それから中国はBNCTは以前からかなり熱心で、ミニチュアリアクタを作ってBNCT専用に使おうという研究を進めているから、照射のほうはだんだんこれから進歩してくる。

井戸) 加速器では、大電流の低エネルギーのプロトンによる中性子発生装置が検討されている。これが実用化してくると普通の病院の中に入れられるくらいの小型のニュートロン源になる。

田畑) 現実にはどうなのか。これはずいぶん前からその話がある。なかなか実現に至らない。

町) BNCTの治療例が少ない。今後治療例を増やしていく必要がある。

田畑) いま核医学によるがん治療の将来という話に入っていると思うが、ヨードやP-32はどうか。

町) がんの腫瘍の集まる放射性医薬品を患者に投与して、その放射線を利用しがんを治療する方法で、BNCTもその一種だ。この核医学がん治療法は韓国でかなり進んでいると思う。日本は厚労省が慎重で、なかなか新しい薬が認可されない事が核医学がん治療が進みにくい一因になっているのではないか。

井戸) 例えば、血液がんに対する薬がいま認可されている。それはイットリウム90で、ベータ線で治療する。この方法が開発されてからもう20年経つ。

外国で臨床利用されてから10何年経つ。日本でそれが許可されるためにはいろいろな臨床データを取らなければならなかった。外国の臨床データだけでは駄目で日本でも臨床データを取り、それが医薬品として認可されるのにすごく時間がかかっている。このことは放射性医薬品だけのことでなく普通の治療薬でも同じだ。何とか早くしようとする動きは確かにあるのだが。

辻井) なんでこんなに時間がかかるのか。

井戸) 米国の場合では公定書が、一種のガイドラインといったらいいのか、そういうものを示す。日本での薬局法は政府が結果責任を持たない。実際には製造供給者・使用者が責任を持つ。そこが大きな違いで、日本は全部の責任が政府に、何か不都合があった場合を想定して慎重にならざるを得ない。

町) 舩添氏が厚労大臣になったときに、「これがものすごく長いから縮めろ」と鶴の一声で、かなり厚労省も改善をした。

井戸) 短くなりつつある。より合理的な審査の方法になりつつあって、申請をする前に相談に乗るような機構ができた。それでもこのこと、ゼバリンだけのことを考えてみても、時間がかかった。

田畑) これに似たようなものは他にはあるのか。

井戸) ゼバリンはモノクローナル抗体にイットリウム90を標識したというもの。いま臨床に利用されている内照射治療薬はこれだけだ。あと、ストロンチウム89は無機塩の形で使うが、これは骨に集まる。骨に転移したがんによる痛みを緩和するのでストロンチウム89を使う。最近の動きとしては、 α 線源を骨に転移したがんに使おうという動きがある。例えばラジウム223、半減期は割と短く11.4日。長く残らないし、そこから出てくる α 粒子を使って治療を行う。もちろん痛みに対する効果もあるが、骨への転移、たとえば前立腺とか乳がんは骨に転移する傾向があるが、そういう対象に効果がある。それを早く導入したいという動きが日本にある。ラジウムだけで無く他の α 線源、それを何とか利用しようという。これはヨーロッパ、アメリカでも盛んに研究が進められており、例えばアスタチン211も候補にあがっている。ただ、 α 線源を取り扱うため障害防止法の規制によ

り施設を特別にしないとならない。すぐに導入できるわけではないがそういう動きはあって、おそらく将来の方向性としては α 線源を上手に利用していくことではないか。

田畑) 値段の負担はどうか。相当高額か。

井戸) ゼバリンの場合、200万、300万まではいかないが、かかる。しかし、高額医療に認定されている。高額の場合は患者さんの払う限度額があり、ゼバリンの一回の治療で患者さんの負担は30万程度だと聞いている。

町) 重イオンの場合はみんな患者さんの負担だが、抗がん剤は保険が適用される。そのため国の医療費は高くなる。放射線治療は抗がん剤治療よりも安いのではないか。

井戸) 例えばいまモノクローナル抗体のゼバリンの話だが、大部分がこのモノクローナル抗体の値段だ。放射線によらないモノクローナル抗体での治療もやはり何回か投与をするから、ゼバリンによる治療と同じくらい費用がかかることになる。

町) 抗がん剤治療は経費がかかるといわれる。放射線治療のほうが国の負担が少なくて済むとすれば、途上国で放射線治療を広めることは、途上国の負担を減らすことになるのではないか。これはライナックの話だが。

辻井) 適応をしっかり決めてしっかり治す、という方針を徹底させると、放射線治療のほうがずっと安くなる。たとえば、直腸がんを手術したあとの骨盤内の再発に対しては重粒子がよく効く。5年生存率は手術とほぼ同じで40パーセント前後。では6割の患者さんはどうなっているかというと、殆どが遠隔転移で亡くなっている。もし治る方の4割の患者さんを、手術は難しいので抗がん剤だけで治療したとすると、おそらく年間500万から1000万かかることになる。

町) 抗がん剤は、非常に高い。

辻井) そういう費用計算では、群馬大との共同研究で実際の患者さんの医療費などを調べてシミュレーションしたことがある。再発病巣の場合は、抗がん剤を延々と投与せざるを得ないが、それに対して粒子線治療では、しっかり局所制御が得られるので、決して高くないと思う。

井戸) 臨床試験とか毒性試験とかのデータをとるのにお金がかかっており、

それが全部薬剤費に乗っかっている。とくにゼバリンは日本で開発されたものではない、というところがちょっと弱い。ゼバリンは商品名で、日本でもこういった研究、これに刺激されてかなり若い人達が日本独自のものを開発しようという動きが出てきている。

辻井) モノクローナル抗体のターゲット療法のようなものが理論的に一番理想的。

田畑) リン32はどうか。

井戸) 最近はあまり使われていない。昔は皮膚表面で使われた。

田畑) ヨード125はどうか。

井戸) ヨード125は密封線源として、圧倒的に前立腺がんに使っている。

町) 甲状腺がんには何を使うか。

井戸) ヨード131が使われる。今も使われており、徐々に増えている。ベータ線で、投与して治療するのにかなり長いこと入院しなければならなかった。最近退出基準がはっきり規定されて、投与量を限れば通院で治療ができるようになった。そうすると適用が増えてくる。

6.4 PET-CTとガンマカメラの相補性およびモリブデン99の供給

井戸) PET-CTが注目されているが、ガンマカメラによる診断はなくならない。いま日本では1300の病院が核医学診療を行っているが、それに対してPETの施設は270、圧倒的に歴史的にガンマカメラの数量が多い。さらに現在はSPECT（シングルフォトンコンピュータトモグラフィ）が大体主体になっている。こういったシングルフォトンの核種の利用は、20年先を見ても主流を占めると思う。もちろんPETはそれなりに有効であり、定量性の面、機能診断のために非常に良い設備だ。このシングルフォトン核種がPET核種によって完全に置き換わるかということ、そこまではいかない。

町) ではPETでできなくて、SPECTでなければできないものというのはあるか。

井戸) それは薬剤の供給態勢と関連している。病院の立場に立つと薬が供給されるというのが大事で、それでなければ自分のところで作らなければいけない。サイクロトロンを導入してPETまで入れるというのはそれなり

に覚悟がいる。値段ばかりでなく、それだけの人を準備しなければシステムはできない。ただサイクロトロン/PETは着実に増えて行くと思う。現在サイクロトロンを入れて、そしてPET診療をしているのが127施設。ではその中で実際にFDG（PET検査のために投与する薬剤）以外の薬剤を利用できるやれるところが50か所位。アクティブにいろいろ新しい薬剤のトライアルをできるのが大体20か所位。その他のところはFDGだけの利用。あと、先ほど270施設といったが、残りの100いくつかの施設では製薬会社からFDGを供給してもらって、自分のところではPETのカメラだけを用意するという形で動いている。診断領域にしてもFDGの守備範囲が中心になっている。それに対してSPECTのほうは、いろいろな診断範囲を持っている。ただ製薬会社からPETにあうような薬剤が、FDGだけではなくて供給がされるようになれば、もう一段次の躍進があると思う。

田畑） FDG以外はアラニンか。

井戸） それはがんの診断だが、アミノ酸にラベルしたもの。供給側としては、半減期2時間のものを種類多く出すのがよいのか、今現在はとにかくFDGでもっと全体的な経済性などを確立した上で次のものを、と考えているのだろう。

田畑） 脳腫瘍の場合はアミノ酸か。

井戸） フェニルアラニンにフッ素を標識した化合物とか、半減期20分のC-11-メチオニンとか、そういうものが脳腫瘍診断に使われる。これはサイクロトロンがないと駄目だ。

町） SPECTでないとできないこと、PETでできないことがあるか。

辻井） 核種としてSPECTのほうがいい、あるいはSPECTでしか使えないという場合は。

井戸） FDG/PETだけでは応用範囲に限定があるが、他のPET薬剤の開発により、SPECTの応用範囲をカバーすることはできる。

町） アイソトープ協会では、モリブデン99あるいはテクネチウム99mの売れ行きがだんだん下がっているという話を聞く。それはPETが普及するにしたがって、SPECTの利用が落ちてきているのだと思っていたが、そうではないのか。

井戸) そういうことではなくて、核医学自体の課題とっていいのか、他の診断方法が増えてきているためである。インビボは伸びているが、インビトロが落ちている。

町) ラジオイムノアッセイがエンザイムイムノアッセイに置き換わっていくこと。

井戸) 蛍光法に置き換わっているからそれが非常に大きく響いて、そういう風に見える。しかしインビボは増えている。テクネチウムの利用についても、大体テクネチウムはマキシマムに達してプラトーな状態。ただ、町先生が言われるように例えば10年で1～2%落ち、20年経ったら2～3%の落ちぐらいだろうと、我々は評価している。発展途上国ではテクネチウムの利用は伸びている。欧米でも伸びる、10年で数%の伸びはあるだろう。日本とは違ってくる。

田畑) 丁度、供給安定性の確保の方策は、というところに入ってきているが、その中に、一部、国産化計画JMTRとかアジアの地域協力。これは町委員がいろいろな関係をしているし、井戸先生が韓国の調査をされていたり、原子力委員会の検討の話もあったり、ブラジルの新計画が記されている。

町) ブラジルはこの間私が行ってきてびっくりしたが、50メガワットのアイソトープ製造と材料試験もやるらしい炉をつくる。5年後に完成する。相当大きい炉だ。

田畑) 供給安定性という観点で議論を進めていただきたい。

井戸) 今、核医学では原子炉で作るアイソトープの需要はまだまだ高い。おそらく20年後になってもそれがメインになっているであろう。日本では今まで医療用原料となるアイソトープは100%輸入していた。この前のテクネシウム、モリブデンの供給減少の問題から、セキュリティの立場から日本でも作るべきだという動きがあって、官民一体でいま一生懸命ディスカッションしている。日本の場合はいろいろ事情があって、モリブデンの場合だと (n, γ) 法、モリブデン98に対して (n, γ) 反応でモリブデン99を製造するという中性子捕捉での方法、ならびに加速器による、モリブデン99およびテクネチウム99mの製造が検討されている。

田畑) この場合JMTRを使うのか。

井戸 JMTRが照射場を用意できることになったので、それを使って (n, γ) 法でやる。ただこれで日本の需要を全部まかなえるわけではなく、たとえそれが10%、20%であろうが、その努力はしておくべきだ。とくに我々が考えているのは10%でもそれをコンスタントにやっていれば、それを20%に、30%にするという努力はそんなに難しくなくできるだろう。しかし、0から10%、20%にするのは時間がかかるだろう。だから早いうちにそういう状態を作るべきだ。

田畑 この計画は軌道に乗りそうか。

井戸 乗りそうだと思う。乗せないといけないのではないか。

町 原子力機構ががんばっている。

井戸 ただ、このJMTRだけに頼るというのに難しい問題がある。JMTRは年間180日くらいしか運転しない。後の100何日というバックアップをどこかでなくてはいけない。

町 JRR-3の話は全くないのか。

井戸 JRR-3という話もあるが、JRR-3もかなり止まっている時間が多い。たとえばこの (n, γ) 法では、電力の沸騰水型発電炉を使うことができる。沸騰水型発電炉では、炉内中性子を測定するための測定チューブが外部に通じている。このチューブを使ってモリブデンの原料を入れて照射すると (n, γ) でモリブデン99を作ることができる。これが実現すれば非常に有効だとおもう。ただしこれには、いろいろ法律だとか、電力がその気になってくれるとかいろいろな解決しなければならない問題があるが、もしそれができれば実現が早いのではないか。それに期待している。

田畑 安定供給の確保という観点で、アジア地域協力とかあるいは韓国の新計画というのはいかがか。

井戸 日本にとって願っても無い計画を立ててくれている。今まで輸入は欧米からしている。一番遠いところでは南アフリカから。できたものを日本に来るまで二日から四日かかっている。そういう場合でモリブデン99の場合には半減期が60何時間だから、どんどん減っていつてしまう。もし、アジアのネットワークで供給ができるならば1日くらいで手に入る。

