

## 新世代の原子力工学を考える



出席者 田中 知<sup>1)</sup>  
古田 一雄<sup>2)</sup>  
齊藤 正樹<sup>3)</sup>  
藤井 聡<sup>4)</sup>  
(司会) 高橋 浩之<sup>5)</sup>

【2013年8月21日(水)開催】

高橋(司会) 東京大学の原子力国際専攻で教授をしている高橋でございます。専門は放射線計測です。今回は“新世代の原子力工学を考える”ということでお話を伺えればと思います。まず簡単に自己紹介をお願いします。

田中 原子力国際専攻に所属しています。専門は核融合でしたが、私の在学中に核融合はできないと思ったので、核燃料サイクル、放射性廃棄物処理処分などもやっています。

古田 バックグラウンドは原子力ですが、ずっと原子力のヒューマンファクター<sup>\*1</sup>、マンマシンシステム<sup>\*2</sup>をやっていました。最近では原子力よりも社会的な話にシフトしていて、レジリエンス工学<sup>\*3</sup>、もともとは原子力のヒューマ

ンマシンシステムから始まったのですが、そういう新しいところに活路を見いだしています。

齊藤 原子力の安全性を中心に、特に炉心溶融事故、高速炉の炉心崩壊事故という分野の仕事をやってまいりました。現在は核セキュリティ、核不拡散という分野に手を染めています。

藤井 工学部の都市社会工学専攻に属していて、学部の系では土木工学系になります。

大震災後、強靱化論を提唱し、レジリエンスある国家にしていこうと提案したところ、その内容を政府で採用していただき、国土強靱化計画になりました。官房参与で任用され、アドバイザーをしながら、今政府で国土強靱化を進めています。

- 1) 東京大学大学院工学系研究科 原子力国際専攻
- 2) 東京大学大学院工学系研究科 レジリエンス工学研究センター
- 3) 東京工業大学原子炉工学研究所(兼)理工学研究科 原子核工学専攻(兼)グローバル原子力安全・セキュリティ・エージェント教育院
- 4) 京都大学学際融合教育研究推進センター レジリエンス研究ユニット
- 5) 東京大学大学院工学系研究科 原子力国際専攻

\*1 ヒューマンファクター (人的要因)：システムの安全や生産性を考える上での人間行動に関する問題の総称。

\*2 マンマシンシステム：人間と機械とによって構成された複合システム。

\*3 レジリエンス工学：外乱やシステム内部の変動がシステムの全体機能に与える影響を吸収し、状態を平常に保つシステムの能力、あるいは、想定を超えるような外乱が加わった場合であっても機能を大きく損なわない、損なったとしても早期に機能回復できるシステムの能力。

## —原子力工学の教育—

高橋 先生方の行われている原子力の安全、国際教育、近況についてもう少し詳しくお話しいただければと思います。

田中 原子力国際専攻は3年ぐらい前にカリキュラムを全面改定し、特に大学院は系統的に、かつすべての講義を英語で行うことにしました。

前段階として、3年前までの5年間、文科省のプログラムであるグローバルCOE<sup>\*4</sup>の“世界を先導する原子力教育研究イニシアチブ”に採択されました。このグローバルCOEは、博士課程の学生をいかに優秀に数多く育てて社会に出すかが目的でした。そのためリサーチアシスタント(RA)の経費を出す、若い方々にサマースクールや海外で勉強してもらう、また学生だけでなく一緒になって研究、教育する先生方の考えも変える必要があるということで、5年間、精力的にやってきました。特に最後の1年前にフクシマ事故があり、それを踏まえて、グローバルCOEをどのように見直すか、今日の話の1つであるレジリエンスなどを取り入れて進めました。

古田 最近、主にやっているのはサービスレジリエンスです。

1つは危機対応が大きいのですが、緊急時の組織的対応をシミュレーションで設計していく。例えば緊急時の医療、具体的には透析医療などをサービスとして機能回復するにはどのようにインフラの復旧計画を持っていったらいいか。そして、緊急時の物資のリディスクリューションの研究をやっています。

