第 25 回放射線利用総合シンポジウム　聴講記

標記シンポジウムは、平成 29 年 1 月 23 日（月）午前 10 時 00 分からから午後 5 時まで、大阪大学中之島センターにおいて、松本圭司氏（京都大学)、宇野賀津子氏（ルイ・パストゥール医学研究センター)、永松愛子（宇宙航空研究開発機構)、渡邊健夫（兵庫県立大学）、森博太郎（大阪大学)、齋藤伸三（日本原子力研究開発機構)、矢野安重（仁科記念財団）の 7 氏を迎えて盛大に開催された。

講演開始に先立って、大阪ニュークリアサイエンス協会遠藤副会長からから開会の挨拶があった。朝早くから集まって頂いた講演者や参加者への謝辞、現在放射線の応用分野が高度化するに従って基礎研究が重要になっていることが述べられた。

開会の挨拶（遠藤副会長)。

座長は午前の 3 件を児玉靖司教授(大阪府立大学)に、午後の最初の 2 件を義家敏正専務理事が、最後の 2 件を岩瀬彰宏教授（大阪府立大学）にお願いした。講演の最後に大阪府立大学 地域連携研究機構 放射線研究センター長 谷口良一教授から開会の挨拶があった。シンポジウムの参加者は 86 名であった。

1. [ONSA 奨励賞受賞講演] 放射化学アッセイ法を利用したチャバネアオカメムシにおける光周性の神経内分泌機構に関する研究

京都大学 大学院理学研究科 生物科学専攻 研究員　松本圭司

変温動物にとって、発育・生殖に不適な冬の到来を予測してそれに備えることは生存戦略として重要である。そのために、1 日の昼や夜の長さ（光周期）に反応して発育や代謝などの生理状態を変化させる光周性を獲得している。

講師の松本氏は、チャバネアオカメムシの光周性メカニズムに着目した。チャバネアオカメムシは、春から秋にかけては生殖・繁殖を繰り返すが、秋に成虫になった個体は発育、生殖を停止し、成虫の状態で越冬する。この状態を休眠とよぶ。この生活サイクルは、実験室では明暗を調節することで再現され、長日条件下（明：16 時間／暗：8 時間）では卵巣は発達するが、短日条件下（明：12 時間／暗：12 時間）では、卵巣は発達しない。この変化に温度は関係せず、関係するのは明暗の長さ、すなわち光周期の変化である。光周性が現れるしくみに

図 1　講演中の松本氏。

は 3 段階があり、まず、明暗の情報を受け取る光受容器、次にその情報を処理・判断する光周時計、さらにその処理情報が内分泌系に伝達されることにより、休眠、または非休眠が選択される。ここで、チャバネアオカメムシの休眠／非休眠は卵巣発達によって判別されること、さらにこの卵巣発達には、幼若ホルモンが必要であることが分かっている。

松本氏は、光周性制御経路での光周時計による内分泌系の制御機構について研究してきた。チャバネアオカメムシでは、幼若ホルモンはアラタ体という器官で合成され、このアラタ体は、側心体を介して脳組織とつながっている。幼若ホルモンの生合成経路では、その最終ステップでメチオニン由来メチル基が付加されるため、放射性元素であるトリチウムを用いた、3H-メチオニンを培地に添加してアラタ体に幼若ホルモンを合成させると、放射化学アッセイ法により、幼若ホルモン合成活性を測定できる。この方法を用いて、長日、及び短日条件下で幼若ホルモン合成活性を測定したところ、その活性は短日条件下ではほとんど変化しなかったのに対し、長日条件下では 4 日目で有意に増加し、10 日目では非常に高い値となり、明瞭な光周性を示した。その調節機構を知るために、アラタ体と頭部神経節の共培養実験を行った結果、脳中央部は、光周期に関係なく幼若ホルモン合成を抑制する物質を分泌しており、長日条件下では、この抑制物質が分泌されないために幼若ホルモン合成活性が増加することが明らかになった。次に、この幼若ホルモン合成を抑制する物質は何かを調べた。まず、既知の幼若ホルモン合成抑制ペプチドを調べた結果、MIP(myoinhibitory peptide)とよばれるペプチドに抑制活性があることが分かった。そこで、チャバネアオカメムシ由来 MIP について、mRNA の網羅的解析法により調べたところ、9 種の MIP が候補として得られた（表 1 参照）。さらに、これらの MIP について、実際に幼若ホルモン合成抑制活性が見られることが分かった。すなわち、これまで知られていなかったチャバネアオカメムシにおける幼若ホルモン合成抑制活性を有する新規ペプチド（Plast-MIP）を明らかにした（図 3）。

図 2　チャバネアオカメムシ。

表 1　チャバネアオカメムシの 9 個の MIP。

名称	アミノ酸配列											
	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	
Plast-MIP1			A	W	K	D	L	S	K	A	W	$-NH_2$
Plast-MIP2			A	W	G	D	M	Q	T	G	W	$-NH_2$
Plast-MIP3		A	W	S	N	L	H	S	S	G	W	$-NH_2$
Plast-MIP4		A	W	S	D	L	Q	S	T	G	W	$-NH_2$
Plast-MIP5		G	W	S	D	L	Q	S	A	G	W	$-NH_2$
Plast-MIP6		A	W	S	D	M	Q	S	T	G	W	$-NH_2$
Plast-MIP7			S	W	D	S	L	H	G	G	W	$-NH_2$
Plast-MIP8	A	A	D	W	G	S	F	R	G	S	W	$-NH_2$
Plast-MIP9	D	P	A	W	Q	N	L	K	G	L	W	$-NH_2$

本研究の結果から、チャバネアオカメムシの光周性制御について以下のことが分かった。短日条件下では、Plast-MIP が分泌されてアラタ体の幼若ホルモン合成を抑制するため卵巣は発達せず、成虫は休眠状態に入る。一方、長日条件下では、Plast-MIP は分泌されないため、アラタ体で幼若ホルモンが合成され、卵巣が発達し、休眠状態には入らない。本研究は、光周時計からのどのような信号がこの Plast-MIP 分泌のオン・オフに関わるのかという光周性のしくみの本質の関わる問いにさらに一歩深く踏み込む領域を開拓したという点で、ONSA 奨励賞授賞に相応しく高く評価されるものである。今後のさらなる進展に期待したい。

