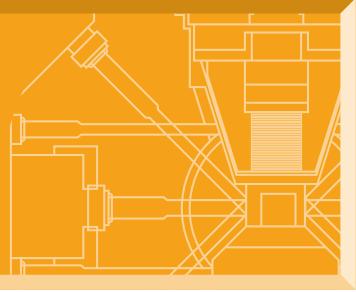




# 新たな歴史の構築を目指して

核変換システム工学研究分野・代谷誠治教授



1959年2月14日に設立された(社)日本原子力学会は今年創立50周年を迎え、去る4月21日に東京の大手町サンケイプラザにおいて記念式典を開催しました。同学会は、創立50周年を機に我が国の原子力平和利用に貢献してきた歴史的原子力関連施設あるいは事績などを顕彰するために「原子力歴史構築賞」を創設し、上記記念式典で65件の表彰を行いました。1963年に全国大学の共同利用研究所として京都大学に附置された原子炉実験所は、原子力施設を用いた長年に亘る研究・教育活動の実績が「原子力歴史構築賞」に値すると評価され、「京都大学研究用原子炉(KUR)およびその周辺施設による研究・教育」と「京都大学臨界実験装置(KUCA)」の2件で受賞致しました。これは、所員、京都大学関係者、全国の共同利用研究者はもとより、地元を含む関係各位のかいご支援、ご協力の賜物です。この機会を借りて各位に深甚の謝意を表する次第です。



歴史構築賞記念トロフィーの写真

さて、この50周年記念式典の1ヶ月半余り前の3月4日、当所では、固定磁場強集束型(FFAG)加速器で100MeVに加速した陽子ビームを、長さ数十mに及ぶビーム輸送管により、KUCA固体減速架台のA架台に導き、体系外部に設置したタンクスチンのタ

ゲットで核破碎中性子を発生させて未臨界の原子炉(停止中の原子炉)体系に打ち込み、世界初の加速器駆動未臨界炉実験を開始しました。これにより、安全性と核変換特性\*に優れた未来の原子炉開発、及び新たな研究用中性子源の開発に関する基礎研究の分野で、当所は新しい歴史のページを開きました。今後は、この研究の進展に世界の期待が寄せられていることもあり、これを契機に原子力の新たな歴史を築く努力を続けたいと考えています。そして、加速器駆動未臨界炉研究の質を向上することを目指した取り組みを強め、世界を先導する有用な成果を発信して行きたいと考えています。

また、昨今の不安定な国際情勢の影響を受けて低濃縮ウラン燃料の搬入が遅れ、KURの運転再開は延期を余儀なくされていますが、昨年度に先端医療開発特区(スーパー特区)に採択されたホウ素中性子捕獲療法用の加速器は今年3月末に施設検査に合格し、多くのがん治療に利用できる中性子源として開発が着実に進んでいます。来年には、KURの運転再開に伴うがん治療研究の継続に加え、同加速器を用いた治験医療が開始される予定です。これにより、中性子を利用したがん治療の研究開発分野でも当所は新しい歴史の構築に寄与するものと確信しています。

さらに、当所では、KUR及びその周辺施設並びにKUCAを用いた研究・教育をより一層推進するとともに、韓国の研究用原子炉HANAROや東海村にある大強度陽子加速器施設、播磨の大型放射光施設SPring-8などの有効利用をも視野に入れつつ、イノベーションリサーチラボ棟を活用することにより加速器の開発・利用の拡大を図り、我が国における学際的な原子力研究を先導する役割を果たすことを目指して努力を続けています。

最後に、これらの活動に対する各位の暖かく、かつ厳しいご指導、ご鞭撻を得て、当所の将来構想である「くまとりサイエンスパーク構想」の実現に向けて努力を続け、熊取町・大阪府・京都大学で実現に向けて取り組んでいる「熊取アトムサイエンスパーク構想」の基盤を確立したいと考えています。今後とも引き続き原子力・放射線施設の安全管理を旨として、予算獲得等に努力したいと考えていますので、当所の活動について旧に倍するご理解とご支援・ご協力を賜りますようお願い致します。