もう1つは、日常的な安全活動、安全文化、組織文化もレジリエンスの範疇だと考えていま



田 中 知 氏

す。例えばインシデントレポートイング、事故・故障の報告、分析は安全管理の基本として、そういうのを高度化できないか。

教育という面では、今年、レジリエンス工学横断型教育プログラムを始めました。既存の専攻に來ている学生にプラス $\alpha$ でレジリエンス工学絡みの横断型教育を施すという教育プログラムです。関連専攻としては、システム創成、原子力国際、技術経営が絡んでいます。技術経営も、経済環境が変わる中で競争力をどうキープしていくかという話が、レジリエンスと関係します。人文社会系の科目も含めて、横断型の教育で新しい方向を模索している状態です。

齊藤 大学の活動の中では、研究と教育という2つの大きな分野があります。大学で一番重要なのは教育ではないかと思います。研究はどこでもできますし、放っておいても進めていきます。しかし、学位を取る、学生を育てるのは大学でしかできません。大学にいる限り教育をおろそかにはできません。教育は難しいところがあって、独自性、多様性はあってもいいのですが、学生の目線に立って教えることが重要だと思います。自分の研究の手伝いのために学生を使うような指導の仕方というのは考える必要があると思います。

教育について新しいプロジェクトを立ち上げたのでお話をすると、21世紀COE、グローバ

<sup>\*4</sup> グローバルCOE：平成14年度から文部科学省において開始された“21世紀COEプログラム”の考え方を継承しつつ、我が国の大学院の教育研究機能を一層充実・強化する事業。



古田 一雄氏

ル COE の後、リーディング大学院という新しい高等教育プログラムが始まりました。このプログラムでは学位を出します。原子力安全性、核セキュリティ、核不拡散という原子力の根幹となる分野で新しい学位を出す提案を文科省にしたところ採択され、7年間、支援をしていただくというプログラムです。

従来の博士は深いけれども狭い。つまり、社会的に、あるいは産業界とマッチングが取れず、多くのポストドクが将来設計もできなくて増え過ぎた。産業界のニーズにマッチングする、もっと幅の広い社会性、豊かな国際性、人間性を持ったたくましいドクター、産業界に入っても関係者と協調しながら、目標に向かって多くのステークホルダーをまとめ調整しリードしていく、あるいは社会の改革をリードしていくという能力も身につける。しかも専門性も持ち合わせるような新しいリーディング大学院が始まった。

従来のドクターは宮本武蔵型だ。非常に深く精神的にも進めていく。しかし私たちが求めている新しいプログラムは坂本龍馬型だ。それなりに剣術という専門性はあっても、社会に目を向けて、それをどう改革していくか。そういう新しいプログラムで進めています。

セーフティといっても通常の安全の問題ではなく、非常にシビアな状態、フクシマのような

事故になったとき、社会問題も含めて対応していく専門家、リーダー、あるいは核セキュリティ、核不拡散の問題に取り組んでいくタフなリーダーが必要だということで提案したわけです。

高橋 藤井先生は研究センターのご所属ですが、教育には研究の内容をどのように取り込んでおられますか。

藤井 工学と呼ばれる分野において、人文社会科学の素養が教えられているのはほとんど皆無です。

例えば人文社会科学では、中心にあるのは哲学、歴史学、政治哲学です。これはアカデミアが発祥したヨーロッパの知的伝統であり、人間についての学、思索の学であるところの哲学がすべての根幹です。

そこが教えられていないがゆえに、例えば突発的な事象が起こったとき、どうしていいかわからない、判断の材料を見失ってしまう。例えばフクシマ、3・11の大津波、これから訪れるであろう首都直下地震でも類似することが我が人類において一度もなかったのなら仕方ない。しかし類似したことは山のようにあったわけです。

その歴史の中で、人々はその危機に対して単なる無為無策に、ただただ身を翻弄されていたかという決してそうではなく、それなりに対応もしたし、回復のために考えたし、次のための準備を被害に基づいて考え、具体的なアクションも起こしながら、思索を重ねてきたわけです。人類というのは危機対応の歴史であったと解釈することもできます。

それらを参照した上で、今、我々のこのときを生きるというのは人類としてのマナーです。ところが、このマナーが現代においては全くないがしろにされている。これは由々しき事態だと思います。

