



●核融合科学研究会ニュース 55●



平成27年度総会



第27回講演会

## CONTENTS

核融合科学研究会 平成27年度総会開催される	2
核融合科学研究会 第27回講演会 「常温常圧プラズマを用いた未来の医療 と健康社会への展望」 講師 名古屋大学 教授 堀 勝 先生	3

## 核融合科学研究会 平成27年度総会開催される

核融合科学研究会の平成27年度総会が、平成27年6月16日（火）、岐阜県土岐市の核融合科学研究所管理棟4階第一会議室において、鈴木健一会長（中部電力株式会社 専務執行役員 技術開発本部長）をはじめとして、会員会社、関係者をお招きし、出席者22名および表決委任者18名（総会成立要件満足）で開催されました。

はじめに武藤敬理事（核融合科学研究所教授・研究主幹）より、第1号議案である平成26年度事業報告及び決算報告について、資料に基づき内容の詳細な説明がありました。平成26年度の主な事業としては、核融合科学研究会主催の講演会の開催（平成26年6月12日に特別講演会を、平成27年3月9日に第26回講演会を開催）、第24回見学会の実施（平成26年8月21～22日）、また国内外研究交流の推進として、核融合科学研究所主催の第24回国際土岐コンファレンス（平成26年11月4日～7日にセラトピア土岐にて開催）、第10回核融合エネルギー連合講演会の開催援助を行いました。広報活動としては、核融合科学研究会ニュース『融會』（No.52、53、54）の発行、平成26年度事業報告書の発行、核融合科学研究所オープンキャンパス（平成26年10月25日開催）への支援、また総合研究大学院大学（総研大）核融合科学専攻が開催した「夏の体験入学」（平成26年8月25日～29日）への助成を行いました。また、若手研究者の育成として、総研大核融合科学専攻の学生12名に対する奨学金の支給、特別共同利用研究員に対する研究連絡打合せ旅費の援助を行ったこと等が報告されました。最後に、平成26年度決算報告、財産目録の説明がなされました。引き続き、監事を務める伊藤俊之氏（株式会社北野製作所代表取締役）より会計監査結果の報告がなされ、第1号議案は承認されました。

続いて、武藤理事より第2号議案の説明がありました。第2号議案では、平成27年度事業計画及び収支予算について提案がなされました。核融合科学に関する技術動向の調査や産業界との情報交換、産学連携を進めるため、講演会や見学会を企画、実施すること、若手研究者の育成を推進するため総研大核融合科学専攻の学生や特別共同利用研究員を支援していくこと、核融合科学研究所主催の国際土岐コンファレンスをはじめとする核融合関連の国際シンポジウム等の開催を支援すること、広報活動の一環として核融合科学研究所のオープンキャンパスの支援や、本研究会の活動報告として定期的に刊行物を発行していくこと等について、平成27年度予算案とともに提案され、本議案は承認されました。

第3号議案では、運営事務局委員長でもある武藤理事より、平成27年度の理事、監事、評議委員についての提案がなされました。その結果、理事として、鈴木健一氏、竹入康彦氏（核融合科学研究所長）、武藤敬氏の3名が就任すること、また監事として伊藤俊之氏が留任すること、会員企業より7名の方々が評議委員に就任することが承認されました。

以上の議事終了後、核融合科学研究所の金子修副所長より、核融合科学研究所の近況について報告がなされまし



平成27年度総会の様子

た。研究所の新体制と中期目標について説明がされた後、大型ヘリカル装置（LHD）実験における最新の成果等について報告がなされました。昨年度のLHD実験においては、プラズマのイオン温度7,000万度と電子温度8,800万度を同時に達成したこと、また電子温度1億2,000万度のプラズマを平均密度20兆個/ccという高い密度で達成したこと、ベータ値（プラズマ圧力と磁場圧力の比）4.1%を、これまでより高い磁場（1万ガウス）で達成したことが報告されました。また、重水素実験開始に向けては、機器整備が順調に進められており、安全性の評価と監視体制の構築を進め、平成28年度中の重水素実験開始を目指していることが報告されました。さらに、数値実験炉研究プロジェクトおよび核融合工学プロジェクトの最新の成果についても説明がなされました。会員の関心は高く、熱心に説明に聞き入っていました。

続いて特別講演会が開催されました。講師には、名古屋大学教授の堀 勝先生をお迎えし、「常温常圧プラズマを用いた未来の医療と健康社会への展望」と題して、常温常圧プラズマを用いた医療や農水産関連課題への新しいアプローチ、未来の健康社会への展望などについて大変興味深いご講演をいただきました。ご講演の詳しい内容については、別掲記事をご参照ください。

特別講演会終了後、総会出席者のほかに核融合科学研究所の職員、総研大学生その他関係者等も集い、懇親会が開催されました。会場にはLHDの研究成果等に関するパネルも展示され、会員が研究所員に質問するなどして相互の交流が図られ、盛会のうちに終了しました。

（文責：下妻 隆  
核融合科学研究所ヘリカル研究部  
プラズマ加熱物理研究系 教授）

# 核融合科学研究会 第27回講演会 「常温常圧プラズマを用いた未来の医療と健康社会への展望」

講師 名古屋大学 教授 堀 勝 先生

堀勝先生は名古屋大学大学院工学研究科で電子工学を専攻され、博士号を取得されました。その後、東芝の超 LSI 研究所、名古屋大学、英国ケンブリッジ大学で、薄膜の表面界面物性、電子・電気材料工学、電子デバイス・電子機器をご専門として、プラズマの応用研究を推進されてきました。現在は、名古屋大学未来社会創造機構 人とモビリティ社会の研究開発センター 暮らし・健康基盤部門の部門長、名古屋大学プラズマ医療科学国際イノベーションセンターのセンター長を務められており、近年、脚光を浴びているプラズマの医療応用分野を切り開いた第一人者としてご活躍をされています。



堀勝先生

みなさんこんにちは。名古屋大学の堀でございます。今日は『常温常圧プラズマを用いた未来の医療と健康社会への展望』という内容で、常温常圧プラズマとそれが築く新しい未来についてお話をしたいと思います。最初に常温常圧プラズマ、特に、プラズマとはどういったものなのかをお話した後、プラズマの医療応用、最後にプラズマによる未来の健康社会の創造に対する私の夢をお話したいと思います。

はじめに、プラズマとは何かということをご説明します。物質は、固体から温度を上げていくと、液体、さらには気体になります。これが物質の三態と言われている。そこで、気体にさらにエネルギーを与えると物質はプラズマ状態になります。この状態は電氣的には中性です。実は古代からこのような状態があるというのは予言されていました。人間にとって物質の三態は身の周りにありますが、宇宙全体から見ると物質の三態はマイノリティで、宇宙の99.9%はプラズマです。137億年前にビッグバンが起り、宇宙ができたのですが、その中で生物が育まれるのに非常に適した環境が地球にあったと考えられます。この地球に生命が生まれたわけですが、では、生命の起源は何なのか、少なくとも人類の進化において、地球にそそぐ電離気体、プラズマが生命に影響を与えてきたことは間違いないと思われま。宇宙で生まれたプラズマによって人類が生まれ、現在、その人類がプラズマを使って、永遠なるエネルギーを得ようという核融合プラズマの研究を、そして、低