（児玉靖司　記）

2. 放射線の生体影響～福島から何を学ぶ～

ルイ・パストゥール医学研究センター 基礎研究部 室長 宇野賀津子

講師の宇野氏は、これまで福島第一原発事故周辺地域を何度も訪れ、放射線の生体影響に関する地域学習会等の講師を務めてきた。また、講師としての活躍にとどまらず、相馬・南相馬地域の仮設住宅住民の健康調査の一環として免疫能なども調べている。その結果、配偶者が愚痴を聞いてくれる、あるいは配偶者の愚痴を聞いてあげる男性のインターフェロン産生能は、同様の女性に比べて有意に高いことが分かった。一方、独り身の場合には、逆に女性が同様の男性よりインターフェロン産生能が有意に高かった。これらは、男女別の支援策が必要であることを示している。

図１　講演中の宇野氏。

最近は、ビッグデータ解析による放射線影響に関する情報発信とその波及効果の検証を行うプロジェクトを総括しており、最新のデータが紹介された。まず、事故後の福島県外避難者の動向では、事故から５年以上経過した今でもピーク時の 2/3 は県外避難の状態にあることが分かった。この県外避難の動きは、事故後１年間は増加し続けた。これは、放射線による健康リスクが避難区域を除くと心配に及ばないと言われるようになって以降も増加していたことを意味しており、クライシスコミュニケーションに問題があったからではないかとの疑問がわく結果である。次に書籍動向に関する分析では、事故以降、数多くの原発・放射線関連本が出版され、その中には放射線の健康影響について危険性を過大に評価しているものも少なくなかった。それが福島からの県外避難を助長した可能性もある。初期に注目度の高かった本は、原発や放射線の危険性を解説した本であった。内部被ばくの危険性を指摘する本も出版が続き、福島住民の不安につながったと考えられる。その後時間が経つとともに、事故原因や放射能汚染を科学的に考える内容の本が出版されるようになった。冷静に放射線と向き合って科学的に勉強しようという気運が高まってきたともいえる。さらに、事故発生の 2011 年３月から９月までの Twitter データから原発事故に係るいくつかのキーワードの出現頻度を時

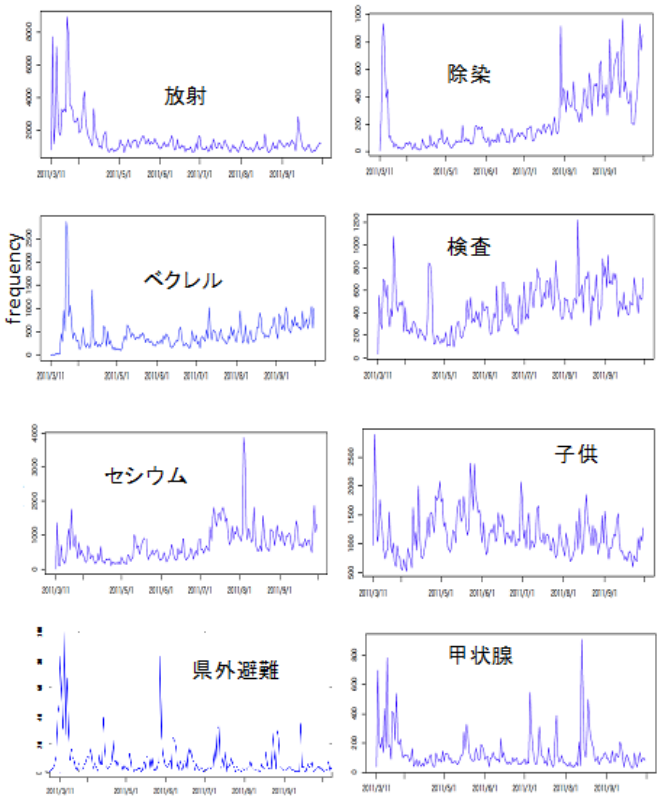

図２　サンプリングされた Twitter データ 500 万件のキーワードの推移。

系列で解析した（図 2)。その結果、事故直後は使われなかった放射線に関わる専門用語等に関して、時間経過とともにニュース等で話題になると、Twitter での使用頻度が上がってくることが分かった。また、情報の発信者別に分析してみると、放射線に関して科学的に正しい情報を発信し続けていたグループと不正確で誇大な情報を発信していたグループが乱立し、情報に関して統制がとれた状態ではなかったことが明らかになってきた。インターネット上でやり取りされる情報のキーワードに関しては、今後も様々な分析が可能であり、興味深い解析対象であることが分かった。一方、宇野氏は、事故後のクライシスコミュニケーションを実践するチームの一員としてこの活動に参加し、専門の異なる研究者がチームを組んで学習会に臨んだことはとても有効であったと評価している。また、ポストクライシス期の学習会では、専門家による講義調の講演会よりも、実験やリラクゼーションをセットにした講演会・学習会が好評であったとのことである。このように、宇野氏が話されたリスクコミュニケーションに係るコメントは、被災地での実践的な活動に基づいている点で重みがあり、今後の現地での活動にいかされることを願うと同時に、宇野氏のさらなる活躍に期待するものである。

（児玉靖司　記）

3. 宇宙における長期滞在と放射線の防護

宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門 有人宇宙技術センター
技術領域主幹 永松愛子

まず講師の JAXA での仕事が大きく分けて 3 つ、国際宇宙ステーション（ISS）に搭乗する日本人及びアジア人宇宙飛行士の個人被ばく線量計測ときぼうの定点環境モニタリング等、得られた結果に基づくシミュレーションコードの構築、2030 年以降に予定されている有人惑星探索のための放射線防護の準備であることが紹介された。図 2 に ISS が飛行する低地球軌道環境での宇宙放射線の挙動を示す。

次に宇宙放射線とは何かについて詳しい説明の後、宇宙放射線による人体深部への被ばくは、ISS の滞在日数を制約するのと同様に、有人惑星探査ミッション期間を決定するものになること、地磁気圏外を飛行する有人惑星探査ミッションでは、ISS よりも遥かに過酷な放射線環境であり、「宇宙放射線による被ばく」が最も大きなリスクおよびハザードの一つとなることが述べられた。表 1 は JAXA の定める ISS 宇宙飛行士の生涯実効線量制限値である。