歴史は繰り返すということの中で織りなされてきた思想、哲学を、学生にできる限りいろいろな格好で触れさせていくというのが私の最大のポイントです。現場と思想との無限の往復を

やってみせるという傾向が現代の日本の大学においては極めて衰弱していると、私は心から感じています。

例えばハイデッガーの実存哲学は文字どおり危機の哲学です。外国人を引用しなくても、日本人の山本常朝という「葉隠」の著者は明確に徹頭徹尾、危機の思想を書いているわけです。

また、原子力問題をエネルギー問題としてとらえるならば、エネルギーが現代社会にどういう意味を持つのかを理解するためには、経済学では完全に不十分です。社会学的に考えると、社会有機体説に立ったハーバート・スペンサーの議論をきちんと理解することが、エネルギー問題を過不足なく理解する上で極めて重要です。

現状で起こっていることは歴史の中で何千年もの間に何度も繰り返されてきたことですから、それらを参照して現状の問題に立ち向かうという、学者、学生としての基本的なマナーをちゃんと教えてあげたいというのが私の思いです。

**田中** 今の工学や世の中を見ると、この分野が足りないということだと思います。

実はグローバルCOEでも、原子力の利用と放射線応用と並んで、原子力と社会というのを教育の大きな1つのターゲットとして掲げました。やってみると簡単ではない。すなわち工学の我々が人文社会学を勉強しようとしてもなかなかできない。人文社会系の先生にも来てもらったのですが、人文社会系の先生や若い研究者の方が工学の問題を理解しやすかった。

結論とすれば、原子力を専門とする研究者等は最低限でも社会的リテラシーを持つ必要がある。例えばリスクコミュニケーションといっても、相手の言葉を理解できるといった最低限の社会的リテラシーを持ちつつ、更に進んだ社会と工学のことについては人文社会系の先生と協力するしかない。

**高橋** そういう意味で、藤井先生は工学の人たちから見るとすごく必要とされる人材として活躍されていると思います。



齊藤正樹氏

### —フクシマ事故、廃炉—

**高橋** 福島第一原子力発電所事故はまだ問題がたくさん出ているところです。廃炉の問題や放射能汚染にどう対処するのか。先生方のお考えを伺い、それが教育にどのようにつながっていくのかを考えたい。田中先生、まずいかがでしょうか。

**田中** 廃炉については、経産省でロードマップを改訂し、30~40年掛かるというのですが、実際に関与している方、特に技術者、研究者等には30~40年で終わらないと思っている人も多い。難しい研究技術開発課題があって、本当にそれができるのか。その中でロードマップを作って取り組んでいかななくてはなりません。

逆に言うと、どこにリスクがあるのかを十分理解し、それに集中的にお金も人もうまく使って、同時にロードマップを修正しやすくなる仕組みを作っていないといけない。そして新しい研究開発を大学等でしっかりと研究していき、人を育てていくことも大事かと思います。また同時に難しいのは、廃止措置し終わった後、福島県のあの地域をどのようにするのか、その議論を十分していません。除染とも絡んでいて、その地域の復興とどう絡めていくのかも考えないと、復旧から復興、再生に向かわないと思います。

従来型の市町村や県、この部分は環境省、この部分は何とか省と言ったらだめであって、国家としてやってかないと着実に進まない。

フクシマも廃炉、除染をしっかりと、困難を超えてうまくやっているということをや若い人に見せる、若い人と一緒にやることが次の原子力、世界の原子力につながっていくと思います。

高橋 これからどう回復していくかという長期の話もあって、レジリエンス工学的なアプローチとしては、フクシマの廃炉などを踏まえて、どのような新しい展開がありそうですか。

古田 レジリエンス工学と関係がなくなってしまうかもしれませんが、フクシマの後始末というのは国のスタンスが定まらないことにはどうしようもない。今後の原子力の開発も含めて、まず国が国策としてどういうスタンスでやっていくのかをはっきりさせないと、明るい展望が描けない感じがします。