温プラズマという領域で主に産業化を進めているところです。実は携帯電話やコンピューターも、プラズマを使って作られています(図1)。具体的には、LSIを製造する工程の70%で、プラズマが道具として使われているのです。逆に言えば、プラズマがなければ携帯電話もコンピューターも作れませんし、鉄器時代に戻ってしまうかもしれません。そういった意味で、プラズマは万物の根幹をなす非常に重要な状態であると考えております。そのプラズマを用いた研究が、現在、生命科学の分野に進もうとしています。そういったプラズマ研究の展開を見ておきますと、人類が一体どこからきて、そしてどこに行くのか、プラズマ研究を突き進めることでわかるのではないかとこのロマンを抱いております。

プラズマという名前は1928年にLangmuir博士によってつけられました。プラズマ中には電子、イオン、ラジカル、光、そしてもう一つ、電界といったものが存在します。Langmuir博士は、当時、細い真空管の中に電界をかけてプラズマを作った時に、真空管の形が変わると、プラズマも同じように形が変わりますので、名前をつけたいと思いました。Langmuir博士がネーミングした経緯はいろいろな文章に残っておりますが、博士はその時に血液を連想しました。血液、いわゆる血漿が、当時、プラズマと呼ばれておりましたので、そこから命名しました。Langmuir博士がオリジナルではない名前をつけたために、現在、いろいろな問題が生じています。たとえば、血液にプラズマを当てているという文章は、“Plasma was exposed to the



講演会会場の様子



図1. プラズマ科学の拡がり (ご講演資料より)

plasma”と表現されますので、どっちがどっちのプラズマなのかわからなくなってしまう状況もあります。これまではプラズマと生物には大きな隔たりがあったのですが、現在は、それらは非常に密接な関係を結ぼうとしていますので、このような表現上の問題も出てきました。

通常、プラズマを真空容器の中で作って電界をかけますと、プラズマはその領域に光って存在し続けます（図2）。このようにして作られたプラズマは、ほとんどすべての産業を支える科学技術の根幹になっております。すなわち、人工のオーロラが、ものづくりのけん引役を担ってきたと言えます。このようなプラズマをどのようにして作るかといいますと、分子に電子を衝突させると、分子から一個電子が飛び出してイオンができ、プラズマ状態になります。これが非常に重要なプロセスです。1エレクトロンボルトが11600ケルビンに相当しますので、わずか10ボルト程度の電圧でプラズマが生成されます。熱エネルギーではなくて、このように、電子の衝突といったプロセスでプラズマが生成されますので、半導体等のプロセスを応用する場合に、基盤の温度を上げなくても分子を非常に低温で分解することができます。

そのようなプラズマの中で、さらに非常に重要な役割を演じているのが、ラジカルと呼ばれる中性活性種です（図3）。水素分子に電子が当たると二つの原子状ラジカルができます。あるいは、メタンに電子が当たると、さらに複雑な化学種ができます。実は、ものづくりのプラズマプロセスで非常に重要な役割を果たしているのが、このような中性ラジカルと呼ばれるものです。今日のプラズマ医療においても、プラズマの物理的な要素よりも、プラズマのラジカルを中心としたケミカルな要素が、生物に対してより

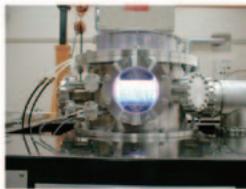
大きな影響を与えています。電子とイオン、そしてラジカルをうまくコントロールして、ものづくり等に应用するのが、いわゆるプラズマプロセッシングです。このようなプラズマは、真空中で生成すると、電子のエネルギーを非常に大きくできるため、ガスの温度を低く保つことができます。ラジカルをうまく使って、プラスチックの上にダイヤモンドを作るといったこともできます。通常の熱プロセスでは、非常に高い温度にしなければダイヤモンドはできないのですが、室温でダイヤモンドを作ることができるということで、プラズマが工業に爆発的に応用されました。

プラズマ研究者にとって、プラズマを生命に当てたいという考えは、誰でも一度は思いつきますが、真空中に生物を入れることはできません。一方、生体のいる大気圧とか液体の中でプラズマを作ろうとすると、分子同士の衝突頻度が大きいので、温度が上がって熱プラズマになってしまいます。ガスの温度は5000度以上の高温です。ところが、最近、放電や流体をうまく時空間制御することによって、大気圧や液中の中でも非平衡のプラズマ、いわゆるガス温度が低くて電子温度が高いプラズマを作ることになりました。ちょうど10年ほど前からこのような研究が活発に行われ、真空チャンバーもいりませんので、非常に低コストで早いプロセスが実現できるようになりました（図4）。ところがある時、米国の研究者等がこのようにして作られたプラズマを生体に当て始めました。当初の目的は滅菌・殺菌ですね。菌にプラズマを当てると菌は死滅しますが、プラズマを作ると強い紫外線も発生しますので、この結果は予想できたことでしたが、だんだん、いろいろな研究者がプラズマを人体に当て始めると、非常に奇妙なことが起きることがわかりました。今では、プラズマ科学、あるいはその関連の学会では、7割近くが大気圧プラズマの研究、そしてそのほとんどが、生体にプラズマを当てる研究になろうとしています。

ところが、今までの人類の歴史を振り返ると、生体に熱プラズマが当たるような例は、自然界のいろいろな所で見られるわけです。雷が落ちますと、木が真二つに割れたりしてしまいます。雷は熱プラズマですから、当然、人体に雷が当たると真っ黒焦げになります。このプラズマを真剣に人体に当てて、よみがえらせようという試みがフランケンシュタインです。人体にプラズマが当たると人体が蘇るのではないかと想像したわけです。それくらい、プラズマ、あるいは雷といったものが、人間にとって非常に神秘的で

### 人工のオーロラ…プラズマ

真空中にガスを入れて放電させる



蛍光灯、ネオン管、プラズマディスプレイ  
携帯電話、パソコンなど、プラズマを使って製造している  
ほとんどすべての産業を支える基幹科学技術

図2. 人工的なプラズマの作り方（ご講演資料より）

### ラジカルの生成

ラジカル：活性で短寿命の中間化学種  
解離： $XY + e \rightarrow X + Y + e$  ( $H_2 + e \rightarrow H + H + e$ )

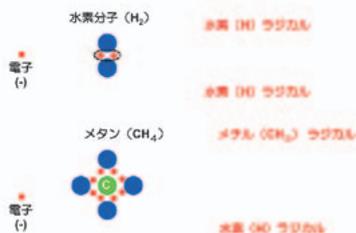


図3. ラジカルとは（ご講演資料より）

### 常温常圧プラズマによる次世代健康・医療・福祉の創出

熱くないから手でさわることできる……



工業・医療・農水産業の革新

図4. 常温常圧の大気圧プラズマ（ご講演資料より）

あり、刺激的なものであったのではないかと思います。当然これはフィクションの世界ですので、実験をしているわけではありません。ところが、プラズマ研究の古文書をひも解いてみますと、Langmuir がプラズマという名前をつける以前、1786年に、ドイツでご婦人の顔にプラズマを当てて、何かの治療をしている例が見られます。また、静電気を使ったプラズマ、あるいは放電ですが、平賀源内がエレキテルと称して、人の頭にプラズマを当てて、何らかの治療をしている例も見られます。さらには、1800年代には、食物に高電圧をかけると、成長が早くなるといった、非常に怪しげな事例がいくつもありました。

