

特集

最先端科学の 研究現場から 第4回

インタビュー／佐藤彰芳 撮影／倉部和彦

大阪大学
先端科学イノベーションセンターの
インキュベーション棟



柳田祥三大阪大学名誉教授は、平成16年に大阪大学大学院工学研究科教授を定年退官、時を同じくして大阪大学に発足した先端科学イノベーションセンターの特任教授に就任した。

日本では近年、「産学連携」が声高に叫ばれるようになって久しいが、その実効を上げるのは難しい。そもそも大学は主に基礎研究をする場であって、生まれた知財を商業化するシステムは持っていなかった。大学が法人化された現在、先端科学イノベーションセンターは大学の基礎研究で培った「知」に基づき、民間等との共同研究・受託研究を積極的に推進、新たな技術・産業を生み出すための共同研究モデルの構築を目指す。

柳田教授は、「有機化学合成を飛躍的に進化させる」といわれている「マイクロ波の熱触媒」をはじめ、さまざまな共

同研究を行っている。先端科学イノベーションセンター特任教授としての研究内容とその研究姿勢をうかがった。

化学は相関を見極めながら 因果関係を解き明かす学問だ

——まず、柳田先生が化学の道に進まれたきっかけをお話してください。

柳田 私は明確に化学が好きでこの道を選びました。関西学院の中学時代、ノーベル賞候補にもなった賀川豊彦先生が講演で話された「周期律表の秩序と神の存在」という内容に魅せられ、元素が大好きになったんですね。高校時代は中学時代に熱中していたサッカー部を辞め、化学部に入りました。そこでは当時ノーベル賞受賞で話題になっていたペーパークロマトグラフィーによる分析をやったり、人造絹糸を作ったり、黒色火

薬によるロケット発射など化学反応を楽しむ高校時代を過ごしました。

昭和初期、化学や材料技術で先端を走っていた総合商社、鈴木商店の関係者の一人だった父の影響もあります。鈴木商店は昭和2年に倒産しましたが、その化学技術は三井化学、帝人、三菱レイヨンなど多くの企業に受け継がれています。私が高校に入る頃はソビエトで人工衛星スプートニクが打ち上げられ、科学への憧憬が高まっていた時代でした。特に私は「価値のないものから価値を生み出す有機合成化学」に強く惹かれ、新しい有機分子を作り出すこと、新しい有機反応を見いだすことに夢を抱きました。

——大阪大学の学部時代もそのまま有機化学の研究室に入られました。

柳田 私は石油化学がやりたかったん

大阪大学名誉教授 先端科学イノベーションセンター

柳田祥三 特任教授に聞く

Shozo Yanagida

マイクロ波 有効性



PROFILE

やなぎだ・しょうぞう ●昭和39年3月大阪大学工学部応用化学科卒業。昭和54年7月大阪大学工学部助教授（プロセス工学専攻）、昭和62年4月同教授に昇任。平成10年4月同大学大学院工学研究科教授、平成16年3月定年退官、名誉教授となる。平成16年度から先端科学イノベーションセンター特任教授に就任、現在に至る。昭和54年「日本油化学会進歩賞」受賞、平成10年3月「矢崎学術賞」受賞。学外においては新化学発展協会理事など多くの役職を務める。

です。有機化学は流行でしたし、「無機化学なんか無気力になる」（笑）なんて言って、当時はセラミックの時代が来るなんて思わなかったものですから。4年生の研究室の配属を決める時、人気研究室に偏ってはいけないと意見分布をとったところ、「有機化学の研究室」である小森三郎研究室は2番人気。ところが本番では一番人気になってしまって、最終決定は熾烈なジャンケン勝負。何が何でも勝つという心意気で、小森研究室に配属される栄誉を勝ち取った（笑）。——先生は米国フィラデルフィアのテンブル大学に留学されています。