私は、アベノミクスの最大の不安要因はエネルギーだと思っています。貿易赤字を垂れ流し、日本の国富を毎月毎月損ない続けて、経済が浮揚するの心配です。それとフクシマの後始末をしなければいけないと考えると、完全に負債です。後始末をした教訓を使って、今度は耐える原子力を作って世界中で商売をする。新しい価値を生まないことにお金をつぎ込むのは、士気が上がらないと思います。だから若い人が来ないのではないか。

あの経験は、ある意味で貴重な財産になるので、ここでやめてしまうのではなく、それをプラスに変える方に持って行ってほしいと、原子力のバックグラウンドのある私としては思っている次第です。

高橋 フクシマ以来、日本に留学したいと望む学生が結構多い。レジリエンスという考え方で言うと、回復、戻るとするのが基本的な考えですね。元を基準にするのではなく、別のところに誘導していくというのもあると思うのですが、どうですか。

古田 元に回復するのではなく、もっと強くなる、賢くなる、経験を生かして進化していくというパターンも当然あります。あの教訓を生かせばこれまでよりも更に安全性の高い原子力は可能であって、これから原子力を学ぼうという国の留学生にとっては、貴重な情報を得られる一番いいチャンスだと思って日本に来るでしょう。

齊藤 フクシマ事故は非常に不幸な出来事だったと思いますが、いろいろなレベルにおいて大混乱があったということは事実です。

フクシマの復興は、もちろん予算の問題はあるし、国家のサポート体制の問題もあります。しかし、原子力研究開発も含め、人だと思っています。人がどれだけ回復する努力をしていくかということです。

人というとすぐ人材という言葉が出てくるのですが、私は個人的には人材という言葉は嫌いです。なぜかという、資材、物のように扱われて、人の志、意志を無視した表現だからです。学生は給料をもらっているわけではなく、むしろ授業料を払って大学で自分の将来の人生設計、人間形成を行い、その結果、フクシマを復興させたいという意志があって、そういうところに飛び込んでいく人であれば非常に重要だと思います。

今、私たちが始めた教育も、先ほど夢という言葉がありましたが、人間の持っている最大の能力は夢が見られるということです。動物には見られないし、宇宙人にもおそらく見られないと思います。夢を見る、あるいは夢を実現する努力をする能力も人間にはあると思いますが、そういうことを支援、サポートするのが教育ではないか。

研究は長期的に見る必要があります。自分個人でやっても限界があるわけですが、教育は増殖していく。自分たちの世代を超えて、彼らが新しい展開の幕を開けていくという夢が私個人にもあります。

今回の新しい教育プログラムはセーフティ、

セキュリティ、セーフガードという分野ですが、その教育ばかりを詰めてやっているわけではなく、原子力の閉鎖性をいかに打破しながら、社会性、国際性、豊かな人間性を身につけていくか。このコースは全寮制です。学生たちにはそのお台場に作ったこの道場に入って切磋琢磨してもらいます。同時に教員も道場に住みます。私自身も一緒に住んでいます。リビングで、夜な夜なゼミを開きます。ゼミは決して原子力の話題だけではありません。学生たちが興味を持ったら、いろいろな講師に来てもらって議論し、場合によっては懇親会もやったりしています。

もう1つの特徴は、国際政治、経済、国際法、文化、歴史、哲学、芸術、そう簡単には教えることができない分野ですが、そういう教養科目を5年間で必修とする。更に、フランス語と英語を必修にして国際性を付ける。道場には留学生もいるので、ゼミは基本的には英語でやります。

教養もきちんと身につけてグローバルなリーダーとして育ててもらいたい、そういう教育を始めました。

高橋 松下政経塾の感じに似ていますね。藤井先生は人文社会の立場から見たとき、原子力の状況をどのようにお考えでしょうか。

藤井 客観的に分析すると、フクシマ以後というのは特殊な現象が社会学的に起こっている。ただ、特殊だけれども、極めて陳腐で繰り返されてきたことが起こっていると解釈できると思います。

それは、猛烈な勢いで思考停止が始まっています。原子力という問題は国家を支える屋台骨の1つであるはずですが。農業、インフラ、軍事、エネルギー、この4つは近代国家を支える上で、椅子の4本の脚になっているような状況で、この4本の脚をないがしろにする国家は必然的に滅びるはずですが。