ところが、当時の人類は、プラズマに対する物理化学もわかっていませんし、計測手段もありませんので、プラズマはきちんとした科学にはなりません。科学の無いところに工業もありませんので、プラズマがクローズアップすることがあまりなかったわけです。しかしながら、このような大気圧のプラズマは容易に手で触ることができます。手は熱くなりません。そこで、いろいろな方々がプラズマを生体に当て始めるとたくさんの面白い事例が出てまいります。潰瘍、やけどですが、これにプラズマを当てると非常に早く血が止まって潰瘍が治ります。ご婦人の顔にプラズマを照射するとしわがとれる。あるいはただれた潰瘍にプラズマを当てると治る。また、細胞レベルですが、今日お話する卵巣がんにはプラズマを当てると、卵巣がんのみが死滅する。正常細胞は影響を受けない。絶対治らないメラノーマもプラズマで小さくなる。そして現在では手術の時に、高周波で作った熱プラズマを使って出血を止めますが、低温プラズマを使うと、やけどもなく、臓器の付着もなく、きれいに手術をすることができる。ここまでいくと、事例だけ見ると、本当の医療に利用することができるのではないかと考えるようになります。ただし、科学が無いところに医療はありませんし、医療を目指さなければそのための科学基盤も形成されません。今から5年くらい前に、プラズマ応用を取り巻くこのような状況を見て、プラズマを何とか医療に使えないかということで研究を始めました。当初は、プラズマでがん細胞が死ぬと聞いても、殺すのはいくらでもできるだろうと、紫外線もたくさん出ていますし、活性酸素も出ていますから、がん細胞が死ぬのは当然だと思いました。しかしながら、いろいろと考えてみると、ひょっとすると正常細胞は死なないかもしれない、というような考えに掻き立てられました。そして、名古屋大学の医学研究科長と病院長を訪問して、プラズマの医療応用の研究を一緒に始めました。

最初のターゲットは卵巣がんでした。卵巣がんは少し進行すると、もう治すことができないと、そしてこの卵巣がんは腹膜播種といって、水中に浮いているがんなので、手術もすることができず、多くの方がこれで亡くなっていると聞きました。それで、プラズマが本当に治療に効果があるのであれば、産婦人科の先生と共同で研究して、このような手術でも治らないがんを退治したらどうかと勧められました。がんが転移してしまうともう、お医者さんは何もしないそうです。そのまま、もう一度おなかを閉じるだけ

です。今までは、大切な人がこのようになっても祈るしかなかったのですが、現在はプラズマ研究者が医者と組んで、こういったがんを治すチャンスが生まれてきています。我々の研究室は、このがんの治療のために、常温常圧のプラズマを作りました。レーザートムソン散乱計測等、いろいろな方法で確認したところ、密度は約  $6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  でした。密度が  $10^{17} \text{ cm}^{-3}$  くらいになると、さすがに熱プラズマになってしまいます。この非平衡の低温プラズマは、二つの電極の間にセラミックを介して作ったプラズマビームに上からガスを流して、その下方に生成されます。ガス温度は2000ケルビンです。非平衡大気圧プラズマに手をかざしても熱くは感じません。しかし、長い間当てていると温度は上がっていきます。こういったプラズマの領域にサンプルを置いて、がん治療の実験を始めました。最初は何でもやってやろうということで、産婦人科の先生に指導を受けて、卵巣がんの位置にプラズマを照射しました(図5)。その時に医者からも言われたのが、がんは3度か4度温度が上がったら死ぬ、プラズマ照射して pH が強い酸性になったら死ぬということです。サンプルにプラズマを当てて、その二つの効果が入っていたらプラズマの効果ではなくなるので、絶対に温度を上げずに、pH も変えずに実験をしようということで、培養液とプラズマの工夫をしました。どういう工夫をしたかといいますと、まず卵巣がんにはプラズマを当てます。ガスはアルゴンです。そこで、がんにはプラズマを当てた瞬間に培養液を新しいものに変えました。細胞は1分くらいプラズマが当たった培養液の中で過ごしていますが、照射してから1分以内に新しいものに変えます。温度は1度たりとも変わっていません。pH も変わっていません。このような条件でこういった結果になったのか、顕微鏡でのぞいてみました。すると、卵巣がんの細胞と、卵巣がんを取り巻く正常細胞がありますが、卵巣がんの細胞は丸くなって確実に死んでいます。分子生物学的な解析をした結果、アポトーシスで死んでいることがわかりました(図6)。一方、正常細胞は良く見ると少し元気になっています。

これで私の新しい研究テーマが決まりました。なぜ、がん細胞だけ死ぬのか、そして、これがうまくいけば、がん治療ができるのではないかと考えました。体を傷つけずにがん細胞だけを殺すことができるという現象です。論文に発表し、新聞にも取り上げていただきました。この後、驚いたことに、名大病院には一日に3000件の電話がかかってき

## 第四のがん治療を目指す

抗がん剤、放射線、手術、**プラズマ**



がん細胞にプラズマを照射する。

16

図5. がん細胞へのプラズマ照射(ご講演資料より)

卵巣がん細胞と正常(線維芽)細胞をプラズマ照射

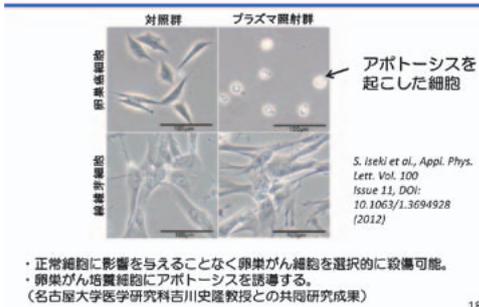


図6. プラズマ照射による卵巣がんの治療 (ご講演資料より)

ました。私の体を使ってほしい、救われる道についてたどり着きましたと、それが3日間続いたそうです。今まで半導体の研究をしてきましたが、半導体には歩留りという言葉があり、80% デバイスができればこれだけ生産が増すという感覚の世界で生きてきました。しかし、医学の分野では歩留りという言葉は決して使ってはいけません。生命にかかわる技術というのは120% 確実ということまで突き詰めないと使われず、そこまでやらないとだめだということで、緊張感と使命感を持って研究を始めた次第です。

