

# 原安協だより

## 技術を継承するということ

評議員 白川 洋一



JCOの臨界事故が発生したのは、現在の職場に赴任後3年目であった。私の住み処から直線距離にして60kmしか離れていない伊方原子力発電所（四国電力）の見学はすでにすませていたが、被ばく医療を対岸の火事くらいにしか考えていなかったのも、漏れ聞こえる東大病院の苦勞話の半分も理解できなかった、と今にして思う。

ただ、出来事の発端、すなわちパケツが何かで手作業していた液体が臨界に達してしまった話は、素人の私にも印象的であった。リチャード・ファイマンの抱腹絶倒の自伝"Surely you're joking, Mr. Feynman!"のなかに、ロスアラモスで'悪魔の兵器'開発の片棒を担いだ頃（1943-45年）の、ある意味で牧歌的な逸話がたくさん紹介されている。そのひとつが記憶に蘇ったためである。大貫昌子氏の名訳（岩波書店、1986年）から引用する。

---(ファイマンの同僚のセグレがテネシー州にある陸軍のウラン 235 分離・精製工場の)構内を歩き回っていると、工員達が緑色の水をいっぱい湛えたガラスタンクを車に乗せて運んでいるのに出くわした。緑色の水、すなわち硝酸ウラン溶液である。

セグレが「ああちょっと。その液が精製されても、そうやって扱うわけですか？」とたずねると、彼らはすまして「はあ、むろんです。何かいけないことでも？」と言う。「爆発しませんかな？」ええっ！ 爆発だって？ ---。

工場の技術者達すら、ウラン 235 を集積すればいつかは臨界に達する可能性があることを、認識していなかったのだ(当時の合衆国陸軍にしてみれば最高機密であったに違いない)。そして、半世紀を隔てた先進工業国で、にわかには信じがたいほど類似性の多い、牧歌的なエラーが生じた。おそらく、あらゆる角度から検討し尽くされたはずだから、ここで付け加えることは何もないが、出来事とは関係なく、私の頭をしばらく離れなかった観念がある。技術の継承とでも呼べばよいのだろうか。

どのような先端技術も、その開発段階では一見くだらない試行錯誤を積み重ねていると(多くを見たわけではないが)思う。それが、時として物語を生み、普遍性のある原理原則(仮にエッセンスと呼ぶ)が抽出されて周辺や次代に引き継がれる。次世代は知のエッセンスを効率よく吸収し、次のステップすなわち螺旋的上昇を続ける。科学技術の理想モデルである。

しかし、高等教育機関で生身の技術者(医師)を育て、チームを作り、技術の開発と継承に悪戦苦闘していると、理念と現実のギャップは深まりさえすれ---(ため息)である。同時代が共有した知的な営みのエッセンスは教科書、マニュアル、就業規則等々に言語化されるが、はたして、開発段階の試行錯誤をまったく省略してエッセンスだけを伝えることが可能か、という根本的疑問がわいてくる。一方で、知的営みの総量が指数関数的に増大する非情な世界は、すでに到来している(彼らも悲鳴をあげているのだ)。

合理的に考えるなら、対策は明白である。根拠を問い直して知識体系を整理する、教科書/指導法を工夫する、到達度を正しく評価し、必要とあらば強制力を発動する、等々がたちどころに提言されるであろう。これによって牧歌的なエラーは減少するに違いない。ローカルな例えで申し訳ないが、今どきの医師養成課程に吹き荒れる改革はそうした当たり前の要請だと、合理主義者である私は思う。

ただ、これで疑問が払拭されるわけではない。おそらく、徒弟的教育法がまったく不要と考える教師は少数だろう。それは、本人の試行錯誤的な努力に依拠するため、「ゆとり」にしか棲息できず、普遍化しにくく、言語化されにくい。民主主義とは文書の厚さを武器にする要素も大きいから、試行錯誤を疑似体験の方法論として、例えば「チュートリアル教育」と銘打って作文した方が勝ち目はあるのだが、現場主義者である私は何を今更と思わなくもない。

(愛媛大学医学部救急医学 教授)



# 放射線環境影響の評価とその防護に関する新しい考え方



放射線医学総合研究所  
放射線全研究センター  
比較環境影響研究グループ  
チームリーダー 土居 雅広

## 1. 「放射線環境影響」問題とは何か

放射線防護の目的は、従来、「放射線の人体と環境とに対する電離放射線の影響に関する短期・長期的影響を推定して、その管理原則を構築することである（1955年の国連科学委員会設立国連決議）」とされてきた。スウェーデン等では、放射線防護の基本となる法律（Radiation Protection Act）において、放射線防護の目的を、「放射線から人および環境を適切に防護すること」とされている。一般に「環境」は、人、人以外の生物（biota）、生息地（habitat）、および無生物（abiota）で構成される。無生物を防護の対象に含めるかどうかについては、議論のあるところである。ひとまず無生物は防護の対象から除外するとすれば、「放射線環境防護」では、他の生物種や生息地への放射線、放射性物質の影響を評価し、防護（又は保全）することが、その目的となる。

従来の放射線防護体系では、主として、人体への影響（急性障害としての確定的影響と発がん等の確率的影響）を対象とした体系化が図られてき

土居 雅広：当協会「地層処分における環境保護に関する検討会」委員

た。そこでは、「あらゆる生物種（species）のなかで、人の放射線感受性が最も高い」ことを根拠として、「人の防護に必要な環境管理基準、安全レベルは、人以外の種の個体に障害を生じるかもしれないが、その生物種の全体を危険にさらしたり、種間の不均衡を生じるものではない」、と考えてきた（ICRP 1990年勧告、UNSCEAR 1996年報告書）。つまり、人以外の生物、生息地、等は、放射性物質等の移行経路として関心が払われ、あくまで人の健康影響の防護に重点が置かれてきたのである。

近年、国際放射線防護委員会（ICRP）によって、従来の放射線防護体系が見直される中で、人、人以外の「環境」の防護と「人の健康」の防護を統合した、新しい放射線防護体系が、特に国際学会や国際機関の会合において検討されるようになってきた。その背景には、チェルノブイリ事故等による広域の環境放射能汚染について、特に人が避難した場所における放射線環境影響の評価が社会的に求められていること、放射性廃棄物の処分等、社会的な決定において環境影響評価（アセスメント）が不可欠になっていること、地球環境・生態系保全への社会的な関心が高まっていること、等が挙げられる。

特に大きな転換点となったのは、1992年6月、

地球環境サミットで示されたリオ宣言(27の原則)である。リオ宣言では、環境の防護が、あらゆる開発のプロセスに一体として含まれるべきであり、あらゆる生物種は生態系に寄与があることにより重要であるとする生物多様性に関する協定と、世界の持続可能な発展のための実行計画(アジェン

ダ 21)が策定された。そこでは、国際原子力機関(IAEA)が中心となり、環境影響を考慮した放射性廃棄物の安全管理への取り組みを進めるべき、とされている。1992年リオ宣言以降の放射線環境影響に関する動向は、表1に示した通りである。

---

1992年	国連環境開発会議(リオデジャネイロ)
1996年	国連科学委員会報告書「放射線環境影響」
1998年	北東大西洋の海洋環境の防護に関するオスロ-パリ会議(OSPAR)
2001年	国際原子力機関「電離放射線の影響から環境を防護するための枠組みの構築に関する専門家会合」11月(ウィーン)
2001年	国際放射線防護委員会「環境放射線防護に関するタスクグループ」会合 12月(ウィーン)
2002年	経済協力開発機構原子力機関(OECD/NEA)、国際放射線防護委員会(ICRP) 共催「環境放射線防護に関するフォーラム」、2月(シチリア、イタリア)
2002年	国際原子力機関等主催「第3回電離放射線からの環境防護に関する国際シンポジウム」、 7月(ダーウィン、オーストラリア)
2002年	国際放射生態学連合等主催「環境における放射能に関する国際会議」、9月、(モナコ)
2003年	経済協力開発機構原子力機関(OECD/NEA)、国際放射線防護委員会(ICRP) 共催「環境放射線防護に関するフォーラム(予定)」
2003年	国際原子力機関、等主催「電離放射線の影響からの環境の防護に関する国際会議」(ストックホルム、10月に予定)

---

表1 転換点(1992年リオ宣言)以降の放射線環境影響に関する国際動向

## 2. 国際放射線防護委員会（ICRP）における「放射線環境防護」に関する検討の進捗状況

ICRPのクラーク委員長は、「環境防護に関する従来の見解に変わりはなく、人の健康影響が十分に防護できていれば、人以外の生物種が受ける影響は問題にならない」との立場を改めて強調しながらも、リオ宣言を引用しつつ、放射線環境影響の推定評価のプロセスを、専門家だけでなく、利害関係がある当事者（ステークホルダー）や政策決定者にも容易に理解されるように、透明性のある論理によって構築し、放射線防護体系に放射線の環境影響の防護を含めていきたいと述べ<sup>1)</sup>、そのために、L.E.ホルム博士（スウェーデン）博士を主査とする「放射線環境防護タスクグループ」を主委員会に設置して検討が進められている。タスクグループでは、2003年の内に、報告書を主委員会に上梓することになっており、そのための作業が急速に進展しているところである。タスクグループのメンバーには、永くIAEAにおいて、海洋における放射性物質の環境影響に関する報告書等を取りまとめてきたJ. ペントリース教授（英国）、国際放射生態学連合の事務局長として、この

間、環境放射線防護に関する国際会合を数多く主導してきたP.ストランド博士（ノルウェー）等が加わっている。わが国では、藤元 憲三博士（放射線医学総合研究所）が、コレスポンデンスメンバーとして、当初より参画し、寄与してきた実績がある。

## 3. ICRP 放射線環境防護タスクグループ報告書（案）の概要

ICRP 放射線環境防護タスクグループは、本年8月末に「人以外の生物種の防護に関する報告書（案）」を策定し、その全文を広く一般に公開した。ここでは、報告書（案）の概要について述べる。

報告書（案）は、「人の健康影響が十分に防護できていれば、人以外の生物種が受ける影響は問題にならない」との基本的立場を崩していないが、従来の防護体系において検討が不十分な場所又は状況（表2）については、従来の放射線防護体系において、放射線環境影響が十分に防護されるかどうか、検討すべきであるとしている。その上で、新しい環境影響を含めた放射線防護体系が具備すべき6つの要件を挙げている（表3）。