原子力、エネルギーの問題というのはフクシマ以前には世論の中で議論するというよりも、



藤井 聡 氏

粛々と専門家が対応するという傾向が強かった。しかしフクシマ以降、世論の問題として取り上げられる傾向が強くなって、きちんと理性的に議論が十二分になされず、そこで行われているのは思考停止である疑義が非常に濃厚です。これは極めて重大な危機の問題で、エネルギーのように重大な問題に関して思考停止をしている人々にその判断を委ねると、この国家の繁栄それ自身が危機に立たされるわけです。

今は原子力を止めて、オイルなりLNG（液化天然ガス）なりを買って対応しているわけですが、これは国富の強力な流出になっている。そこで言われる言説は、例えば命とお金のどちらが大事か、命の方が大事に決まっているというレトリックが使われます。本来は、経済を疲弊させることは人の死に間接的に直結している。間接的ではあるけれども確実に経済が疲弊するということは、自殺者数の増大や、出生率の低下にもつながったりして、エネルギー問題は命にもつながっているという構造は論理的に考えて自明と言っている話です。

ところが、こういうことを言おうとすると、30秒ぐらい掛かります。「命と経済、どちらが大事だ、命だろう」という一言に押し流される。そこで、ああそうかと思いが止まったまま、そういう世論が形成され、エネルギー問題がまともに議論されないまま方針が決められて



高橋 浩之氏

いってしまう危険が非常に高い。

原子力問題は、技術的な問題、安全確保の問題などいろいろと議論すべきです。しかし同時に、思考停止問題、これは一般に全体主義の場合にはそうなるわけで、原子力に関する世論において繰り返し言われてきた全体主義的傾向が見いだせる疑義が濃厚です。この問題を乗り越えない限り、我が国家に未来はないと言っても差し支えはないでしょう。原発を再稼働しろ、いますぐやめろと言っているのではなく、とにかく理性的な議論を成立させることが大事だということを強調したいと思います。

田中 そういうことこそ人文系の先生に原子力の好き嫌い関係なく言ってほしい。そのあたりの方法はないのですか。

藤井 根性があれば、かなりいけると思います (笑)。例えばうちの研究室で TPP の研究をしている私の部下が1人で世論を数十%ひっくり返した。したがって、やり方によっては1人や2人で世論は変わることがある。

原子力の場合は根性のあるやつが相当言って、こいつおもしろいとなってくると変わっていく可能性はあると思います。そのとき重要なのは、言論活動のバックデータは完璧に学術的に押さえておいて、それを分かりやすくしゃべっていく。そういう風に闘うという姿勢に切り替えると何とかなるかもしれない。ただ、原子力

は相当厳しいと思います。

#### —リスクの観点から—

高橋 放射能の考え方はどうですか。リスクというのが非常に難しい位置付けになると思いますが。

田中 低放射線の影響についてどう説明するのがいいのか、分かっていたのかということのは、この2年間半、まだ答えがない。除染といっても、年間1 mSvにしないと帰れない人もいるし、5とか10で安全と言ってほしいという人もいたり、ぐちゃぐちゃになっている。放射線の影響、リスクについて、いろいろな説明をされているのですが、放射線影響、放射線防護、原子力の専門家の方がもう少し体系的に、どのように説明すれば分かっていたのかということの研究しながら行っていただくことも大事になってくる。放射線の影響や防護を研究されている皆さんの責任でもあると思います。

古田 私は低線量放射線の影響に関する直線しきい値なしの考え方<sup>\*5</sup>に対しては疑念を持っています。科学的には白とも黒とも決着が付かない場合にも、放射線防護の実務は行わなくてはならないため用いられているものと思っています。

世界中で自然放射線のレベルは違います。その線量の違いで影響が出るのであれば、長年の人類の歴史で、高放射線地帯に住むことに関して何らかの文化的タブーができるはずですが。例えば関西と関東ではずいぶん違います。関西は危険だというのが日本の始まって以来の歴史で、関西の人と結婚すると危ないというような差別的な文化ができ上がっているかということ、何もない。ということは、人類史の観点からは

<sup>\*5</sup> しきい値なし直線モデル：リニア仮説 (Linear Non-Threshold (LNT)) ともいう。線量がどんなに微量であっても、それに比例してリスクは増加する説。