それでは、細胞レベルではありますが、卵巣がんについては成功しましたが、他のがんにも効くのかどうかを調べるために、脳神経外科の先生にも共同研究のグループに入ってもらいました。脳のがんというのは、どこまでががんなのかがはっきりとはわからないので、完全に取りきることはできません。このようながんに対して、脳神経外科の先生から、プラズマなら治療できる可能性があるのではないかと言われました。この脳腫瘍は、いわゆるグリオーマといわれる細胞です(図7)。実験によって、このグリオーマが、卵巣がんと同じようにアポトーシスで自死させるころまでいきました。ところがここでちょっと、おやつと思いました。実験では培養液の中に腫瘍細胞を入れてプラズマを照射していますので、実は、プラズマが最初にあたるのは細胞ではなくて、培養液なのです。そこで、この培養液にまずプラズマを当てておいて、その培養液を細胞に与えようと考えました。それによって、細胞に対して培養液の効果が無ければ、グリオーマの自死とプラズマ照射とに何らかの因果関係があるということになります。そうすると面白いことがわかりました。グリオーマはプラズマを

脳腫瘍細胞:グリオーマ

- ・脳腫瘍の25~30%がグリオーマ細胞である。
- ・グリオーマには**非侵襲性があり、遠い正常神経細胞との境界をもつのが特徴である。**
- ・外科手術で周りの神経細胞をなるべく傷つけずにグリオーマを切除するのが困難である。

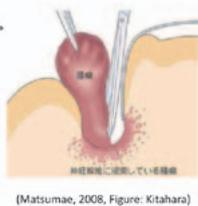


図7. 脳腫瘍細胞グリオーマ (ご講演資料より)

ダイレクトに当てなくても、プラズマを照射した培養液で死んでいたのです。一方、正常細胞には全く変化が見られません。非常に大きな選択性を持って、プラズマ培養液が、がん細胞を殺しているということがわかりました(図8)。

このプラズマ活性培養液は、生体に直接プラズマを照射しなくても良いので、さまざまな医療応用の可能性があります。この時点においては、安全性等については確認中でしたが、このプラズマ活性培養液を用いれば、うまくいけば手術の難しい症例に光をもたらすということで、新聞発表を通して市民の皆様様に報告をさせていただきました。それではこの培養液はオールマイティなのでしょうか。そこで、プラズマ活性培養液の耐久時間がどれくらいあるのかを調べました。培養液を作って、1時間、8時間、18時間空気中に放置して、同じ実験をしました(図9)。図中の赤色のバーががん細胞です。8時間まではがん細胞を殺す効果は保たれますが、18時間経過するとその効果が無くなることがわかりました。これをどう捉えるか、私は8時間もてば十二分であると考えます。もっと面白いことは、8時間生きている何かが溶液の中にあるということです。ラジカルなら1分くらいで溶液の中で消滅してしましますが、それではなくて培養液中に8時間存在しているものについて、18時間たつといなくなるというのが面白いと思ったわけです。なぜなら、もし、こういうものがうまくいくのであれば、これまでに薬科学等の分野で実用化されているわけですね。けれども今までの概念では、薬というのは、長い間もたなければ使えなかった。8時間しかもたないような薬というのは今まで薬学の研究者も研究しておりませんし、認可を受けたこともありません。そういう

プラズマ活性培養液でがんを選択的に死滅させる

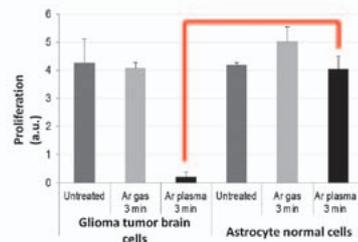


図8. プラズマ活性培養液によるグリオーマの死滅 (ご講演資料より)

プラズマ培養液の品質保持期限(8h<T<18h)

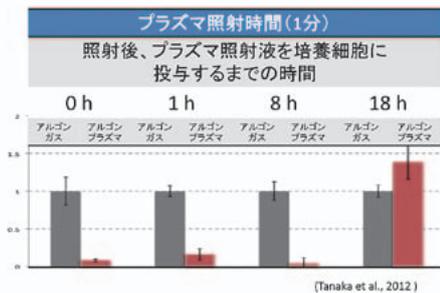


図9. プラズマ活性培養液の有効性の時間変化 (ご講演資料より)

意味で、がんに対してこのようなラジカル的な活性種があるような特效薬というのは、今まで誰も試していないのではないかと考えました。そして、通常の化学合成ではできないような何かが、非平衡のプラズマと培養液が相互作用した時にできると、それは新しい現象であり、プラズマの応用が広がっていくのではないかと考えたわけです。それでは実際に、細胞にプラズマ活性培養液が接した時に、何が起きているのでしょうか。今までは、プラズマ研究者はプラズマと培養液との相互作用までしか研究していなかったのですが、いよいよプラズマ研究者が細胞にメスを当てるところまでできています。

今、非常に多くのプラズマ研究者が、プラズマで変化した細胞の中を探ろうという試みを行っております。すなわち、最先端の分子科学を使って、プラズマ照射された細胞の様子をプラズマ研究者自身が見ることによって、新しいプラズマ生命科学が芽生えるのではないかとこのところにチャレンジをしています。分子生物学の歴史における画期的な発見は、1953年にDNAが二重らせんを持っていてそこに全ての遺伝子が隠されていることがわかったことです。その遺伝子が構造を作り、RNAができて、RNAがタンパク質を作って、順番に生命体をプログラムしながら作っていきます。その過程における、シグナル伝達等のメカニズムが、今、分子生物学や基礎医学者の中で活発に取り入れられて、がんの解明の研究や、遺伝子制御の研究に使われています。細胞の中には非常に多くのたんぱく質が含まれています。細胞壁の中に核があります。ある刺激を受けるとタンパク質同士の構造が揺らぎながら、その刺激に適合するかどうかという過程を通して、シグナルが伝達していきます(図10)。リン酸化というのがこの過程の一つです。リン酸化によって一つ一つのたんぱく質が活性化されて、シグナルが伝わっていきます。細胞増殖に関係したシグナルが伝達されると細胞は成長していきます。逆に言えば、細胞死のところまでシグナルが届くと、自動的に回路が働いて細胞は死にます。がん細胞ではこの細胞増殖の因子が、永遠に働き続けます。ですから細胞がどんどん増えて死なない。正常な細胞は傷つくと、例えばDNAが一個外れたりして傷つくと、修復しようとします。修復ができないとわかると、シグナルが働いて細胞死を起こして、自動的に活動が停止します。一方、がん細胞は『死にません』というシグナルが細胞の中で働き続けているわけです。

プラズマ入力が細胞に及ぼす影響

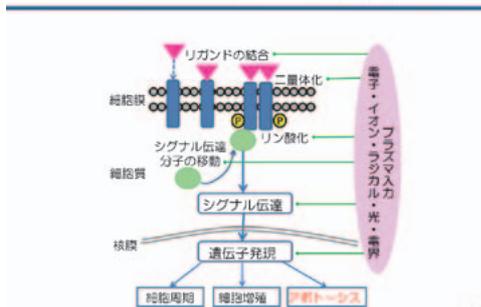


図10. プラズマによる刺激の細胞への影響 (ご講演資料より)