図 1 講演中の永松講師。

更に 2030 年以降の月面および火星表面を想定した有人探査の安全な実現に向け、宇宙放射線に対する遮蔽・防護技術の取組、ロボットアームを用いた船外での線量率測定、ポリエチレンが最適な遮蔽体であること等について紹介された。

質疑応用では多くの質問があった。特に放射線の専門家にとって有人惑星探索機搭乗員の被ばくが気になるようである。質疑応答の様子を以下に記載する。

（質問）きぼうでの船外測定はどのような測定をしたのか。温度履歴が激しいので測定が難しくはないか。また線種の識別は行われたのか。

（回答）0.3-4mm の Al 板で遮蔽した、1 気圧に保った固体検出器を用いた。温度履歴も測定している。ロボットアームの位置を調整してほぼ室温に保持した。

（質問）シミュレーションの高度化をしたとのこと、何が課題であったのか。

（回答）粒子モデルの組み合わせ方、粒子の船壁への当たり方について補正した。各国のモデルの比較が今後必要である。

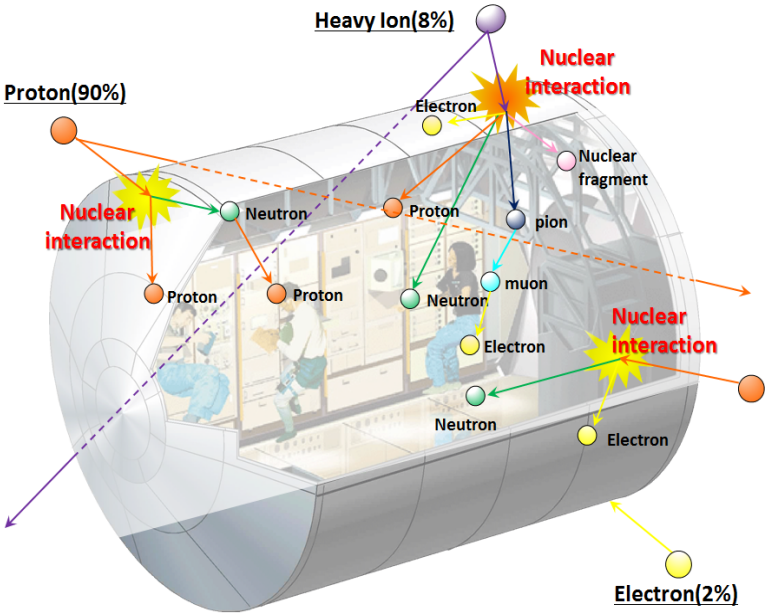

図２　ISS が飛行する低地球軌道環境での宇宙放射線の挙動。

（質問）飛行士の被ばく線量1000mSv は大きい。実際はどの程度の影響がでるのか。火星まで行くことは可能なのか。

（回答）今までの宇宙飛行士は500人に過ぎず疫学調査は難しい。他国のデータは分からない。白内障については相関がみられるが他は不明である。現在の遮蔽や規制では火星の片道しか無理である。遮蔽を強化しなければならない。

表１　JAXA の定める ISS 宇宙飛行士の生涯実効線量制限値（２０１３年改訂）。

初めて宇宙飛行を行った年齢	男性 (Sv)	女性 (Sv)
27～30 歳	0.6	0.5
31～35 歳	0.7	0.6
36～40 歳	0.8	0.65
41～45 歳	0.95	0.75
45 歳以上	1.0	0.8

（質問）ステーションの中での放射線防護、国際間の協力は。

（回答）きぼうは積極的には遮蔽をしていない。国際協力としては、窓からの放射線が問題でポリエチレンの遮蔽で改良した例がある。また地上検証ベースで電磁コイル使ったアクティブ遮蔽が行われている。

（質問）ポリエチレンが良いとのこと、ポリエチレンの劣化は大丈夫か。

（回答）今後の課題である。

（質問）宇宙での1mSv/日の被ばくの結果、長期滞在した宇宙飛行士は160mSv程度被ばくしているとのこと。その影響はないのか。

（回答）大西も若田も同じ職場であるが、見た目では変化はない（大きな笑い）。外国では、血液サンプルを採取するなどバイオドジメトリにより染色体異常を調べているが、日本では行われていない。

（質問）アポロの宇宙飛行士は軍人であった。彼らは被ばくによる危険よりも使命感が優先していた。被ばくに対して、民間人と対応が異なるのではないか。

（回答）少なくとも国際宇宙ステーションに参加する国では同じ管理を行っている。中国も行っているはずであるが詳細は不明である。

講演は非常に分かり易い内容で、参加した一般市民の方も、放射線防護が専門の方も満足した内容であった。

（義家敏正　記）

4. [ONSA 賞受賞講演] 放射光を利用したレジストの開発に関する研究

兵庫県立大学高度産業科学技術研究所 教授 渡邊健夫

スーパーコンピュータ京は 15MW の電力を消費する。Internet of Things(IoT)には様々な機能が要求されている。そのため電子デバイスによる世界の電力消費量は、2025 年には現在の約 7 倍にもなるとされており、エネルギーの供給が課題となっている。また医療現場における無線を用いたリアルタイムの測定等を考えると、チップサイズを 3mm 角以下にすることも要求されている。そこで微細加工により、デバイスの消費電力量の大幅な低減と内部に含まれる素子の増加が必要になる。7 nm 以下の線幅では、従来の CMOS トランジスタではリーク電流が多くなり、beyond CMOS デバイスの開発がキーとなっている。今後は sub nm 級の微細化を図ると共に、新規デバイスへの応用研究が必要である。現在講演者は、新微細加工技術を兵庫県立大学 NewSUBARU の放射光施設を用いて確立することを目指している。

図 1　講演中の渡邊講師。

半導体国際ロードマップによると、2020 年には 10 nm の微細加工が、さらに 2025 年には 7 nm の微細加工が要求されている。従って、極端紫外線 (EUV) リソグラフィ技術が必要である。現在、EUVL の技術課題は図 2 に示すように、光源開発、レジスト開発、並びに無欠陥 EUV マスクの開発である。そのためには高解像、高感度、低 line edge roughness (LER)、低アウトガスを有する EUV レジストが必要である。講演では、放射光を用いて進めてきた EUV レジスト開発について紹介するとともに、今後の展望についても解説された。

