

放射線作用基礎過程研究グループが目指すもの

勝村 庸介 放射線作用基礎過程研究グループ

2007年4月、先端基礎研究センターにユニークな研究グループが発足した。東京大学において放射線と物質の相互作用の研究を続けてきた勝村庸介教授のチームと、先端基礎研究センターにおいて放射線によるDNA損傷の研究を進めてきた横谷明德研究主幹のチームが合流し、放射線作用基礎過程研究グループが誕生した。出身組織、研究分野の異なる研究者たちが融合することにより、何をを目指すのか。新グループ発足に当たり、勝村グループリーダーに抱負を聞いた。

原子力利用・異分野融合・国際連携

放射線作用基礎過程研究グループでは、どのような研究を行うのですか。

勝村：グループ名にある通り、放射線作用基礎過程の研究を行います。私たちが原子力を利用するとき、常に問題となるのは放射線の影響です。原子力利用を支えるために放射線作用の基礎研究を行うこと、それがこのグループの第1の使命であり、特徴です。

2番目の特徴は、出身組織も研究分野も異なる研究者たちが集まって、1つのグループとして活動することです。私たちは大学で、主に無機物を対象に放射線の物理的・化学的作用を研究してきました。一方、先端基礎研究センターには放射線の生物に対する作用を研究してきたチームがあります。そこと一緒になって放射線作用基礎過程研究グループをつくったのです。異質なもの同士が融合することで、1+1が3にも4にもなるように、新しい研究分野を切り開きたいと思っています。

大学など外部の研究機関との連携を深めることは、日本原子力研究開発機構(JAEA)全体の課題でもありますね。

勝村：そういう意味でも、私たちの研究グループで新しい連携のモデル、緊密な連携のモデルを築いていきたいですね。

グループの3番目の特徴は、国際的な連携です。これは先端基礎研究センターのほかのグループも同じだと思いますが、世界的な研究ネットワークをつくり、それを先導しながらその分野のトップを目指す。そういう意気込みで研究をスタートしました。

1兆分の1秒で起きる放射線作用を見る

具体的な研究テーマを教えてください。

勝村：3つの柱があります。1つ目は、物質が放射線のエネルギーを吸収した直後に起きる、非常に短い時間スケールの現象を見る研究です。

どのような現象が生じるのですか。

勝村：私たちは水と放射線の相互作用の研究を進め

超高時間分解能パルスラジオリシス装置

超臨界水の放射線作用測定装置

超短パルス発生装置(Sバンド電子線型加速器)



図1 超高時間分解能パルスラジオリシス装置 世界最高レベルの性能を持つ超高時間分解能パルスラジオリシス装置の1つとして評価されている。この装置には、超臨界水への放射線作用を観測する装置も併設されている。



勝村 庸介（かつむら ようすけ）

1949年、広島県生まれ。工学博士。1976年、東京大学工学系研究科原子力工学専攻博士課程中退、同年、同大学工学部附属原子力工学研究施設 助手。1994年、同大学大学院工学系研究科システム量子工学専攻 教授。2005年より同大学大学院工学系研究科原子力国際専攻 専攻長。2007年よりJAEA 先端基礎研究センター 放射線作用基礎過程研究グループ グループリーダーを兼務。専門は放射線物理化学。

短い時間スケールです。この超高時間分解能パルスラジオリシス装置でアルコールや油(炭化水素)への放射線の作用を観察し始めています(図2)。ここでは水とは違った現象が起きているはずで、その違いを明らかにして、物質のどのような性質が現象の違いをもたらすのかを比較しながら探っていく。そのような研究によって、物質と放射線の相互作用をより深く理解していくことができます。

実は、私たちが開発した超高時間分解能パルスラジオリシス装置は、先端基礎研究センターのある東海研究開発センターに隣接した東京大学の施設内にあります。歩いて行ける距離です。ぜひ、JAEAの「同僚」の研究者たちにも活用していただきたいですね。

超高時間分解能パルスラジオリシス装置は、アメリカだけでなくフランスでも動き始めています。国内でも大阪大学や早稲田大学で実験が始まっています。さらに、オランダやインド、中国でも装置の建設が進められています。

ほかの研究グループは、どのような実験を行っているのですか。

勝村：例えば、アメリカの研究グループは、イオン液体(常温溶融塩)への放射線作用を実験しています。イオン液体は物質科学で大変注目されていて、原子力分野への活用も期待されています。

てきました。水は原子力利用に欠かせません。原子炉の中では冷却水が循環しています。核燃料の再処理でも硝酸の水溶液を使います。高レベル放射性廃棄物の地層処分でも、地下水の問題が議論になります。さらにいえば、私たち自身の体の主成分も水です。放射線の人体への影響を探る上でも、水と放射線の相互作用の理解なしには、解明は進みません。