そこで、先ほどご紹介したプラズマ、あるいはプラズマで活性化された培養液が、細胞の中でどんなシグナルを働かせているのか、現在、しらみつぶしに調べています。一例を見てみますと、プラズマによって刺激を受けて、ここでリン酸化がおきてシグナルが伝わっていきます。そのシグナルが細胞増殖の方に働けばがん、アポトーシスの方に働けば細胞自死になります。抗がん剤治療というのは、薬によるケミカル反応で、がんを殺しているわけです。すなわち、うまくシグナルを制御できれば、がん細胞をストップさせることができるわけです。

それでは、プラズマもがんを殺しているわけですから、どのようなシグナルが働いているのかを明らかにしなければいけません。すなわち、顕微鏡観察で得られた結果を形態学的に見ると、細胞はアポトーシスに向かっているのではないかと予想されますが、そこをきちんと調べてみる必要があります。カスパーゼというたんぱく質があります。これは、アポトーシスに至る一歩手前のたんぱく質ですが、これに着目した一例をご紹介します。プラズマ照射をした細胞、あるいは、プラズマ活性培養液に浸した細胞は、このカスパーゼが活性化されていました(図11)。すなわち、確実にアポトーシスに至るところのシグナル伝達が起こっていて、がん細胞が非常にソフトに死んでいるのは間違いなことがわかりました。それでは、細胞増殖の方はどうかというと、細胞増殖に至るシグナルはいくつもあるのですが、今回はAKTというシグナルに注目しました。AKTを見てみますと、プラズマ照射したものは、細胞増殖因子のたんぱく質がダウンレギュレートされていることがわかりました。すなわち、がん細胞の成長の息の根が止まり、そして、アポトーシスに至っています。この二つが非常にうまく作用していることがわかりました。現在、このAKTのみならず、MKTやERTといったシグナルをしらみつぶしに調べることによって、どの因子がどこに作用しているかというのがおおよそ明らかになってきたところです。確実に言えることはがん細胞が増殖を止めて、アポトーシスに至っているということです。

そうすると、プラズマ研究者としてやらなくてはならないことは、プラズマと培養液の界面では何が起きているのかを明らかにすることです。まず一つは、大気圧プラズマがどのような活性種と光を生成しているのか、そしてそれが培養液に当たった時に何が起きているのか、ここをきち

プラズマ培養液によるアポトーシス(分子マーカー)

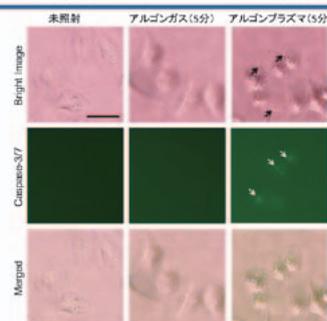


図11. プラズマ活性培養液によるカスパーゼの活性化 (ご講演資料より)

んと計測する必要があります。そして、計測による診断が重要です。病院に行くと、検査としていろいろな計測を行って、最後にお医者さんが患者に何が起きているのかを判断します。それと同じようなことをプラズマ研究者と医科学者と分子生物学者とでやっていきたいということです。プラズマ研究者ができることは、まずは大気圧プラズマの中に、どのような活性種がどれくらい存在するのか測ることです。プラズマの生成にアルゴンのガスを使っていますが、周囲は開放状態の空気ですから、直感的にはそこで作られる活性種は、電子とイオンの他に、酸素原子や窒素原子のラジカルと考えられます。しかし、この酸素原子や窒素原子の測定は難しいです。特に絶対密度で測るのは非常に難しい。そこで、名古屋大学で開発した非常にコンパクトな真空紫外の原子吸収分光器を使って計測しました(図12)。それと同時に、名大では可視から真空紫外まで測定できる大型のレーザー二台を使って、分子状ラジカルの計測も行っています。シュリーレンという現象を利用して、大気圧プラズマができていく領域の流れを解析した結果を見ますと、あるところまでは、アルゴンプラズマはしっかり存在していますが、培養液の近辺では流れが乱れています。乱れているというのはここで乱流が発生していて、アルゴンガスだけではなく、周りの空気もこの中でミックスした状態で、励起、あるいは解離しています。それを原子紫外吸収法で測ります。イメージとしては、先ほどの装置で原子状ラジカルが吸収する特定の光を照射します。真空紫外です。ある特定の光だけが吸収されますから、そこから、どのようなラジカルがどれだけいるかを絶対密度で測ることができます。それらをきちんとモニターして、フィードバックをかけて、絶えずこのような原子状ラジカルの密度が一定の量で照射されるようにコントロールしています。分子状の粒子として、窒素と酸素のラジカルが存在する場合、NOのラジカルが生成されます。そういったものについては、横からレーザー光を当てて、そのNOを励起させて光らせます。その光を見ることによる、いわゆるレーザー誘起蛍光法で、この分子ラジカルの空間分布を測定します。下流域になるにつれて、濃度が低くなりますが、それでも比較的大きな領域にNOの分子が広がります。すなわち、まずプラズマヘッドでプラズマが作られます。そして、空気とアルゴンプラズマが混ざります。真空紫外光はプラズマ領域ではたくさん存在していますが、クエンチングを起こすので、非常に少なくなります。すなわち、

プラズマから発生する原子、分子を見る。  
(名古屋大学が持つ世界トップの技術)

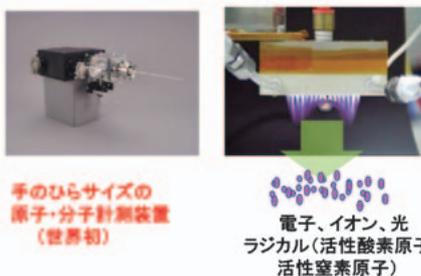


図12. コンパクト分光器によるラジカル密度測定 (ご講演資料より)

光と電子とイオンの影響はほとんど無視しても良いくらい減少します。一方、NOの分子と窒素原子は増えていますが、酸素原子は減少します。酸素が減少している理由は、酸素原子が酸素分子とぶつかってオゾンができています。このような観測から、オゾンとOとNとNOが培養液に入って行っているというところまで明らかにしました(図13)。

このようなラジカルが培養液と反応するとどうなるのでしょうか。培養液は有機化合物ですので、ラジカルと反応した培養液には、それらのラジカルと、有機化合物がラジカルによって酸化されたもの、窒化されたもの、そして、OHラジカルとH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、そしてHNO<sub>3</sub>とNO<sub>2</sub>、こういったものが混ざった状態で存在することになります。現在、わかっていることは、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>は確かにそのような効果があるということです。しかしながらH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>だけではその効果は完全に説明することはできません。また、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>とNO<sub>2</sub>を混ぜますと、さらにかんを殺す効果が増しますが、しかし、それではやっぱり説明できない。一番大きな効果を持っているものは、有機化合物のCH結合のクラスターにOとNが混じった粒子とH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>とNO<sub>2</sub>、これらの複合体でした。iPS細胞を発見した山中先生も、遺伝子を1個入れただけでは細胞はリセットできなくて、4個入れないと生命体がリセットしないことを明らかにしましたが、これも一緒です。すなわち、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>だけ、NO<sub>2</sub>だけ、そして、培養液を酸化したものだけ、それだけではだめです。これらがうまく相互作用した時に生体のチャネルが開く、あるいは、生体がシグナルを出すような刺激を感じ取ります。単純化も重要なのですが、単純化しながらも、ある複合体を一つの領域、集団とみなして、相互作用を解明していかななくてはならないような、複合体のケミストリーが重要になってくるのではないかと考えております。そうした観点で見ると、プラズマも4つの粒子の塊ですから、複合体の科学と呼ばれるのではないかと考えております。