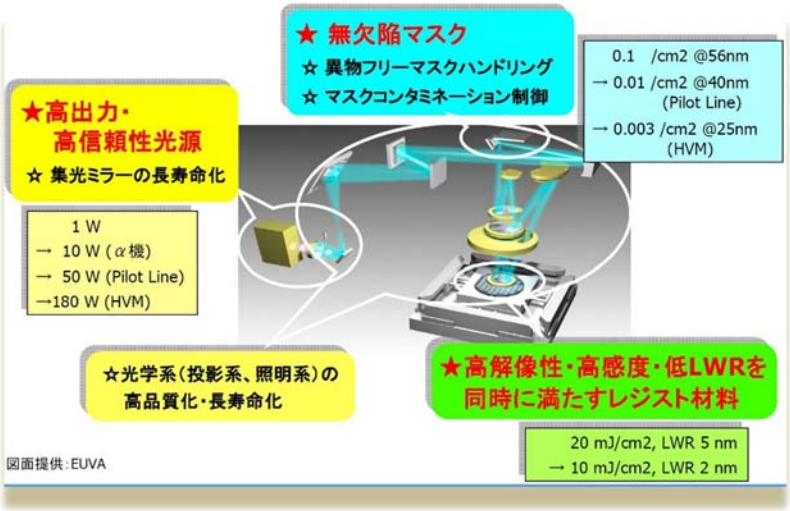

図 2　EUV リソグラフィの技術開発課題。

リソグラフィとはパターン技術のことで、まず Si 基板の上に SiO_2 膜を作り、その上にレジスト（感光材）を塗布する。次にマスク越しに光を当てることにより、レジストが露光する。その後現像することにより、マスクで遮蔽されたレジストのみが残る。最後にドライエッチングにより SiO_2 にパターンが作られる。現在開発しているのは、10nm 世代と呼ばれ、露光感度 ≦10mJ/cm^2、線幅バラツキ (LWR) ≦0.8nm(3σ)、アウトガス≦5×10^{13}molecules/cm^2/s のものである。

EUV レジストに適用可能な材料とは？との探求により、講師等は酸を触媒とする化学増幅系レジストとして、酸発生材をベースポリマー側鎖に直接合成する酸発生材内包型レジストを開発した。それは現在世界で主流の技術になっている。さらに微細化を目指して、世界最大級のアンジェレータ光源を用いて、干渉縞を利用することによりパターンの 1/2 ピッチの露光を行っている。その時の振動の問題があったが解決でき、10nm も視野に入ってきているとのこと。

この様な研究を推進するために、兵庫県立大学では図３に示すように、EUV リソグラフィ研究開発センターを 2010 年 10 月に高度産業科学技術研究所内に設立し、NewSUBARU 放射光施設内の３本のビームラインに各種評価装置を設置、EUVL 技術開発を加速させている。また多くの研究者、他大学の教員を客員に招聘すると共に、装置を外部に開放している。

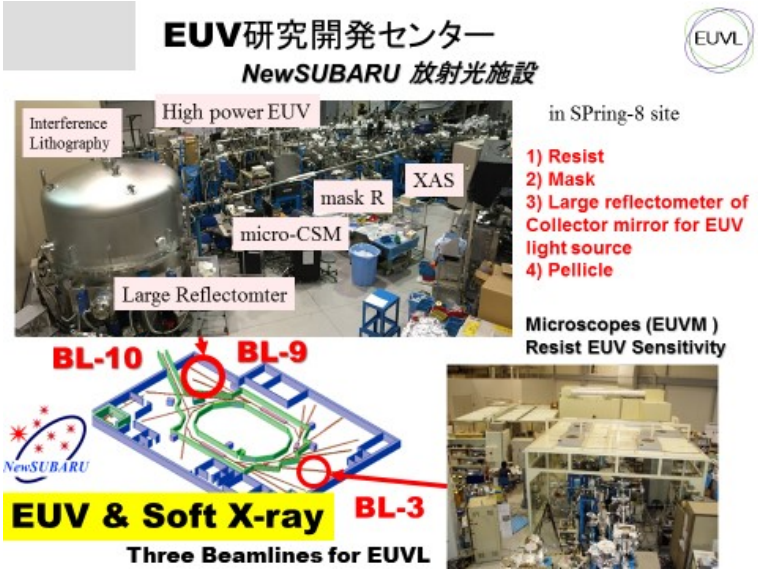

図３　兵庫県立大学 EUV 研究開発センターの概要。

また、新たな大学院教育を目指して、平成 27 年４月１日より、兵庫県立大学工学研究科に「材料・放射光工学専攻」が設立された。前期博士課程及び後期博士課程を有しており、日本で初めての放射光分野を中心とする専攻科であり、社会人博士コースも設けられている。

産業界ではこのような方向で、3nm パターンサイズまで予定しているとのことである。現在の i-Phone の情報処理能力は、30 年前の大型コンピュータより遥かに高い性能を有しているとのこと。40 年以上前の学生時代に、80 欄のパンチカードを持って大型計算機センターへ通ったものとして、現代社会が如何に電子デバイスの進歩の恩恵を受けているかが実感できた。講師の研究成果が ONSA 賞授賞に相応しいことが良く分かる講演であった。

（義家敏正　記）

5. 電子顕微鏡の照射効果研究への応用

大阪大学名誉教授、大阪大学超高圧電子顕微鏡センター 特任教授 森 博太郎

最近の高分解能透過電子顕微鏡（HRTEM）は加速電圧が 200KeV のものが主であるが、超高圧電子顕微鏡（HVEM）とは、一般的には加速電圧が 0.5MeV 以上の透過型電子顕微鏡（TEM）である。大阪大学の HVEM は 1971 年に設置された通常加速電圧 2MeV、最高 3MeV の HVEM に始まる。その後 1995 年に新しい常用 3MeV HVEM が設置され、　2014 年には、高速撮影可能なカメラと低温で安定なステージを有する 3MeV の物質・生命科学 HVEM が完成した。

図１　講演中の森講師。

HVEV の利点は、厚い試料の観察ができることである。欠点としては、非常に高い電子のエネルギーが原子に与えられるために、様々な現象、照射効果が引き起こされることである。しかしそれを利用すれば、照射効果のその場観察が可能になる。講師は照射効果を用いて、非平衡相合金の研究で非常に高名な研究者である。