## 放射光でほぼ全てのメスバウアー吸収スペクトル測定が可能に

### 核放射物理学研究分野・瀬戸誠教授

原子炉実験所では原子炉の中性子照射によって生成した放射性同位体(RI)線源を用いることによって、メスバウアーフ一分光の共同利用研究を実施しています。メスバウアーフ一分光法は、物質中の元素の電子状態(原子価、電子構造、磁性といった情報)を調べる方法ですが、電子状態をその中心に位置する原子核の状態を調べることで測定を行います。原子核の状態は周辺の電子状態に応じて、大変小さくはありますが変化することが知られているので、逆に原子核の状態を精密に調べることで、電子状態を調べることができます(図1)。特にFe(鉄)のメスバウアーフ一分光は物理、化学分野だけでなく生物や地球科学といった分野においても大変よく利用されてきました。例えば、2004年に火星探査機が採取した試料をメスバウアーフ一分光法を用いて分析し、かつて火星には水が存在していたことを

明らかにした事等が挙げられます。また近年、発見された鉄系高温超伝導体においても、Feの磁性状態測定に利用され、当研究所からも最新の成果が発表されています。しかしながら、Fe等のごく少数を除けば、各元素の測定に対応したRI線源を用意することは容易ではなく、寿命の短いRI線源を必要とする元素の分析は大変な困難を伴っていました。しかしながら、原子炉を有する当研究所ではそのような寿命の短いRI線源を利用した研究が可能であることから、大変貴重で重要な研究拠点となっています。一方で、放射光を線源とすることで、その高い指向性や小さなビームサイズなどを活かした微小試料測定や微小空間でしか実現出来ない超高压下測定およびサブミクロン分解能のイメージング測定等が可能となります。しかしながら、これまで30keVより高い励起エネルギーの元素では測定が困難でした。その理由は、高いエネルギー領域で高い検出効率を有

する高速な時間応答検出器が存在していないためです。しかしながら、我々と日本原子力研究開発機構および高輝度光学研究センターからなる共同研究グループは、高速時間応答測定を行う代わりに、基準となる別の物質を用いることでメスバウアーフ一分光法を可能とする方法を初めて開発することに成功し、高い励起エネルギー領域の核種の放射光メスバウアーフ一分光法に成功しました(図2)。これにより、微小試料や超高压下での測定といった放射光の特性を活かしたメスバウアーフ一分光法による高効率高分解能測定という特徴を組み合わせることで、メスバウアーフ一分光法の大きな進展が期待されるものです。

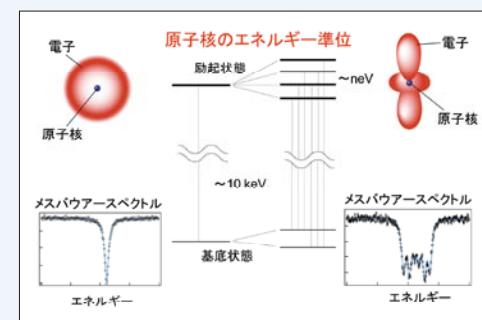


図1.原子核のエネルギー準位と電子状態の関係。原子核のエネルギー準位(状態)が原子核の周りの電子の状態の違いを反映して変化します(ここでは準位が分裂する様子を表しています)。このとき、このエネルギー準位の変化を反映してメスバウアースペクトルも異なるものとなります。

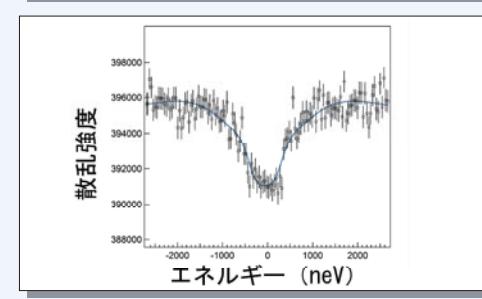


図2.  $^{73}\text{Ge}$ 放射光メスバウアーフ一分光法による吸収スペクトル(励起エネルギー: 68.752 keV)。測定試料にはゲルマニウム酸リチウム( $\text{Li}_2\text{GeO}_3$ )を用い、基準試料としては $\text{Ge}$ 酸化物( $\text{GeO}_2$ )を用いました。