1. 「人のいない場所又は状況」
2. 「人が退避した後の場所又は状況」
3. 「人への線量は小さいが他の生物種への線量が大きい場所又は状況」

表2 「放射線環境影響」について検討が必要な場所又は状況

放射線環境影響については、必ずしも学術的知見が十分ではないという認識を示した上で、放射性物質に対して設けられる環境防護の枠組みは、予防措置的な考え方を取り入れつつ、他の化学物質等の環境負荷因子の規制における枠組みと矛盾しないものとするという考え方が示されている。これらを踏まえ、放射線環境影響評価の影響評価点（エンドポイント）として4項目を挙げている（表4）。

その一方で、これらの影響評価点について、定量的な評価が困難な場合が少なくないことも、併せて指摘されている。これらの影響評価点を実際に評価するかわりの方法として、レファレンス（標準）環境、レファレンス植物相、レファレンス動物相を仮想的に想定し、通常的环境放射線（放射性物質濃度）モニタリング結果（排気、排水、施設周辺の空間線量率など）を、レファレンス動植物相への被ばく線量に換算し、各影響評価点（エンドポイント）に換算する「荷重係数」が検討されている。又、線量制限についても、動植物などが受ける自然バックグラウンド線量を基準として、その10倍、100倍、1000倍といった線量をバンド（幅）の区切りとし、定量可能な細胞遺伝学的変異や生殖可能性の低下、致死的影响等の各影響評価点に対応させること、等が提案されている。

「レファレンス環境」を設定する考え方は、人の健康影響評価において、標準人（体格）や名目的な標準人口集団を設定して、人の放射線健康影響を評価してきた従来の考え方と共通するもの

である。しかし、「環境」の多様さを考えるとき、「平均的なレファレンス環境」が具体的な「個々の環境」に適用できるかどうかについては、議論の分かれるところであろう。

#### 4. おわりに

現在、ICRP 放射線環境防護タスクグループの「人以外の生物種の防護に関する報告書（案）」は、ホームページ（<http://www.icrp.org>）において入手可能であり、ICRP は、報告書（案）に対する意見を広く求めている（本年12月15日締め切り）。

この動きと連動して、経済協力開発機構 原子力機関（OECD/NEA）では、この報告書（案）をレビューする専門家会合（CRPPH EGIR）を9月より設置し、詳細な検討を進めている（わが国からは、野口 宏博士（日本原子力研究所）と小職が、参画している）。さらに、原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）においても「放射線の影響」について学術的なレビューが進められており、2005年を目途に報告書として取りまとめられることになっている。

これら国際機関等の会合に参画するなかで、その動向や各国の専門家の意見や議論の争点等を正確に把握し、あらゆる機会を通じてわが国の関連分野の専門家に広くお伝えすると共に、わが国のこの分野における学術成果や、専門家の意見等を幅広く集約し、国際的な議論の場に積極果敢に提示したいと考える。各位のご理解とご協力をお願いする次第である。

---

1) Clarke, R.H. What does ICRP expect from these Fora? ,  
Proceedings in "Radiation Protection of the Environment - The Path Forward to a New Policy? ,  
OECD/NEA Forum in collaboration with the International Commission on Radiological  
Protection (ICRP)", Taormina, Italy, OECD/NEA, 2002 (in press).

1. 目標、原則の明確な定義、設定
2. 合意された単位、量の使用
3. 標準環境（生物、場）における標準線量評価・影響評価モデルの設定
4. 放射線環境影響に関する知識、知見の集積
5. 防護基準により、環境防護が達成されていることを確認する手段
6. 新しい知見に基づく定期的な更新

表3 環境影響を含めた新しい放射線防護体系が具備すべき6要件

1. Morbidity（生物個体の well-being への影響）
2. Mortality（生物個体の急性致死、がん、遺伝的影響等の確率的影響による生涯致死確率の増加（又は寿命の短縮）
3. Reduced Reproductive success（生殖可能性の低下、適応度の低下）
4. Observable cytogenetic effects（突然変異、異形等）

表4 放射線環境影響に関する4つの影響評価点（エンドポイント）

（参考）放射線の環境影響評価における主な論点の整理  
最近の国際機関等の放射線環境影響の評価と防護に関する会合等における主たる論点を、筆者なりに整理してみると以下の通りである。

1. 真人間中心主義（deep anthropocentric）: 環境影響評価の対象は、人の健康への負荷だけでよい。人以外のすべての動植物は、悟性ある「人」が利用するために存在するとする視点である。

2. 人間中心主義（anthropocentric）: 人も環境生態系の一部であり、環境および生態系（人以外の生物種）への負荷を考慮する必要性を認めるが、その規準は、あくまで「人の生存に影響をもたらすかどうか」を重視する視点である。人間中心主義には、科学技術等を信頼し、人が環境に積極的に働きかけて、これを管理・維持する責任があるとする「世話人（steward）」的な立場と、人の環境生態系への理解は十分でないという立場から、人為的な環境への働きかけに「懐疑（skeptical）」的な立場がある。

3. 環境中心主義 ( bio-centric, eco-centric ): 人を環境の一部と見なし、現存の環境および生物種に本質的・内在的な価値 ( intrinsic value ) を認め、人への貢献に関わりなく保全 ( conservation ) の対象とする視点である。環境の保全より、保存 ( preservation ) が重視され、人による環境への関与、改変は、最小限に止めるべきであるとされる。

滅びる種は自然に滅び、残る種は残るべくして残るのであって、「環境」のことは「環境」に任せ、人は関与すべきでないという「放任」の立場と、希少種や絶滅危惧種の保存のように、人の関与がなければ困難であるような場合には、人が関与して保存すべきとする「関与」の立場がある。

関与の立場からの環境中心主義は、「守るべき環境、保存されるべき種」が暗に人の都合によって想定されており、その意味において人間中心主義的であるともいえる。例えば、「トキ」が、種の保存の対象として、手を尽くされる一方で、希少種、絶滅危惧種とされながら、対策がとられない種も少なくない。どの種を重視するか、大事かを、暗々裏に「人が選択している」以上、それは、人間中心的な考え方と、どこかで重なる部分もあろう。そのトキも又、かつては稲穂を荒らす害鳥として「駆除」されたり、羽を利用するために「乱獲」されたり、食用に供されたりした時代があるのも事実である。その頃とは違い、種としてのトキを保存しても、直接的な人間の利益にはならないことから、あくまでトキという生物種の利益に主眼があると考えることにより、人間中心主義とは区別されるべきであらう。

4. 真環境中心主義 ( deep biocentric, deep ecocentric ): 人の行為が環境にもたらす影響は、文明による過度の環境負荷であり、その大半は不条理なものである。

人が生きるための最小限の人間活動以外は本来、認められない。動植物、生態系、生息地、無生物などあらゆる環境要素には、内在的な価値 ( intrinsic value ) があり、人はいかなる理由があっても (たとえ自らの生存が脅かされるとしても)、それを本来、冒すべきではないという考え方である。自然や環境は不可侵であり、触ってはいけない、という主張は、アニミズム ( 自然崇拜、自然主義 ) 的であるが、欧米ではむしろ反物質文明、反科学技術の論理として主張されている面もあろう。

個人や集団、地域や国において、宗教的・文化的な伝統により、これらの立場のどれに依拠するかが左右されることになる。読者には、どの考え方が一番、納得がいくであろうか。

人の利益と環境 ( 他の生物 ) の利益のどちらを優先するか、環境および人以外の生物種を「人間中心」の関係でみるか、人を含めた全体でみるか、については、必ずしも確立した見解があるわけではない。自然破壊、稀少生物種の絶滅には心が痛むが、それを保全するために「人」の健康や生命が脅かされるとしたら、どちらを優先するのかという選択には、正解がない。国際社会は、このような二者択一に直面しないように、事前にこれを回避しなければならないのであり、「持続可能な発展」を目標として掲げながら、様々な行動計画を模索しようと試みている。放射線の環境生態系影響の推定・評価は、このような時流にあって、きわめて困難かつ今日的な課題である。

このような問題は、「環境倫理」として扱われる分野であり、IAEA の技術文書「IAEA-TECDOC-1270 電離放射線の影響からの環境の防護に関する倫理的考察、2002 年 2 月」において詳細に論じられている。



## 第 35 回 原子力安全研究総合発表会の概要

平成 14 年 8 月 27 日（火）、28 日（水）の 2 日間にわたり、都市センターホテルにおいて約 100 名の参加を得て標記発表会を開催した。主題を 27 日は「放射線発がんリスク評価における線量率効果研究の現状と問題点」、28 日は「定量的なリスク評価の活用について」とし、講演、総合討論、パネル討論会を実施した。以下にその概要を紹介する。

### 8 月 27 日：放射線発がんリスク評価における線量率効果研究の現状と問題点

#### 講演 1 「放射線の生物影響の発現における線量率効果研究の歴史と現状」佐渡 敏彦（放射線医学総合研究所名誉研究員）

最初に、DDREF の定義についての考察が行われた。ICRP の 1990 年の Publication では、NCRP の 1980 年のレポートで用いられた DREF の定義が引用されている。これによると高線量・高線量率での線量反応は一般に線形・二次の形をとる。高線量率・高線量域でのデータから、しきい値なしの直線で、低線量域まで外挿した線の勾配と、低線量率・高線量域のデータをしきい値なしの直線で引いた線の勾配との比を線量率効果比（DREF）と定義した。そして ICRP は 1990 年の Publication で、この比を線量・線量率効果係数（DDREF）と定義した。実際に実験のデータから推定された DDREF の値は、1.1~10 程度の値が出ている。動物実験のデータを見ると、放射線発がんの線量反応をすべての線量範囲について一つのモデルで説明できる事例は少ない。また、高線量率と低線量率での発がん効率を比較する場合、単位線量あたりのがん発生率はどの線量域で比較するかによって、値が大きく変わってくる。従って、ワンポイントで比較する場合には、線量によって、かなり異なった数値が得られることに留意する必要がある。



DDREF 値については、様々な国際機関が様々な値を出しているが、例えば ICRP Pub.60 では、2 程度が適当であろうとしている。ここで、非常に重視されているのは、広島・長崎の原爆被爆者のデータである。

次に、放射線の生物影響の発現と線量率効果との関わりについては、線量率効果は存在しないというのが、放射線遺伝学の初期の結論であった。これは、キイロショウジョウバエの精子を使って行われた研究等から得られた結果によるものであった。1950 年代に入ると、ヒトの低線量被ばくによるリスク、低線量率で長期間照射された場合の影響が問題になってきたため、米国のオークリッジ国立研究所において、大規模なマウスの精原細胞の突然変異の研究が始まった。1982 年に Russell らによりまとめられた結果には、全

体として133万匹のデータが示され、低線量率照射では高線量率照射に比べて突然変異の誘発率が約3分の1に下がることが確認されている。これは、低線量率照射の方が、遺伝子損傷の修復が大きいことによると解釈されている。