では、水に放射線が当たると何が起きるのか。水分子にはたくさんの電子が含まれています。水分子が放射線のエネルギーを吸収すると、電子がたたき出されます。たたき出された電子は、直後は不安定な状況ですが、しばらくすると水中で特別な配置を取り、安定な状態になります。この現象を水和と呼び、非常に短い時間スケールで水和電子が生成されます。

これまでの研究により、水の中で起きる現象は、比較的好く分かってきました。しかし、水以外の物質、例えば油の中ではどうなのか。油分子が放射線を吸収して電子が飛び出す現象を直接観測することは、10年前にはやりたくても手を付けることができませんでした。水の場合より、1000倍も速く現象が進むからです。この研究グループでは、そのような現象を詳しく観測することに挑戦します。

どのような方法で観測するのですか。

勝村：短い時間に起きる現象を観測するには、短いパルスの放射線が必要です。1996～97年ごろアメリカで、レーザーを瞬間的に金属に当てて短いパルスの放射線(電子線)をつくり、それ以前には困難であった短い時間スケールの放射線作用を観測する「超高時間分解能パルスラジオリシス」装置の開発が始まりました。私たちも少し遅れて1999年から装置の開発に取り組み始め、2004年にほぼ完成しました(図1)。私たちの装置は、ピコ(1兆分の1)秒レベルの短い時間に起きる現象を観察することができます。

ピコ秒とは、どのくらいの時間スケールですか。

勝村：例えば光は1秒間で地球を7周半しますが、1ピコ秒では約0.3mmしか進めません。それくらい

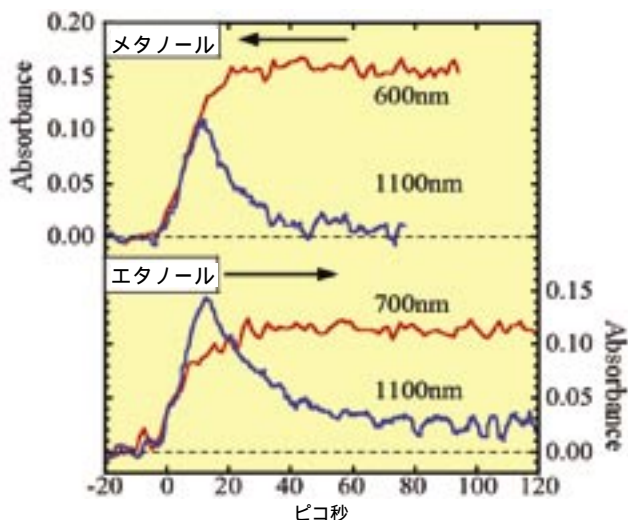


図2 超高時間分解能パルスラジオリシス装置で観測した、メタノールとエタノールに放射線を当てたときに生成する電子の挙動。赤いラインは分子からはじき飛ばされて安定化する(溶媒和)過程の電子の振る舞いととらえている。青い線は赤い状態になる前の先駆体の挙動を示す。先駆体から溶媒和電子に変換する様子が分かる。

大阪大学では、ナノテクノロジーの研究に使っています。例えば、コンピュータの心臓部である半導体回路の微細加工では、放射線(電子線)が利用されています。材料と放射線がどのように相互作用するのかを観測し理解することが、ナノテクノロジーの発展に必要です。放射線の利用範囲は広く、放射線と物質の相互作用を探る研究が、さまざまな分野で行われているのです。

超臨界水を使った次世代原子炉へ向けて

2つ目の研究テーマは？

勝村：高温の水への放射線作用を調べる研究です。今、原子炉では、300 前後の水をつくり発電しています。ただし、圧力をかければもっと高い温度の水になります。水は374 以上で、22MPa以上の圧力をかけると、超臨界水という状態になります。現在の日本の火力発電所では、600 前後の超臨界水で発電しています。日本の火力発電では超臨界水を利用したものが主流なのです。

高い温度の水で発電するメリットは何ですか。

勝村：発電効率が高くなるのです。例えば現在の日本の原子炉では、100のエネルギーを投入して、約33の電気エネルギーを生み出しています。ところが500 を超える水で発電すると、同じ100のエネルギーを投入して40以上の電気エネルギーが得られます。高い温度の水を利用するほど、発電効率が高くなります。そこで、高温・高圧の超臨界水を使って発電効率の高い原子炉を開発しようという「超臨界圧軽水冷却炉」の研究が、欧米や日本、韓国などで進んでいます。実は、1989年に超臨界圧軽水冷却炉のアイデアを最初に提案したのは日本の研究者、東京大学の岡 芳明 教授です。