# ASKレポート.1

## 研究ハイライト

### 加速器物理—加速器科学と原子力への新展開

複合原子力システム研究分野・森義治教授

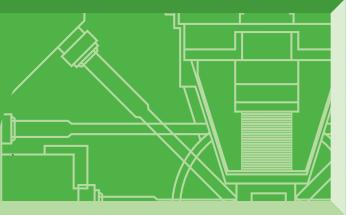
私たちの研究室で行われている研究活動について紹介しましょう。皆さん「加速器」をご存じですか? 加速器とは、そもそも物質の根源である素粒子を研究するために開発された装置です。そこでは陽子や電子を非常に大きなエネルギー(現在世界最高エネルギーの加速器であるヨーロッパのCERNという研究所では陽子を光速の99.99999%以上まで加速できる)まで加速します。昨年度のノーベル物理学賞受賞者の「南部・小林・益川」先生達の理論研究を証明したのも加速器実験によるのです。最近では加速器は素粒子研究だけでなく、いろいろな応用分野、たとえば原子力・物質・生命のような研究に用いられるようになってきました。なかでも原子力分野では「加速器駆動未臨界炉」という、安全でかつ原子炉廃棄物処理の可能性をもつ将来型原子炉に期待がもたれています。このための基礎研究として「固定磁場強集束(FFAG)型陽子加速器」の開発研究が私たちの研究室において行われています。今年の3月には隣接の臨界集合体(KUCA)と結合して、世界初の加速器駆動未臨界炉の実験研究を開始しました。また、物質・生命分野において必要とされる強力な中性子源の開発では、「イオン化冷却法」という新しい原理を用いた中性子源「FFAG-ERIT」の研究が行われておりますし、将来の超高エネルギー加速器であるミューオン加速器の研究も進めています。また、国

### 原子炉における中性子のふるまいを予測する

研究炉安全管理工学分野・中島健教授

原子炉の中ではウラン等の核燃料が中性子を吸収して核分裂反応を起こし、エネルギー(中性子を含む)放射線を放出し、さらに放出された中性子が別のウラン(核燃料)を核分裂させるといった反応が連鎖的に起こっています。このような原子炉の設計を行うには、原子炉内における中性子のふるまい(発生や吸収等の反応の様子)を予測する必要があります。これを核設計といいます。核設計では、中性子の核反応データ(核データ)とそのデータを用いて各種の反応を計算するプログラムを使います。現在の核設計手法でも現行の原子炉の設計は可能ですが、原子力エネルギーは地球温暖化対策の切り札として、多くの需要が見込まれており、より安全で経済性の高い原子炉が求められています。このためには、核設計手法の精度向上が不可欠であり、当研究室では、この核設計手法、特に核データの精度向上に関する研究を行っています。

核データの精度向上のためには、核データそのものを高精度で測定することが最も有効な手段です。当研究室では電子線型加速器を使って、種々の核データの測定を行っています。この測定では、測定対象とする核物質の高純度な試料が必要ですが、そのような試料が入手できない場合も多いため、試料中の不純物の影響を取り除くための研究を行っており、高純度試料ではなくても、精度の良いデータ



内外のいろいろな加速器研究室と協力して研究を進めています。特に福井大学大学院理工学研究科の分室が実験所内に設置されており、同大学院の酒井泉教授を中心としたグループとの共同研究を行っています。本研究室では、このようなプロジェクト研究と併せて、加速器ビーム物理学・加速器工学のような基礎的加速器研究も精力的に展開しています。