講演では、まず TEM の発展、顕微鏡の分解能の推移、光学顕微鏡から 1931 年の Ruska 先生の発明、HRTEM から

収差補正技術を用いた HAADF-STEM への発展を述べた。

HRTEM では平行な電子ビームの結晶中での散乱による干渉を用いている（Phase contrast 法）。HAADF-STEM では原子間隔より遥かに細い電子ビームを作り、試料に入射させる。電子のチャネリングにより原子位置に局在した電子の流れが試料の下面から出るとき、構成原子の原子番号 Z に比例して外側に回折/散乱する。それを円環状の検出器で捉えることにより、原子の並びとその種類を直接検出できる。

次に原子弾き出し効果による固体の相変態、MeV 電子照射によって誘起される相変態について Cr_2Ti を例に説明した（図 2）。電子照射では、中性子やイオン照射と異なり、孤立した点欠陥を導入できる。また規則合金では組成も乱れ、不規則化する。低温で原子の移動ができず、回復できなければアモルファスとなる。図 2 に示すように照射が進むと 60s でアモルファス化する。しかし Cr_2Ti ではその後結晶化（180s）し始める。新たな結晶相は最初の C-15 ラーベス相とは異なり BCC 構造である。これを図 3 の模試図のように、低温で平衡相とアモルファスとの間に非平衡結晶が存在するような、自由エネルギーの温度依存により説明できることを示した。Cr_2Ti は高温で、状態図に BCC 相、図 3 では非平衡相 β、が出ているので見つけやすかったとのこと。Zr_2Cu は状態図には非平衡相は出ていないが同様な現象が起きているので、この手法は状態図に無い非平衡相を見つけることを可能にするものであるとのことであった。

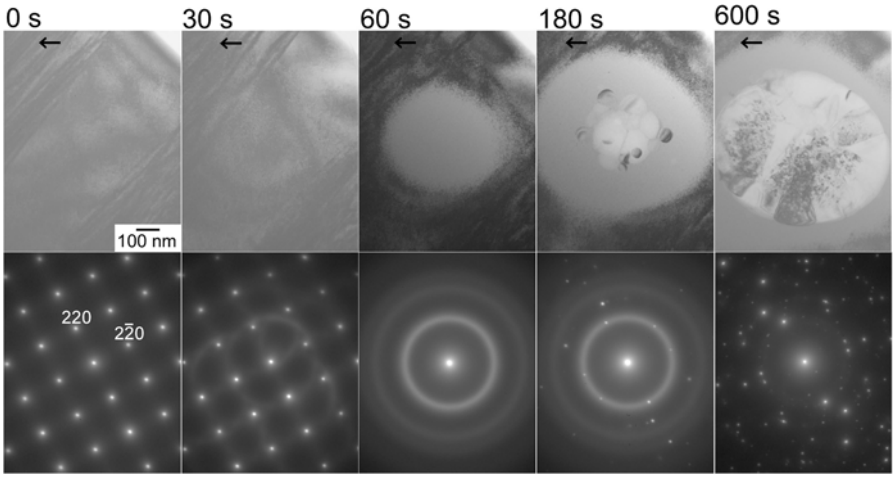

図 2　2MeV、103K 照射した Cr_2Ti の構造変。

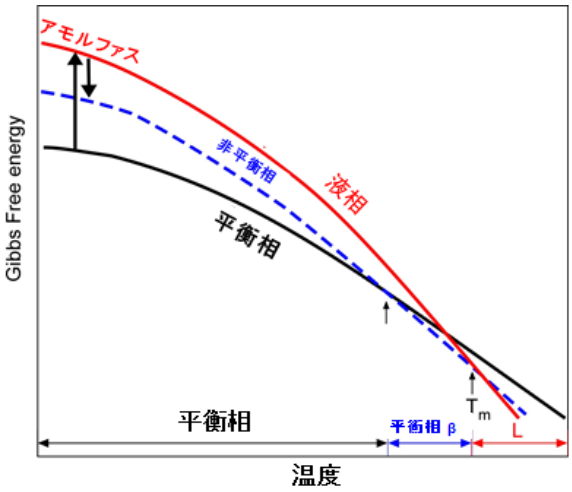

図 3　自由エネルギーvs 温度の模式図。

次に電子励起による化合物形成、keV 電子の照射によって励起される固相反応の例として Pt/SiOx 界面における Pt_2Si 形成について述べた。アモルファスである SiOx と Pt 複合膜は高温でも安定なものであるが、電子照射により固相反応が起きシリサイド、Pt_2Si が形成された。25ｋV まで電子のエネルギーを下げた測定により、これは原子の弾き出しでなく、電子励起による非弾性散乱に起因することが示された。更にフォトン照射でも Pt_2Si の形成を確認している。佐賀の放射光施設で、現在 Si のどの電子の励起によるのかを決定する実験が進行中とのことであった。

アモルファスからの結晶化機構についての質問に対しては、結晶では原子空孔と格子間原子による拡散に基づく原子の移動が起きるが、アモルファスでは Free Volume による原子の移動により結晶相ができるとの回答であった。また、励起された後、原子が動く機構は、イオン化により Si と O が離れ、Si と Pt が結合すると思われるが今後解決すべき課題とのこと。照射効果というより熱力学の研究ではないか、特に Zr_2Cu では融点により見えなかった相を見ていると考えられる、とのコメントがあった。講演は、参加者に TEM の材料研究への有効性を十分理解させる内容であった。

（義家敏正　記）

6. 東電福島事故の発生要因と二度と重大事故を起こさないために

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 特別顧問 齋藤伸三

東電福島原発事故から早くも6年が経とうとしている。最近、2 号機内部の映像が公開されるなど、廃炉に向けた調査・作業が続けられているが、まだまだ帰着点は見えない状況である。講師の斎藤氏は、「原子力発電所過酷事故防止検討会」の主査として、2 度と過酷事故を起こさないための 10 項目の提言を平成 25 年 4 月にまとめ、原子力規制委員長に提出した（本提言の内容は、実業広報社から 2016 年に出版されている）。講演では、この提言の内容を中心に解説していただいた。