いろいろなタイプの次世代原子炉が検討されているそうですが、超臨界圧軽水冷却炉の長所は？

勝村：2002年、アメリカのエネルギー省(DOE)が2030年までに実現を目指す次世代原子炉として、

有望なものを6つ選びました。その中の1つが超臨界圧軽水冷却炉です。ほかの5つは、冷却材にガスや金属を使うもので、水を使うのは超臨界圧軽水冷却炉だけです(参照：<http://nuclear.energy.gov/genIV/neGenIV1.html>)。

今の原子炉は水を使っているのに、その技術を生かせます。さらに超臨界水は火力発電で使っているのに、その技術も利用することができます。超臨界圧軽水冷却炉は次世代原子炉として一番実用化に近いだろうといわれています。

その開発は、どこまで進んでいるのですか。

勝村：岡教授が提案してから、10年くらいかけて原子炉の設計を検討する研究が行われました。そこで、うまくいきそうな自^ら処が付き、次に具体的に材料を検討・実験する段階に移っています。超臨界水は、普通の水とは違った性質があります。そこに放射線が当たったとき、材料がどうなるのか。腐食の仕方も大きく違うようです。私たちは1999年から超臨界水と放射線の相互作用を調べる研究に着手しました。同時期にアメリカでも研究がスタートし、その後、フランスやカナダでも研究が始まりました。

放射線作用基礎過程研究グループでも、超臨界水の放射線作用を、研究テーマの柱の1つとして取り組みます。最初に紹介した短時間で起きる現象を見る実験と、超臨界水の放射線作用を調べる実験は、今まで別々に行ってきましたが、2つを組み合わせた実験も計画しています。

放射線によるDNA損傷と修復の仕組みを探る

3つ目の研究テーマが、生物への放射線作用を調べることですね。

勝村：この新グループのサブリーダーを務める横谷 明徳 研究主幹たちが、先端基礎研究センターで研究を進めてきたテーマです。生物に対する放射線作用で最も重要な鍵は、遺伝情報を担うDNAへ与えるダメージです。放射線によってDNAの1個所が

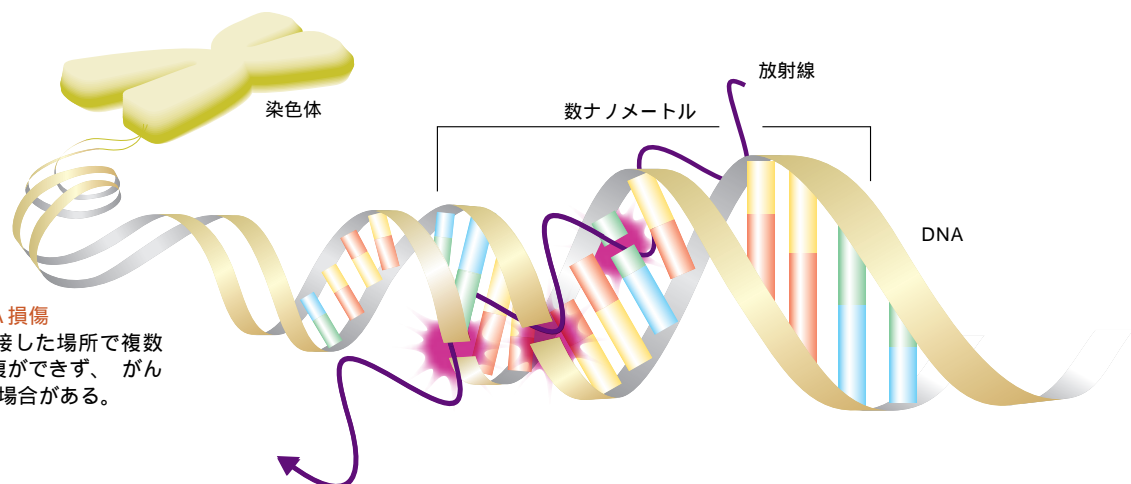


図3 放射線によるDNA損傷
放射線によりDNAの隣接した場所で複数の損傷が起きると、修復ができず、がんや突然変異の原因となる場合がある。

切断されたり化学的な変化を受けても修復することができます。さらに複数のダメージであっても、DNA上で十分に離れた場所であれば修復できます。ところが、近い場所で何箇所かに同時にダメージが生じてしまうと修復できず、がんや突然変異の原因になると考えられています(図3)。損傷を受ける場所がどれくらい近いと修復できなくなるのか。DNA損傷と修復能力との関係を、きちんと整理して突き止めようとしています。ただし、生命現象はDNAなどの分子レベルだけで見ても理解できません。放射線でDNAが損傷したときの、細胞レベルでの反応も研究していく計画です。