田畑 この見通しはどうか。

井戸) 韓国が炉を作ることを決定した。HANAROとは別で20MWの中性子利用専用炉を作る。RIの製造と半導体のシリコンの照射も考えに入れている。

町) この間井戸先生にも出ていただいたアジア原子力協力フォーラム(FNCA)の研究炉プロジェクトのワークショップを北京で行った。この枠組みを使ってアジアのCJK(中国、日本、韓国)だけではなくて、オーストラリアやインドネシアなどモリブデンを作れる国が協力し製造計画とか供給計画を連携してRIの供給を安定させるネットワークを作る可能性について議論した。この課題は今後FNCAの新プロジェクトとして、文科省の支援で行う。北京の会議で韓国代表のKAERIの専門家が5年後には韓国は20MWのRI製造炉が完成するとはっきり言っている。オーストラリアはOPALという新しい大きい炉もっている。これで地域全体として足りるかどうかは検討する必要がある。

井戸) 足りるようになる。ただ、日本の考えとしてはソースを多くしておきたい。今までのヨーロッパ、アフリカから30～40%くらい、アジアからも30～40%、日本で20%という風なことがよいのではないか。アジア・オセアニアの安定供給ネットワークを作ったが、ネットワークの一つの仕事として、核医学のプロモーションと同時にモリブデンの需要がどのくらい伸びるのか、今後アジア・オセアニア圏で核医学診療どのように進展していくか予測していきたい。中国も二つの炉を使って製造供給することを考えている。一つは北京のCARRという炉で。

辻井) 日本が取り残されそうな感じがする。韓国はプサンを中心にして粒子線もやる計画がある。

井戸) 韓国はプサン市において大きな計画を持っている。

辻井) 先日関係者が日本に取材に来て、大プロジェクトを立ち上げるための聞き取りを行った。

井戸) 韓国プサン市がそういう計画を推進しており、土地はただで使ってよいが、そのかわりといって、まず医学関係をやってほしいと、医学センターを作った。医学センターのすぐ横の施設に原子炉を置く。

田畑) 中国とインドもあれだけの人口を擁して、他の産業もすごい勢いで伸

びている。医学の分野もそれに並行して伸びるということが十分予想される。

井戸) それは要求が出てくるわけだから。

町) 辻井先生がおっしゃっておられた日本が取り残されるのではないかと。こういうようなことは、実は前も議論されて、日本でもアイソトープ専用の炉を作るべきだという議論が、もう15年か20年前に出たことがある。ところがそのときにNOになった理由というのは、今から作っても輸入のRIとコスト的に競争ができないと、RI製造と供給はすでに民間企業の役割だから国が予算をつけるのは難しい。民間会社が自分で金を出し合ってアイソトープの製造炉を作る国としては協力することであった。

辻井) FNCAでもとりあげられている子宮がん治療に用いられているコバルトとかイリジウムはかつて全部日本で作っていた。ヨードもそう。ところがあるときを境に今言った理由で、急にやめてしまい、日本中が外国製品に切り替わってしまった。

井戸) 今日日本で国産化の計画を進めているが、一番問題なのは技術者。ハイレベルの放射能を扱う、そういう技術者、つまりケミストを含めてそういう技術者が全くいない状態だ。

田畑) 技術者がいないことと医療、いまのアイソトープの生産が一つの例だが、他の分野でもすべて日本はスピードが遅いという。韓国と中国はスピードがある。いろいろな企業もスピードの桁が違うという。だから日本はその点で立ち遅れている。

井戸) 韓国は原子力立国を頭にしているから、とにかくお金を入れて民活というか本気で取り組んでいる。

田畑) 韓国は原子力のある研究所のセンターのところに「原子力は国の根幹である」と書いてある大きな字で。それに向かってやっているわけで、これはもうすさまじい。

町) 韓国の専用炉は国の金。民間ではなくて、100億か200億をかけて作る。

井戸) 韓国はRIを売って資金回収しようとは思っていない。原子炉を売って回収しようと思っている。

田畑) RIも広く韓国だけでなく考えている。

井戸) そのとおりで、例えばモリブデンを製造した場合、フルパワーで大体2000Ci/Wくらい作れる。韓国が使う量は600Ciくらい。後は外国で使ってほしい。とくに日本に使ってほしいといっている。日本は大体1000Ci/Wくらい使っている。年間製薬会社に入る段階で90000Ci必要とする。一週間にすると大体1200か1300くらいになると思う。韓国では、1000くらいは日本に買ってもらえるのではないかと。

田畑) 昔からそういう傾向にある。私が20年位前に韓国に行って原子炉を見学して、ルテニウムで、韓国特有のアイソトープだと言っていた。これを日本に絶対に買ってもらわないと、成り立たないし、買ってもらうつもりだと張り切っていた。それはどんな展開をしている。

井戸) ルテチウムだったか、Luの177か。これは韓国ばかりでなく欧米でも治療用に使われている。日本はほんの少量しか試験されていない。

町) 何のがんか。

井戸) これはイットリウムと同じようにモノクローナル抗体に標識するわけだから、固形がんでも血液がんでもモノクローナル抗体次第だから応用範囲は広い。イットリウムの変わりにルテチウムで標識したようなものだ。日本ではこの研究は進んでいない。このルテチウムは、値段が高いのと国産してないので使われていないのであろう。これをもう少し日本でもトライしてみたらどうかな、と思う。

6.5 国際協力の重要性

田畑) そろそろ時間が迫ってきたので最後の話題に行く。それはがん治療、核医学における国際協力の重要性ということについて。FNCA、IAEA、PACTへの協力、それとNPO、CJKの話などがあると思うが。

町) FNCAは辻井先生にがん治療のリーダーを長くやっていただいていて、辻井先生のおかげで非常に良い成績が上がっている。プロジェクトの中でも最優秀のプロジェクトで、子宮頸がん各国から非常に感謝されている。それとのからみでIAEAのPACT、この前のIAEAの総会で特別にこのがん治療を取り上げてやったくらい、日本人の天野事務局長が力を入れて、IAEAでもがん治療を途上国に普及させて行こうとしている。

田畑) PACTとは何か。

町) プログラム・オブ・アクション・フォー・キャンサ・セラピーの頭文字をとったもの。

辻井) PACTは現場に出向いていて、その実情を調べて、その国に合ったプログラムを提供する仕組み。

町) 機械も、同時に資金提供もIAEAが応援するもので、この間も放医研にPACTのリーダーに来てもらって、東京でも講演をしてもらった。

辻井) FNCAはわが国主導でやっている原子力エネルギーの平和利用のための活動で、これは日本として誇るべきではないか。放射線治療の標準化という活動を私は長い間行っている。おもにアジア地域で頻度の高いがん、特に子宮がんとか上咽頭がんを対象にして放射線治療を中心とした治療法の標準化をめざしている。最初は治療計画書の作成を行った。いろいろな治療法がある中で、みんなで一緒にやれるような治療方法を開発しようということで行った。臨床研究に慣れていない人の多い中で、はじめ意見がまとまらなくて苦労した。徐々にまとまり一つのプロトコルができた。それにのっとなって各国同じ治療を行って結果を評価することになった。一つのプロプログラムが終わると、それに基づいて次のプロトコル作成、というように段階を追ってやってきている。最近はみんなで行った治療成績がよいので、それがそれぞれの国で標準治療法として使われるようになった。

町) それまでそういう国には標準治療法はなかった。

田畑) 私も鮮明に覚えている。

辻井) ICNCA（アジア地域原子力協力国際会議）がFNCAの前身である。

田畑) その頃は私も関係していた。先生にやっていただいているということは良く知っていた。常に話題になっていた。

辻井) 日本としてはソフト的な面で協力することになる。もっぱら物を送るという時代から、人材育成につながる活動という意味で、すごく評価されていいと思う。最近になってやっと刈り取りの時期になったのではないかと思っていたところ、予算がぐんと減らされてしまい、皮肉な現象に直面している。FNCAに参加していたアジアの人々はいま偉くなりそれなりの地位についてオピニオンリーダーになっている。いろいろなものを日本か

ら売り込みたいとき、これらの人がサポーターになってくれる可能性が高い。こういった人材が各国で育ってきている。

田畑) 強く我々が要望できる話だ。

辻井) 町先生は全体の面倒を見ている。原子力のほぼ全ての活動の面倒を見ている中で、私はたまたま治療について参加した。

町) こういう活動は今後非常に日本の存在感を高めるうえで非常に大事なことだ。

井戸) RIの安定供給については中国と日本と韓国のアイソトープ協会が中心になって、アジア・オセアニアネットワークとしてオーストラリア・インドネシアに加わってもらって、さらに将来的には発展途上国、アジアの諸国にも参加してもらう。ここで日本は何ができるかということ、日本としてはエヌガンマ ($n\gamma$) によるモリブデンの製造法の技術を発信していく。 $n\gamma$ 法は昔からあったが、日本ぐらいの大規模消費量で、それに対応した実用レベルの製造技術は今までなかった。小規模のジェネレーターの供給はできたが、大量利用に $n\gamma$ でやれるというのを、実証例として日本が示せるか、世界が注目している。とくにIAEAは核不拡散の問題でウランを使わずにモリブデンだけでモリブデンを作るとうことで非常に注目している。是非日本がリーダーシップをとっていきたい。

田畑) CJK以外、世界全体の趨勢はどうか。

井戸) 欧州はAIPESという民間のグループが中心となって安定供給ということに対して大きいネットワークを作っている。米国は北米でコーラムとかいうグループがあり、安定供給で動いている。こういった世界を取りまとめる意味でOECD/NEAが各政府代表に集まってもらって持続する安定供給をどういう風にしていったらよいかはかかれている。この結論が6月にアピールか報告書の形で出てくると思う。それぞれの国がやるべきこと、サプライチェーンに所属するものがやるべきこととかいうような形で提案されている。

町) $n\gamma$ だと濃縮ウランはいらない。従来は高濃縮を使っているが、最近では20%の濃縮ウランを使っている、オーストラリアでも。核不拡散の観点からすると20%濃縮ウランでも決して好ましくないのでIAEAとしてもでき

るだけ $n\gamma$ を普及したいというのは前々からある。私がいた頃からゲル法などの開発をやっていたが、なかなかまい技術ができなかった。それを日本がFNCAで元JAEAの源河氏が中心になってPZC法の開発を進め小規模で技術を作り上げた。これを大きな規模で確立できれば、世界の核不拡散という観点からしても非常に好ましいことなので、それこそ日本発の技術として是非開発すべきである。

井戸) 発電炉が使えるということは非常に魅力的で、日立GE（GE日立）がアメリカでもそういう提案を進めている。また電力会社の立場からいってもエネルギーだけではなくて医療にも貢献している、医療に自分たちは充分貢献しているのだという自負は魅力であろう。そういう観点で、立地にしても……

田畑) その認識はあまり意識してない面がある。

井戸) 電力会社はそれにより儲かるわけではないが、ものすごくイメージがよくなる。

辻井) 自覚してもらおう。

田畑) 東電の前の社長もPETをやってもらったとしきりに言っていた。そういう認識まではまだ持っておられない。

井戸) ただ、いま安定供給において危機にある日本としては、電力会社の発電炉の中性子が使えるとなれば、医療用RIの国産化の可能性も高くなる。ただこれを実現するには照射技術だけではなく、その後の精製技術、その辺の技術を日本が提供できる、ということが大事ではないか。実際に今、官民一体となって検討を進め実現を図ろうとしている。我々もそれに非常に期待しているし、役割を果たさないといけない。

町) これが折角のチャンスなので、日本の非常に新しい動きとして、がん治療装置が途上国にほとんどないということで、人道的な問題として、そういう貧しい国にがん患者が増えているから、少しでも治療のチャンスを与えるという観点から、日本の中古のがん治療装置を出せないか。つまり日本は10年ごとに装置を新しくしているからまだまだ使える装置が倉庫に眠っている。それを出そうではないかということで、私は中野先生とも辻井先生ともやって、ついに一号機が、イエメンに供与された。この前中野

先生と関係者がイエメンに行って実際に治療装置を設置して使い方を教えて帰ってきた。こういうものをさらにほかの国にも提供していきたい。

田畑) この装置の中身は何か。

辻井) イリジウム線源を遠隔操作で子宮の中に挿入して照射する装置。中近東や東南アジアでは子宮がんが多い。標準的治療法は、外から放射線を照射する方法と、イリジウムによる腔内照射を組み合わせで行う。アジアでは患者は沢山いるが、装置がない。一方、日本は贅沢で10年くらい使うと更新されるので、まだまだ使える装置はそういったところで利用していただけないかと。

町) NPOなのでお金がない。皆さんの募金でやっている。中古だからちゃんと使えるように直さなければならない。そのために一千万位の経費がかかる。それを皆さんの寄付金でまかなっているので大変だ。