遺伝研ではカイコを使った実験で、1961年に低線量率照射の方が、高線量率照射よりも精原細胞や卵原細胞の突然変異率が高くなるという逆転型の線量率効果が見出された。その機構については、1961年の論文の中では、選択的細胞死という考え方が提案された。細胞死に対する感受性と突然変異に対する感受性との間に相関があると考え、低線量率照射では、放射線感受性の細胞がある程度生き残って、それが、突然変異率の上昇に寄与するのではないかと考えた。しかし、照射中の細胞の増殖動態を詳しく調べた結果、照射中に細胞周期の動態が変化することが判明し、G1期、G2期での停止が起こることが明らかになった。この結果、感受性相への細胞の蓄積が起こり、それが突然変異の頻度を高くする原因ではないかと考えられた。その後、培養細胞の実験から、Sensitive Window Hypothesis という説が提唱された。低線量率での長期連続照射の場合には、細胞周期中のある高感受性の相を繰り返し細胞が通る度に、突然変異率が高くなるという説である。また、照射中に細胞周期の再配分が起こり、その結果として、突然変異率が高くなるという説も提唱された( Cell Cycle Redistribution Hypothesis )。

次に寿命短縮については、1950年代から様々な線量率で生涯マウスに照射し続け、寿命短縮にどう影響を与えるかを確かめる実験が行われてきた。一日あたりの線量が0.1~1 cGy程度の線量率の照射ではほとんど寿命短縮効果が見られなくなっている。場合

によってはマイナスになることもあり、しばしばホルミシス効果として引用されることがあるが、差は僅かである。また、放射線の影響の発現には照射(被ばく)時年齢が大きな影響を与えることが知られているので、照射期間が長くなった場合、注意しておかなければならないというのが、野村先生の実験のポイントとなっている。

放射線発がんは一般に確率現象であると考えられているが、放射線感受性の一部の腫瘍、例えば線量反応にしきい値の存在を示唆する胸腺リンパ腫や、卵巣腫瘍の場合は、標的臓器におけるある割合以上の細胞死がそれらの臓器における発がんの必要条件になっているように思われることから、これらの腫瘍は一種の確定的影響の性格を持っているのではないかと考えている。卵巣腫瘍の場合は大部分の卵細胞の死が、ホルモン環境を大きく狂わせて、過剰なホルモン刺激により、卵巣腫瘍が誘発されるということが考えられる。この場合、卵細胞の死が、放射線によるものでなくとも、最終的には、ホルモンのアンバランスで卵巣腫瘍ができるということである。従って、このような例では、標的細胞に突然変異が起こるかどうかわからないというは少なくとも発がんの初期では重要な問題ではないということになる。細胞死という要因は、非常に重要な意味を持っていると考えられる。

また、一般に発がんの標的細胞は、それぞれの標的臓器における幹細胞だといわれているが、すでに分化の経路をとりはじめた未熟な前駆細胞が標的になっている可能性が高いと思われる例も報告されている。このような場合には、精原細胞の突然変異の場合と違って、高線量率照射と低線量率照射で、標的細胞が受ける放射線の量が異なる可能性も考えられる。



## 講演 2 「マウス実験による低線量率放射線の影響の研究」野村 大成（大阪大学教授）

放射線のリスク推定には、しきい値の有無が最も重要な要因である。特にリスクの8割を占める発がんについては、しきい値の有無は重要な意味を持つ。

動物実験を行うにも、原爆被爆者の数だけのマウスを扱うのは不可能であり、マウスだからといって無制限に多くのサンプル数を扱えるわけではない。よって、どのように実験を行うとしきい値の問題が解決されるのかと考えた。もし、一回照射されたときに、損傷が完全に修復されるのであれば、低線量率で繰り返し照射した場合、がんの増加はなく、必ずしきい値はあるだろうと考え、低線量率では本当にがんの発生率が減少するのか、もし、減少するのであれば、その値を基にリスクの推定ができるのではないかとということで、実験を進めてきた。

ヒトの場合には、原爆被爆者のデータがあるが、これは、線量率ではなくて、高線量と低線量の比較である。よって、動物実験により、ある程度補完する必要がある。

あり、アメリカ、イギリス、イタリア、日本でも多く実験が行われたが、多くは1回の照射と生涯照射の比較の実験であった。この場合、年齢による感受性の違いは考慮されておらず、一回の照射と生涯照射では、必ずしも線量率効果を表しているものではないということになる。そこで、年齢、照射期間等の線量率以外の因子を同一にして実験しようと考え、照射時年齢を合わせて実験を行うことにした。

また、一つのマウス系統のみで、実験を進めると大きな過ちを犯す可能性があるため、腫瘍スペクトルの全く異なる2つの系統のマウス、C3H/HeJとC57BL/6Jを用いた。照射時年齢を一定にして、1.7, 0.5, 0.1Gyを4回照射し、線量率は、1189~0.04mGy/minで約30,000倍程度の差をつけて照射した。

白血病は、線量率が高くなると非常に高い確率で発生し、線量率が下がるにつれて、ほとんど0になる。DDREF値は、実に20~40という結果となった。

固型腫瘍では、1.7Gy, 0.5Gyの4回照射では、両系統で非常に低い値、1に近い値が得られた。個々の腫瘍については、肝腫瘍、皮膚腫瘍に大きな線量率効果が、肺腫瘍、子宮腫瘍、軟組織の腫瘍にも有意の線量率効果が見られたが、全体をとりまとめると、線量率を下げてあまり大きな差は出てこないという結果であった。固型腫瘍においては、0.5Gy×4程度の線量では、線量率による大きな差は出なかったという結果であった。しかし、0.1Gy×4回に線量を下げたところ異なる結果が出てきた。固型腫瘍の発生率が、この線量域では線量率により有意に差が見られた。0.5Gy×4では線量率効果が見られなかった腫瘍でも線量率効果が見られるようになった。その原因として、非常に高い頻度で発生する卵巣腫瘍では、0.5Gy×4回では発生率がほとんど飽和状態だったと考えられた。0.1Gy×4回では、線量率効果が顕著に見られるよう

になった。固型腫瘍全体で見ても、高い線量では見られなかった線量率効果が現れてきたという結果となった。線量を下げることによって、今まで見られなかった臓器にも線量率効果が見られるようになったことである。なお、白血病、肝腫瘍はこの線量域では誘発されにくくなっている。

ヒトも含め哺乳動物すべてに当てはまると考えられるが、容易に誘発されるようながんがあると、それがすべてを覆い隠してしまって、高い線量では線量率効果が現れず、小さな線量で実験を行わないと、本当に線量率効果の有無は解らないということである。

他の実験についてもいくつか紹介する。一つは、胎内被ばくの場合である。これも非常に問題になるところで、がんだけでなく、発生異常を起こす場合がある。そこで、がんも、突然変異も、発生異常も同時に観察できる特殊なマウス (PT-HT F1) を使用した。Russell が使用していたマウスと Lyon が使用していたマウスを交配したものである。いずれも体毛の遺伝子の劣性突然変異を持っており、両系統で合わせて 8 つの遺伝子の差がある。これを交配してみると、子供はヘテロであるから、真っ黒なマウスになるが、胎内で体毛の色素を作る細胞に突然変異が起これると、色が違うスポットとして見えてくる。生まれた後に体毛を顕微鏡下で観察すると、どの遺伝子に変異が起こったのか、判別できる。また、発生異常も同時に観察できる。ただし、そのままでは容易にがんは発生せず、照射後に、がんを促進する TPA を塗布すると、肝臓腫瘍や皮膚がんが発生してくる。発生異常 (形態異常) には、しきい値があり、ある線量を超えると急に発生率が上昇する。がんについては、TPA の塗布により発生してくるが、不思議なのは、TPA の量には関係せず、照射された放射線の量に比例して頻度が高くなることである。放射線だけではがんが発生しないが、TPA の

促進効果でがんが発生するということである。線量率効果を調べてみると、突然変異は、1/3 に、発生異常は、1/6 に、肝がんは、1/8 に、皮膚がんも 1/6 程度に減少した。このように明確な線量率効果が胎内被ばくの場合にも見られる。

もう一つは、継世代に起こる影響であるが、親に放射線が照射されたときに、子供に突然変異が誘発されることは、以前から知られていた。ただし、精原細胞や卵細胞に関しては、修復が強く働くためか、8mGy/min 以下では、低線量率での照射は、高線量率で照射した場合に比べ 1/3 ~ 1/20 程度に減少する。親マウスへの X 線照射による次世代での腫瘍の誘発も、低線量の分割照射では、ほとんど子供には影響が現れない。高線量・高線量率の照射による子供への影響だけがとりざたされているが、実際には、低線量域では子供に腫瘍は現れないことを示している。

では、なぜ線量率効果が現れてくるのか、一番大きく寄与する要因は損傷の修復だと考える。分子レベルの DNA の修復は、大きく関与しているだろうと考えられる。その他に影響が大きいのは、組織レベルの修復があると考えている。

DNA 修復が、線量率効果に大きな影響を与えている例をあげてみる。DNA 二重 (本) 鎖切断修復欠損マウス (SCID マウス) と、野生型マウスを使って実験を行い、線量率効果を調べてみると、野生型の場合、低線量率ではほとんど発生異常が発生しないが、SCID マウスでは、線量率に関係なく同じように発生する。白血病も同様である。これは、線量率効果を決定するかなり大きな要因として、DNA 修復が関与していることを示すものである。ただし、SCID マウスでも線量率が下がると多少死亡率が下がるので、線量率効果がわずかにあるということには注意が必要である。

しきい値を左右するものとして、外的要因がある。す

なわち、がんや発生異常を促進あるいは制御する要因というのは、自然界に多く存在する。TPA を塗布することにより、がんが発生するということは、しきい値が低いレベルへシフトしていると考えられる。自然界でもこの様な要因が作用した場合には、しきい値のシフトが起こってくると考えられる。逆に、免疫系に作用するようなものや、ビタミン類等を作用させると、腫瘍の発生率が下がる場合もある。BCG 等の免疫賦活剤を投与すると、形態異常の発生率が有意に低下する。これは、マクロファージの働きによるもので、母体の免疫というのが、発生異常に対して、大きな作用を及ぼしている。

注目に値するのは、X 線を照射したとき、Conventional 環境 (SPF ではない) で飼育しているマウスは、SPF 環境で飼育しているマウスに比べて半分程度の影響しかないということである。実際に、通常で飼育しているマウスから、マクロファージを採取してきて、注入すると、やはり発生異常をおさえる効果がある。他にもビタミン等様々なもので実験を行ったが、非常に明確に作用する。環境によって大きな影響を受けるということである。ヒトの場合は様々な環境で生活しているので、しきい値を考える場合には注意が必要である。