放射線作用の研究で、生物系と物理・化学系の研究者がグループを組むというのは、あまり例のないことなのですか。

勝村：放射線研究が始まった40年前ごろは、生物系も物理・化学系も一緒にグループでした。ところがその後、分野ごとに分かれて研究を深めていくうちに、互いの分野の間で会話ができなくなってしまいました。また、それぞれの分野で、自分たちのやりやすいように研究対象を狭めてしまう傾向があります。そういう反省の上に立ち、放射線作用基礎過程研究グループでは、昔のスタイルに戻ることによって新しいことができるはずだと、私は期待しています。

異分野融合はうまくいきそうですか。

勝村：4月にスタートして数カ月間、グループ内部で研究発表会を行い、互いの考え方や文化が分かってきた段階です。そのうちに、物理・化学系と生物系が共通で取り組める新しい実験システムを築きたいと話合っています。

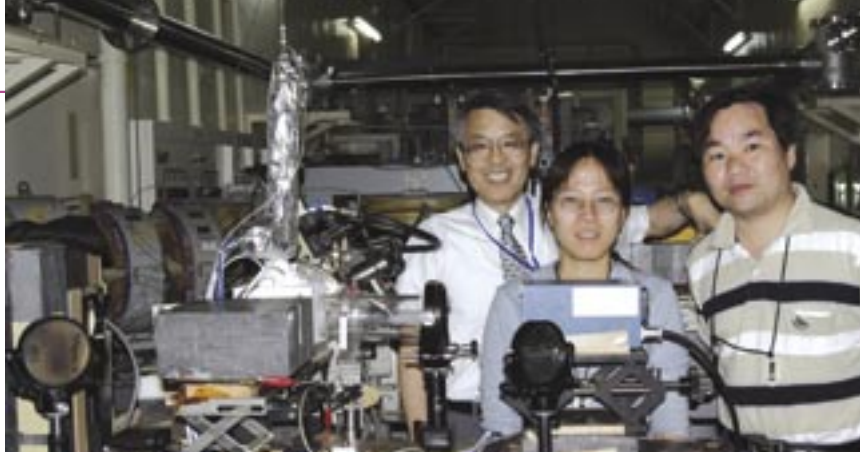
例えば、どのような実験が考えられますか。

勝村：私がぜひ挑戦したいと考えている実験は、超高時間分解能パルスラジオリシス装置を使って、放射線によって起きる生物の短い時間スケールの現象を観測することです。ほかにも科学的に意義の高い実験システムのアイデアが、どんどん出てくることでしょう。

面白いことは、簡単には分らない

勝村グループリーダーご自身が、放射線に興味を持ったきっかけは？

勝村：私は広島出身なんです。広島では原爆のことをピカドンというのですが、友達のご両親が原爆の後遺症に苦しんでいたり、学校の先生がご家族を亡くしていたり……、原爆の影響が身近にありました。そういう環境に育ち、原子力や放射線に自然と



左から、勝村グループリーダー、東京大学研究機関研究員の付海英博士、JAEA 任期付研究員の林銘章博士

興味を持ちました。たぶん、別の場所で育っていたら、今の研究テーマを選んでいなかったでしょうね。

私は、放射線の持つ「魔力」を探りたいという興味で研究を続けてきました。放射線というと、多くの人は、恐ろしい、怖い、と思うかもしれませんが。しかし、病院でX線撮影に利用されたり、物質の構造解析や半導体回路の微細加工に活用されたりするなど、あらゆる科学技術分野は、いまや放射線技術なしには成立しません。さらに、ラジアルタイヤなどの生産や医療用具の滅菌など、放射線が私たちの生活を豊かにしてくれていることは、意外と知られていません。

放射線はさまざまな場面に活用できる魔力というか、魅力を持っています。技術を安全に使うには、人間の知恵が必要です。使い方を間違えると悪影響があるのは、ほかの技術も一緒だと思います。

放射線研究の魅力は？

勝村：ほかにも面白い分野がたくさんあると思います。この分野だけが面白いという言い方はできませんが、私を含め多くの人たちが、この分野の研究を楽しんでいます。その面白さを学生に伝えようとするのですが、なかなか分かってもらえないですね。本当に面白いことは、簡単には分からないものなのかもしれません。簡単に味わえることは、薄っぺらなことが多いのではないですか。研究は難しく、たくさんの投資が必要ですが、味わいも深いと思います。放射線作用基礎過程研究グループでも、難しいテーマに挑戦して、大いに楽しみたいと思います。

(取材・構成:立山 晃)

“Basic Radiation Research” Group
Yosuke Katsumura

Since April 2007, a new research group named “Basic Radiation Research” has started and Prof. Yosuke Katsumura, University of Tokyo, became a group leader. Three subjects; (1) fast processes measured by ultrafast pulse radiolysis, (2) radiation chemistry of supercritical fluids and (3) clarification of clustered damaged DNA would be investigated under the close collaboration between JAEA and the University of Tokyo.