図 1　講演中の齋藤講師。

講演では、まず始めに事故の概要について、地震発生、原子炉停止、外部電源喪失、非常用ディーゼル発電機作動、津波襲来、被水によるディーゼル発電機作動不能、全電源喪失と燃料冷却機能停止、そしてその後に生じた燃料損傷と水素爆発という時系列に基づく説明があった(図 2 参照)。

そして、この事故の発生要因を規制機関および事業者に分けて分析を試みた結果について述べられた。規制機関側からの発生要因として、過酷事故マネジメントを規制要件としなかった、事業者の過酷事故マネジメントの検討や継続監視が不十分であった、などを挙げた。また、事業者側の要因として、過酷事故マネジメント整備報告書が不十分なものであったことが挙げられる。総じて、1990 年代以降、諸外国に比べて国内の技術レベルの向上からくる安全確保に対する過信があり、諸外国の事故事例に学ぶ真摯な姿勢が欠けたことが発生要因と指摘した。そのうえで、講師らは、10 項目の提言を原子力規制委員長に提出した。その中で、いかなる自然災害、人為事象も「想定外」とせず、安全審査基準を既成概念にとらわれずに見直すこと、原子力関係者は、原子力安全確保を第一として各役割に取り組むこと、事業者は過酷事故マネジメントの手順を作成し、それに基づく従事者教育、訓練を実施する、事業者は過酷

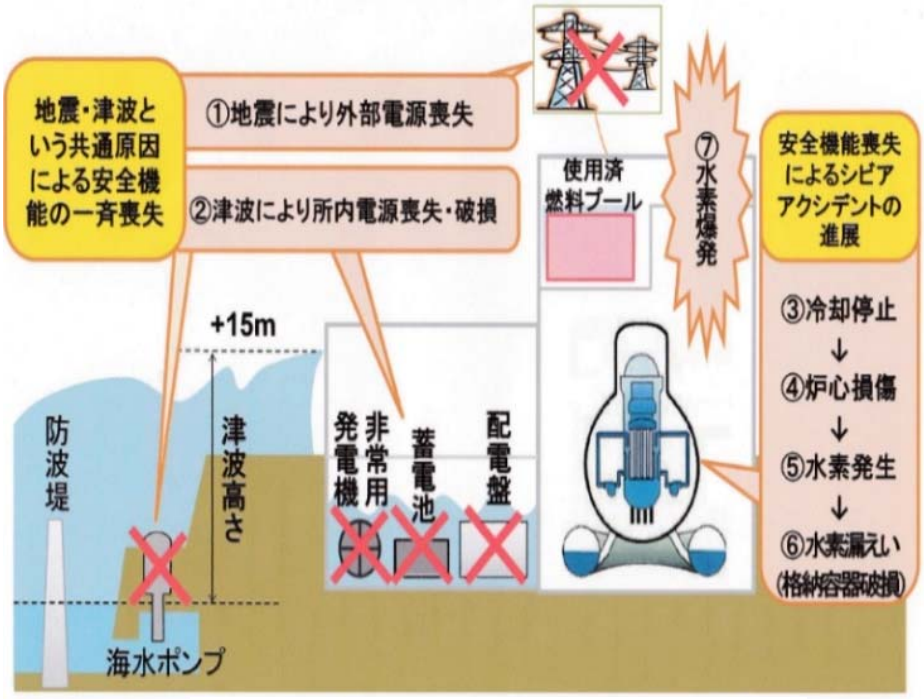

図 2　東電福島発電所事故の進展過程。

事故マネジメント専門職をおく、事業者、規制機関は協議して過酷事故マネジメントの必要な見直し、改善を常に行うべきである、原子力専門の科学者は、原子力発電に関して国民とのリスクコミュニケーションを行い、原子力発電の便益とリスクに関するコンセンサスを得る活動を推進する、といった、極めて重要な、そして、今までも当然やっておくべきことが改めて多く指摘されている。

講演ではさらに、新規制基準における要求として、耐震、対津波対策、他の自然現象、火災に対する考慮、電源、冷却設備機構の強化、意図的な航空機衝突などのテロに対する対策、など具体的に示された（図３参照）。