最後に、今後行ってみたい実験について、言及したい。いかにマウスで実験してみても、それはマウスでの話である。しかし、人体実験はできないので、人体への影響評価はなかなか困難である。また、マウスの中でも系統によって非常に差がある場合があるため、ヒトへの影響に適用するのは難しい。これまで、疫学調査しか方法が無かった。ヒトの培養細胞を使った実験はあるが、生体内とはかけ離れている状況であるから、直接反映するものではない。

そこで、ヒトの臓器・組織を用いた実験系を新たに

開発してきた。ヒトの臓器・組織に置換したマウスを作り、実験を行うのである。さきほどの、SCID マウスだが、このマウスは、T 細胞、B 細胞の機能を持っていない。よって、人の臓器を移入しても、拒絶反応がほとんど起こらない。改良の結果、正常のヒト臓器でも 2 ~ 3 年は維持できるようになってきた。マウスは死亡しても、人の臓器は、新たな次の SCID マウスに移入するので生き残る。放射線を照射し、ヒト臓器への障害を検証することが可能になってきている。

実験してみると、マウスの場合と同様に、あるいはそれ以上に、線量率効果が認められることがわかってきた。今後は、この方法を使って、放射線だけではなく、様々な実験を行っていきたいと考えている。

### 講演 3 「マウス発がん実験における線量率効果に関わる二つの経験」古瀬 健 (放射線医学総合研究所客員協力研究員)

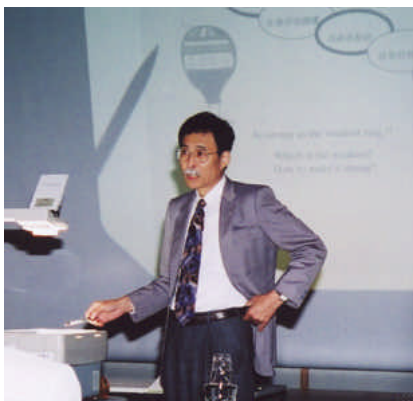
線量率効果の実験というと Upton や Ullrich の実験が有名だが、実験の数は、あまり多くないのが現状である。なぜかという、大量のマウスを使用することとなり、その解剖や、組織の切り出し等、膨大な手間がかかるため、躊躇するところである。放医研では最初に佐藤文昭先生がこの実験を始められた。

この実験の C57BL マウスの胸腺腫発症に関しては、急照射、低線量率照射のいずれの場合でも、発生率は線量に応じて上昇する。しかし、線量が高くなりすぎると、造血器障害死による死亡によって頭打ちになる。DDREF 値であるが、さきほど、様々な線量で検討する必要があるという話があったが、この実験では点で評価するしかないのだが、2.9 という値である。最後に、低い線量率で長期間照射した場合にはほとんど胸腺腫が発症しなかったことから、線量の累積効果は小さいと考えられる点が挙げられる。ただし、この

場合、照射期間が 700 日以上かかっており、ほとんど一生照射し続けたというのに近い状況なので、一概には言えない面もある。

もう一つの実験は、C3H マウスを用いて骨髄性白血病を誘発するという実験である。この場合の骨髄性白血病は 100 日後から 1,000 日後程度まで、いつ発生するかわからない。先ほどの胸腺腫の場合は、概ね約 300 日から 400 日をピークにその後はほとんど発生してこなくなる。また、発症数がもともと少なく、統計学的に処理をすると、ちょっとした変動で大きな変動になりうるということが考えられる。C3Hマウスでの骨髄性白血病の発症については、高線量率照射での発生率のピークが 3Gy が、線量率を下げても、ほとんど変わらず、発生率のみが低下した。また、低線量率になると、照射時間が延びるため、イニシエーションの段階よりもプロモーションの部分が効いてくるためか、線量率の低下に比べて発生率が下がらないという傾向が見られた。さきほど Sensitive window という仮説が紹介されたが、こういったことも考えていた。

DDREF を考える上で、高線量で高率に発生するというタイプの腫瘍と低線量でも線量効果を認められるような腫瘍といった、性格が違うものを比較しながら問題を煮詰めてく必要もあるのではないが。



#### 講演 4 「放射線発がんの標的細胞と低線量率リスクの問題点」丹羽 太貫（京都大学放射線生物研究センター長）

膨大な実験データを防護体系にどのように生かしていくのかという問題がある。疫学では、ある意味大きな視点で現象をとらえているのに対して、分子生物学は小さな視野で現象をとらえていると言える。疫学では、リスクを推定するための数字を出しやすいが、分子生物学では数字を出しにくいいため、リスクの推定に生かしにくいところがある。

低線量と低線量率の問題点としては、低線量放射線によるイオン化事象と空間分布、時間分布の問題がある。損傷集積性には、分子レベルの修復と組織レベルの修復が関与すると考えられ、生体組織細胞再生系による組織修復機構も考慮する必要がある。

DNA の二重鎖切断に対する修復機構は、放射線のために存在するわけではない。二重鎖切断は、普段の生体内で、多く発生している現象である。また、正常な活動に伴って、複製ミス等も発生している。こういったことは、考慮しておく必要がある。

組織レベルでの損傷細胞排除と細胞の再生系と、損傷の集積性について考えてみると、生涯にわたってゆっくりと分裂を繰り返す幹細胞では、損傷が集積することが考えられるが、活発に分裂を行う芽細胞、分化してしまった機能細胞は、必ず死ぬ細胞であり、このような細胞ががん化の標的であったら、リスクについては、この細胞の寿命分だけ集積性を考えればよいということになる。

また、細胞によって、DNA 損傷の修復速度が大きく異なることが考えられる。例えば、リンパ球などは、寿命があり、あまり修復されないのだが、幼若化して分裂ステージにもどしてやると、速やかに修復されるようになる。

標的細胞は腫瘍によって異なると考えられる。胸腺リンパ腫では、幹細胞が標的ではなく、また、間接的な機構があるらしいということが、分子レベルで明らかになってきている。

ストレスに対する共通のストラテジーとして、修復、耐性、破壊と再生などは、分子、細胞、組織、個体、集団といったレベルで共通のものである。ウラン抗夫や、喫煙者は、やめると急速にリスクが落ちることが知られている。損傷細胞が排除されるからではないかとも考えられる。低線量影響の様々な問題に迫るには、機構研究が必要である。

## 5. パネル討論

### 司 会

- 佐渡 敏彦 放射線医学総合研究所名誉研究員  
パネリスト  
野村 大成 大阪大学大学院医学系研究科遺伝医学講座・放射線基礎医学教授  
古瀬 健 放射線医学総合研究所  
客員協力研究員  
丹羽 太貫 京都大学放射線生物研究センター長  
田ノ岡 宏 元国立がんセンター  
神谷 研二 広島大学原爆放射線医科学研究所長

講演後のパネル討論では、会場からの意見、質問も得ながら活発な議論が行われた。主な内容について事務局でまとめたものを以下に示す。

### < 発がんの機構について >

臓器、臓器の動態によってしきい値の有無が決まってくるだろうということであった。DDREF は環境レベルの放射線では、条件によっては、100-1000 になることもある。原爆被爆者については、被爆後早期に、白血病の発症があったのち、急激に発生率が低下するのに対して、固型腫瘍については、長い潜伏期を経

て発症することが知られている。白血病に対しては L-Q モデルが適合して、固型腫瘍に関しては直線モデルが適合するといわれている。低線量域での変異では、2重鎖切断というのは、あまり影響していないのではないかと示唆されるデータが得られてきている。低線量域と高線量域では、がん発生機構については、分けて考える必要があるのではないかと思われる。低線量域での変異は、間接的機構が、より大きく関わっているのではないかと考えられ、高線量・高線量率の放射線で発生したがん、低線量・低線量率で発生したがんでは、分子レベルで見た場合には、異なるものである可能性もある。

また、制がんの方向からも、発がん機構の解析は重要である。治療する方から考えても、発がんのメカニズムがわからないと、うまく治療ができない。発がんの研究も、治療の側の研究と連携しながら進めていく必要があると考える。

### < ICRP の新勧告について >

ICRP は 90 年勧告の改訂を開始しており、自然バックグラウンド放射線の存在に注目し、特に低線量放射線の影響を判断するよりどころにしているようである。しかし、自然放射線レベルの影響、高バックグラウンド地域での影響については、結論は出ていない。また、いくつ損傷が起こるとがんがどのくらいできるのかということも解っていない状態では、自然放射線レベルを基準にして体系を構築するのは難しいと考えられる。生物学の分野による低線量影響の機構の解明が必ず必要になってくる。

また、発がんの標的細胞や機構が高線量と低線量で異なるということになってくると、線量というものをどう考えるか、低 LET 放射線の低線量域での線量は今の定義でよいのかということにも関わっている。

### <生物学と疫学の関係について>

生物学者が実験できるのは、1,000 匹オーダーであり、統計学的な解析にはどうしても限界がある。数が扱えないから工夫して実験しなければならないし、あるいはメカニズムの解明という選択もあり、その中で DDREF 値を求めるという選択もあった。実験系によって、数が必要ない状況を作ることはできる。

疫学では過剰なリスクがあるかどうか、有意な差があるかどうかということに視点がいつてしまう。統計学的には、サンプル数を増やせば有意差を検出し易くなる。必ずしも、統計学的に有意差が出ないから、生物学的に重大な意味がないということではない。

個体レベルではどれもしきい値が存在する現象であっても、感受性に差のある個体を一括して統計処理すると、直線的な結果になる。個体差によって線形な反応関係が現れてくることもあり得るため、反応関係が線形であるから機構そのものが線形であるというわけでもない。

また、がんの場合は難しいが、他の病気では、最終段階に至る前に、様々な変化があらわれる。こういった前段階の変化を検出して、リスクを考えるという方法も考えられる。個体数を増やす代わりに、マーカーを増やすということも考えられる。ただし、そのマーカーの変化が疾病、障害に結びつくのかよく考えておかないと、過ちを繰り返すことになる。

### <低線量放射線の生物への影響について>

生物である人間は、ある環境で最も適した形に進化してくると考えられる。地球上に住んでいる人間は自然放射線に対して適した形になっていると考えられ、自然放射線のレベルでは人間に悪影響を及ぼすことは無いのではないかと。生命は環境の変化に応じて適応してきたのは事実であり、高バックグラウンド地