田畑) 放射線によるがん治療を中心に幅広く、特に直面するいくつかの課題について掘り下げた議論をしていただきありがとうございました。現状の理解とこの分野における今後の展開のために何らかの役に立つことを確信しています。

NPO中野財団： 群馬大学の中野先生が中心に運営している。中野先生は辻井先生のお弟子さんで群馬大学の重イオン治療のセンター長として活躍している。

第7章 持続可能な農業と安全な食品に役立つ放射線技術

対談日：平成23年 5 月 6 日

対談者：中川 仁（農業・食品産業技術総合研究機構バイオマス研究
統括監）

林 徹（聖徳大学人間栄養学部教授）

町 末男（原子力システム研究懇話会）

7.1 放射線を利用した品種改良の展望



町氏

町）これからどう放射線を農業分野に利用、展開していったらよいか。農業の課題はこれからどのようにして持続的で環境にやさしい農業を作り上げていくかということだと思う。そういう観点から放射線利用技術として品種改良と食品照射が役立つ。まず品種改良について議論していただく。中川さんから紹介していただきたい。



中川氏

中川）現在放射線を利用した突然変異育種を推進しているのは主にアジアだ。2007年のIAEAのデータベースを見ると、世界では中国が638品種で1位、次いでインドが272品種、3番目が日本で、たまたま私がIAEAにデータを送ったらそれが反映された。その前は6位くらいだったが、一気に順位を上げてその年は3位で233品種になっている。8位にベトナムが入っており43品種、10位にパキスタンが42品種となっている。だから、ベストテンの中に中国、インド、日本、ベトナム、パキスタンの5カ国が入っている。それ以外には旧ソ連とか、オランダ、ドイツが5位、アメリカは128で7位である。

町）アジアが多いというのは何か理由があるのか。

中川）私はその辺の分析はできていない。突然品種育種は広い面積の畑でできるだけたくさんの品種を植えてそこから探し出すという地道なもので。

だからある意味で、研究者によっては突然変異育種を軽く見る人がいる。交配するのではなくて、何か出るのを待っているだけという捕らえ方をするのだ。しかしそうではなく、何がほしいのかということのみきわめて本当に自分でやってみると、ぜんぜん違った育種法ができる。突然変異育種ではなくバイオテクノロジー研究の材料作りにはアメリカも相当使っている。ある遺伝子が何をしているかわからないときに、その遺伝子の突然変異があれば、ある形質が消えるため、この遺伝子はこの働きを持っていたことがわかるので、それは相当使われている。いわゆるゲノム研究、面白いことにアラビドプシス（シロイヌナズナ）が植物ゲノム研究のモデル植物として使われているが、あれに中性子やガンマ線を照射した種子（M1やM2世代）が販売されている。それを研究者が買ってきて突然変異を探して研究にも使えるというシステムにもなっている。

（注：種子あるいは植物に突然変異処理をしたものをM1、そのM1から自殖で採取した種子をM2と呼ぶ）

まず、どれくらい突然変異品種の経済効果があるかという話をする。2008年の時点で、突然変異には直接利用と間接利用がある。直接利用はガンマ線を当てて、あるいは化学物質でもよいが突然変異を起こさせそのまま品種にしたものをいう。それでよいのがでてきたら、それを親にして掛け合わせをしてその子供を品種にする。この場合が間接利用だ。突然品種数を議論する場合、基本的に我々は直接利用のものを数字にしている。しかし、さきほどの日本が3位になったというのは、データを見てみると少し間接利用が入っている。IAEAのデータベースもその辺は曖昧に考えている。本当の数字は、私の日本のデータでは2008年3月の時点で直接利用が61作物242品種ある。そのうち188品種が放射線で育成されたものだ。また、間接利用品種は現在も加速的に増えているが、2008年の時点で227品種、そのうちの198品種が稲で、実際どのくらい植わっているかというと、2005年の時点で99品種が現在日本の農家で栽培されている。これはほとんどが間接利用品種だ。

町) 99品種の中で使われている代表的なものはどのようなものか。日本での放射線品種改良で知られているのは最近ではナシの「ゴールド二十世紀」

だ。それ以前はイネの「レイメイ」がある。それ以外に役に立っている品種はあるか。

中川) ご指摘の通り一番代表的なものは「レイメイ」であるが、古い品種で現在は使われていない。イネで累積栽培面積の多いのは、10万ha以上植わっているもので、一番多いのは「アキヒカリ」の累積141万ha、「レイメイ」が89万ha、「キヌヒカリ」が26万ha、「はえぬき」が22万ha、「つがるロマン」が11万haの5品種だ。

町) どういうところにメリットがあるのか。どういうところが優れているか。

中川) 「レイメイ」自体は背を低くして、頭でっかちになっても倒れにくい。だから、その分茎も増えている。肥料をたくさん入れても倒れにくい。収量も上がるので、農家にしてみたらいい品種という風になる。さきほどの稲の品種、99品種が植わっているといったが、2008年時点の全稲栽培面積（170万ha）の12.4%に栽培されている。

町) それはそれらの品種の収量が高い、あるいは病気に強いということか。

中川) 病気に強いというのものもあるのかもしれないが、基本的には「レイメイ」の子供が多く、約半数である。また、同じ遺伝子なのかどうかわからないけれど背が低くなることによって同時に茎の数も増えている。肥料を多少入れても倒れにくいから収量上がるのが重要な長所である。

町) 「レイメイ」が最初だったのだろうが、それ以降もさらに「レイメイ」よりすぐれた背の低い（ドワーフ）の品種をつくっていった。

中川) 今言ったように、間接利用品種は多い。「レイメイ」を片親にした品種が4割から5割位あり、それが今、農家の田畑で植わっている。

町) 「レイメイ」より優れた点はどんなところか。

中川) 最近は食味品種が消費者に選ばれているため、収量よりは味が重要である。味を変えたかったら、この「レイメイ」を元に良食味の品種と交配して改良を進めるのが短稈で良食味の品種を作る良い方法である。最近の突然変異品種で人気の高い「キヌヒカリ」は「コシヒカリ」に突然変異を起こさせた短稈の系統を元にしてさらに交配によって作った品種で短稈で耐倒伏性を持ち、かつ味も良い。ところが日本の農家は3割か4割位はみんな「コシヒカリ」を植えている。「コシヒカリ」は50年位前に福井

県農試の石墨さんらが作った古い品種で、背が高くて倒れ易い。イモチにも弱いので農家にとっては本当に扱いにくい品種だ。これは日本人が「コシヒカリ」の味が好きというか、逆に言う「コシヒカリ」が日本人を飼育慣らしたという見方もあるぐらいだ（笑）。農家にとしてみると肥料を入れられない。肥料をたくさん入れると病気が出易いし、倒れ易い。一方、肥料をたくさんいれると味が落ちるので、肥料をたくさん入れられないということで、自然と味もよくなる。品種の味が良いというだけではなく、これも、「コシヒカリ」がおいしい原因かもしれない。

町) 肥料を入れると収穫は増えるか。

中川) 収穫は増えるが、倒れてしまったら収穫はできない。味も悪くなる。

町) 「コシヒカリ」は背が高くなるわけか。

中川) 背の高いのは頭でっかちになり倒れ易い。だから農家は倒れないように肥料を減らす。そうすると収量は減るが高く売れる。「コシヒカリ」は農家は作りにくいのだが、消費者はその味が好きなのでしかたなく作っている農家も多い。それに近いものは「キヌヒカリ」で、「コシヒカリ」に突然変異を起こさせた系統を元にしている。

町) FNCA（アジア原子力協力フォーラム）で中川先生が言い出した、アミロースの含有量を変えた品種を作るというのをやり始めた。そういう意味で今の日本でも、もち性とかを付与していった値段の高い米を作るといふところにも使われているのか。

中川) アミロース含量を減らすとさらに粘りの強いもち（糯）性の「コシヒカリ」みたいなものもできるわけだ。あるいは最近のヒットでは、放射線ではないが化学変異物質を使った「ミルキークイン」で、うるち性を半糯性に変えたものがある。かなりヒットしていて名前は良く知られているほうだが、栽培面積は「コシヒカリ」の面積に比べれば大きくない。このように、アミロース含量と食味には密接な関係がある。

町) 日本人はおこわ、もち米のご飯は好きだが。もち米は（価格が）高い。

中川) 収量が低いので、農家にとしてみたら同じ面積を作ったら高くないと割が合わない。

結構、もち性の陸稲品種も多く、突然変異品種も多い。水田でもち性

の品種とうるち性の品種を隣同士に栽培して出穂期が合うともち性品種にうるちの花粉がかかってうるち米が混じることになって困る。だから水田では出穂期をずらさなければいけないし、もっと簡単には、畑で陸稲の形でもちを作る方法が良く、茨城県では陸稲もち性品種を栽培している農家が多い。

町) イネは日本にとって大事な作物だから、イネでいい品種が出てくると良いだろう。

中川) イネの場合と同様に、ダイズでは突然変異品種が8品種で、内訳は直接利用品種4、間接利用品種4で、トータルで全ダイズの栽培面積のうち9.4%で実際に栽培されている。

町) どういうところが良いのか。

中川) これも背を低くして、出穂期がちょっと早生になった。

町) 背を高くするとダイズも倒れるのか。

中川) 大きくなりすぎると倒れやすい。「ライデン」は線虫に強い「ネマシラズ」という品種にガンマ線を照射して、20日以上開花・収穫を早くした品種で背も低くなったと思う。経済効果の話に戻し、突然変異品種の中で経済効果が大きいのはイネで、先ほど言った12.4%だから、単純に農家の売ったお米の値段に掛け算をすれば年間2500億円くらいの農家収入になる。ダイズの場合だったら9.4%ということは年間55億円くらい。だからイネとダイズだけで2千5～600億円くらいの経済効果といえる。これをどのように解釈するかは別問題だが、ラジアルタイヤや半導体生産における放射線の経済効果と同様の解釈ができる。

(注：<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryo2008/siryo18/siryo1.pdf>)

町) ナシは今、鳥取県ではほとんどあのナシになっているのだろう、「二十世紀ナシ」は。

中川) そう、ほとんどではないと思うが、2009年の時点で「二十世紀」が約2000ha栽培されていて、その半分以上は「ゴールド二十世紀」ではないかと推測している。実の部分は「二十世紀」も「ゴールド二十世紀」も全く差がないのだから、仕方がない。病気に強いわけだから農家にとっては有効な品種だ。

町) 経済効果はあるのだろう。

中川) これはなかなか計算しにくいというか、鳥取県の栽培地自体があれを放射線で作ったということを宣伝したくないらしい。この前、FNCAの紹介で私が話したときに、ある報道関係者が手を上げて、「中川さん、鳥取に二十世紀博物館があるが、行ったことがありますか」と聞かれ、「そこには「ゴールド二十世紀」ナシが突然変異でできたことが一言も書かれていない」、「中川さん、抗議されたらどうですか」と言われた。そういう意味では、食品照射の問題も同じで、販売者が、消費者の放射線アレルギーを恐れている。ただし、抗議するほどの問題でもなくて（笑）。

町) 自動車のタイヤが電子線架橋を利用して製造されている事をメーカーが広報していないのと同じだ。

中川) と思う。農家にとしてみたらこれは非常に楽だ。これまでは袋かけをしたり、農薬を2～3週間に一回位撒かないとちゃんとした実がなかった。「二十世紀」は黒斑病に非常に弱いわけだから。

町) そうだ。

中川) 「二十世紀」では農薬をたくさん使わないとできなかったのが、「ゴールド二十世紀」に変えると、農家は相当農薬散布回数を減らせる。消費者にとってみても農薬の回数が少ないわけだから、身体にもいいはずだ。それを売りにして、これは農薬の少ない「ゴールド二十世紀」ですよ、という売り方をしたらいいけれども、なかなか日本人というのは、放射線に対する。

町) アレルギーがあるから。

中川) これはあとの食品照射と関係するかもしれない。町さんご存知のように、私が一般の人を集めた講演で必ず何から始めるかという、「ここにりんごがあってこのりんごにガンマ線を当てたときにここ（りんご）からガンマ線が出るので食べたくないと思われる方は手を上げてください」と聞くと、3～40人いると勇気のある人3～4人が手を上げる。「これは全く科学的に根拠が無い」ということから始めないと、りんごにガンマ線を当てるとりんごからガンマ線が出ているという錯覚を持つ。さらに、「ゴールド二十世紀」もいつまでたっても10年も20年も経っていても枝からガン