加速器駆動未臨界炉研究のためのFFAG陽子加速器

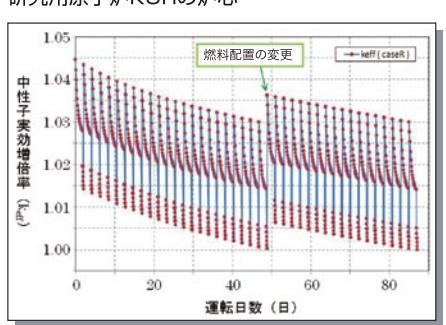
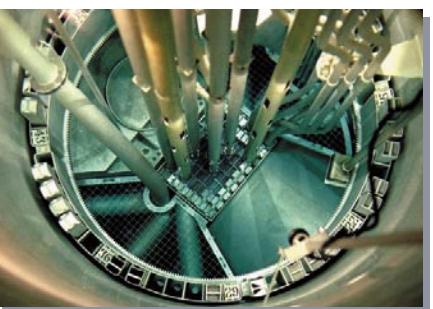


イオン化冷却法を用いた  
強力中性子源「FFAG-ERIT」



FFAG加速器制御室とイノベーションラボ風景

を得ることを目指しています。また、核設計手法を用いて、原子炉で測定された実験データに対する解析を行い、同手法の精度検証をとおして精度向上を図る研究も行っています。このためには、精度の良い実験データ(ベンチマークデータといいます)を取得することが必要になりますが、最近は、新しい原子炉実験を行うことが難しい状況となっています。このため、これから低濃縮ウラン燃料を用いて運転再開を予定している研究炉KURの実験データは、非常に貴重なデータといえます。これまでにKUR低濃縮炉心の運転特性等の予備解析を行ってきており、運転再開時には精度の高いベンチマークデータを取得し、核設計手法の検証を行う予定です。



### タンパク質のリサイクル社会

放射線機能生化学研究分野・木野内忠穂講師

江戸を舞台にした時代劇でよく見る一場面。長屋の片隅で、浪人が傘張りの内職をしています。このころ、傘は比較的高価だったこともありますが、江戸時代が高度に発展したリサイクル社会であったことを示す一場面でもあります。



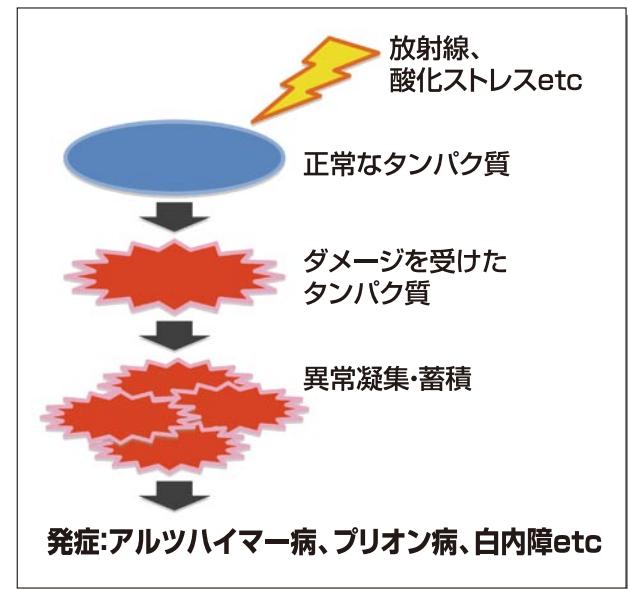
実は、このリサイクル社会を徹底的に具現化したのが、私たち生物なのです。基本単位である細胞ひとつを取り上げてみても、そこには、「品質管理」、「修復」、「分解」に特化した専門業者(主として酵素)が存在しており、生命活動に必須の部材である脂質、糖質、タンパク質を分子レベルでリサイクルしています。