域の人は、放射線に抵抗する性質を持っているかもしれない。しかし、人間の寿命はつい最近まで、平均 30 年～40 年程度であったが、80 歳まで生存したときに、新たな問題が生じてきている。がんをはじめとして、アルツハイマー病、パーキンソン病等は、これまでの進化の中ではデザインされていなかった問題であると考えられる。よって自然放射線には適応しているはずだから、それで問題ないとは言いつて切れないのではないかと。放射線だけでなく様々な化学物質、環境の変化等、人類がさらされたことの無いような変化というのはすべてリスクに絡んでくる。

### <放射線関連分野について>

ここ数年は政府が重点的に特定の分野に資金を投入するということが多くなってきた。放射線というのは、アピールできるキーワードではなく、結果として放射線関連の拠点が無くなっている。大学が持っている原子炉が無くなっているのも一例である。放射線関連の分野が全体的に地盤沈下する恐れがある。大学の法人化により、この分野は非常に難しい問題に直面している。





8月28日：定量的なリスク評価の活用について

講演1「定量的リスク評価手法とその活用の考え方」平野 光將((財)原子力発電技術機構理事・原子力安全解析所長)

PSAは、理論的に考え得る全ての事故シーケンスを対象とし、異常・故障などの起因事象の発生頻度、事象の及ぼす影響を緩和する安全機能の喪失確率および事象の進展・影響を定量的に分析・評価することにより、事故の発生確率や影響の大きさ、あるいは両者の積(リスク)を基に総合的な安全性を評価するものである。特に、発生確率が極めて小さく、事象の進展が広範、多岐に渡るシビアアクシデントの発生防止、影響緩和対策に有益な情報を与える。従来の決定論的評価によって判断がなされた稼働中の原子力施設についても、PSAの結果を直接的あるいは間接的に適用し、より安全なプラント改造、運転方法の改良などを図ることができる。なお、PSAの結果に含まれる不確実さについては、我々の現時点での知識の限界に由来するものである。従来の決定論的評価では保守的な条件を課すことによって処理してきたが、それがどの程度保守的なのか、どのような因子が含まれているのか等については分析されない。一方PSAは、不確実さの寄与要因とその重要性を明らかにし、不確実さを意思決定の情報として提供するものである。

安全規制/安全管理は、「対象施設の設計、建設および運転が公衆の健康と安全に対して過度のリスクを与えないこと」という観点から行われる。すなわち、現行の決定論的安全評価に基づく安全規制/安全管理も基本的にはリスク評価に基づいている。PSAを活用した安全規制/安全管理は、リスクの理解をより一層深め、安全上重要な事項に対する安全規制/安全管理に焦点を絞るものであり、深層防護の考え



に基づく伝統的な決定論的安全規制/安全管理を補完して、これをリスクに関し整合性のとれたものとするものである。これによって、現在の原子力発電所に関する安全確保対策の妥当性確認、潜在的なリスク要因を抽出して安全性を向上させるコスト効果の良い対策の立案といったことから、最近では、PSAにより得られる知見を活用して系統、機器、運転手順等に安全上の重要度付けを行い、重要度に応じて必要な性能を設定することで、高い安全性を維持しながら人的、資金的資源を効果的に活用する、リスク情報を考慮に入れた安全規制/安全管理(Risk Informed Regulation / Management)が多くの国で取り入れられてきている。

我が国においても、規制当局の奨励を受けて、電気事業者の自主的な安全管理活動にPSAが活用されるとともに、それらの妥当性に対する規制当局のレビューを含めて、PSAの得られる知見が安全規制の判断にも取り入れられつつある。例えば、電気事業者はアクシデントマネジメント整備、定期安全レビュー保安規定の高度化・透明化のためにPSAの知見を活用しており、また、原子力安全委員会はリスク評価

を安全確保に活用する枠組みとして利用するために安全目標の設定を検討しており、総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会は原子力施設の検査制度の見直しに当たって定量的なリスク評価の活用の重要性を指摘している。



講演 2 「建築・土木分野におけるリスク評価の現状とねらい」高田 毅士（東京大学大学院工学系研究科建築学専攻助教授）

リスク評価とは、本来安全であると考えているものの、様々な不確かさが存在するために絶対安全とはいえ、危険な状態になる度合いがどの程度かを定量的に把握し、その時の被害規模はどれぐらいかできるだけ科学的に予測することに他ならない。リスクを定量的に表現できるならば、様々なリスクを横並びにして客観性をもって災害の程度を比較することが可能である。どの災害に対してどの程度の対策をすべきかという意思決定の際に、リスク評価結果は合理的な根拠付けとなり得る。これがリスク評価の最大の利点であり、この利点を活用することが最も重要である。さらに、リスク評価結果は科学的な分析の結果であるため、それに基づいた意思決定は極めて透明性や説明

性が高いと期待できる。

建築分野におけるリスク評価に関しては、建物が危険な状態になる確率（破壊確率）を評価することが頻繁に行われており、これによって、様々な評価結果の比較が展開されている。すなわち、異なる建物の安全性の比較、異なる地域に位置する建物の耐震安全性の比較など、定量化された尺度を用いて横並びの比較・考察が実施されている。このように、定量的安全評価の利点は、安全性の比較が容易になることが一番の利点であり、既存建物の評価においても、今後の新築建物の設計においても、有効な対策が立てやすい。

建築分野における最近の事例として、建設省の総合プロジェクト「新建築構造体系の開発」を紹介する。これは、1998年の建築基準法改正に先駆けて、今後の建築構造設計において建築物の安全水準をどう考え、どのように扱うべきか、検討したものである。検討の結果、建物の安全水準は、確率を用いて表現することが最も合理的であり、建物の構造設計法を展開する際にも有効であることが報告されている。しかし、確率的な表現は法にはなじまないとして、改定基準法に部分的にしか採用されなかった。この検討の結果、確率論を用いて既往設計規準を見直すと、地域によっても、建物種別によっても、また、異なる荷重状態に対しても安全水準のアンバランスを見出すことができ、今後のより合理的な設計クライテリアを考える上で貴重な資料となっている。

リスク評価は、今後、社会との貴重な対話のツールになり得ると大いに期待している。原子力の安全問題においても、今後一層活用されるべきものである。しかしながら、リスク評価に携わる技術者も、評価結果の説明を受ける側も、リスク評価結果の正しい理解と適切な活用が前提である。

### 講演3「東海再処理施設の安全確保とリスク管理」 杉山 俊英（核燃料サイクル開発機構東海 事業所副所長・再処理センター長）

東海再処理施設は、平成9年3月のアスファルト固化処理施設における火災爆発事故以降運転を停止し、事故直後に科学技術庁に設置された事故調査委員会の結論に基づく改善措置等を鋭意進めるとともに、再処理施設全般にわたって自主的に安全性確認作業を展開する等安全性向上に向けた種々の改善を実施した後、平成12年11月に運転を再開した。

安全性向上に向けた取り組みとしては、自主保安活動の推進、教育・訓練の改善、品質保証活動の推進、の3つに分けることができる。

自主保安活動では、社会的観点も含めて日常的に感じている心配事、業務の改善点、許認可上の疑義等の全てを全従業員が自ら徹底的に洗い出す一大キャンペーンとして安全性総点検を実施した。また、安全性確認として、再処理施設が運転開始以来20年以上経過していることから、最新の知見に基づいて安全設計、安全対策について総点検を行い、これらの妥当性を確認するとともに、一層の安全性向上を期する上で種々の改善点も摘出し、積極的な取り組みを行ってきた。その他、各施設毎に4部門で分担して所掌していた保安管理体制を再処理センターに一元化するなどの運転管理面での見直し、再処理施設安全専門委員会の運営方法の見直し等を行った。自主保安活動に関しては、現在、原子力安全・保安院からの要請に基づき定期安全レビューを実施しているところである。

教育・訓練の改善では、上記安全性確認の結果反映して改訂した運転要領書等について教育・訓練を実施するとともに、その理解度を評価するためにレポート作成や口頭試問による技能確認を実施した。また、

現場における工事担当者、現場責任者等に対する作業責任者制度の導入、教育・訓練の計画策定から実績の管理までを適切かつ効率よく行うための教育管理履歴システムの構築等を実施している。

品質保証活動としては、施設の増設、改造等をJEAG4101に基づき実施してきたが、火災爆発事故後には運転に関する品質保証活動を強化すべくISO9002に基づき製造品質保証活動に取り組み、平成13年9月に認証を取得した。

東海事業所では、アスファルト固化処理施設における火災爆発事故の反省およびJCO臨界事故の教訓を踏まえ、安全組織の強化、リスク認識とリスク管理への取り組み、情報公開・共有化の推進に取り組んでいる。リスク管理とリスクの認知という点では、労働安全衛生マネジメントシステム（OHSMS18001）の認証取得、従業員同士のリスクコミュニケーションの展開、さらに地域社会とのリスクコミュニケーション構築のための活動を進めている。

我が国の核燃料サイクル確立に向けて、今後も東海再処理施設が果たすべき役割は大きいものと認識しているが、このためには安全に運転を継続することが極めて重要であり、そのためにも自らを守る安全の実現に向けて我々の英知を結集すべきものと考えている。



#### 講演4 「リスク評価適用における標準化の必要性」 樋口 雅久（日本原子力発電(株) 研究開発室主席研究員）

当初、米国の産業界が定量的な判断に基づく管理・規制の検討に着手したのは、原子力発電所の運転保守費がほぼ規制図書が発行件数に比例する形で増大する点を憂慮したことから始まる。つまり、規制システムおよび規格・基準が定性的な判断を基に作られている場合は、トラブルが発生する毎に規制図書や規格・基準が追加発行される問題は避けられず、一方、規制図書や規格・基準をいくら充実してもトラブル数の低減や稼働率の向上が図れなかったことから、定性的な判断から確率論を大幅に採用した定量的な判断を取り入れた規制および規格・基準に見直す動きが始まった。近年では米国の原子力発電所の稼働率は2001年に90%を超えるなど著しく向上し、不具合の報告件数は1991年で170件であったものが2000年では18件に、また発電単価が石炭発電所を抜き、原子力発電が最も競争力のある電力資源となっている。これらが定量的な規制システムや規格・基準の導入だけで達成されたとは思わないが、相当大きく貢献しているものと考えられる。

欧米では、リスクに基づく判断を原子力だけでなく、一般産業へも適用することを進めている。例えば米国の労働安全衛生 OSHA や公衆安全・環境保全 EPA、欧州の公衆安全・環境保全 SEVESO に、リスクを完全ではないものの、取り込んでいる。一般産業にもリスクに基づく判断を取り入れていくことは、一般市民が原子力を特別視することなく、また  $10^{-6}$  といった値の意味合いを理解してもらう上でも非常に大切なことであると考えている。ASME でも一般構造物や船舶、航空機、クレーン、エレベータなど原子力産業以外の規格・基準にリスクを取り入れていく研究が行