マ線が出るのではないかというイメージを持つ。

町) 農家にしてみたら言いたくないということだ。

中川) あるところから質問が来たのだが、「ミルキークインももともと化学変異ですね」から始まり、「化学変異とはどういうことか?」、と質問された話だ。考えてみたら、最初1000粒、2000粒以上の種子に化学処理をするが、そのときの種子は非常に危険な状態だ。それを種まきをして、イネだったら一株で数千粒できるわけで、そのときに数千分の一以上に薄まる、もし化学物質が残っていたとしても、計測不能なぐらいに薄まる。それが、大体育種をやる間は7世代位かかっているはずだ。それに、品種となって農家が実際に増やしだしたら、さらに薄まっていく。1粒からとれる次世代の種子数を2000としても、2000分の1かける2000分の1、2000分の1で10回くらいかけないと皆さんの口に入らないわけだ。そうしたら最初の濃度はそれこそゼロの下にいくらゼロがつくのかという値になる。種子は成長して種子以外の稲わらなどの部分にもなるので、実際にはさらに薄い。だけれどもどこかにみんなは残っているのではないかと思って、「気持ち悪い」と、たぶん言うと思う。このように化学物質も全く同じ状況だ。突然変異でガンマ線だけそうだというわけではなくて、化学物質で作ったものについても消費者はそういうイメージを持っている。だから「ミルキークイン」が化学突然変異で作られたということはあまり言わない。

町) 日本の消費者の場合、突然変異だけではなくて遺伝子組み換え (GMO: Genetically Modified Organism) も受け入れていないのではないか。

中川) GMOと突然変異育種との違いは一言で言うと、GMOは足し算だ。よそから遺伝子を入れる。突然変異育種は引き算だ。遺伝子をつぶす。遺伝子をつぶして、もともとあったセットの中からひとつつぶしたら新しいものができたという育種技術だ。ふつうはつぶすことによって小さくなってしまったり、弱くなってしまったりするが、たまたまつぶすとよくなるケースがあったりする。ガンマ線の場合は大半が欠失の突然変異だ。中性子もイオンビームもそうだが、遺伝子をつぶしてしまうと修復できなくなることもある。遺伝子がつぶれるとおもしろい結果が生じる例がイネの難脱粒だ。野生のイネは熟れたら種がぱらぱら落ちる。我々が今食べている

イネはみんな収穫時にも穂についている。あれは一つの遺伝子がつぶれたら種子が落ちなくなるのだ。今、飼料用やバイオマス原料用の新しいイネの品種を作るために、野性に近い脱粒しやすい系統を利用することがある。この脱粒性をなくすためにガンマ線を照射した突然変異育種が利用されている。この脱粒する遺伝子をつぶすために。だから遺伝子がつぶれることによって、そんなに悪い形質ばかりが出るわけじゃなくて、実際に作物の進化の歴史を見ると、遺伝子がつぶれることによって多くの作物が進化してきたと考えられている。古代は、人間がその自然突然変異を発見して栽培を始めた。

町) 話題を変えると、突然変異を使った品種改良はこれからも利用されていくと考えられると思うが、これから何を目指して品種改良の研究開発はやっていくことになりそうか。

中川) 最近のイオンビームの例などを見ても、いちばん多いのが花関係だ。

町) 花は眼で見てわかるので、短期間に開発できるというやり易さがある。

中川) 目で見てわかるというのがいちばん大きい。例えばアミロースとか、もち性になるかならないかだとか、また低タンパク質米など、いちいち成分を調査しないと、すなわち1000から10000個体の成分を測っていかないと、その中から本当の自分の目的のものが見つからないが、花の変異は一目瞭然でわかる。人の目は非常によくできていて、青と少し薄い青を見分けることもできる。

町) たしかに。原子力研究機構高崎量子研究所の田中ユニット長（田中淳 医療・バイオ応用量子ビーム技術研究ユニット長）のグループも重イオンを使って花の品種改良をやっている。花は贅沢品みたいなものだから、食糧となる作物の品種改良に重イオンを利用して、食べ物の足りない途上国に役立てるような研究を進めるように田中氏にアドバイスしている。突然変異の利用というのはまだまだ大事な課題があるのではないか。

中川) FNCAでも、今、私は離れているが、イネの中でも耐塩性品種を作る試みがバングラデシュで行われている。実際には、弱い品種を耐塩性品種にする訳ではなく、耐塩性の強い野生品種の品質を上げる発想で、すなわち品種の食味をよくする。

町) ベトナムは耐塩性品種の開発で成功している。IAEAはとても宣伝をしている。メコンデルタは塩があるからそこで育つ稲の品種改良に成功して、かつて米の輸入国ベトナムがいま米の輸出国になっているとIAEAは突然変異の価値を宣伝している。イオンビームという新しいものを使って、花というような安易なものではなく、持続的農業に貢献するように利用すべきではないか。

中川) 理化学研究所(の阿部(阿部知子 仁科加速器研究センター応用研究開発室長)さんのところ)では、イオンビーム照射で耐塩性のイネ突然変異系統を出している。

町) 耐塩性は日本でも必要なのか。

中川) 東北の干拓地で必要だということで始まったという。我々でもガンマ線を出そうと思えば出せると思う。日本で塩害が問題になっているのは、今回の東日本大震災による東北地方の津波による塩害への対応である。これとは別に突然変異誘発に関して、イオンビームがいいのかガンマ線がいいのかの議論があるかもしれないが、どちらでやってもたぶん同じものが出るだろう。頻度の差はあると思う。大事なのはスクリーニングをどうするかというのが現在の課題である。イオンビームとガンマ線との議論で、こういう変異はイオンビームでしか出なかったとか、ガンマ線でしか出なかったという議論になるとあまり意味はない。たかだか250くらいの品種で言っているわけで、例えばイネだけだと日本では31品種しかない。これでどちらがいいのかというとあまりにも数が少なすぎて議論にならない。これが1000くらいになるともう少しは議論になるが。花についてはたしかに原子力機構でよくやっているので、イオンビームのほうが少し変わったものが出るというのがデータにはなっている。しかし他の放射線誘発形質で考えても、そのメカニズム自体が遺伝子をつぶすわけだから、今後さらにデータを積み重ねる必要がある。

町) もう一つ、持続的農業という意味で、農薬を使わなくて済む、まさにさきほどの「ゴールド二十世紀」ナシがそうだけれど、そういう方向に突然変異を使っていく、私がIAEAにいた頃に重視していたのは、殺虫剤とか農薬で環境汚染がすごいという事だ。CO₂による温暖化問題もさること

ながら、化学物質も環境を汚染している。耐病性の強い品種を作ることで農薬の使用を減らすことが重要だ。FNCAではバナナの品種改良をやった。フィリピンの現場に行ったが、バンチトップバイラス（banana bunchy top virus）というウイルス病に耐える新品種をフィリピンで作った。現場で新品種との比較を見てきたが新品種はものすごく優秀だ。そうすると今までバナナの病気を防ぐためにヘリコプターで撒いていた農薬を撒かなくてよくなるか、回数を減らせるということになれば、環境には大変やさしいと思う。環境を守りながら、収穫も増やすような品種を開発する事は非常に大事だと思う。（注：サブプロジェクト『バナナの耐病性育種』成果書参照（<http://www.fnca.mext.go.jp/mb/drb/drb.html>））

中川） IAEAのデータベースを見るとどういう品種ができたかというのがあって、耐病性で分けたり耐虫性で分けたり、環境耐性、どれもある。虫は少ないが病気に強くなったというのがかなりある。いろいろな作物で。病気というのはある病原菌が植物に対して強い弱いではなく、両者の相性なのだ。病原菌と作物は鍵と鍵穴のような関係にあり、鍵と鍵穴の形が合致すると病気になるが、突然変異を起こして鍵穴の形を変えてやれば病気にはならなくなる。こういうことは突然変異で非常に起こしやすい。

町） 現実はいまの「ゴールド二十世紀」ナシ以外にそういう例はあるのか。

中川） あると思う。イネでもいもち病（稲熱病）に強いのが出ている。耐病性だけの話をはなれてGM（遺伝子組み換え）との比較だが、GMの場合、そのメカニズムをちゃんと考えて遺伝子を入れることがある。それが身体に良いか悪いとか、人が好き嫌いかの議論は別にして、突然変異育種というのはその途中のメカニズムはわからないけれど強くなったという例は多い。

町） 偶然に頼っている。

中川） 偶然は偶然だが、自分が思うように選抜しているからそれは育種といえる。事象自体は偶然にゆだねている。なんとなく理由はわからないのに、みたいな話になってくる。実際バナナバンチトップ（バナナバンチトップウイルス病）も同じだが、照射したものをホットスポットという病原体汚染地域に植えて、そこで生き残るものが出てきたら、それは突然変異で

抵抗性を獲得したといえて、非常に耐病性のスクリーニングがしやすい。

町) そういうやり方はフィリピンもやっているようだ。

中川) 耐塩性の話に戻るが、たとえば小麦に肥料をやりすぎたり、あるいは灌漑水をポンプアップして塩類が多量に蓄積している土壤が世界中にたくさん増えている、中国とかでは。そういうところで耐塩性の小麦であるとか耐塩性のソルガム (Sorghum: モロコシ) を突然変異で誘発して、これを栽培することが始められている。これもメカニズムは判らないが、根にあるミネラルを吸収するところが壊れたりして、耐塩性になったりしているようだ。

町) GMOと突然変異品種改良は、これから共存して行くことになるのか。

中川) 私もGMOで特許を持っている。10年もすればPA (パブリックアクセプタンス) が得られるのではないかと考えていたが、このごろは逆の方向に動いているようだ。日本人はますますGMOが好きでなくなっているとか、ヨーロッパでも好きでなくなっている。

町) それは理由があるのか。

中川) 実際にGMO自体に、使われている遺伝子が少ないこともその一因だ。

町) アメリカは大豆でたくさん使っているのではないか。

中川) ラウンドアップレディ (米国モンサント社の開発した除草剤 (ラウンドアップ) に耐性になる遺伝子) という一連の除草剤抵抗性の遺伝子組み換えダイズ、トウモロコシ、ワタなどがいちばん多い。一つの除草剤、すなわちラウンドアップだけで雑草を皆殺しにし、これらのGM作物だけが耐性で生えることができるから、非常に畑の管理がしやすくなる。また、ラウンドアップレディ品種を使うと直播ができるという利点もある。いま地球温暖化が問題になっているが、ロータリーをかけるとそこから温室効果ガスがいっぱい出る。ロータリーをかけずに直播するほうがCO₂を出さないというデータがある。ロータリーは除草効果も大きいので除草の対策を取らなければ直播栽培はできない。まず、畑にラウンドアップを撒いて雑草を枯らし、そこに直播し、さらに雑草が繁茂する前にもう一度ラウンドアップを撒くという栽培法が、今アルゼンチンで全栽培面積の95%だ。すなわち、ダイズととうもろこしの95%くらいがGMOだ。それで成功して

いる。生産量も上がった。ダイズととうもろこしを輪作する。そうすると土地にもやさしく、なおかつCO₂を放出しない。

町) そういう優れたことがGMOのできるのだから、要するにこれはパブリックアクセプタンスの問題であって、一般の人にわかりやすく説明することによってGMOがこれからさらに広がっていく。しかし同時に突然変異品種改良も続くという風に考えてもいいのか。

中川) たぶんあとで食品照射の問題で出てくると思うが、日本ではGMOの必要性が低い。そういうものの使える場所、農家がラウンドアップを使ったりすることによって自分の収益が上がる場所が少ない。大規模で広い面積をCO₂を出さずに低コストでやるかという話になってくると、農家の人は飛びつくが日本では北海道くらいしかそういう場所が無い。しかし北海道は法律でいろいろ規制されている。

町) たとえば「ゴールド二十世紀」ナシを偶然ガンマフィールドで見つけて、今鳥取県で使っている。これをガンマフィールドを使わないでGMOで耐黒斑病性の「二十世紀」ナシをGMOを使って作るということは極めて難しいわけか。

中川) そんなことは無い。メカニズムがわかれば。ある意味では遺伝子の働きを止めるわけだ。そうするとアンチセンスといって止める遺伝子を入れるという方法もある。問題は遺伝子を導入するための培養系が作れるかどうかだ。突然変異でできることはきっとGMでもできる。でもかえって手間やコストがかかるかもしれない。安全性についてはどちらも一緒だ。GMOはなぜこれだけPAが厳しいかは規制が厳しいというのも一因だ。

町) 安全性については違うと思う。突然変異は自然の宇宙線の作用で今まで起こっていたものをもっと確率高く起こすために、宇宙線の変わりにガンマ線を使うということなので、これは一種の自然現象であるのに対して、GMOは人工的に遺伝子を操作するのだから、この二つは違うというふうに説明をしてきているが、その説明は間違っていないだろう。

中川) 間違っていない。突然変異育種で起こることは、世界中どこかで起こっている。GMOは起こらないものもある。倫理上の問題はあると思う。例えば動物の遺伝子を植物に入れていいのか、というその時点で反対の

人が出てくる。そういうことはしてはならないという。でも間違っではないのは、私がGMOをサポートするとすれば、人口がどんどん増加し、それに対して食料はどんどん作らなければいけない。増やさなければいけない。ところが今の我々の技術で育種をやっていってもたぶん収穫量を一割上げるのがせいっぱいだ。これにGMOを使えば、例えばアフリカでの旱魃に耐える強い耐旱性、それこそ我々が突然変異で作るよりもっと高いレベルの耐乾性であるとか、耐塩性が出てきたときに、ひょっとして2割、3割収量が上がるかもしれない。そのときにそういうものがなければ、今の育種技術では人口の増加にはついていけないということで、ご存知のように国際研究機関イーリー（IRRI）というイネの研究所だとか国際半乾燥地熱帯作物研究所（ICRISAT:International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics）とかでは遺伝子組み換えを推奨している。