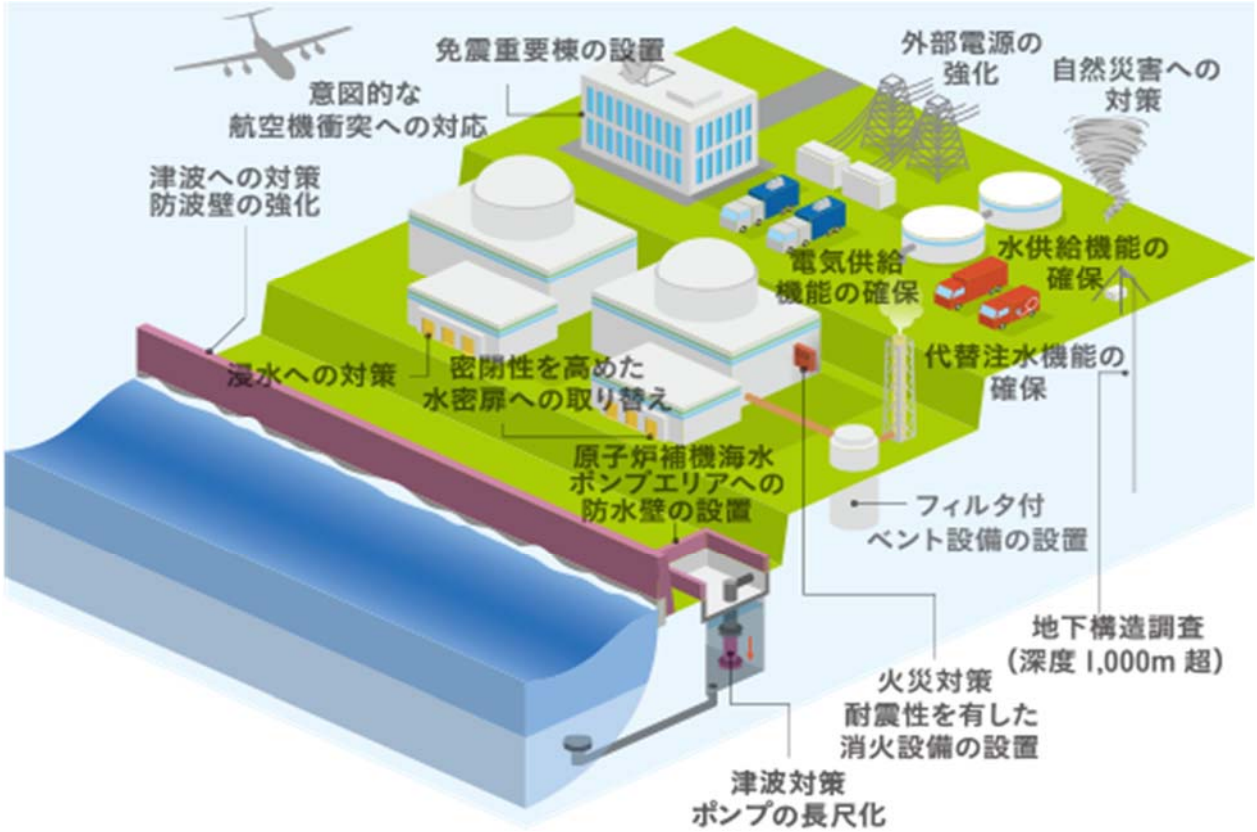

図３　東電福島事故後の新たな安全強化対策。

講演後の質問では、今回の事故の直接的原因として、津波対策の不十分さが挙げられることから、どうして対策を講じておかなかったのか、という素朴な質問があった、津波対策を施していた女川原発では、むしろ原発施設が住民の避難所として使われたこと、東海原発では、ほんの少し前に津波対策を施していたため、原発事故は起こらず、周辺地域への影響は全くなかったことなどを考えても、どうして福島ではやっておかなかったのかと悔やまれる。

また、別の参加者から、こういう提言は国際的にも積極的に行わないと効果がないという指摘もあった。中国など、今後原発建設を推し進める計画をもった国々も多い中、今回の福島での経験をもとに、国際的レベルでの情報の共有や、原発事故を防ぐための対策を早急に行うことが重要だと改めて感じられた講演であった。

（岩瀬彰宏記）

7. ニホニウム発見―森田浩介らはいかにして１１３番元素の命名権を獲得したか

仁科記念財団 常務理事 矢野安重

2015年の年末、日本人にとって大変うれしいニュースが飛び込んできた。森田浩介氏（理研、九大）の研究グループが、113番元素の命名権を獲得したのである。これにより、新元素はニホニウム（Nh）と名付けられ、日本で発見された初めての元素として周期律表に加わることになった（図2参照）。そこで、シンポジウムでは、理研仁科加速器研究センター初代センター長として、理研RIビームファクトリー（RIBF）建設や理研における核物理研究を主導してこられた矢野講師に、113番元素発見に至るまでの歴史やその意義について語っていただいた。

図１　講演中の矢野講師。

理研における超重元素合成研究は、1987 年に完成したリングサイクロトロン（RRC） において始まった。当時、希少超重元素探索に不可欠な低バックグラウンドの反跳イオン分離機 GARIS は実現したが、RRC と前段線形加速器 RILAC からのビーム強度が不足していた。その後、RIBF 建設に伴い、GARIS は RILAC の実験室に移設され、同時期に東大原子核科学研究センター（CNS）との共同事業として RILAC 大増強構想が持ち上がり、それは早期に実現した。さらに、RIBF 増強のため、新たな前段線形加速器 RILACII が RRC に導入されたために、元の RILAC は GARIS 専用になった。これらのことにより、大強度ビームと極低バックグラウンド検出器の組み合わせという超重元素発見の舞台は整ったということである。

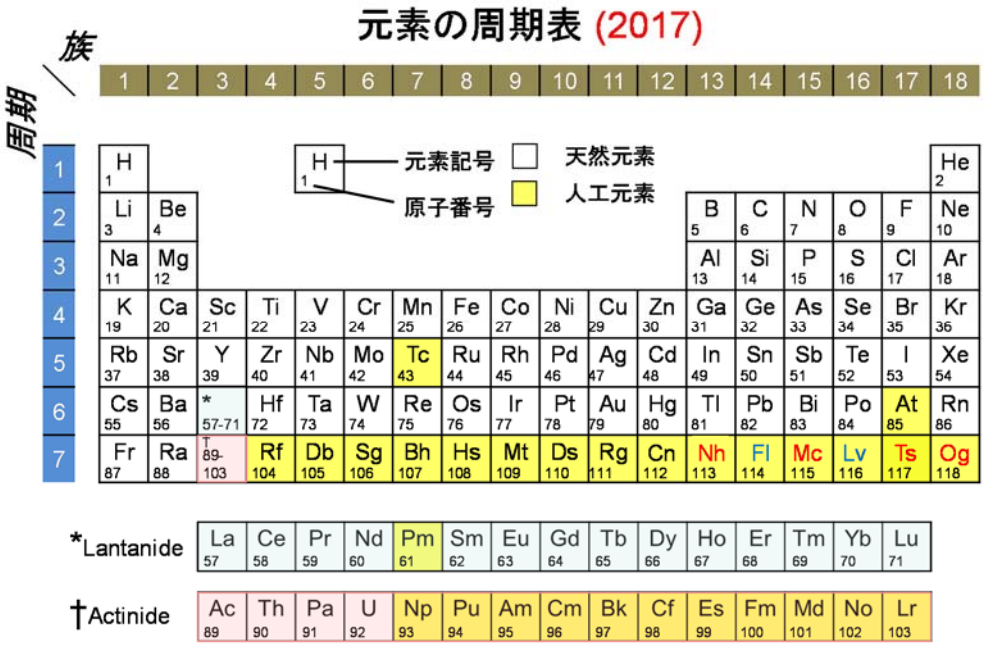

図２　2017 年からの周期表。

113 番元素の発見に至った要因として、矢野講師は 2 つの点を挙げられた。１つは cold fusion 法により 108 番から 112 番元素合成の再現実験を系統的に行ったこと、もう 1 つは、極めて起こりにくい反

応を 2003 年から 2012 年の長期間にわたり執念深く探究したことである。理研のライバルであるロシア・Dubna 研究所では、Hot Fusion 法を用いて 114 番から 118 番までの元素を合成した。Hot fusion 法では、中性子の多い超ウラン標的を用いる核力直接融合のため反応断面積は大きいが、多くの中性子が放出されるなど、反応が複雑で既知のα崩壊につながらない。これに対して、理研の採用した cold fusion 法は、トンネル効果による反応のため、断面積が極めて小さく（20fb!!）、合成に長期間を要したが、既知のα崩壊過程につながるため、結果として 113 番元素の合成が非常に説得力のあるものになったといえる（図 3 参照）。