特に大きな問題はないということになります。

リニア仮説になってしまうと、結局、ゼロリスクです。ゼロリスクでない限り、どんなに低くても、誰かそのリスクを発生させた責任者がいるはずだ。その人の責任で発生するリスクを絶対に負いたくない。社会的な責任の問題です。科学的に危ないか、安全であるかどうかではなく、責任の所在がどこにあるかという話で、そこでこんなに低いのですから大丈夫ですよという議論は通用しない。極めて社会的な話です。

**高橋** リスクというのは社会的な側面から工学的なものまでありますが、大学でどれくらい教えているかという、現状きちんと教えているところは少ない気がします。齊藤先生のところは道場でどのようになさっているのですか。

**齊藤** リスクコミュニケーションも含めて、1つの科目を立ち上げました。原子力、放射線のリスクだけではなく、社会的にいろいろなリスクの中で私たちは生活しており、7人の講師がいろいろな分野のリスクを講義する。

原子力だけの議論ではなく、社会問題としてリスクは常にあり得て、そういうリスクがどのように受け入れられているか、皆さんがどのように感じられているかを含めて、原子力のリスクをどう見るか。社会全体を見ながら、知識のある人とない人でも感じ方が全然違うし、要は信じるか信じないかという、最終的には宗教的な話になるかもしれませんが、科学だけでは解決できないテーマだと思います。

**高橋** 藤井先生は土木建築の分野で、建造物をどのようにメンテナンスしていくかとか、どこかで建て替えをしなければいけないといったことがあると思いますが、どのように教育しておられますか。

**藤井** 工学全般だと思いますが、安全率の“思想”があります。とりあえず基準があって、不安だから安全率をかけておく。

安全率の前にあるのは科学の話であって、安全率の後に出てくる数字が実務、もっと広く言

うと政治の話になって、科学と政治的判断を分離するのは当然だという教育は極めて重要だと思います。

例えば、放射線のレベルはこれくらいで基準にしましょうというのがあります。その水準が科学的にどうかという議論が決着するまでは安全側に行っていくというのも政治の判断かもしれませんが、別のかたちの政治の判断もあるでしょう。そこは古田先生がおっしゃった責任の取り方の問題で、その責任はどこに行くかという、究極的には国家が相当部分の責任を負うという話で水準を決めていくことができるかがすごく重要だろう。

この問題は土木の中でも、B/Cという概念がありますが、インフラを作るときのベネフィットがどれくらいだと科学者に推定させて、それに基づいて政治判断をする。政治的領域のものを科学者に押しつけようとする流れがあるのですが、その部分は政治の在り方を考える必要があるし、そういうことを考えていくべきだという教育をしていく必要があると思います。

**田中** 安全率というのは安全と安心の話にも絡んでくるかもしれないし、放射線の影響でも、10 mSv/年でも安全だということを国として説明すべきだというのは政治の問題かもしれませんが。日本は、安全・安心と一緒にしまっているのがよくないし、どこまでが科学的に分かって、そこから後は違う考え方をしなくてはいけないという議論も正確にしないままやっているから、今の低放射線の影響でもこんがらがっているのではないかと。

#### —新しい原子力工学—

**高橋** 教育という観点、大学が行っていくものとして研究と教育が絡み合うようなことも含めて、新しい原子炉、新原子力エネルギー、新しい原理への挑戦など、先生方のざっくばらんなお考えを伺えれば、学生さんもそこに夢を見いだせるのではないかと思います。

田中 実現可能性の大小にかかわらずということでは、核融合は夢の原子力、原子炉という話もあって、核分裂炉が持っていないところが核融合炉にあるのは明確です。しかし、核融合のどういうところにメリットがあるということ言うべきであり、同時に、国際協力の ITER をやっていく中でも、例えば日本と韓国が共同して原型炉を設計して建設する。原型炉を一緒に設計していきながら、核融合炉がエネルギー発生装置となるための重要な課題が見えてくると思います。