ここまでのところ、細胞レベルではうまくいってありますが、これが本当に手術に使えるのか、まず、マウスを使って実験をしました。そしてもう一つは、生体にプラズマをダイレクトに当てる方法は、皮膚がんなどでは有効ですが、一方、体内のがんにつきましては、プラズマ活性培養液を注射で体内に入れることで、うまくいけば治すことができるかもしれません。ここで、普通の卵巣がんと抗がん剤耐性の卵巣がんを用意しました。抗がん剤耐性の卵巣がん

電子、ラジカル、光および電界が誘発する溶液反応の解明

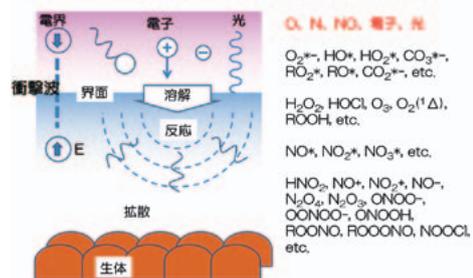


図13. プラズマ照射時の培養液界面での反応過程 (ご講演資料より)

は、すなわち、医者としてはもう治しようの無いがんです。抗がん剤の量を上げていきますと、確かに普通のがんは死にますが、この抗がん剤耐性のがん、手術等した後に抗がん剤を打ちますけども、あるときに抗がん剤が効かなくなってしまう、生命を停止させる、そういったがんです。それらをマウスに意識的に作ります。そこに先ほどの培養液を皮下注射すると、がんの腫瘍が小さくなることがわかりました(図14)。重さで測ると非常にはっきりしています。普通のがんについては、培養液を注射したものは、非常にかんが小さくなっています。そして、抗がん剤耐性のがんのマウスでも、プラズマ照射培養液を注射したものは、がんが小さくなっています。お医者さんとしては、抗がん剤耐性のがんで、もう治らなくなったマウスに対して、効果があるというのは見たことが無いということでした。ということで、現在、夢中になってこのメカニズムや、安全性を議論しています。一番の課題であるこの腹膜播種というのは、おなかでできたがんで、液体の中に浮いています。これをきちんと殺したいというので、先ほどのプラズマ活性培養液を入れてドレーンで抜きます。そして、がんの発生状態を見たところ、普通の培養液だけだとがんだらけになってしましますが、プラズマ照射した培養液を入れた場合は、まったくがんができてこないということがわかりました。これについても、今、安全性等を確認している段階です。ここまでいけば少し威張っても良いだろうということで、医療の方で書いてもらいましたが、PLOS ONEに論文を出し、新聞発表をした次第です。

さらに、このプラズマ活性培養液は、がんのみならず、非常に面白いものにも効果があります。目の治療です。これは昨今、山中先生と理研の高橋先生が、最初のiPS細胞の適用事例としてなされた加齢黄斑変性についてのものです。これが医療できちんと治ったというものです。実はその発表の時に我々も同じような研究を進めてまいりました。マウスの目にレーザーを当てて、加齢黄斑変性を意識的に作ります。このマウスに先ほどのプラズマ培養液をかけますと、見事にこの新生血管が小さくなって加齢黄斑変性を治すことができることがわかりました(図15)。iPS細胞を使う場合は10カ月かかる、費用もたくさんかかります。しかし、これがうまくいきますと、培養液を注射で打つだけですから、ものすごく安価に治療ができる可能性があります。安全性も確認しました。眼底、レンズに全く異

常はありませんでした。このように、安全性も確保した上で、難病である加齢黄斑変性も治る可能性があるということまでできました。今日は、脳のがんと加齢黄斑変性と卵巣がんについて話しましたけれども、現在、胃がんについてもマウスレベルで効果が見られています。病理的な検証をして、安全性も確保されています。そして、メラノーマについても効果があるところまで確認しております。治療に使えるところまで持っていくのは、まだまだ、道のりは遠いと思います。陽電子治療やiPS、さまざまな方法がありますけども、プラズマによる第四のがんの治療手段の確立に向けて、少しでも頑張ろうと思っています。

皆様方はこういった話を聞いて、自分は何歳まで生きられると思われませんか? 研究室の学生にいろいろ話を聞いてみると、だいたい100歳まで自分たちが生きられると思っっているようです。それは多分、确实だと思います。iPS細胞の技術が発達すれば基本的に臓器を取り換えることができますので、100歳以上まで生きられる可能性があり、さらに、プラズマ治療とiPSをうまく組み合わせて使えば150歳くらいまで生きられるのではないかとというのが今の私の夢です。150歳まで生きて何をやるのかというのが、実は一番の問題かもしれませんが、そういった寿命スパンで考えられる時代になってきたのかもしれない。重要なのはこの150歳までの人生の中で、健康でないだめだということです。我々人類を脅かすものはがんだけではありません。例えば、江戸時代に最も致死率が高かったのが感染症です。人類が感染症を克服するのはものすごく厳しいと思います。あっという間に突然変異を起こして、耐性の菌ができますから、永遠に人類との戦いが続くと思われま。昨今では、エボラにはじまって、そして今度はコロナウイルス、そう簡単に根絶できないわけです。そうすると、人類の次の課題は感染症と食糧難、そしてこのようなコロナウイルスとの戦いになります。なぜかという150歳まで皆さんが生きたら、食べ物が無くなるに決まっています。安全な食べ物を確保して、そして感染症と戦う、ここにプラズマがうまく使えないかという研究を今、行っています。まずウイルスを殺す、これは、局所的なら確実に殺すことができます。プラズマから出る活性酸素を用いることで、ウイルスがいくら強くても全て燃やしてしまえば灰にしかなりませんので、感染を根絶することができます。この方法は非常に重要です。そして次はエボラとかコロナウイルスです。実はプラズマ活性培養液は濃度を濃くすると、が

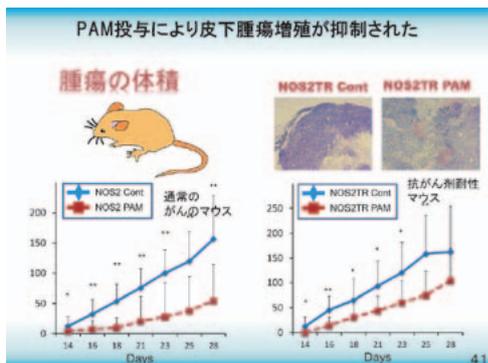


図14. プラズマ活性培養液による抗がん剤耐性がんの抑制の実証(ご講演資料より)