町） FAO（国連食糧農業機関）も推奨しているのか。

中川） FAOは育種のところはわからないが、国際的な作物の育種をする国際研究センター、安全性についてはFAOは認めていると思う。現在市販されているものについては安全であるものしか植わっていない。日本でもそういう試験をして環境への影響がこれまでのものと変わっていないことが確認されなければ国はOKを出さない。

町） そういう意味で消費者は、本当は安心していいのだけれどなかなか安心しない。

中川） 数年前の時点でも、40何品種かが、一応、認可されているにもかかわらず日本では一品種も植わっていない。

町） 教育の問題ではないかと思う。福島事故もあってこれから原子力発電が使いにくくなる。そうするとそれ以外のエネルギーに頼らなくてはならなくなってきたときに、バイオ燃料がかなり大事になってくる可能性はある。そうすると例えばジャトロファ（Jatropha：ナンヨウアブラギリ、種子の油を利用）とか、いま収穫時期定まらないとか毒性があるとかいわれているが、そういうものを品種改良で変えて、バイオ燃料として使いやすい作物を作るために品種改良を使っていこうとする動きとか、研究者はいるだろうか。

中川) 私もその一人だ。去年の（事業）仕分けを受けて私のやっている課題は落とされた（笑）。農水省委託の地域バイオマスというプロジェクトがあって、その中でソルガムの中に茎が甘いスイートソルガムと呼ばれるものがある。茎や葉の表面にワックスがあったり、消化しにくい成分のリグニンがあるが、その遺伝子を突然変異でつぶしてしまうと、家畜の飼料としてもエタノール発酵の原料として良いということで育種を進めている。その結果、私はガンマ線を照射してワックスの無いものとリグニンの少ないものの両方とも誘発した。それらは消化率（発酵率）もよいことがわかっていて、これは品種としてそのまま使える。

町) 世界的にそういう動きはあるのか。

中川) 何の作物を育種したいかということが変化している。現在、サトウキビととうもろこし、すなわちサトウキビの砂糖を使ってあるいはとうもろこしの実を使ってエタノールにする。ところがそれは食料と競合するではないかという議論がある。そこで、今、研究者が注目するのは、アメリカではスイッチグラスという、グレートプレーリーに植わっている野草だ。日本で言うススキみたいなものだ。さらに、もともと日本にあったススキをそのままアメリカに持って行ってバイオマス燃料やエネルギーを作る。そして我々はまた違った作物を考えている。世界的にこの考え方が非常に広がっている。そうすると、新しい作物、例えばススキはどうして育種するのはわからない。もちろん、交配によって新しい系統を作ることは可能だ。しかし、そのときにもしも、一つの特性だけを変えたい場合があれば突然変異でやってしまうのがよい。ススキは種子繁殖でもいけるし交配もできるが、株分けして放射線を当てるほうが変異を出しやすいということがある。

町) この前韓国で会議があったときに、韓国は海藻からバイオ燃料を作るといのが、陸のソルガムより効率が良いと言っていた。それで海藻の突然変異育種品種改良をやりたいという計画を考えている。どちらかというところ冷たい海で育つ。もっと温度の高い南のほうの海でも育つような海草を開発すると、バイオ燃料の原料として有望になるという事だ。そういう研究を韓国が始めている。

中川) 日本では海藻のような大きなものでなくて、微細藻というクロレラみ

たいなセルロースを作るものとかバイオディーゼル用のものもあるが、細かい小さなほうで研究が進んでいる。淡水のものもあれば海水で、ということもあるだろうし、もともとクロレラみたいなものは、地上のものよりもたしかに乾物生産量の値というのが高い。単位面積当たりとか、時間当たりで作った光合成量のデータがある。しかし、その代わり外側からいっぱいエネルギーを与えてやらないといけないし、温度を上げてやらなければいけない。だからそういうエネルギーを継ぎ足せばたくさん取れるというのは事実だ。おっしゃるとおりジャトロファもなぜ突然変異育種と言いつ出したかということ、やはり育種のやり方があまりわかっていない。これは良いことか悪いことかわからないが、育種の方がわからないときに、まず自然界に無かったら突然変異を出してみようというふうな、若干安易な発想でやっているのがある（笑）。

町）一昨年訪問したガーナの原子力研究所でジャトロファの突然変異品種改良の研究をやっていた。ジャトロファはいつ実がなるのか定まらないので、効率的な収穫がむずかしいので、一定の時期に実る品種の開発を進めている。

中川）いまいちばんジャトロファが使われているのがタイ。タイカセサート大学でジャトロファスクールという一般向けの研修を3日間コースで、種まきから収穫から、最後のバイオディーゼルの造り方まで一通りレッスンする。昨年、私は熱帯農学会（日本熱帯農業学会 公開シンポジウム「熱帯資源植物を利用した二酸化炭素-25%達成の具体的方策」- 医農商工連携プロジェクト-）で話したときに、隣に座ったタイのカセサート大学の先生がこういうスクールがあるとジャトロファのレクチャーでやった。私がそれに質問をして、コスト的にどうか聞いたら、コストは合わない。町さんの話のようにここで花が咲いて、ここで実がなっているという状況だから、みんなコーヒー豆の採取のように手取りでやる。おまけに莢はとげがあって痛い。そういう風にやると、単位面積当たりのコストは、労賃は日本と違って向こうは安い、それでも高くつく。自分の家で自家消費するという話になった場合にはそれで済み、それはそれで大きな意義を持つが、機械化を進めなければこれで産業を興すのはまず難しい。そのため

に町さんご指摘の品種改良が必要だ。菜種だって、ここで私が栽培して、種子を収穫し、それをバイオディーゼルにして売るのはぜんぜん採算がとれず、だめだ。しかし、「それでも良い、畑が空いているので、自分で作ったものを自分の家のトラクターで使って動かす」といったら、これはもうガソリンを買わなくてよい。自家消費することはバイオ燃料生産・発電では重要な点だ。

町) ジャトロファというのは非常にやせた土地でも育つので、今まで何も育たなかったところに植えればそこで油が取れるというメリットがあると聞いている。

中川) もともとそれがメリットで進んだが、この栽培が儲かるとなると、やはり食料でも作れるよい土地に作り出す。それが一番の問題だ。

町) そうするとまた、食料と競合してしまう。

中川) ご指摘の本当のマージナル（作物を作りにくい辺境地）な場所という人間も住みにくいだろうし、そういうところで実際にやるかどうかが重要だ。そういう場所は世界各地にあるが、まだ、成功例は聞いたことが無い。

町) 林さんは農業の専門家として、品種改良の今後取り組むべきことについてのご意見は。

林) たぶん先ほど出た耐塩性もそうだが、砂漠緑化がある。湿度が高いか、塩害か、あるいは乾燥か、そういう環境の悪いところで育つような作物を開発するというのが、地球規模で考えたら一番重要なのだと思う。それが王道。おいしいものを作らせても、これよりおいしいものが本当にほしいかどうか。食品照射にも同じことが言える。砂漠でも一回砂漠化したところでは緑化できない。あるいはそこで作物を作ることができない。環境の悪いところで育つ作物の開発が王道ではないかと思う。

町) 地球上で、海以外の陸地のうち農業で使われている面積のパーセンテージは低いのだろう、たぶん。ほとんど使われていないところで育つ作物を開発する重要性は林さんのおっしゃるとおりだ。

林) 地球環境にも貢献するし温暖化防止にもなる。砂漠化、塩害、今回東北で津波があつてということがあがるが、そういうところはたくさんあるから、もともとの環境として、あちこちで干上がって湖が塩を吹いていると

ころ、そういうような、地味で面白みはほとんど無い仕事が重要。

中川) 少し最初の話に戻ると、日本でそういう場所が、今回できたけれども、そういう突然変異があったかというのと、そうではなくて、味とかご存じのように低タンパク質米があるが、腎臓病向きのものだ。それは突然変異で作ったものが高く売れる、すなわち価値を加えるという風な形で反映させようとしてきた。花の突然変異育種もそうだ。これまでであったものより高く売りたいという目的があって使われた突然変異育種というのはそれなりに成功例も多い。ある意味では。いま林さんが言われたようなアジア、アフリカで今行おうとしているのはそこだと思う。

町) 非常に大事なことだと思う。世界に突然変異の品種改良をやっている研究者はどのくらいいるか。

中川) 私はFNCA（アジア原子力協力フォーラム）の中でしか知らないが、大きく分けて二つに分かれる。各国の原子力研究所にいるグループと農業試験場に属するグループに分かれる。タイは農業グループが強い。カセサート大学に行って照射してもらって農業試験場が品種を作る。ベトナムは両方が、また、フィリピンも大学と原子力研究所が協力してがんばっている。

町) 本当はそういう人を育てていかねばならない。今日本では原子力交流制度で品種改良の人が福井県に来ている。福井県の若狭湾エネルギー研究所でイオンビーム装置を使ってイネの品種改良をやっている。林さんがおっしゃったようにアフリカの国の人をもっと日本に呼ぶとか、日本人が出かけていくかして、品種改良の研究のできる人を増やすことが必要なのではないか。

中川) GMOと突然変異に戻ると、突然変異育種というのは非常に低コストだ。照射施設の管理は非常に金がかかる。イオンビームも照射にものすごくお金がかかるし、ガンマフィールドも大規模の施設を管理するのに金がかかる。2年に一回線源を換えるのに3、4千万円のコストがかかる。しかし、そういうものをどこかがやってくれたら、実際に育種をやる人間は、そこから照射した種を貰ってくるだけで、これまでやってきた同じ手法で育種ができる。そのための新たな施設や道具はいらない。一方、GMOをやろうと思ったら少なくとも電気泳動する装置とか、PCRという遺伝子を

増幅する装置やシーケンサー、あれを揃えるとなると1、2千万はする。それが無かったらGMOの育種はできない。そういった意味で、突然変異育種は開発途上国向きだ。ただしどこかで材料に照射してあげなければいけないが、そこで金がものすごくかかるということだ。

町) だけど、途上国でも原子力研究所のある国はかなりある。そこに行けばイオンビームは無いとしてもガンマ線照射施設はある。

中川) そういうものをキーで作っていくというのは重要で、マレーシアには2009年にガンマグリーンハウスが建設された。韓国には2005年に建設されたガンマファイトトロンがある。

町) ベトナムには今度ガンマフィールドができる。

中川) 日本にはガンマフィールドがあるが今回の地震でかなり打撃を受けた。土手が崩れたりガンマルームにひびが入った。それを修理するお金が足りないようで、しばらく動かせない。話を戻すと、日本にガンマルームとガンマフィールドがあり、韓国にガンマファイトトロンがあり、マレーシアにガンマグリーンハウスがあり、その3つが中心になってガンマ線照射を行う。イオンビームについては原子力機構の田中さんのグループがFNCA参加国のために照射してあげている。理研もFNCAとは関係ないが共同研究契約を結び、海外からの依頼照射を受けて手伝っている。

7.2 食品照射の課題と展望

町) 品種改良はその位にして、食品照射の話に移りたい。一番難しいのは照射食品のパブリックアクセプタンスの問題だ。私も原子力委員のときに食品照射をもっと普及させるべきだということで、委員会まで作って食総研の等々力さんや多田先生などいろいろな方に出てもらって議論し、推進すべきとの結論を出したが、その後厚労省のなかでなかなか進んでないようだ。IAEAの話では世界特に中国などは食品照射が増えているし、先日訪問したフィリピンでは照射したパパイアやマンゴーをアメリカに輸出しているといった。そういう意味では、世界では結構広がっているわけだが、日本ではなかなか普及しない。食品照射は人類にとって利益多い技術だと思う。特に熱帯性フルーツの殺虫処理はメチルプロマイドで行われていた

が、これは有害物質で使用できなくなっている。薬品を使ってやるとその薬品が食品に残留するリスクもある。よほど食品照射のほう人間に対して安全な技術だと思うのだけれども、これがなかなか消費者に受け入れられないというのは、古くて新しい問題だが、林さんはどうお考えか。

林) 食品照射が受け入れられないのは日本だけでなく欧州も。昔オランダとかフランスとかベルギーとかが活発に食品照射をやっていたが、EUを統一して規制を作って方針が変わってほとんどやらなくなった。潜在的に放射線はどこの国民もあまり好きではなさそうだ。

中川) 例外としてカエルの脚。ガンマ線を照射したと書いてあるが、フランス人は許容している。カエルの脚というのはガンマ線がかかっているものだということが頭の中にある。だから今でも消費が多い。