近年、タンパク質のリサイクル機構の破綻が、さまざまな病気の原因であることが分かってきました。「修復」できないほど大きなダメージを受けたタンパク質は、再利用不可として「分解」されます。ところが、放射線や加齢による酸化ストレスの蓄積が、リサイクル機構の許容を上回ってしまうと、異常なタンパク質が体内で無秩序に凝集し、人体に対して有害に作用することがあります。それがアルツハイマー病でありプリオント病(狂牛病)なのです(図)。

私の研究の端緒は、アルツハイマー病の原因タンパク質のなかにD型のアスパラギン酸が見つかったことでした。このタンパク質は、アミノ酸数40個程度からなる小さなタンパク質ですが、酸化ストレスにさらされると、そのなかのわずか一個のアスパラギン酸が本来のL型から光学異性体であるD型に変化し、異常凝集することが示唆されました。上述のように、「生物=リサイクル社会」を確信していた私は、D型のアスパラギン酸を含むタンパク質だけを認識して分

解する酵素が存在し、その異常蓄積を食い止めているのではないか、と考えました。探索の結果、発見することができたのが、D-アスパラギン酸エンドペプチダーゼ(DAEP)です。興味深いことに、DAEPはホルモン類で見つけることはできますが、線虫や酵母、細菌といった世代交代の早い生物では見つけることができません。このことは、ヒトのように活動的で寿命の長い生物にとって、多様に発達したリサイクル機構を獲得することが、その進化と生命活動に欠かせない条件であったことを示しています。

現在、藤井紀子教授の指導の下、放射線や酸化ストレスに対応したDAEPの複雑な生理機能について研究を行っています。



## ASKレポート.2 京都大学原子炉実験所一般公開について

京都大学原子炉実験所では、桜の時期にあわせて平成21年4月4日(土)に恒例の一般公開を実施しました。あいにく午後から雨模様になりましたが地元熊取町を中心に約400名の参加がありました。



ビデオを使った当実験所の研究紹介とかんさいアトムサイエンス倶楽部との共催による科学実験・工作コーナーでの科学体験や当実験所員による原子炉施設の見学会を行いました。科学実験・工作体験コーナーでは、おなじみの「霧箱や簡易分光器の工作」を通じて放射線を実際に目で見たり放射線を実際に測定するコーナー、液体窒素でタンポポやゴム風船を浸して取り出し握って-197℃の世界を体験できる実験コーナーには、多くの方が参加し、サイエンスの世界を垣間見ることができました。



また、施設見学コーナーでは例年と趣を変えてご自由に見学場所を選んで頂けるアラカルト方式とし、当実験所員の案内で研究用原

子炉、廃棄物処理棟及び今年始めてのFFAG加速器などの見学を行いました。

今後ともこのような機会を通じて、地域住民の方をはじめ多くの方々に原子力とそれを支える基礎的な科学への理解の場を提供して、当実験所における研究活動について理解が得られる様に努力いたします。



## 京都大学原子炉実験・所技術職員 藤原慶子さんに聞く

この度、技術職員の藤原慶子さんが日本保健物理学会第43回研究発表会優秀ポスター賞を受賞されました。また、安全管理業務を行う傍ら、学会発表を行い受賞されたことが評価され所長表彰も併せて受けられました。藤原さんにはASK創刊号(2006年)にもご登場いただきましたが、今回は受賞について語っていただきました。

**この度は保健物理学会での優秀ポスター賞と所長表彰のW受賞、おめでとうございます。**

ありがとうございます。最近、表彰される機会なんて無かったので少々恥ずかしい気持ちもありますがとても嬉しいです。皆さんのが支援やご協力のおかげでこのような素敵な賞を頂くことができました。

**優秀ポスター賞のタイトルと発表の内容をわかりやすく教えてください。**

タイトルは「泉州地区における特産食品の放射能バックグラウンド調査」です。

自然の環境下で栽培された様々な農産物の放射能測定を行うと、K-40のような天然放射性核種だけでなく、大気圈内核実験に起因するCs-137のような人工放射性核種が検出される場合が多くあります。このような人工放射性核種を含む農産物の場合、緊急時にサ