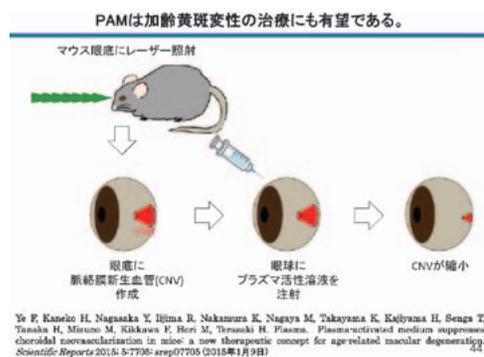


図15. プラズマ活性培養液による加齢黄斑変性治療の実証(ご講演資料より)

んのみならず正常な細胞含めていろいろなものを殺してしまいます。ですから、ウイルスも殺すことができるだろうと思われま

す。もう一つは食糧難です。こういったものに対するプラズマの適用の可能性を示すためには、そのための設備が必要です。我々が最初に対象にしたのは、みかんに生えたアオカビです。アオカビは非常に強い菌です。現在、みかんの消毒にはメチル化臭素を使っています。これは地球温暖化ガスで、本来は使えないのですが、柑橘類にだけは許されている消毒法です。そして、みかんにプラズマを当てるとカビの胞子は完全に死滅することがわかりました(図16)。ですから、うまくできればエボラもコロナウイルスも殺すことができるのではないかと思います。我々の研究室では、みかんにプラズマを当てると、みかんにカビが生えないところまで実現しています。プラズマ照射すると腐らないみかんができるということは、食糧難の問題に対して、非常に朗報な技術ができたと言えます。アオカビについても、ただ殺すのではなくて、分子生物的方法で、なぜ死んでいるのかというのを解明する必要があります。

そして、こういった研究を進めていくと、プラズマを照射して食料の成長を早くできないか、という考えが思い浮かびました。そこではっと思い浮かぶのは、イナズマです。イナズマという言葉がなぜできたのかご存知の方もいらっしゃると思いますが、私が知ったのは最近です。イナズマというのはプラズマですね。イナズマは妻に由来します。つまり、稲の妻です。古来、稲の実がなるころに雷が多いことから、雷光が稲を実らせるという信仰がありました。「つま」というのは古くから恋人とか夫婦という意味で、本来は男も女も区別はありません。すなわち、雷が落ちているところで、稲は非常に成長が早い。そのようなことで、このイナズマという名前がつけました。古代の人たちは知っていたのです。プラズマを、雷をうまくコントロールして畑に当てれば、作物の成長が促されると。我々は稲穂の民族ですから、この雷と食べ物の中に重要な関係があるということを実は知っていたのです。そうすると、我々の興味は、このプラズマが当たったところ、これは熱プラズマですからやけどして使い物になりませんが、イナズマの周辺は低温プラズマになっているわけです。ラジカルがたくさん出ています。雨が降っていますからプラズマ活性水の雨の中で、この土壌にいる細菌等が、影響を受けてい



図16. プラズマ照射によるみかんの滅菌 (ご講演資料より)

るのです。何億という細菌の中の一つでも二つでも、この影響を受けて突然変異を起こしたら細胞は進化していきます。それによって、DNAの二重らせんの所からペアができて、四重のペアができた時に脊椎動物が生まれたという説が今、支持されています。重要なのはプラズマが落ちた周辺で何が起きているのかを調べることです。こういった研究を我々のプロジェクトでは始めています。

将来はiPS細胞を使って、150歳まで生きるために自分の臓器を作っておくことになりませんが、この問題点は、4個の遺伝子を細胞の中に入れるということがものすごく難しいということです。細胞が傷ついたりするので実はそう簡単には作れないわけですね。ポイントはこの4個の遺伝子をどのように入れるかということです。プラズマを使って細胞の中にうまく遺伝子を入れることができないかという研究を愛媛大学の神野先生が行っています。細胞が入った溶液の中に遺伝子を入れていって、そこにプラズマを当ててみるわけですね。そうすると何が起きるかという、プラズマが直接当たったところは、遺伝子は入りません。そこは細胞が死んでしまっています。しかしながら、プラズマを当てた周辺では遺伝子が細胞の中に入っているのです。まさに古代、雷が落ちた周りでいろいろな生物、生体、あるいは、菌かもしれませんが、細胞に遺伝子が導入されていたことを示唆しています。おそらく、こういった効果が多分あって、人類が進化してきたのは間違いのないものと私は確信しております。

しかしながら、現実問題として、iPS細胞を作るときには4つの遺伝子を入れなくてはなりませんので、その効率を上げるための実験をしています。すなわち、細胞と遺伝子を置いてプラズマを照射する実験です。これは東北大学の金子先生の実験ですが、溶液に入っている細胞と遺伝子の深さを変えながらプラズマを照射すると、周辺部分の溶液の量が少ないところで、遺伝子が見事に入っています(図17)。さらに近づけると、さきほどの、雷が当たったところと同じように細胞は死んでしまいます。適度な近さでうまく入ります。すなわち、プラズマと細胞の距離依存性があるということは、そこに電界の影響が存在していると言えます。電界とプラズマと培養液の相互作用で化学活性種が生まれます。そして、その化学活性種と細胞と遺伝子との相互作用によって、細胞の中に遺伝子が入ります。すなわち、その相互作用が起こった時に、細胞の壁のチャンネルが開くか、あるいは、その刺激を受けてシグナルが働い

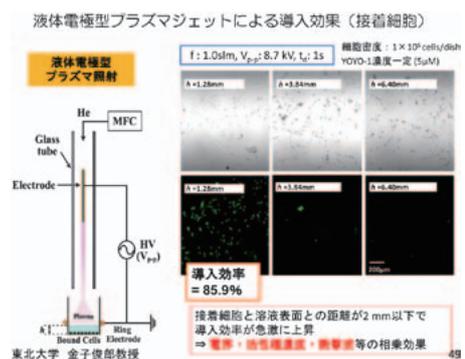


図17. プラズマ照射による細胞への遺伝子導入 (ご講演資料より)

て、遺伝子が導入されていると考えられます。この実験での遺伝子の導入効率は85.9%にも上ります。これまでのところ、プラズマによって培養液中にできた、OやOHのラジカル、あるいは酸化有機化合物、これらの刺激によって、細胞の中であるチャンネルが開き、そこに電界がかかることによって、細胞の中に遺伝子が入るところまでわかりました。これも複合的な作用ですね。プラズマによって生成されたラジカルと電界、その二つの複合的な要因で遺伝子を導入することができます。それがうまく働いた時に、細胞が突然変異、あるいは進化をたどることになります。ここにプラズマが重要な役割を果たすことになります。