林氏

林) カエルの脚とか冷凍エビとか。特にベトナムは盛んに輸出している。中国では照射しているということを知らしめていないからどんどん広がっている。それは事実だ。知っていると、何となく嫌がるというのはどこも同じみたいだ。あとはその国なり企業なりがそれでもやるという強い意志があれば進んでいっている。アメリカなどはそう。中国もそうだろうしベトナムも。輸出という

ことになる。自国民が食べるわけではない。アメリカなどは逆に、フィリピンは知らないがインドやタイからマンゴーとかいろいろなトロピカルフルーツを照射してもってこさせている。検疫処理のために。自国民が食べる果実にわざわざ外国にそういうことまで要求するところまで来ている。その意図はよくわからないが、メキシコ、ブラジルにもそういうことをやらせるといっている。先ほどおっしゃった臭化メチルの代替技術としてやらなければならないという意識がアメリカの中にあるのであろう。それはちょっと特殊だと思う。中国で特徴的なのはニンニクあとは香辛料などいろいろなものを行っている。カエルの脚、冷凍エビとか冷凍のそういったものはベトナムでやっており、これは輸出用だ。いろいろなところで行っているのだけれど、爆発的に増えることはいまのところない。実際は何を

するかといったら臭化メチルの代わりだったらリン化水素で燻蒸する。リン化水素で燻蒸するけれども完全に殺虫することは難しい。生き残った害虫が薬剤耐性になってしまう。このことが、そのうちに問題になるだろうというのだけれども、それがいちばん安直な方法だ。臭化メチルの代わりにリン化水素を使っているのが現実。日本は放射線を使うのを嫌がるために日本の農水省が各国に、お湯につけるような方法を強制している。温水処理をするプラントを作らせて日本に処理した果実をもってきている。

町) 味がちょっと変わるとか、そういうことは無いか。

林) 味はちょっと変わるとかはある。かんきつ類だと2～3度でおいておく。冷蔵というのか、そうして虫を殺す。

町) 冷温で。

林) そういういろいろなことをやって、コストは高くつくけれども今のところ日本の消費者はそれで特に文句を言っていない。

町) 少々高くても良いと。日本は。

林) もう一つは香辛料。これはもう世界的に放射線照射が広がっている。香辛料の殺菌といったら大体放射線が中心だから。

町) 世界的にそうになっている。日本だけが輸入できない。

林) 日本だけが特殊に、過熱水蒸気を使って殺菌している。

町) 味が変わるだろう熱でやれば、フレーバーも飛ぶだろう。

林) フレーバーは飛ぶが、その辺が非常に難しい問題だ。フレーバーが飛んだらだめか？という話になってくる。

町) 好き嫌いの問題。

林) 過熱水蒸気のほうがフレーバーが飛んだり色が変わったり味が変わったりするから、確実に品質が劣化するものがある。けれども、それで誰が困るのだといっても誰も困っていない。そこから先はニーズの話になる。ニーズがそのところに行ったときには科学的、技術的には明らかに過熱水蒸気よりも放射線のほうがいいのだけれど。その良いものを誰が求めているのかといったら、消費者は今のものに満足している。それに対して、それ以上うまいものを食べさせてやるというのはおせっかいであるということになる。(誰も求めていない的にニーズ側に説明できない)。

中川) 今回、私は思ったのだが、例の生の肉でO-111（2011年4月富山県、福井県での生肉食中毒で死者4人）。

林) 米国では病原性大腸菌O-157のとき（1993年1月米国でハンバーガーによる食中毒事件がおき、食肉の放射線照射が検討される契機となった）。

中川) 確かにアメリカはハンバーグをミディアムで食べる習慣がある。年間何百人か何千人か中毒で死んでいると聞く。

町) 何千人も死んでいると報告されている。

中川) それのためにこれを（食品照射を）やっている。

町) サンビーム社はまだやっているのか。

林) やっている。

中川) データを見ないといけませんが、去年の内閣府委託事業で行われた平成19年度放射線利用の経済規模に関する調査報告書の久米さんの報告の中にあった気がする。

(<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryo2008/siryo18/siryo1.pdf>)

日本ではもともと生肉を食べないという発想でやっているから食品照射はいらないけれども、本当に生肉を食べたいのであれば、その価値は大きい。

町) この前のユッケの生肉中毒のようなことが起こるのを防止するには照射が効果的だ。

中川) 本当に生肉が好きだというのだったら照射して菌を殺して食べたらよい。

林) （照射すると）油の味が変わる、油が酸化して。ハンバーグのパティだって全部冷凍して照射している。ハンバーグをタルタルステーキで食べる話ではないが、生焼けのものを食べるから（中毒に）なる。生で照射するとたぶん2～3kGy当てるから味が変わる。放射線照射を補助的な手段では使うことはできる。小さな事件ではなしに大事件になって、それを解決できれば説得力はあるだろうが、やはり実用化はむずかしいと思う。否定的なことを言っているのではなくて、技術的な優劣で比較しても、結局いらぬおせっかいだという話になる。誰も説得できない。今のもので満足している中で、うまいものを食べさせてあげよう、もっとソーセージがおいし

くなるよと言っても、あえてそんなことをしてもらわなくて良い、それは高く売りたい企業の都合だろうと、そういうふうになってしまう。本来安く処理ができる、日本でいらぬ規制を香辛料にしている。そのために何回でも違法だといわれて照射した輸入食品が引っかかっている。仕方なく積戻すか廃棄する。そのために自主検査するために照射食品の検知技術はどの企業も装備している。検疫当局も厚生省もチェックしている。その経費は最終的に国民に回ってくる。

町) 青森のニンニクをヒドラジン系化合物で芽止めしていたがそれが有害だ、発がん性物質だといって禁止になった。そうするとニンニク発芽の防止の方法が無いといって、原子力委員会に放射線で発芽防止できるかという問い合わせがきたことがある。もちろんできると返事をしたことがあるが、実際には使われていない。何を使っているかということ、一度低温にして保管する。その間は芽が出ないがスーパーで売る直前に常温に戻す。売っている間は芽が出ないが3週間もすれば芽が出ると聞いたが、こういうことでは消費者は実際に困るのではないか。

林) 明らかに青森の産地は困る。何とかしのいでいるのが現状。そこへ中国や韓国から入ってくる。

町) 中国のは照射しているのもあるのではないか。

林) よくわからないが芽の出ないのがある。マレイン酸ヒドラジドを製造中止したときにニンニクだけでなく実はジャガイモも私の技術でやろうという話になった。マレイン酸ヒドラジドを使わなかったからジャガイモの倉庫が芽が出たジャガイモがからんでジャガイモを出すに出せなくなった。それでどうするかという話になって、士幌農協が、消費者がこれ以上ガンマ線を受け入れにくいというので、私の低エネルギー技術を使うことになった。

町) 加速器か。

林) 20万—30万電子ボルト位でジャガイモの処理をする装置をガンマ線の代わりに設置しようということで、農水省が補助金を出す話になって、士幌とホクレンで導入する話になった。そうしたら、実はここからが簡単な話ではない、馬鈴薯の製品の最大手メーカーがNOといった。消費者のアク

セプタンスが得られるかどうか分からないと。低エネルギーの電子線は放射線の定義から外れるから表示も何も無い。これはいいということだった。ところがなぜそれがいやだか必要が無いといったか、といったら、消費者が反対するというより、実はポテチ特区といって、ポテトチップ特区といって、当時小泉内閣のときに特区ばやりのときの話だ。生のジャガイモを原料のジャガイモを検疫、植物防疫で引っかかって入れられない。それを植物病原菌が無いということを証明して、それを特区として入れたいというのを、政府に圧力をかけていた。そういう新しい発芽抑制技術が導入されると特区構想がつぶれる。それよりむしろ外国から生ジャガイモを入れるのに興味があり、低エネルギー電子技術の必要が無いといってやめた。そういう微妙な話があって、新しい技術を入れたがらない。ユーザー側でNOという。結局芽の出る問題がどうなったかわからない。もう一つは芽が出たものは芽かきをする。ポテトチップの工場で。それで一部のジャガイモが芽が出ないといったって、例えば土幌のものだけが芽が出ないといったって、他からきたものは芽が出るから、芽かき作業を同じようにやるからという理屈で、あまりそんなものがあったって、使わないといった。他の会社が使いたいといったが、その一番力のある企業が使わないといったためこの話は消えてしまった。実は、日新電機などが多くの金を使って実証プラントを作って実験を行ったが、結局それはつぶれた。今どういう風になっているか知らない。たぶん低温貯蔵と芽かきで対応しているのだろう。青森のニンニクも同じだが、入れるタイミングが大事で、ぱっと入れればよいのだが、ずるずるしていると、それをしのぐような技術やシステムができてタイミングを失してしまう。困ったときにぱっと許可されて、プラントができれば定着して導入されるけれど、そこでもたつくと誰かが別のことを考え出す。技術というものはそういうものではないか。

中川) 芽止めは十分に消費者向きの技術だ。消費者にとって良いという意味では芽止めというのは買ってきて、自分の家においていて芽が出ない。一週間も二週間たっても、それは消費者にいい技術だ。しかし、先ほど経済的な話があったが、ジャガイモの芽止めというのは、経済効果がいくらかといった話になると計算しにくい。今言われたように冷蔵庫に入れておか

ねばならないと、その冷蔵庫の電気代掛かるという話になる。売るときには芽止めをしたからといって高く売れない。実際に士幌農協のものでガンマ線照射とラベルを貼って売っているが、あれは安いわけではない。高いわけでもない。芽止めすることでどういう効果があったのかという話になると、それは消費者が家で得する話なのだ。それを消費者が嫌いだということ成り立たない話になる。

町) 林さんがおっしゃったように、少々高くても照射してないほうが良いという消費者が多いとなると、経済的な比較だけで議論できなくなってしまう。

林) 経済的な話を先ほど出したが、照射したものをリジェクトするために、企業なり国がそれを避けるための管理を今している。そのコストというのがかかっている。だから香辛料でも照射したほうがいいよという許可すれば別に管理などしなくて良い。その管理コストや人件費などの無駄なコストが、そこに税金や商品の価格にも転嫁されている。じつは経済効果として言うのか言わないのかわからないが、そういう無駄な作業と無駄なコストが実は消費者や国民にかぶせられている。そういう議論に持っていかないと、これのほうがいいといっている限り、いつまでたっても進まないと思う。そういうニーズに対する発想の転換ということをししないと、食品照射はたぶん進まないと思う。

町) 私がIAEAにいた頃、ローハラヌという食品照射課の課長がいた。彼は日本が照射した食品を輸入しないということは非関税障壁だ、と言っていた。多くの国では照射したスパイスを輸入しているわけだから、日本だけ輸入しないというのはおかしい。これは非関税障壁だといえれば政府も考え直すのではないかという話があった。今はそういうことは無いのか。

林) 今は無い。非関税障壁とか外圧に日本は弱いとか強いという話。一回だけ実は外圧がかかったことがある。フロリダにビンディケータのプラントができたときだ。明らかにフロリダ産のかんきつ類を日本に持っていくのを前提にしたプラントだ。あのときアメリカから日本政府にかんきつの照射を認めるように何らかの要求があった。当時、それが外圧だったことを知らなかった。私が農水省から相談されたとき、それはまず厚生省に許

可を得ないとだめだということを言ったら、厚生省に回して、厚生省から当時の科学技術庁と農水省と外務省と、原子力委員会か知らないがたらいまわしにされているうちに、日本の縦割りの無責任な柔構造に吸収された。どこが応える、対応するかといううちに、そのうちにうやむやになった、ということがあった。それが外圧だったとは知らなかった。アメリカからただ問い合わせが来ていると思ったら、後日、パイサン・ローハラスさんに会ったときに、アメリカから外圧がかかったが日本にうやむやにされたといわれたことがある。1回だけのことだった。それ以外はそんなに経済的に大きなアイテムが無い。香辛料のコショウなどは政治問題になる外圧になるほどの非関税障壁とあえていうほどのものではない。もう一つは過熱水蒸気のプラントを日本のスパイス屋が海外にプラントを作るようになった。なかなか照射スパイスが大手のところに入りづらくなってくるのではないか。安いディスカウントショップみたいなところは照射したスパイスあるいは原材料を使いたい。ちゃんとしたメーカーは照射スパイスを避けたいと。特にキッコーマンの大豆の粉でリコールをやってあれから勉強したと思う。数年前のことだ。

町) この前タンザニアにいったときに原子力を担当している女性がいていた。タンザニアは農業のポストハーベストロスが50%と非常に大きい。これを何とかしないとタンザニアの農家は折角収穫しても腐敗や害虫に食われたりで収入が減ってしまうので困っている。これを減らすために食品照射という技術が特に穀類に相当効くのではないかとということで、いまIAEAに申請を出して、タンザニアの食品照射の利用可能性をプロジェクトでやっている。穀類の照射での害虫やカビの除去はウクライナで実用化している。そういう意味でポストハーベストロスを減らすというような観点から、日本にはあまり必要ないけれども、日本も食品を結構輸入しているわけだから、世界的に考えるとそういうところに放射線を使うというのは、食のセキュリティとして意味があるのではないか。