われている。

ASME では、PRA 標準作成のための委員会を設置し、検討を行ってきた。この中で特に議論が集中していたのは、原因と結果の関係が非線形である場合の取り扱いをどうするか、という点であった。結論として、専門家パネルを設置してそこでその取り扱いを判断することとした。つまり、専門家パネルにおいて、数値化できない情報も加味した上で評価することとしている。これらの内容を含んだ PRA 標準が ASME より2002年4月に発行された。これまでの規格は設計者の判断というものがほとんどなく、規格をマニュアルとしてそれに従って設計、製作していればよかったが、この PRA 標準では設計マージンという概念は存在せず、設計者が自己判断しなければならない。その自己判断に当たっての考え方をルール化したのがこの PRA 標準である。

今後、取り組むべき重要な点として、一般産業を含む標準手法の確立、リスク情報共通化のためのコモンベースの策定、専門家育成、社会人教育および学校教育のための教育プログラムの策定、を挙げたい。

#### 講演5 「航空輸送分野における安全規制と品質保証活動」遠藤 怜（日本航空(株) 執行役員整備本部副本部長）

国際航空輸送協会 (IATA) によると、100万飛行当たりでの機体損壊発生率は近年では1.2まで低下し、2001年は1.0に到達した。しかし、ここ20年間は大幅な低減を実現できず、下げ止まりの状態を示している。世界中の年間総飛行回数は約2000万回であり、発生率1.0とすると年間約20回の事故が世界のどこかで発生していることになり、乗客の信頼を獲得するには不十分と考えられる。その上、航空機の数は今

後ますます増加していく見込みであり、事故の発生率を一桁改善することを目指し、航空業界をあげて安全対策に取り組んでいるところである。

国際民間航空機関( ICAO )で定める条約では、安全性の確保に関して、第 6 付属書 - 航空機の運航、第 8 付属書 - 航空機の耐空性、で基準を示している。第 6 付属書は、飛行機の性能と飛行限界、飛行機の整備など運用面の基準を示し、第 8 付属書は飛行機そのものが安全に飛行する能力を備えているかどうかを規定している。この 2 つの基準を守ることによって、日常の運航が安全に維持されるという考え方である。ICAO 条約の基準は、これを締約した各国でそれぞれ法制化され実際の適用がなされるわけであり、我が国でも航空法が制定されている。

運用面では、新たな型式の航空機を使用して運航を開始する場合、初期整備方式という手順がとられる。新機材の導入に合わせてメーカーの監督官庁より整備方式を指定するレポート( MRB レポート )が発行され、これに基づきメーカーから具体的な対応手順が示される。航空会社はこれらの書類に準拠して自らの整備方式を定め管轄当局の承認を得て実行していくことになる。MRB レポートの中では、実施すべき整備の項目や間隔を定めているが、その決定プロセスでは全てのシステムに対しある機能故障を想定し、その故障が及ぼす影響を評価し、その結果によって故障確率を下げるなどの処置を講ずることになる。初期整備方式は、航空機の開発に合わせて設定されるものであるため、データの不確実さを保守的にカバーしている。従って、運用開始後は、実績に応じて改善されるべきものである。

品質は使用者の要求を満たす概念、安全は使用者に危害を加えないという概念であるが、実際にこれらを実現するための体制や方法は通常共通している

ことが多く、安全管理と品質保証の両方の活動を含む体制を構築していくことが現実的と考えられる。日本航空の場合、整備部門にカンパニー制度を取り入れ、整備事業を一体として遂行している。ここで特徴的なことは、整備監査室が品質保証部の活動も含めて全体の監査を行っていることと、現場で作業を行っている各事業部および関連会社にもそれぞれ品質保証部門を設置し、それぞれに品質保証活動を行っていることである。この品質保障制度に基づき、日常業務の中で発見された様々な業務の不具合については、発生した不具合事象に対する処置の妥当性、他への影響、情報伝達の要否が初期対応として重要なポイントとなる。

航空分野における品質/安全を維持していくための重要なポイントは、なすべき業務がマニュアルや規程に漏れなく定められているか、その定めに従って実際の業務が行われているか、の 2 点であり、これらについては、監査等により継続的に確認が行われる必要がある。

#### 講演 6 「原子力安全目標と安全規制」近藤 駿介 ( 東京大学大学院工学系研究科システム 量子工学専攻教授 )

安全規制行政における重要なポイントは、安全確保活動は設置者の責任で行われるものである、技術的、方法論的妥当性を有する効果的かつ効率的な手段で行われるものである、国民に対する説明責任を果たすものである、ことである。設置者責任の原則があるにもかかわらず、なぜ行政が規制するかというと、リスクが大きくなる可能性を有する活動であること、特殊あるいは専門的能力を要する活動であること、潜在的利害関係者が不特定の多数の公衆であるため、公衆がリスクにさらされていることを知らず、その

活動のあり方に注文をつけることができないからである。そのような場合、公衆は政治過程を通じ、この活動を特定の者に限って許可し、監視する活動を行政に付託する。これが規制行政活動である。従って規制活動は安全確保活動ではなくて、安全確保活動が適正になされるようにし、かつ、そのことを確かめ、国民にそれを説明する活動である。このような規制活動を行うに当たって行政は、行政資源を無駄なく使うために、正しい対象を正しい方法で規制することが求められるので、最新の情報、運転経験、技術進歩を踏まえたアプローチを採用することが肝要である。

規制が重視する安全管理の重要原則として、深層防護、安全文化等とともに、リスク情報を効果的に活用することがある。最適なリスク管理を行うにはリスク評価が必須であるが、原子力発電所に係るリスクへの寄与因子は極めて多方面にわたっており、高出力運転、内的事象に限定したリスク評価では不十分であり、停止時リスクや地震、火災等の外部事象に係るリスクの評価結果も踏まえ、総合的な観点からリスク管理する必要がある。

NRC では現在、燃料サイクル施設の監査活動についても規制評価の客観性と安全中心性の向上、規制のより効果的、効率的な実施などを目的に改革を進めている。これは、安全確保活動を監査する際には、経営層の関与と制御、技術的問題の発見と解決の方法、異常事象の対応、人材の確保、訓練と資格試験の有効性に係る特性、各種性能の動向といった多様な切り口で評価してリスク管理システムの全体像の把握を目指していることが特徴である。

このような監査型の規制に移行するためには、効果的な監査を行う観点から、設備や動作の安全重要度を判断する方法を確立する必要がある。この重要度の指標は、基本的にはリスクへの寄与、リスク減少へ

の寄与、それらの絶対値という3つである。リスク評価に基づくと、機器/設備等は、それが安全系であるか否かの区別なく、その事故シナリオへの寄与度、その信頼性、故障率によってその重要度が判断できる。ただ、この方式では冗長性の高いシステムの機器の重要度は小さく算出されるために、この指標のみで判断してはならず、専門家パネルの設置などにより総合的な評価を行うことが重要である。

また、点検・検査の結果の判断・評価においてセコンドオピニオンを取る仕組み、すでに燃料検査問題で明らかになったように、品質管理基準が安全に係る使用前検査の合格基準になっているような状況を改善して、不適合管理における基準を整備すること、使用中の構造物に見出された欠陥の大きさの安全上の制限値を明確にすることも必要である。

品質保証体制を監査して安全確保活動の妥当性を判断できるためには、このような種類の合理的なルールのもとその結果の評価とそれに基づく意思決定のシステムが適切に運営されていなければならない。しかも、そのルールが国民の信任を得ていなければならない。この点でその妥当性について国民と意見を交わすのに国民と共有可能な定量的安全目標が定まっていることは有益である。事業者と規制側のリスク管理システムが国民の信任を得るためにはその決定内容を説明しての国民とのリスクコミュニケーションの充実が必須だからである。

総合討論「定量的リスク評価の活用に関する課題」

司会：近藤 駿介（東京大学）

以上の講演後の総合討論では、会場から質問や意見が出された。主な発言の要点を以下にまとめる。

## ベネフィット評価について

・そもそもベネフィットを伴わない行為については、社会的には容認されないのであって、ある行為が社会的に容認されるか否かは、そのリスクを評価し、それがベネフィットを享受するに我慢してよいか否かの判断で決まることになる。このことに関して問題になるのは、ベネフィットの大きさによって社会が受け入れるべきリスク水準をどこまで変えていいのかが、リスクとベネフィットを享受する人々が同一人ではない場合、どのようにして社会は受け入れるべきリスク水準を選択するのであろうかということである。

・最適な保守管理を考える現段階では、まだリスク-ベネフィットまで評価する必要はないと考えられる。米国における検査手法の設計を見ていると、リスクもコストも同時に削減できる選択肢がまだ相当あるように思う。まずはその範囲での活用を進めて行くべきと考える。

・ベネフィットの評価では、リスク評価以上にスコープの設定が重要になる。例えば、電気料金、エネルギーセキュリティをどのように考慮するか、電気料金の上昇による国内経済に与える影響、地球温暖化に与える影響など、個人、国、地球レベルといった異なるスコープでベネフィットを評価しなければならない。ベネフィットの評価は望ましいことではあるが、中途半端な評価は世論をミスリードする恐れがある。

## リスクコミュニケーションについて

・定量的リスク評価結果をどのようにして地域住民に説明するかが課題であり、勝手に数値が一人歩きしてしまうことを心配している。結果の数値を示すだけでなく、その持つ意味もきちんと説明することが非常に重要と考えられる。

・リスク評価の結果として出された数値データだけを

そのまま説明するのでは、説明責任を果たしたことにはならない。定量的取り扱いには優先順位付け、相互比較に極めて強力なエビデンスを提供することで採用していること、なぜそのような値になるのか、それが何を意味するのかを併せて説明していくべきことが肝要である。

## 我が国におけるリスク評価の活用について

・米国のように産官で一致して制度や体制を整えて進めていくことは、我が国では難しいように思える。むしろ、RI 廃棄物保管・処分の問題のように、我々の眼前にある問題一つ一つにリスク評価を適用し、合理的な解決を図っていくことをしなければ一向に前進しないのではないかと。また、PSA は設計レベルでいろいろと利用が始められているが、最も大事なものは、プラントの保全活動においてその与えるリスクに関する知見をどう活用していくかである。欠陥の存在がどれだけのリスク増加をもたらすかはいまや比較的容易に算定でき、安全目標との比較で存在の許容できる欠陥の大きさもすぐわかる。それなのに許容欠陥という概念すら口にされずにいる現状は非常におかしい。このような状況を変えていくことに利用することを優先すべきである。