## ASK インタビュー 京都大学原子炉実験所の人たち

### 京都大学大学院工学研究科・工学研究科原子核工学専攻 核システム工学講座(森研究室) Thomas Planche君(博士後期課程3年)に聞く

はじめに、日本語があまり上手じゃありませんから、簡単な言葉だけで書かなければなりません。ごめんなさい。

**原子炉実験所での学生生活はいかがですか。**

原子炉実験所での生活はおもしろいです。親切な人が多いです。たとえば毎週仕事のあとで、三倉さんに日本語を教えてもらいます。

森研究室には仕事がたくさんあります。でも雰囲気がいいです。みんな英語ができるから、みんなとよく話せます。毎日簡単じゃないけど、本当のいい経験です。



京都大学大学院工学研究科  
工学研究科原子核工学専攻  
核システム工学講座(森研究室)  
Thomas Planche君  
グレノーブル大学(フランス)出身の25歳。  
2007年10月より森研究室所属。

ンプリングして測定を行つただけでは検出された人工放射性核種が事故などによるものであるかどうかの判断をするのは難しいので、緊急時における特産食品に対する放射能汚染の評価をきちんとできるように泉州地区で収穫された色々な特産食品(大根、フキ、椎茸、えびじやこ等)に対して、人工放射性核種が通常ではどのくらい含まれているのかを調査しました。また、緊急時に対応するための処理方法についても調査を行いました。

プライベートも充実されているようですね。趣味は旅行ということで

すが、最近どちらに行かれましたか?

去年の秋にフランスへ行き、モン・サン・ミッシェルやベルサイユ宮殿、ルーブル博物館を見学してきました。今年の年明けにはドイツへ行き、ドイツで子供を出産した高校時代の友人に会ったり、ノイシュバンシュタイン城などに行きました。ドイツは個人旅行だったのでハブニングもありましたが、友人と旅の計画をしたのはとても楽しかったです。(いつもこんなに頻繁に行ってるわけではありませんよ…(笑))

前回ご登場いただいたASK創刊号のインタビューでは、「いろいろな分野に挑戦して仕事の幅を広げていきたい」とおっしゃっていました。その結果が受賞につながりますます活躍の藤原さんです。

京都大学原子炉実験所・技術職員  
藤原慶子(ふじわらけいこ)さん  
19XX年生まれ  
兵庫県加西市出身  
大阪府立大学工学部応用化学科卒業



**研究テーマについてわかりやすく教えてください。**

わたしたちはFFAG加速器について研究しています。日本語では説明できないから、これだけ英語で書いてもいいですか。

Particles accelerators are used to accelerate very small pieces of matter,

called elementary particles, to very high speed.

Fixed Field Alternating Gradient synchrotron (FFAG) is a particular type of particle accelerator, in which the guide field is static and provides strong focusing.

(森教授訳:わたしたちはFFAG加速器について研究しています。粒子加速器は陽子は電子のような素粒子をとても大きな速度に加速するためのものです。FFAG加速器(固定磁場強集束シンクロトロン)は、粒子加速器のうちの一方式ですが、そこでのビームを導く磁场は、静磁場でかつ強い集束作用をもっています。)

**将来めざしていることを教えてください**

卒業したら、加速器の研究をつづけたいです。日本に残りたいし、ヨーロッパへかえりたいし、ほかの国に行きたいし、まだわかりません。もしどこでおもしろい仕事を見つけたら、そこへ行きます。グットラックを祈ってください!