中川) 日本でという話があったが、活発なのはインドとかインドネシアとかが盛んだ。それは冷蔵庫のあるなしで非常に大きい。

町) 照射してあれば冷蔵庫が無くてもちゃんと保管できる。

中川) 真空パックみたいにしてかけておけば、室温で保存できる。それこそ何週間か持つわけだ。日本ではそんなことをする人はいない。むこうではひものとか肉を冷蔵庫なしで何週間も置いておけるというのは非常に重要な技術だ。日本でもみんなが省エネということを考え出すと、冷蔵庫を使わない状態で保存できる技術は増えるほうが良い。

町) まさに省エネの技術になる。

中川) ポストハーベストも一緒に、コクゾウムシのような貯穀害虫を防ごうと思ったら、たしかもっと怖いクロルピクリンみたいな何か殺虫剤を入れて殺虫効果を出すわけだ、穀類にしたって。それが身体に入ったら人間には悪い。それならば放射線のほうがよっぽど、というか比較にならないくらい安全だ。もしも二つあってどちらが好きですかと聞かれたら、私はためらわずに放射線のほうをとる。

林) システムを作る必要があると思う。照射したら保管する倉庫が必要だ。

町) 倉庫が必要だ。

林) いちど照射してもあとでまた虫が入ってくる。だから中川さんのおっしゃったはじめからパックする。そういうシステム、何がそれに向いているかわからないけれど。ただ、そういうシステムまで行かないと、結局照射して殺虫して殺虫効果と品質を見ているうちにうやむやになるというのがほとんどで、ポストハーベストロスของこういう研究というのは最後まで完結しない。ずーっとポストハーベストロスを防ぐといいながらなかなか進まない。

町) 国全体のシステムの中で組み込んでやらないといけない。ウクライナはオデッサで成功している。

林) 輸入してきた小麦を港に入れて、次に流通させていく。そういうきっちり管理されている中での照射はいいと思う。ただ、途上国の倉庫などは至っていい加減だ。じつはジルカス（JIRCAS：国際農林水産業研究センター）にいたときに食品照射とは違うが、天敵と薬草のようなものでポストハーベストロスを防ぐというプロジェクトを行った。実際の現場に行ったらすかさずかの倉庫で、片隅に廃車になったトラックの残骸が置いてあって、そこに穀類の害虫のくもの巣みたいのがかかっているそういう倉庫で。どう

手を付けていいかわからない。実験室レベルではいろんなことができるけれど。ほとんど途上国はそういうことが多い。そこに殺虫技術だけ入れたって、むしろ周辺のインフラを考えたようなシステムを考えないと、実効がないと思う。

町) IAEAにはFAOとのジョイントディビジョンがあるから、食品照射をポストハーベストを少なくするためにシステムとしてちゃんと使うという指導と協力をしなくてはいけない。

林さんも中川さんもおられたジルカスは大変良いことをやっている。私もジルカスと協力してJIRCASがJICA・JSTの地球規模課題に、「ガーナの持続的農業推進のプロジェクト」を計画し提案したのだが、JST（科学技術振興機構）の競争審査で採用されなくて、ガーナもがっかりしていた。天敵を使って害虫を殺すとともにバイオ肥料を使ってできるだけ農地を肥沃化し、ガーナのサバンナの農業を盛んにする提案だった。

これから人口がずいぶん増えてきて、世界的に言えば食料が足りなくなる。そういう意味で収穫後の損失を減らすというのは極めて重要なことで、それによって農家も豊かになるわけだから、貧困の削減にもつながるわけだ。そういう意味でFAOにしてもIAEAにしてももう少しその辺をまさにトータルシステムとして食品照射を組み込んで使えということ、きちんと指導すべきだ。

林) その金を誰が負担するのか、実際に実用化するときの。結局さっきの臭化メチルにもどるが、結局誰もリン水素で燻蒸していただろうと思っていないのだけれど。やってはいけないという法律が無い。日本でも結局そうだ。植物検疫では日本の国内にいない害虫は殺してから入れなさいという。ところがほとんどのポストハーベストロスを引き起こす貯穀害虫は検疫害虫ではない。コクゾウなど既に日本にいる既存の害虫を殺虫して日本の国内に入れないようにしなさいなどとは法律では言っていない。日本にいない害虫がいるときは検疫現場で殺さなければならない、けれど日本の国内にいる害虫は、ただ商業的にロスがあるから殺すのであって、リン化水素燻蒸でわずかな虫が生き残ってどこかに行って耐性害虫になろうがなるまいがこんなことは業者は知ったことではないので、結局規制が無いた

めにあえてそこに投資する必要が無く、リン化水素燻蒸という安価な方法でやってしまう。そうするとあえて食品照射はやらなくてよいことになる。むしろそのうちに薬剤耐性害虫が出てきて、問題になったときに初めて食品照射を本当に使わなければならなくなるだろう。本当に付加価値がつくもの、例えば冷凍エビのようなものとか香辛料とか単価の高いものには投資するが、普通の食料一般、こういうものにはなかなか投資がむかわないだろう。法律の規制があって初めて投資する。それだけポストハーベストロスがあるというけれども、その経費を誰が負担するのか、設備投資するよりも、少々穀物がロスしてもいいからその分だけ少し高く売っていくほうが儲かってしまう気持ちがある。

町) 冷凍エビ照射の話だが、ベトナムが多くの冷凍エビをホーチミンで毎日24時間運転で照射している。薬剤で処理をしているものもあると思うが、不完全な殺菌で輸入国で検査したときに菌が見つかるとう全部送り返される。照射のほうが殺菌が完全だからそのようなリスクは少ない。日本の場合照射したエビは受け付けられないわけだから、リスクがあっても薬品処理のものを輸出せざるを得ない。将来ベトナムから日本にエビが入ってきにくくなる、ということは無いだろうか。

林) 例えば中国は食品照射を認めている。中国の生活水準が上がってくれば、当然食料の需要が増えてくる。そうすると冷凍エビは照射して中国に売られてしまう。

町) 日本人はエビが好きだ。そうするとエビのてんぷらが食べられないと、そういうことになってくれば日本の消費者も、なんか考えなければいけないとはならないか。

林) 買い負けるという話が前からあるけれど、それと同じようなことで日本はいいいよということになると思う。他に売れるということ。

町) 日本に売ってもしょうがない。他に売れるということ。

林) それはあると思う。

町) そうしたことだ。全く馬鹿な話だが。

林) 敵も来ない、そのうちに。防護壁を作っているうちに日本など誰も来なくなるという状況になりかねないようだ。もう少し議論しておく必要がある。

町) 進まない。

林) 専門家もいなくなってしまうている。実用化しないとだんだんと、予算もつかないし。

町) 等々力さん（食品総合研究所）はまだ研究しているようだけれど。

林) 彼女はあと9年か。

町) IAEAでRCA（原子力科学技術に関するアジアの地域協力協定）の食品照射プロジェクトに等々力さんに入らないかと誘いがあった。農水省の許可をとらなければならない。

林) 反対運動があつてRCAに入らなくなった。

中川) 農水は腰が引けている。

町) 農水にはあまりそういうインセンティブが無いのか。

林) 窓口がよくわからない。

中川) 等々力さんもいったいどこで香辛料の放射線照射の認可が止まっているかわからない、という話があった。香辛料の照射は原子力委員会でOKがでて、厚労省にいつて。

町) 厚労省の委員会で審議する前で止まっている。

林) そこのところで調査をかけて、うやむやになっている。今の政府が相手では無理だ。

中川) 結局、最後に農業がやる。農水省の誰かが農民を巻き込んでやりだしたときに、結局矢面に立つのは農水省だ。

町) 厚労省ではないか、

中川) どちらかというところ、農水省の農家がじかにいてそこが作ったものが今度動き出すわけで、そこにまたもどって来る可能性が高い。出口が一番近いのは農水省だから。

町) 食の安全となると食品安全委員会で厚労省の下にある。

林) FDAは安全性のイエス、ノーだけで判断する。食品安全委員会だったらイエス、ノーでやるのだらうと思う。厚労省が許可するとなると今度は社会のニーズとか言い出すからややこしくなる。

町) 厚労省がいうのか。社会のニーズは農水省ではないか。

林) 許可する限りは厚労省、安全性から社会のニーズということで、そこで

止まる。普通社会のニーズを求めると、企業から社会のニーズを求めたい。

町) いまスパイス協会も照射に対してあまり前向きでないのか。

林) 社会のニーズを厚労省が求めようとしたときに、必ず反対運動が各企業にアンケートを送る。スパイスメーカーには、あなたは照射しますか、という、加工メーカーには、照射したスパイスを使いますか、とやる。そこで使いますというのは、どこもない。アンケート結果を束にして厚労省にドンと届けて、どこの企業も使うとは言っていないということで、つぶされる。そう単純に行かないのはそこだ。

7.3 日本の不妊虫法の成功と今後の課題

町) 不妊虫（放飼）法（SIT：Sterile Insect Technique）は沖縄でウリミバエの撲滅に成功して、今さらにイモゾウムシなどサツマイモを食い荒らす害虫に適用しようとしている。折角沖縄で成功した技術を外国にうまく移転して、地中海ミバエなどを撲滅することは日本の貢献になる。

中川) よく似た条件のところでは使える、きっと。沖縄で成功した理由は、沖縄が島で閉じている。確かに台湾からどんどん飛んでくるので、それに対しては少しずつ照射した不妊虫を作って、撒いていないとまた侵入される可能性がある。一応、根絶宣言が出て、石垣、西表、与那国と沖縄本島のウリミバエがいなくなった。けれども、たとえばアフリカなど陸になっている場合、閉じたところは作りにくい。不妊虫を作って不妊にしてもまたよそから来て侵略してくるから。やはり、結論として、島のようなところでは使いやすい。

町) 大陸では使いにくい、オーストラリア大陸でもSITをやっており、それは完全に根絶するというのではなくて害虫の数を減らすために活用しており成功している。また、フィリピンでもやっている。フィリピンは島が多いということもある。

中川) 昔は沖縄からは苦瓜とかは本土に持ち込めなかった。今はウリミバエを根絶したから入れるようになった。やはりウリミバエゼロにしないといけない。

町) 撲滅しなければいけないとなると大陸では難しい。沖縄の技術は立派な

技術で、自動制御・連続運転で一週間に一億匹の不妊虫を作った。こういう施設は世界にもあまり無い、価値のある技術だ。

中川) あれは面白いことに指定試験地事業のひとつなのだ。福井県で「コシヒカリ」ができたのも、宮城県で「ササニシキ」ができたのも指定試験地なのだ。沖縄県のウリミバエの指定試験地というのは、県に施設を作って、国の試験場から研究員が主任として派遣されて、そこで県の力と国の力を結集して、場合によったら大学まで入って一つの目標、すなわちウリミバエの根絶のために事業をやった。それで成功した指定試験地の一つの例だ。国と県とがそこでかみ合った。あの時に優秀な研究者がいたから、大学の学生もあそこにいったらおもしろい勉強ができるといって入っていったこともある。

町) 根絶はしなくても害虫の数をかなり減らせば農薬をあまり撒かなくて収穫が増えるとかそういうメリットがある。こういう技術をもっと途上国に普及させる事が環境を守りためにも大事だ。専門家を派遣するとか、不妊虫の製造技術を教える。照射施設は高崎で設計した。こういう国際貢献をすることが大事だと思う。

中川) とくに南のほう、フィリピン以南のところ。

町) フィリピンもタイも使っていたが、技術が未熟なので小規模だ。今、IAEAではアメリカがお金を出してマラリア蚊の不妊化をして、その蚊を撲滅させるというのをやっている。まだ基礎研究の段階だが。普及してマラリアが無くなればすばらしいことだ。

中川) 不妊虫の利用を台湾では使わない。だから石垣に飛んでくる。

町) なんで台湾は使わないのか。

中川) 最初に私はGMで言ったように植物の遺伝子にたとえば動物を入れていいかという倫理的事と同じで、たとえばウリミバエでも生命だ。それを人間の都合で撲滅していいのかという論理がある。人間に役立つなら全部殺せばいいという世界と、種として存在しているのだからそれを人間の都合で不妊にして地球上から消し去って良いのかという議論がある。

町) 沖縄の場合ミバエは元はいなかった虫で、ある時、南から侵入してきたものなので、なくなったら元に戻るのだから、生態系を壊すことにならない

いと理解している。台湾には元々ミバエはいたのか。

中川) わからない。そういう風な論理になるとややこしくなる(笑)。

町) 私がIAEA時代でやっていた頃はタンザニアのザンジバル島でやっていた。ツェツェバエの撲滅でやったが、そんな議論は出なかった。

中川) ツェツェバエは非常に人間に悪いという話だ。ウリミバエだったら殺虫剤を撒いたら済むようなものを、種を根絶やしにするわけだから。

町) 農薬では環境をものすごく汚す。人間のほうにどちらが害があるか、ミバエがいなくなったということと農薬でいろんなものが汚されて間接的に人間にたぶん害がある。どちらがいいかという質問になると私は思う。