Air Mail

## - 海外旅行つれづれ -

放射線医学総合研究所  
放射線安全研究センター  
防護体系構築研究グループ  
主任研究員 石井 紀明

今回参加したモナコを含めて 6 回の国際会議に出席し、また以前からプライベートでも、海外に出かける機会が多々あった。そうした中から今回、私が体験したことを中心に旅行記としてまとめてみた。



飛行機および空港：行き帰りはできるだけ日本航空の直行便にしている。日本航空だと欧米の国内便も予約してくれるし、無理を言えば席まで指定できる。席は非常口のところの窓側と大スクリーンの前は遠慮している。並びは仲間や家族が一緒の時はどこでも良いが、個人的にはビールを遠慮しないで飲む方なので通路側に決めている。ロスから日本に帰るとき、“エンジントラブルでサンフシスコに降りる”と機長のアナウンスがあった。燃料満タンでは降りられないので翼の端からジェット燃料を吹き出していたのが異様な光景であった。飛行機を乗り換えたとき、前の時は 3 列の中央が空いていたのだが、今度は背の高い外人がその席に乗ってきて、席を通路側と替わってくれと言ったが、嫌だと断った。

旅行会社主催のツアーで乗り継ぎがあった場合、時間が無いときはその空港内で別の国際線が国内線に乗り換えるため、添乗員を見失わないように必死についていかなければならない。ツアーの多くは現地時間の都合にあわせて着くとは限らない。ハワイの時は朝の 5 時ごろに到着し、真暗な中をバスがホテルごとに人を降ろしていく。



早朝到着の人のためには“ Early Check In ” という制度があって、一万円くらい払えば自分の部屋をすぐに利用できるが、そうでなければホテルの控え室で 12 時か 15 時まで休むか、あるいは朝早いオプションツアーに参加することになる。

空港で自分の荷物がすぐに出てくるとは限らない。ミラノでは 1 - 3 時間かかると聞いていたし、モナコに出発する一週間前には、ミラノ空港職員が客の荷物を略奪あるいは中身を抜き取っていることを NHK で放送していた。どの空港でも Baggage claim のカウンターの前には多くの人があった。数年前、サンディエゴに着いたとき私の荷物が出てこないで心配したが、次の日に市内の滞在ホテルの部屋まで荷物を届けてくれた。

欧米内で飛行機に乗る前には Reconfirm が必要で、自分で電話するか、ホテルのフロントに頼んで 24 時間前に航空会社に乗る意志を伝えなければならない。以前これを怠ったため、サンディエゴからロスに飛ぶとき、オーバーブッキングであなた方は乗れないと言われたことがあった。

ホテル：個人で直接予約したりインターネット上で、例えばアップルワールド.com または旅行会社に依頼する。その際ホテルのクラスは 4 ツ星以上と決めている。初めての経験だが、あるホテルでは、パンと果物入りカゴ（食べて良いかどうかフロントに確認した）とフィンガーボール、それにメッセージが添えられ、大理石のバスルームがあった。

多くのホテルでは朝食は付いていても、夜のデナー用のレストランが無い場合がある。そのときは外に食べに出るのだが、ミラノではホテルで紹介されたレストランが金曜の夜のため客で一杯

だった。「10 分待ってくれ」と言われたので立って待っていたら、「10 分たったら来てほしい」という意味らしかった。日本みたいに行列を作って待っているという習慣が無いのかもしれない。

ホテルの部屋の冷蔵庫の中には飲み物の入った、いわゆるミニバーがある。ホテルによっては、夜 8 時頃、ミニバーの補充にメイドが訪れる。フロントでは使った分だけ申告して精算するのだが、黙っていると 50 ユーロくらいとられてしまう。ミニバーは使わなかったとはっきり言わなければならない。蛇足ながらこのホテルでは、3 日で 3 回部屋を替えてもらった。最初の部屋が一番良かったが、さすがに、最初のにしてくれとは言えなかった。

列車、バス、タクシー、地下鉄：列車の旅は興味深い色々面倒な面もある。イタリアでは空港からテルミニ駅まで列車に乗ったが、空港からホームまで遠く、しかもホームに多くの荷物用カートが置いたままで狭かった。列車への乗り込み口も狭く、しかも 3 ステップくらい上り（降り）しなければならず、重くて大きな荷物があると大変である。荷物を列車内の専用の場所に置いたものの、途中満員で身動きできず、見にも行けない。荷物が取られないか心配だった。

列車の中では美術館巡りの芸大の日本人学生と一緒にになった。「まだ今日のローマでの宿泊先が決まっていない」とのことで、こんな旅行の仕方もあるのかと感心させられた。ジュネーブからパリまで TGV に乗ったときは、いつまでたっても列車が発車しないことがあった。数か国語でアナウンスが流れたが意味が分からない。日本の新幹線のように数分おきに正確に発車するのに慣れていたので奇妙に思った。このときはたまたまだっ

たかもしれないし、時間の流れが日本とは違ってゆったりしているのかもしれない。

バスで空港からニースに行ったときは、バスはニース駅ではなくてバスターミナルに着いたため、駅近くのあるホテルの場所が分からなかった。町の人に何回聞いても要領を得ないし、タクシーも走っていなかった。30分くらい歩いたら Holiday Innがあったのでタクシーを呼んでもらって目的のホテルにやっとたどり着いた。モナコから帰るときは高速バスで空港まで行ったが、ホテルの近くの停留所では上りと下りが同じ側の停留所にバスが止まる。前日見るとバスの前面上部には行き先が表示していない。時刻表も無いのでホテルのフロントに聞いたら、いつもジャストだと言うので10分前に行って待っていたが来ない。20分経ってタクシーにしようかと思っていると

きバスが来た。好意的に考えれば、バスターミナル発がジャストでこの停留所には道路状況でいつ到着するか分からないのだから停留所での到着時間までは言えないかもしれない(また上りと下りは到着時間が違うので区別出来るし、下りは降車専用なので運転手が注意するだろうと自分なりに解釈した)。

不案内な場所での移動は財政的に許せるならタクシーにしているが、ローマのホテルが手配した時のタクシーは白タクだった。モナコへ入る時はタクシーの運転手が気をきかしたのかもしれないが、風光明媚なコートダジュールの海岸を走ってくれたのは良いのだがバスと比べて1万円くらい余分にかかった。

ローマの地下鉄にはA線とB線があって、A線は落書きだらけで窓からは今どこの駅に止まっているのか分からず苦労した。



モナコ全景

国際会議：原稿を送った後、国際会議への参加が認められたら参加料を払わなければならない。登録料の支払いには、日本でクレジットカードを使う場合、旅行会社が代行する場合、現地で現金を支払う場合、一日分だけ現金で支払う場合と色々ある。また、2003年にウィーンで開催されるIAEA国際会議のように登録料が不要な場合もある。会議場は一か所で行うときと、数キロ離れた数か所に分かれて同時に開催されるとき、あるいは毎日都市を移動しながら会議場を転々と変えるときがある。

パチカン市国に次いで世界で2番目に小さい国 - モナコ公国：モナコは、F1グランプリやカジノで有名だが、モナコをもっとも世界中に知らしめたのは故グレース王妃の存在かもしれない。モナコには別の意味で思い出がある。モナコにはIAEAの研究所があるが、昔この研究所に3年間IAEA職員として派遣させられそうになったことがあった。90%以上決まっていたのだが、色々な話を聞くと私の身分だと研究はできず、補助的の仕事が多いと忠告されたので、ゲスト待遇の原子力留学生としてカリフォルニア大学スクリプス研究所に鞍替えした。モナコには水族館をかねた海洋博物館があるが、この水族館から人為的ミスで地中海に移入され、地中海の生態系を脅かしているのが「イチイスタ」というきれいな緑色をした海藻である。この海藻が毒素を出す？ことよって魚のゆりかごとして重要なアマモなどの藻場が消滅し、水産資源に壊滅的な影響を及ぼすと警告している研究者がいる。

美術館、ドゥオム、遺跡巡り：美術館では入場料として5-10ユーロ取られるが、無料のときもあり、ルーブル美術館がちょうどそうであった。美術館所蔵作品の中で「民衆を率いる（導く自由の）女神」と言う作品があるが、この作品を見てベル

サイユ宮殿の鏡の廊下に行くとフランス革命が起きた理由の一端が伺える。美術館などに行くと、予約済みの日本人ツアー客がどっと押し寄せてすぐに去っていく。前もって予約をとっていないとバカンス時には1時間以上待たされる時もある。現地でオプションツアー（日本人ガイドが付くと10%くらい割増）を予約するときもあったが、すべての美術館に入れる訳ではなくて空いている方にしかいけない場合もあると言われた。ミラノやフィレンツェなどのドゥオムの建築美、ステンドグラスの美しさには圧倒されるものがあるが、足場を組んでクーボラの天井や壁に壮大な絵を書いた今は亡きミケランジェロ達芸術家にも思わず喝采の拍手を送りたくなった。



ミラノドーム屋上にて

コロッセオをはじめとして多くの大規模遺跡を見て歩いたが、万里の長城、ピラミッドなどの建設と運営にはどれくらいの費用が使われ、人間の汗と血が流れたのかとふと考えてみた。しかし、それが現代では観光資源としてその国に外貨をもたらしているのだからその国の人は先人、特に為政者に大いに感謝すべきか。

レストラン、パル(バー)、パブ、オープンカフェ：イタリア語やフランス語で書かれたメニューを出されてもどんな料理が分からない。そんなとき英語や日本語のメニューを出してくれるとほっとする。ヨーロッパでは水は有料なので、2ユーロ払うくらいならビールを飲んだ方がましと決めている。色々な店で、色々な料理を食べたが、ピヤベース、リゾット、エスカルゴ、生ガキなどそれほどおいしいとは感じなかった。横浜の中華街の店がすべておいしいとは限らないのと同じで店の選択を間違ったのかもかもしれないが、私の口に合わないだけというのが本当のところか。日本でも流行りだしたが、シャンゼリゼ通りでも店の外で、あるいは大きな広場でピアノなどの演奏を聞きながら食事や喫茶をすることが多く見られる。これには、テーブルの外側を自動車、船や一般の人、店とテーブルの間を一般の人が歩くことに慣れる必要がある。

チップ、日本との違い、各種トラブルなど：日本人旅行者を悩ませるのがチップの制度である。ベッドメイキングで2ユーロ(ドル)、ポーターに1ユーロ、タクシーに10-15%、レストランで10-15%が相場らしいが、レストランでははじめから勘定書にサービス料が入っている場合もあるの