**趣味は何ですか。**

泳ぐことが好きですから、ときどきひまわりドームのプールに行きます。料理も好きです。料理を作ることと、熊取のレストランでおいしいお好み焼きや、すしや、そばや、ぎょうざを食べることも大好きです。

## ASK WORLDレポート 第1回 D-アミノ酸研究会 国際会議を開催して 放射線生命科学研究部門 機能生物化学分野 藤井紀子教授

第1回 International Conference of D-Amino Acid Research (IDAR)/第5回D-アミノ酸研究会学術講演会合同会議を2009年7月1日(水)から4日(土)までの4日間、風光明媚な兵庫県淡路夢舞台国際会議場において開催しました。国生み神話によると淡路島は伊弉諾尊(いざなぎのみこと)・伊弉冉尊(いざなみのみこと)が天の沼矛(ぬぼこ)でドロドロした海原をかき回し、その矛先から滴り落ちたしづくが固まってできた最初の島—いわば日本発祥の地であるということになっています。D-アミノ酸研究はいま、まさに混沌とした状態から新しい学問領域として成熟してきたところであり、日本から多くの優れた研究が発信されていますので、D-アミノ酸研究会初の国際会議はこの「国生み神話」にあやかり淡路島で行おうと思い、2年前から開催に向けて準備を進めてきました。外国からの参加者はアメリカ5人、ドイツ2人、フランス1人、イタリア3人、イスラエル1人、オーストラリア2人、中国4人、韓国3人、インド2人、イラン1人、スリランカ2人、以上11ヶ国26人の参加者があり、国内からは100人の参加者があり、合計126人の研究者が参加しました。発表は口演38題、ポスター38題で、いずれも内容がすばらしく、良く準備された講演であったため非常に活発な討論が行われました。

さて、ここでD-アミノ酸の研究について簡単に述べたいと思います。アミノ酸には左手構造(L-型)と右手構造(D-型)があります。私たちが人工的にアミノ酸を化学合成すると左手構造と右手構造が1:1の割合でできますが、不思議なことに地球上のすべての生物の身体は左手構造のL-アミ



ノ酸のみから成り立っており、生物の身体の中では一部の例外はあるものの基本的にはL-アミノ酸しか合成されません。これは生物の発生以前にD-アミノ酸は除去されたからで、生物が生命活動を行うためには左の構造が混在してはならないからなのです。そういうわけで、従来、D-アミノ酸は生命とは無関係なものと考えられてきました。しかし、近年、D-アミノ酸はヒトを含むほ乳類にいたる様々な生命体に多様なかたちで存在し、老化、精神疾患の発症、内分泌制御(ホルモン制御)等にも関係し種々の生理的機能を担っていることが明らかになり、にわかに脚光を浴びるようになったのです。

D-アミノ酸の研究は生命の誕生や生命がなぜ特定の立体構造をもつ分子のみを選択的に利用して進化するようになったのか等の生命的根源的な謎を明らかにする研究から、医学、薬学、タンパク質、ペプチドの研究、ワイン、チーズ、野菜などに含まれるD-アミノ酸の研究、これらのD-アミノ酸を代謝、合成する酵素の研究、D-アミノ酸を含む新しい機能をもった分子の実用に関する研究まで多岐にわたって広がっています。本国際会議ではこれら最前線の研究者を世界中から招聘し、4日間、同じホテルに宿泊し、親しく討議をしました。また、日本文化に親しんでもらうために茶道の体験、姫路城ツアーなども行い、大いに楽しんでいただきました。若手研究者との交流も十分にできたと思います。

最後に本会議に支援していただいた多くの方々にこの場を借りて感謝の意を表したいとおもいます。

## ASKレポート.3 救命講習会受講について 医務室・山本由佳看護師

京都大学原子炉実験所では、救命講習会を熊取消防署の協力の下、毎年実施しており、80名近くの職員がAEDの使用を含めた救命講習会を受講しています。最近は、AEDで救命という話題を目にすることも増えました。しかし、本当にAEDだけで救命できたのでしょうか?救命のためには早期通報、早期心肺蘇生、早期電気ショック、そして早期専門的治療、この連携がスムーズに行くことが大切です。AEDの使用方法を含め、より多くの方が救命処置を行えることが、多くの命を救う第一歩です。(写真:H21.8.7の救命講習会)

※原子炉実験所では原子炉入り口の守衛棟にAEDを設置しています。