あと新しい型の原子炉を作ってエネルギーを発生させる、廃棄物の一部を変換する（核変換）といった研究は面白い。夢を持って挑戦していく中で、どうしてそうできないのか、今の原子力発電所はどのように改良すればうまくいくのか、その問題が見えてくると思います。そういう意味では、新しいことにも、どんどん挑戦させていくのもいい。加速器を使って核変換、エネルギー発生というのにも面白い課題が残っているのではないかと。

齊藤 今の原子力は、核廃棄物をどうしていくかが一般的に問われている問題です。田中先生も言われているように、消滅処理をしていくといった研究はフロンティアではやっているのですが、核不拡散、Pu やウラン濃縮の問題があり、常に政治的な問題と絡んで科学技術とセットになっているわけです。

ウラン燃料を使っている限り Pu は出てくるわけで、核兵器に転用されるかもしれないという非常に難しい、機微な問題を抱えています。しかし最近、私たちが始めた研究では、核兵器に転用できない Pu の作り方が見つかっている。それは  $^{238}\text{Pu}$  の成分をいかに増やすか。

$^{238}\text{Pu}$  は崩壊熱が非常に高い。一般に原子炉、使用済燃料から出てくる  $^{238}\text{Pu}$  は 2% 以下で多くない。

では燃料を燃やしていくときに、 $^{238}\text{Pu}$  をどう増やしていくか。マイナーアクチノイドは核のごみとして核廃棄物に分類されているわけです

が、そのうちの半分ぐらいが  $^{237}\text{Np}$  で、これを消滅処理の観点から言うと核分裂させて毒性を減らす。そうではなく、中性子を吸わせてやると  $^{238}\text{Np}$  になり、すぐ  $\beta$  崩壊をすると、 $^{238}\text{Pu}$  が生まれてくる。このような使い方があるのではないかと。

またマイナーアクチノイドの 4 分の 1 は  $^{241}\text{Am}$  です。これも中性子を吸わせてやると  $^{242}\text{Am}$  になり、 $^{242}\text{Cm}$  にすぐ  $\beta$  崩壊して、162 日ぐらいで  $\alpha$  崩壊して、 $^{238}\text{Pu}$  になる。

要するに、核のごみと言われていたのをうまく利用すると、核兵器に転用できない Pu に変わる。消滅処理、放射能を持っているのをなくしていく、減らしていくという消極的な研究では、そもそも放射能毒性を出さな、原子力なんかやるなどと言われてしまう。マイナスと言われていたものをこのように使うと、核兵器に転用できない Pu になり、それは原子炉の中できちんと核分裂して平和利用として使っていけるとい原理的なメカニズムを米国の原子炉を使って確認ができました。

もんじゅのブランケットは機微な Pu が出るので、そこにマイナーアクチノイドを少し混ぜておけば、核兵器に転用できない Pu に変わる。夢の話ですが、そういうサイクルを将来実現できるのではないかと海外でも提案していて、IAEA も興味を持ち、この研究に対して諮問会議、専門家会議を開いてくれています。

もう 1 つ夢の話といえば、原子力でしかできない技術、例えば宇宙開発には原子力が必要になってくる。既にアイソトープ電池は入っていますが、宇宙用原子炉がいずれ出てくる。100 年、200 年すると、そういうのが必要になる時代が来る。

原子力の場合は酸素がありません。火星に持っていくには、小型で、2~3 年で燃料交換しなければいけないのは役に立たないから、入れたら 100 年ぐらい燃える持続反応ができる原子炉が必要でしょう。

マイナーアクチノイドをうまく使ってやれ

ば、100年は燃やせませす。それは最初に入れた燃料に対してマイナーアクチノイドを入れておくと、新しいPuが生まれてくる。初期の余剰反応を抑え込んで、燃えていきながら、新しい燃料が自ら生まれてくるので、中性子のスペクトルを調整してやれば、100年は燃やすことができる。そういう研究もあり得るわけです。

もう1つは中性子をいかに使うかを考えると、医療用の中性子の利用があります。原子力が貢献できるという研究、教育をし、それを社会に示していくことが必要ではないか。

もんじゅなどはそういう研究にどれだけ利用できていくかという目で将来の利用の仕方を考えた方がいいと思います。また、もんじゅは国際研究・教育拠点にすべきだと考えています。国内ばかりで議論されていますが、世界がもんじゅを必要とする研究、教育をやる拠点にしていくべきだ。