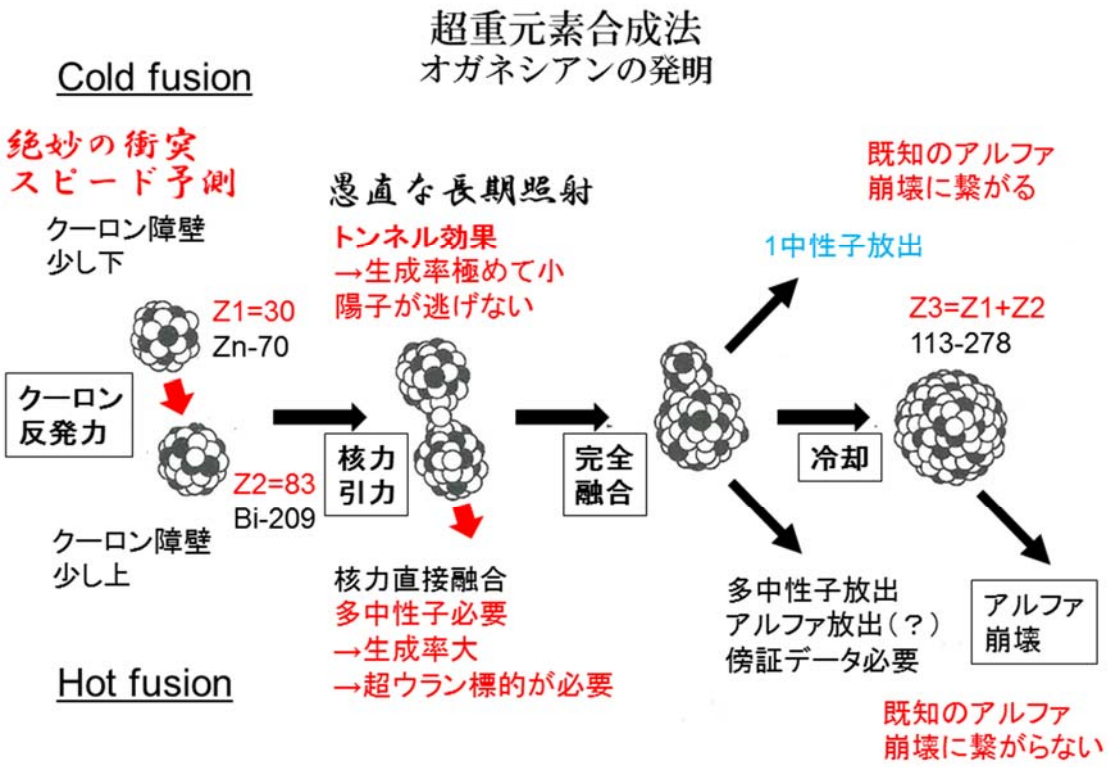

図 3　超重元素の合成法。Cold fusion と Hot fusion。

以上のように、113 番元素の発見には、森田氏をはじめとする実験グループの驚異的な粘り強さによるところが大きいが、それを組織全体として長期間支えた理研あるいは仁科加速器センターの基礎研究に対する姿勢もまた絶賛すべきであると思う。また本発見には、上でも書いたように、様々な幸運、強運が作用したことは間違いないが、純粋な気持ちで研究に取り組むものには、神も大いに味方するものだと改めて感じた。森田氏らは、本研究の成果をすべて日本の物理学会誌（JPSJ）に投稿している。昨今、日本でも米国物理学会誌をはじめ、いわゆるインパクトファクターの大きいとされる欧米の学会誌へ投稿する傾向があるが、今回のような新発見の迅速かつ確実な発表の場として自国のジャーナルを大事にしなければならないことも、また講演から感じたことである。

113 番元素の話に関連して、今まで日本人による新元素発見のチャンスについても話された。それは、小川正孝氏による 75 番元素（現在の Re）の発見であるが、原子量を間違えて 43 番元素（現在の Tc）の位置においてしまったため、新元素発見とはならなかった。また、理研の仁科氏らは、日本初のサイクロトロンを用いて 93 番元素（現在の Np）を生成したが、第 7 族にある元素と思い込み、またもや新元素発見には至らなかったそうである。今回はまさに「3 度目の正直」だったわけである。

さて、講演は、113 番発見の経緯や歴史、ライバルの Dubna 研究所での 115－118 番元素発見に至るまでいろいろな話が盛りだくさんで大変面白く、50 分という講演時間があっという間に過ぎた。その中で、

Dubna の Oganessian 教授の発見した元素命名の話も大変面白かったので、追記しておきたい。118 番目の元素は自分の名前をつけて Oganesson（Og）とし、116 番、117 番元素の名前は、Hot Fusion 法に使用した超ウランターゲットを提供してくれた研究所に由来して、それぞれ Livermonium（Lv）、Tenessine（Ts）と命名したが、実は Oganessian 教授のミドルネームは Tsolakovich（Ts!!）である・・・・。

（岩瀬彰宏　記）

全ての講演が終了し、最後に本シンポジウムの主催団体の 1 つである大阪府立大学地域連携研究機構の谷口教授から、閉会の挨拶があった（写真 1）。

各講演者の講演が、高度な内容であったにも関わらず非常に分かりやすい内容であったことへの感謝と、当日はこの冬 1 番の寒波が襲来した日であったにも関わらず、朝早くから集まってくれた多くの参加者への謝辞が述べられた。

その後別室にて、遠藤 ONSA 副会長の挨拶、谷口教授の乾杯の音頭で交流会が開始した。当日東京やつくばに帰る予定の講演者もおられたが、7 名全員に可能な時間まで参加してもらえたため、会場のあちらこちらで講演者を取り囲んで質問や懇談する風景が見られた。また、多少遅すぎる感もあったが、新年の挨拶を交わす風景もみられ、ONSA 会員相互の親睦も高められた。

写真 2 は参加者が歓談する様子である。

閉会の挨拶（谷口教授）。

交流会での歓談風景。

（義家敏正　記）