でよく見る必要がある。手書きの場合はチップが必要でお釣りをを使ってチップを払おうとして、ウェイターが“Thank you”と言った時はお釣りは返ってこないみたいである。チップがコミと言えばそれで精算が終わっている場合と、お釣りを返してもらった後チップをウェイター本人に渡すか、テーブルに置いてから出る場合がある。

各都市の行事をあらかじめ調べておく必要がある。たとえば、自動車も自転車も通れないヴェネチア(英語ではヴェニス)での交通手段はもっぱら船であるが、水上バスが通る運河で大レガッタ競漕が行われる日にぶつかると大変。空港で現地の日本人ガイドから「水上バスが止まっている可能性があるので運河を通らない水上タクシーでサンマルコ広場まで行った方がいい」と言われた。ガイドブックには水上バスが止まるなんてことは書いてなかったのに。

日本では現在、四輪自動車のヘッドライト昼間点灯の是非が論じられているが、欧米では高速道路における昼間点灯が法制化されている国もあるらしくヘッドライトをつけたままで走っているのをよく見かけた。ドライブインには、“変なおババ”が座っている。なぜか知らないが、50セントか1ユーロを出さなくてはならないらしい。

ヨーロッパでは置き引き、スリが多いと聞くが、いままでその被害には遭わなかった。偽警官がいるとのことなので、パスポートをもって外出したこともない。コピーで十分らしい。しかし、ジブシーには参った。たとえば、ローマの地下鉄駅のテルミニ駅では地図を広げながら歩いていたとき、何者かが後ろから突然近づいてきて、ダンボール箱で手を隠しながらズボンのポケットに手を入れてきたことがあった。慌てて突き倒して後

るを振り返ると、倒れたジプシー女が恨めしそうな顔をして私を見ていた。周りの人は無関心で通り過ぎていただけだった。教会の入り口でもよく出くわした。そのときはダンボール箱ではなく、赤ちゃんを抱いていたり、娘を連れていたり。赤ちゃんを抱いているからといって、手の自由がきかない訳ではないらしい。

オープンカフェで夕方食事をしているとギターやアコーディオンを持ったイタリア人が来て歌い出す。居酒屋の流しと同じだが、終わったら私達の席に来てお金をくれと言うので2ユーロ渡したが、隣のイタリア人客は1セントも渡さなかった。

成田空港ではカートは無料だが、外国では1ユーロ必要なところもあった。そこで両替機で10ユーロ札入れたが9ユーロしかでてこない。良く考えたら、カート分を先に取られていたのだが、

カートの出し方が分からなかった。このカートを外で返せば1ユーロ返ってくるらしい。ショッピングセンターもこの方式で、繋がっているカートははずすとき1ユーロ必要だった。

入場料支払いやショッピングセンターでは50ユーロ札を出すと嫌な顔をされた。そのときは良く分からなかったが、お釣りを出すのが面倒らしい。小銭までぴったり支払う人がいると、窓口やレジの人は辛抱強くカウンターの中で座って待っていた。

旅行会社主催のツアーは楽でしかも安全だが、自分で旅行プランを立てて、時間にとらわれず街の中をウロウロしながらその土地の習慣や人肌にふれながらの旅行も楽しいものである。また日本では味わえない思いがけない経験が沢山出来るのも海外旅行ならではの楽しみである。



トレヴィの泉の前で



## 「臨界事故とそのリスク」

- 原安協プライマー No.6 -

内藤 奎爾 著

平成11年9月30日に発生したJCO施設の臨界事故を契機に、「臨界」という学術用語がマスコミ報道などを通して、広く世間に知られるようになった。しかし、「臨界」あるいは「臨界事故」についての適当な解説書はなく、多くの人は正しい知識を得ることができないでいた。

本書は、「臨界安全」についての正しい基礎知識を、原子力の専門家を超えて広く一般の人々にも普及させるために作成された。



A5版・125頁  
平成14年8月発刊  
税込み価格 600円

本件に関するお問い合わせは、当協会資料館まで  
お願いいたします。(tel 03-5470-1984)

### 目次

#### まえがき

#### 章 原子力施設の臨界と臨界事故

##### 1. 臨界状態

- (1) 臨界の定義
- (2) 歴史的背景
- (3) 臨界の成立条件と臨界量

##### 2. 臨界の制御と臨海超過

- (1) 臨界の制御
- (2) 臨界の超過 - 反応度事故と臨界事故

#### 章 臨界事故のリスク

##### 1. リスクとリスク認知

##### 2. 臨界事故のリスク

- (1) 被害の大きさ
  - (2) 生起確率
- ##### 3. JCO臨界事故とリスク認知

- (1) JCO臨界事故の概要
- (2) リスク認知の観点から見たJCO臨界事故

#### 補遺 放射線のリスク

- (1) 放射線の健康影響
- (2) 放射線防護と防護基準
- (3) 低線量被ばくのリスク

#### 引用文献

#### あとがき

## プロフィール

かわた ゆいち  
川田 諭一

(財)原子力安全研究協会  
研究参与



当協会「被ばく医療実務調査検討委員会」  
専門委員  
昭和39年4月24日 兵庫県出身 38才

川田氏は、神戸市のご出身で、平成4年に岡山大学医学部医学科をご卒業され、同大学衛生学教室の教室員となられました。岡山大学で研究活動をされながら2年間国立岡山病院と岡山市保健所で、当時の新たな試みであったスーパーローテイト研修(複数の診療科および保健所での総合臨床研修)を受けられました。その後、岡山市保健所非常勤医師のほか、動力炉・核燃料開発事業団の人形峠事業所(現核燃料サイクル開発機構の人形峠環境技術センター)や水島コンビナートの各種事業所の産業医、労働衛生コンサルタント、また水島第一病院検診センター副センター長として、労働現場の健康管理、作業員の衛生教育等に携わられ、岡山大学大学院博士課程(社会医学)を修了されました。

原子力界との関わりの経緯についてお伺いしますと、岡山大学医学部衛生学教室の推薦により前述の人形峠事業所に産業医として赴任されたのがきっかけとなったそうです。そしてそのご縁で、平成10年には当協会の「緊急時医療処置検討委員会」に委員としてご参加いただき、また、平成12年より、前川和彦東大名誉教授(現原安協理事)の推薦により当協会の「緊急被ばく医療対策専門委員会(文部科学省の委託研究)」の委員となっただけでなく、平成14年3月にはこの業務において「米国緊急被ばく医療調査団」の団員として米国調査にご参加いただきました。

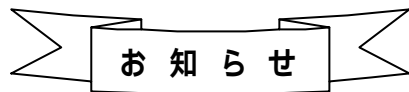
原子力の安全管理についてお伺いしますと、現

在、「絶対的」な「安全」管理から、「確率的」に危険は存在するものだという前提に立つ「危機」管理への認識の変化があることをご指摘されました。そして、災害発生に伴う人命に関わる問題、経済的損失、労働力喪失といった問題の解決には、学術的、理論的危機管理と並んで、現場の視点からの情報の蓄積に基づき、現場スタッフや産業医等が一体となって現場の経験の分析に基づく危機管理を行うことが重要であると述べられました。特に後者の理論化を深めつつ、モニタリングの強化、事故のシミュレーションによる事故発生の早期認知等により、災害発生そのものの予防と一旦発生した場合の影響の軽減が実現可能になるとのお話でした。そして、事故の影響の評価、事故原因の分析、事故前に予測していた予防措置と実際の対応措置との比較評価の重要性について強調されました。

川田氏は「米国緊急被ばく医療調査団」団員として渡米された際に、ワシントンD.C.の危機管理中枢である救急マネジメントセンター、シャルロットメクレンブルグ郡の救急医療マネジメントセンター、そして救急医療現場である病院施設を訪問されました。その際、危機管理に関する日米間の考え方の相違に特に強い印象を受けられたそうです。つまり、日本では、行政が主体となった組織的危機対処を基本としているのに対して、米国では(行政主導による全体に焦点をあてた安全ではなく)様々なリスクに囲まれた個人が日常生活を安全に過ごせるよう、個人に焦点をあてた危機管理システムになっていることに注目されたとのこと。そして、特に被災労働者に対してだけでなく一般市民に対しての危機管理を充実強化するために、米国から学んでいくことは多いのではないかとお話をいただきました。

川田氏は、公衆衛生の専門家として原子力のみならず、健康日本21、感染症や喫煙対策、ITを活用した保健指導等、保健衛生問題に関する講演も幅広くなさっておられます。

川田氏は現在4人家族で、ご趣味は、ドライブ(奥様の運転で!)、ピアノ演奏等だそうで、特に岡山県では蒜山等の広大な高原を良くドライブされるそうです。川田氏の今後の益々のご活躍をお祈りいたします。



## 第14回原安協シンポジウム「安全性から見る革新的原子力システム」のご案内

近年、経済性や社会的受容性の向上を目指して、再処理プロセスと一体化した原子炉システムや安全確保に受動安全技術など新しい技術や考え方を採用した原子炉など革新的な原子力システムが次世代技術として提案されています。

今回のシンポジウムは、これらの新しい概念を安全確保の考え方を中心に提唱者よりご紹介をいただき、これを踏まえて、講演者、会場の参加者により、これらのシステムの安全確保の考え方と主として軽水炉の安全確保を念頭において整備されてきた現在の原子力安全規制における安全確保の考え方との整合性やこれらの次世代概念を実現するために安全規制に新しい考え方を導入する必要性、そのために解決すべき課題等について意見交換を行うものです。

- ・日 時：平成14年11月13日(水) 10:00~17:00
- ・場 所：オリベホール(ラピロス六本木8階) TEL 03-3403-9400
- ・参加登録：参加申込書に必要事項をご記入の上、11月5日(火)までにご返信下さいますようお願い致します。
- ・参加費：2,000円(予稿集代を含む)。当日受付にてお支払い下さい。  
賛助会員の機関には、招待券(1枚)を送付しています。
- ・本件問合せ先：研究部 佐藤 将 (satoh@nsra.or.jp)  
なお、プログラムおよび参加申込書につきましては、当協会ホームページ(URL <http://www.nsra.or.jp/>)よりご覧下さい。

### 目 次

技術を継承するということ .....	1
評 議 員	白 川 洋 一
放射線環境影響の評価とその防護に関する新しい考え方 .....	3
放射線医学総合研究所	土 居 雅 広
第35回原子力安全研究総合発表会の概要 .....	9
Air Mail - 海外旅行つれづれ - .....	24
放射線医学総合研究所	石 井 紀 明
新刊紹介「プライマーNo.6 臨界事故とそのリスク」 .....	30
プロフィール - 川田 諭 - .....	31
おしらせ・目次 .....	32