田中 研究用原子炉、加速器を使って、医療用RIのモリブデンの国際的な供給が大変問題になっていますから、これを日本でもどうすべきか。

それから使用済燃料がたくさんある中で、廃棄物の処理の話と原子力エネルギーをどう絡めていくのかも研究的には面白い分野があります。例えば高温ガス炉の中で燃やしてやれば何でも燃える。最終的にはバーンアップをどんどん稼いで、出てきたペレット、高速炉の燃料はそのまま深い穴を掘って、埋めておけばいいという研究も面白い。今まで言われていた方法の方がいいとなる可能性は高いけれども、いろいろなことに挑戦させていく中で、新しいアイデアが出てくるかもしれません。

齊藤 産業界に必要な有用金属を、使用済燃料の中から回収していく、あるいは積極的に原子炉を使ってSiやレアメタルの問題にもチャレンジしていくという新しい芽はあります。問題は、今までエネルギー志向が強過ぎた。基礎研究には予算がなかなか回ってこなかった。原子力の基礎、基盤をよく見てみれば、将来につ

ながるいろいろな芽があるわけで、そういうことを一生懸命やられている先生方もたくさんいらっしゃる。

高橋 最後に、先生方から一言ずつ、感想、総括などをお願いできればと思います。

田中 原子力の放射線利用、エネルギー利用についても、まだまだ原子力はできることがいっぱいあると思います。新しい原子力利用、放射線利用も出てくるし、どうすれば原子炉を安全にできるかという話も出てくる。それこそ新しい人たちと一緒にあって、次の原子力時代を作っていくことが大事だと思いました。

古田 レジリエンスという観点からいくと、今の状況はエネルギーセキュリティ上、レジリエンスがない感じで運転しています。日本は今極めてレジリエントではないエネルギーシステムで運営しているということで、この状態を脱するには、電源構成のバリエーションを増やす必要があると思います。

齊藤 研究、教育は大学の非常に重要な活動で、原子力をしっかりやっていくには、教育のところで次世代をいかに育てていくかが大事だと思います。今心配なのは、原子力の先生方がどんどん減っていついていくか。いかに教育の指導する側の人たちも育てていくか。それは次世代に託さざるを得ない。

人は夢を持つ能力があり、それは最大の能力である。その夢を支えてあげる、あるいは夢を実現してあげることが教育であって、僕は原子力をやりたいという夢を、持ってもらいたい。そのために私たちは、原子力の研究開発は始まったばかりで、言ってみれば機関車の時代であって、次にディーゼルが来て、電気、新幹線、スーパーリニアモーターカーが来る、そういう未来があるということを伝えていく、語っていくことが大事ではないか。要は、人、人の志、その志をいかに私たちが支えていくかということが教育の仕事だと思っています。

藤井 いずれの業界でも同じだと思いますが、それぞれの業界、分野にはそれぞれ士気、

モラルがあります。その士気が低下すると必然的にその領域、分野の発展性は大きく低下し、人材も来なくなり、予算も回らなくなり、斜陽産業化していきます。

今、日本中の原子力が止まっていて、原発ゼロにするのがさも前提であるかの議論が始まったりしている状況だと、必然的にその業界、領域における士気は低下していく危機が非常に高まります。

しかし、この世界において、短期的に原子力が不要になる未来が訪れる可能性はゼロに近い。その中で日本の技術者が、世界の原子力の発展、維持、安全確保等に向けて極めて重大な役割を担い得る潜在能力を莫大に持っている。

今ここで日本が原子力を完全に捨て去ってし

まうと、4本の重要な椅子の脚の1本が折れてしまうかのような状況になるわけで、この逆風の時代だからこそ、やってやろうという士気を持つ人材がいなければ、世界のエネルギー、原子力の水準も低下、低迷してしまう危機が非常に高い。

原子力技術者は、明確に客観的な状況の中で高い使命感を担いうる状況に置かれるのではなからうかと思いますので、是非とも将来の日本、世界のために頑張っていただきたいということを申し上げておきたいと思います。

高橋 ありがとうございます。藤井先生の力強い言葉で締めくくられたと思います。今日は、ありがとうございました。

(終)