中川) 人間の都合ですべてやっていいのだという人と、自然界があるのだと。ミバエだって存在の意味があるのだと。

町) そういう話はたしかにわかるのだけれど。人間の都合というと、我々人間だから、人間がなくなって良いのかということになる。

林) 柑橘のグリーンング病を媒介するのを不妊化できないか。

中川) キジラミがバクテリアよりも小さくウイルスより大きいのを媒介する。それが柑橘であればなんでもつく、レモンやみかんなどの柑橘の中に入り込んでそれをじわじわ殺す。今、日本の南から北に侵略している。沖縄でもシークワーサーが感染するが、野生のものがあつた場合に、そこだけ居残るとそれが汚染源になって回りに広がっていく。シークワーサーなどは、「うちのばあちゃんがくれた大事な樹で、そんな大事なものは病気になつても切れない」というおばあさんがいて、防除を担当する県の職員はそれが汚染源となつたときにその樹を切れないという話を聞いたことがある(笑)。それを置いておくとそれが汚染源になって周りのみかんやシークワーサーが全部やられてしまう。

林) キジラミだ。

中川) キジラミが病原菌をうつしてしまう。ウイルスをアブラムシがうつすのと同じだ。そういうものは虫で広がるから、虫をとめてしまえばそこから広がっていかない。

町) そういうのでは不妊虫法は結構役に立つ可能性がある。

林) 島でずっと広がっていくのだから、止めていけば止まるのではないか。

キジラミを不妊化するにはどうしたらよいのかは知らないが。

中川) ミバエがやり易かったのはうじ虫をうまく培養できた。他の害虫についても、同じように簡単に培養できて、同じ状態で照射して、同じものを不妊化していっぱい作ることができるかという技術の構築を、その虫ごとにやらなければいけないだろう。

林) 害虫の人工培養は案外難しい。試験管の中でやることは難しい。貯穀害虫が扱い易いのは米粒をいれて試験管で実験室でできる。訳のわからぬ植物にいるような虫を大量培養して実験するのは大変だ。

町) ツェツェバエは厄介だった。ツェツェバエは血を吸うわけだ、血を吸って生きている。実験室でやるには先ず血が必要、血だけでは吸うわけにいかないので、動物の皮に相当するものをメンブレンにして、それを張った下に血を置いてメンブレン越しで血を吸わせた。そういう装置をIAEAはサイベルスドルフの研究所に作った。

中川) ケニア・ナイロビにイシペ (ICIPE) という国際害虫研究所がある。そこで、マラリアの蚊をどうして飼っているかご存じですか。地下室はツェツェバエとマラリアの蚊とニカメイチュウを大量培養している。マラリアの蚊をどうして飼っているかというウサギを入れて置いてウサギの耳を蚊のいる容器出して蚊に吸わせる。ウサギは耳を吸われるだけで、そうすると蚊が卵を産んで大量に蚊が生まれる。

町) 時間が来たので、最後にこれから農業の放射線利用はどういうところをやったら、より人のために、環境のためになるようなことができるのかを議論していただきたい。

中川) 突然育種はある程度こういうものが出ると見通しを立ててやれば出る。10年位地道にやる、数さえあればできる。ある程度メカニズムがわかると、さきほどジャトロファがあったが、種子の中のある物質を減らしたいというのはたぶんできる。しかし、増やしたいというのはなかなか難しい。大豆の脂肪酸は、C（炭素）がどんどんついていって生成する。リノール酸、リノレン酸まで。あの時途中で止めてしまうと、その手前の脂肪酸がいっぱいたまる。それで成分の量を変えるということができる。また、ここをつぶしたらこの物質がたまるということがわかる。ある程度メカニズムが

わかっているようなところをターゲットで狙うことができればかなり確率高く成分を変えた品種ができていく。これまでの我々の突然変異育種の歴史で、背を低くする、というのはよくできる。割と簡単に出る。それと成分を変えた品種も多い。出穂を早くする、遅くするというのも突然変異で出し易い。

町) 突然変異の品種改良は目的をどこに定めるか、その辺の課題はあるかもしれないが、技術はこれから研究されていく必要がある。

中川) とくに亜熱帯、熱帯の方では、栄養体で繁殖するものが多く、交配して何とかするというのはやりにくいものが多い。バナナの三倍体や、パイナップルも交配するのはなかなか難しい。それよりは、放射線を当てて枝変りみたいな形で作り出すほうが割りと短い期間でやり易い。特にアジア、アフリカでは、今後、作物の育種にどんどん使われていく可能性は高い。

町) さきほど林さんも言われていた砂漠の緑化も含めて、GMOがどのくらい今後有力な武器として出てくるか関係があるかもしれないが、両者とも新しい品種を作る技術として共存して行くだろう。

中川) バイオ燃料用の原料用育種のようなものがあつたときに、全くこれまでそういう育種をしてこなかったという点が重要だ。そのようなときに何をするかという、我々は遺伝資源を先ず探す。遺伝資源が無かったらそれに近いものを突然変異で出すというのが一つの方法としてあって、新しい育種目標ができると、絶対に突然育種というのは一つの育種法の選択肢になってくると思う。イネだってルーチンでずっと放射線育種をやっていけばよい結果があとで出るわけで、それを地道にやっている研究グループもある。ベトナムでもタイでもそういう突然変異育種をやっているから、これまでの経験でずっとやって行くと思う。それと新しい作物で新しい育種目標が出たときに、例えばジャトロファがそうだが、突然変異育種を試してみようかというようなことは、これからもずっと続いていくと思う。

町) 食品照射のほうもパブリックアクセプタンスについて日本は特殊な国であつて、国際的に見ればポストハーベストロスを減らす、食の安全を高めるなどニーズは間違いなくあるのだから、IAEAなどの協力で今後も増えていくものと思う。

林) どこかで必要な場面が出てきたときに、もうだれも専門家がいないと、そういう状態に世界各国ともなっていると思う。それはまずいことだ。本当に食糧事情が悪くなったときはポストハーベストロスを防がなければならない。そのときに食品照射というのは一番安易な方法だけれども確実な方法だ。けれども誰も知らなくなって、また昔から私らがやっていたことを蒸し返してやるのでは、先ほど言っていた周辺技術のところまでいかない。次につなぐことをやらなければならないのに、また振り出しに戻っているようなことをやってしまう。やはり継続性がないといけない。そういう風な継続性は必要だと思う。

中川) 海外の施設に行くと食品照射のほうが突然変異育種よりも頻繁に使われている。例えば中国の浙江省の浙江大学のガンマ線照射施設をこの間見せてもらった。そこに入ったところにニンニクとか香辛料の箱がたくさん置いてあった。ここでいつ突然変異の照射をするのかを聞いたら、いつやるかわからない位のものだった。ベトナムもフィリピンもそうだった。彼らにすればガンマ線の照射施設があるところというのは、一番の目的は食品照射で、それが空いたときに突然変異用にかけてみるというのが多い。

町) 日本と欧州は例外的に照射食品に対してアレルギー、拒否的な反応を示しているのもあって、それ以外の国は、アメリカでも中国も、そんなに頭から照射食品はいやだからとは言っていないのではないか。

林) 中国も国民に知らせれば反対すると言っている。日本は特殊だというのがそうではない。アメリカのほうで食品照射を実用化するときに反対運動は大きかった。それはすごかった。結局アメリカの政府が中央突破をやった。つまり政府が腹をくくるかどうかということで、日本は全然腹をくくらないから。アメリカは腹をくくって、20年前くらいだろうか、そのときはすごい反対運動だった。マスコミが、反対運動が間違っているという情報を流していったら反対運動を順番につぶしていった。日本よりものすごい過激なデモをやって（ダイインをやって）過激な骸骨の絵を描いた揃いのTシャツを着て、日本よりものはるかに過激な反対運動をやった。国の腹が据わっているかどうかだ。

町) アメリカでは国が中央突破をしたというのは大事な話だ。先ほど中川さ

んが言った3000人の生肉中毒患者が出たという話は、IAEAの会議でもアメリカ人がはっきり言っていた。そういう意味で日本は食中毒で死んでいる人はめったにいない、今度は少しあったが。そういう意味ではアメリカは国の政府として中毒で死ぬ人が3000人くらいいて、病院に入って治療を受けていた人は大変な数になっている。その治療費を考えると大きな経済的損失になっている。そういうことで政府がかなり主導してハンバーグの肉の照射を実用化したのだろう。

林) あの時はカーターだったか。先ほど言ったようにシステムが違う。米はFDAが安全性だけ議論して許可をする、あとは農務省が引き継ぐ。それをごちゃごちゃにして厚生省が許可をするから科学的な根拠だけではなしに、社会的なことまで考慮する。システムが違う。だからO-157のハンバーグパティの話でもまずFDAが許可して、それから何年かたって、USDA（農務省）のほうで許可して初めて2000年から動き出している。

中川) 今回のも生で食べようとするかどうかというと、表面をそいでアルコール消毒をして、そうすれば病気が出ないそうだ。それを今回ののはしなかったといっていた。考えてみたら表面をそいでアルコール消毒をして生で食べるのならば、肉にガンマ線照射をして、そしてこれがおもしろかったら、そちらのほうがよい。

町) これをチャンスに食品照射が大事だ、といえはよい。O-157も照射で簡単に死ぬのだから。

中川) 「みんな生肉を食べたかったら、ガンマ線照射した肉ならば安全ですよ」、と言って普及させればよい。そこまで安全宣言が出来るかどうかかわからないが。

林) 実験ならば簡単にできる。

町) アメリカではそれが突破口だった。

林) ああいう事件があれば、動くのであれば前のO-157のときに日本でも、でもあれはカイワレダイコンだった。

中川) カイワレだった。カイワレは照射するというと変な感じがする。最初から汚い水を使わなければよかったと思う。

町) では、この辺で対談を終わることとする。

— NSA COMMENTARIES —

原子力システム研究懇話会 編著

No. 1	「原子力と環境」(1700 円)〔品切れ〕	平成 5 年 6 月 23 日発行
No. 2	「原子力と先端技術〔Ⅰ〕」(1700 円) ①材料関連 ②バイオ関連	平成 6 年 6 月 20 日発行
No. 3	「原子力と先端技術〔Ⅱ〕」(1900 円) ①原子力への先端的計算機技術の応用 ②核融合技術開発の最前線	平成 7 年 6 月 21 日発行
No. 4	「原子力と先端技術〔Ⅲ〕」(1900 円)〔残部僅少〕 ①放射線利用による新材料開発 ②レーザー応用	平成 8 年 6 月 18 日発行
No. 5	「原子力と先端技術〔Ⅳ〕」(1900 円) ○原子力におけるロボット技術の動向	平成 9 年 6 月 18 日発行
No. 6	「原子力と先端技術〔Ⅴ〕」(2100 円) ○加速器の現状と将来	平成 10 年 6 月 29 日発行
No. 7	「中性子科学」(2100 円)	平成 11 年 6 月 29 日発行
No. 8	「放射線利用における最近の進歩」(2100 円)	平成 12 年 6 月 27 日発行
No. 9	「原子力利用の経済規模」(2100 円)	平成 13 年 6 月 26 日発行
No.10	「原子力による水素エネルギー」(2100 円)	平成 14 年 6 月 18 日発行
No.11	「放射線と先端医療技術」(2100 円)	平成 15 年 6 月 23 日発行
No.12	「原子力とそのリスク」(2100 円)	平成 16 年 6 月 21 日発行
No.13	「原子力施設からの放射性廃棄物の管理」(2100 円)	平成 17 年 6 月 21 日発行
No.14	「軽水炉技術の改良と高度化」(2100 円)	平成 18 年 6 月 20 日発行
No.15	「原子力による運輸用エネルギー」(2100 円)	平成 19 年 6 月 19 日発行
No.16	「原子力と地球環境」(2100 円)	平成 20 年 6 月 17 日発行
No.17	「原子力国際人材育成の必要性和戦略」(1050 円)	平成 21 年 12 月 1 日発行
No.18	「原子力開発の光と陰を見つめて」(2100 円)	平成 22 年 6 月 15 日発行
別冊シリーズ		
No. 1	「原子力のリスクと安全の確保」内藤奎爾著(1500 円)	平成 18 年 12 月 19 日発行

対談集：原子力の利用

—エネルギーと放射線—

専門家に聞く 現状・課題・方向

—NSA/COMMENTARIES：NO.19—

平成 23 年 9 月 30 日発行

編集・発行 (社)日本原子力産業協会

原子力システム研究懇話会

〒150-0001 東京都港区虎ノ門 1-7-6 升本ビル 4 階

電話：(03) 3506-9071 FAX：(03) 3506-9075

URL：http://www.syskon.jp

E-mail：konwakai@syskon.jp

印刷 アサヒビジネス株式会社 東京都千代田区神田須田町1-12-6

ISBN978-4-88911-306-8