先ほどお話しましたが、プラズマ照射したみかんは腐りません。このことは食糧難克服に向けての朗報であり、菌の消毒、滅菌、殺菌がプラズマでできる可能性を示しています。別の実験ですが、稲にプラズマを当てた結果、成長が50%も増えるという結果も得られています。たしかに、古代の人が、イナズマがあるところで稲が生えるという事実に基づいて、雷にイナズマという名前を付けましたが、プラズマ照射によって、稲の成長が早くなるのが今確かめられたわけです。まだ信じられてない方もいるかもしれませんが、工業化もされています。岩手大学の高木先生が、椎茸についてはすでに成功されて、これも実用化され、テレビ等でも紹介されています。少しメカニズムが違うかもしれませんが、いずれにしても、生体が活性化されて、成長が早くなるのは間違いないと考えられます。カイワレ大根でもその特性が得られています。我々の研究室でもいろいろなものを対象に実験を行っていますが、確実に、プラズマ、あるいはプラズマ活性溶媒を適切に照射したものは成長が早くなります。これをうまく使うと、非常に効率的に食物を得ることができるかもしれません。今、富士通が半導体工場を利用して、野菜を作り始めています。いろいろな所で、安全・安心な農業が始まっていますので、そこにプラズマが応用され、実用化される可能性が高いのではないかと思います。すなわち、将来、皆様方が150歳まで生きて、健康だった時に重要な食料の確保ですが、まず、遺伝子導入して品種を改良する、これはプラズマでできます。そして、発芽、成長の過程でプラズマを照射することによって成長を促進させる、さらに、殺虫、滅菌などをプラズマを用いて農業フリーで行うことができます。まさにプラズマは、健康社会の重要な役割を果たす鍵になるのではないかと考えています。

そこで、非常に重要なことは、強いプラズマ、あるいは濃度の高いプラズマ活性培養液を使うと、正常細胞も死んでしまうということです。適切に密度や濃度を制御したものについては、みかんの菌だけ死ぬ、がん細胞だけ死んで正常細胞は死なない、そしてもう少しうまくコントロールするとより成長する、といった効果があります(図18)。すなわち、プラズマのドーズ量を制御することで、成長から死滅までコントロールできる可能性があるということです。適切なドーズ量は、例えば、酸素ラジカルや窒素ラジカルだけではなく、培養液中でのそれらの複合的な作用によって決まります。したがって、やらなくてはいけない

ことは、それらを全て測定して、その値を定量化し、システマティックに現象を解明することです。そこで、分子生物学や、生物学、医科学とコラボレーションをする必要性がでてきます。

最後に、実はプラズマは液体の中でも作ることができます。もちろん、液体のプラズマというものはありませんので、液体の中の一部をガス化して、低温プラズマを作ります。そこで化学種を作ることに成功しています。2cmくらいの金魚をプラズマ活性水で育てると、1年後に30cmまで巨大化します(図19)。金魚は糞をしますので、水が汚れてしまうのですが、プラズマ活性種でこれを浄化することができます。そして、刺激を受けた生体は、非常にアクティブにされて、たくさん食べるようになります。遺伝子変換をすることなく成長が促進されます。植物のみならず、魚類についても成長が見られています。昨年度から我々の研究室では、金魚以外の魚でもプラズマ照射の研究を始めているところです。

このような流れにおいて、重要なのはきちんと体系化して科学にシフトしてはいけないということです。現在、プラズマの医療科学への応用研究で、文科省から支援を受けています。5年の計画で、プラズマ分野だけではなく、化学、医科学、生物、薬学といった分野の研究者、合計108人でプラズマ医療科学の創生を始めています(図20)。このうち、50%がプラズマを含めた物理化学系の出身で、あとの50%が医者や生物学の研究者のチームで、新学術領域の形成を行っています。名古屋大学では、つい今年の6月にNIC, National Innovation Complexという建物を作りまして、6月12日に開所式がありました。この4階の2000 m<sup>2</sup>をプラズマナノ工学研究センターとプラズマ医療科学国際イノベーションセンターの二つに充てていただいています。現



図18. さまざまな刺激に対する生体の応答 (ご講演資料より)



図19. プラズマによる生体の活性化と成長促進 (ご講演資料より)

新しい科学を創る「プラズマ医療科学の創成」



図20. 新しいプラズマ医療科学の創生 (ご講演資料より)



図21. プラズマが切り開くバラ色の未来 (ご講演資料より)

在、ここに半導体の研究開発用のクリーンルームと、プラズマ医療とプラズマ農水産の研究のためのバイオルーム、この二つを作っています。将来はこの半導体の技術と、医療と農業が融合するようなイノベーションが生まれるのではないかと期待しています。この取組みについては、プラットフォームを使っていろいろな研究者が自由に来て、プラズマ測定や実験ができるような設備と仕組みを作っていますので、ご興味があればぜひともご来所していただければと思っています。

最後にまとめになりますが、本日ご紹介したように、プラズマは核融合から産業、そして生命科学までをまたぐ、まさに宇宙の根源をなす科学ではないかと思っています。プラズマ研究の強みは、やはり新しい科学の世界で多彩な学問の融合ができるところで、プラズマによるバラ色の未来があるのではないかと思っています (図21)。また、プラズマは今後、人間の絶え間ない進化に非常に大きく貢献するのではないかと信じています。150歳まで生きられるのだったら皆様方は何をされますか？ おそらく、プラズマの研究をずっとやりたいと、そういう人がほとんどかもしれませんが、もう一つぐらい自分の趣味を持っていたほうが良いのではないのでしょうか。私の趣味は実はバラ栽培です。今、うちの庭には40種類のバラが咲いています。全部

私が育てたバラです。バラとの戦いは非常に難しく、すぐに虫がつきますが、農薬は使いたくないので、毎朝起きて家内と二人で虫をつまんでいます。ですが、今後は、いよいよ農薬フリーのプラズマ水を使って、バラの虫を回避することができるようになるかもしれません。皆様方もプラズマが開くバラ色の未来を迎えるに当たりまして、プラズマ研究とともに、もう一つ別の研究、あるいは楽しみができるのではないかと思っています。ちょっとざっくりとした話になりましたけども、今回の話を通して、プラズマにさらに興味を持っていただき、プラズマ研究をさらに伸ばしていただければまことに光栄です。

ご講演後、プラズマ活性培養液の有効時間を決めている因子や、プラズマによる生体の成長増進作用のメカニズム、生体に対するプラズマと放射線の作用の差異などに関して活発な質疑応答がありました。

(文責: 高橋裕己 核融合科学研究所ヘリカル研究部  
プラズマ加熱物物理研究系 助教、  
総合研究大学院大学物理科学研究科  
核融合科学専攻兼任)

編集後記

平素より、核融合科学研究会の活動に格別のご高配を賜りまして、誠にありがとうございます。平成27年度の会費納入につきましても、お取り計らい下さいまして、深く感謝申し上げます。平成27年度総会でご承認いただきました事業内容を、効果的に展開して参ります。今後とも、当研究会ならびに核融合科学研究所へのますますのご理解・ご支援を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

核融合科学研究会ニュース  
第55号 (2015年8月)

融 會

編集・発行  
核融合科学研究会

〒509-5292 岐阜県土岐市下石町322-6

TEL 0572-58-0622 / FAX 0572-58-0626

E-mail : yu-kwai@tcp-ip.or.jp

URL : <http://www.nifs.ac.jp/yu-kwai/index.html>

(融會バックナンバーも掲載しております。是非ともご覧下さい)