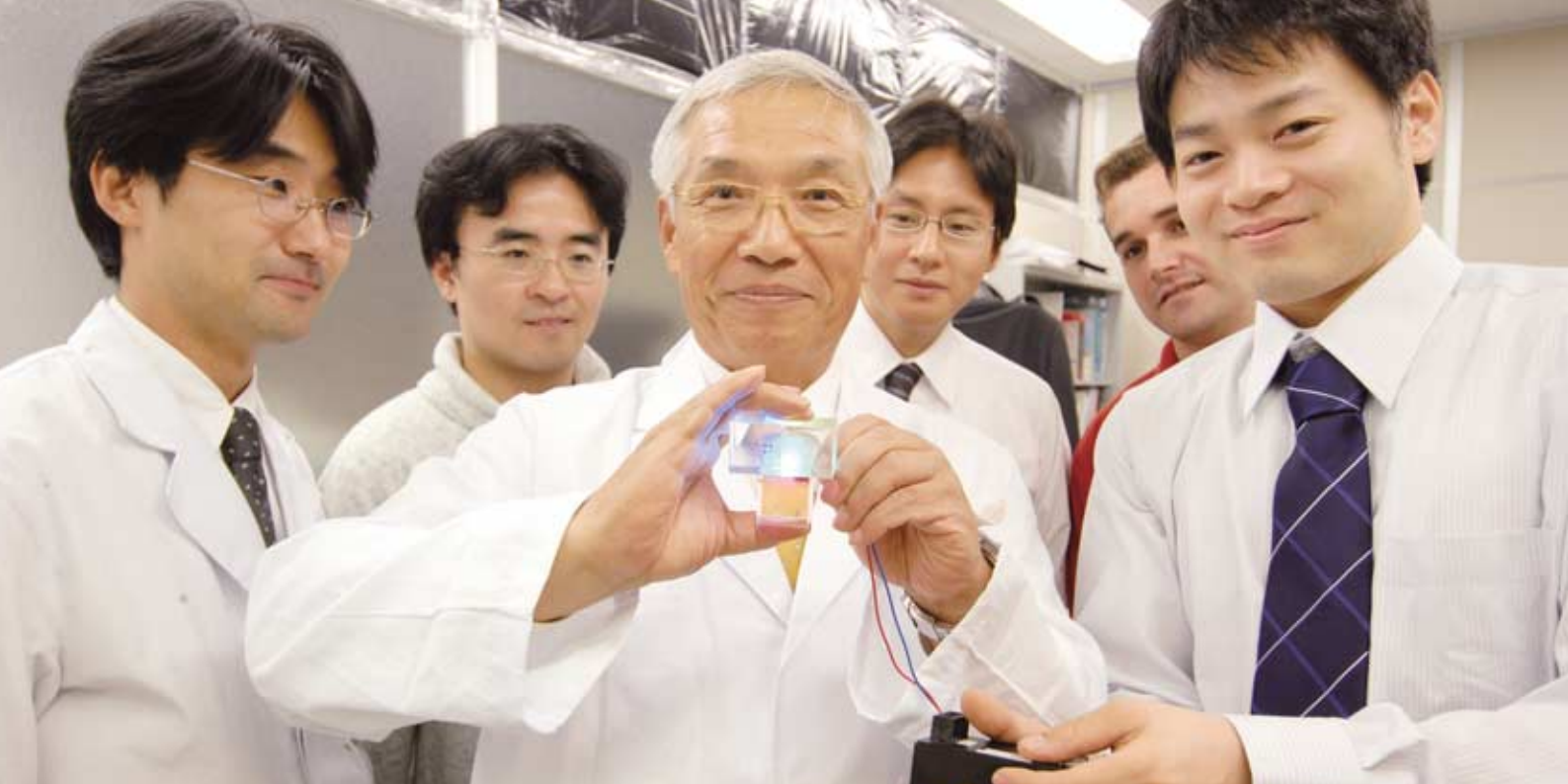
柳田 博士研究員として行きましたが、化学に対する心構えを学びましたね。

例えば、ウィルミントンにある世界最大の化学会社デュポン社の博物館で知った事はとても感銘を受け、私のその後



熱触媒の

「有機化学に光化学の知識を加えたとき、化学はすべて電子移動現象になった」という柳田祥三教授は、色素(増感)太陽電池、マイクロ波熱・電子触媒効果による物質変換、さらに強発光物質など幅広い分野の研究を行っている。これらの注目を浴びている「知的財産」をいかにして民間の新しい技術、新しい産業に結びつけていくのか——。先端科学イノベーションセンター特任教授として民間と新しい共同研究を進める柳田教授にお話をうかがった。



の研究生活に少なからず影響を与えました。その一つは、デュポン社の標語「Chemistry for better life」（より良い生活のための化学）。決して軍需産業の技術展開に発展の背景があるのではないことを再認識しました。そしてもう一つは、品質管理。デュポン社を大きく発展させた商品は黒色火薬ですが、火薬が不発では人々は命を落とすことになる。そこでデュポン社は徹底した化学マテリアルのコントロールと品質管理で当時の人々の絶大な信頼を得たんですね。

米国滞在中に自動車事故をマイアミで起こし、家内が負傷して困っている時に敬虔なクリスチャンの女性の方に助けられました。その彼女の兄が米国3M社の技術者で、今では誰もが使っているポストイットの発明者でした。その発明の経緯を聞いたら、あれは接着剤の不良品だったそうです。これはもの見方の機微というか、「意外な発見をよしとする」というのが、まさにケミストリー的。実はノーベル賞を受賞したクロマトグラフィーの発見者もそうで、その化学者は化合物を分離精製させるのに困っていた時、インクで文字を書いたナプキンに水をこぼしてしまいました。そうしたら、そのインクが三色の化合物に分離されたわけ。そんな偶然の発見がノーベル賞に輝いたのですが、化学には求めて

いるうちに思いがけなく幸運に巡り会うセレンディピティが重要ですね。

化学って意外と論理的でなく、関連だけが分かることが多いんです。化学は因果関係の学問で、それが分かれば次に発展する。そういう繰り返しなんです。物理の場合は逆に「因果を考えてから関連を考える」学問。化学は帰納的であり、物理は演繹的であると言っていいでしょう。今、自分自身の化学を考



強くしかも安定して光り続ける三色の発光ブロック

えてみると、どうも関連を見ながら研究をする性格が適していたのかもしれないね。だからこそ私は、意外性のある化学を楽しんでいるんです。

なぜ、マイクロ波を当てると熱が出るのか

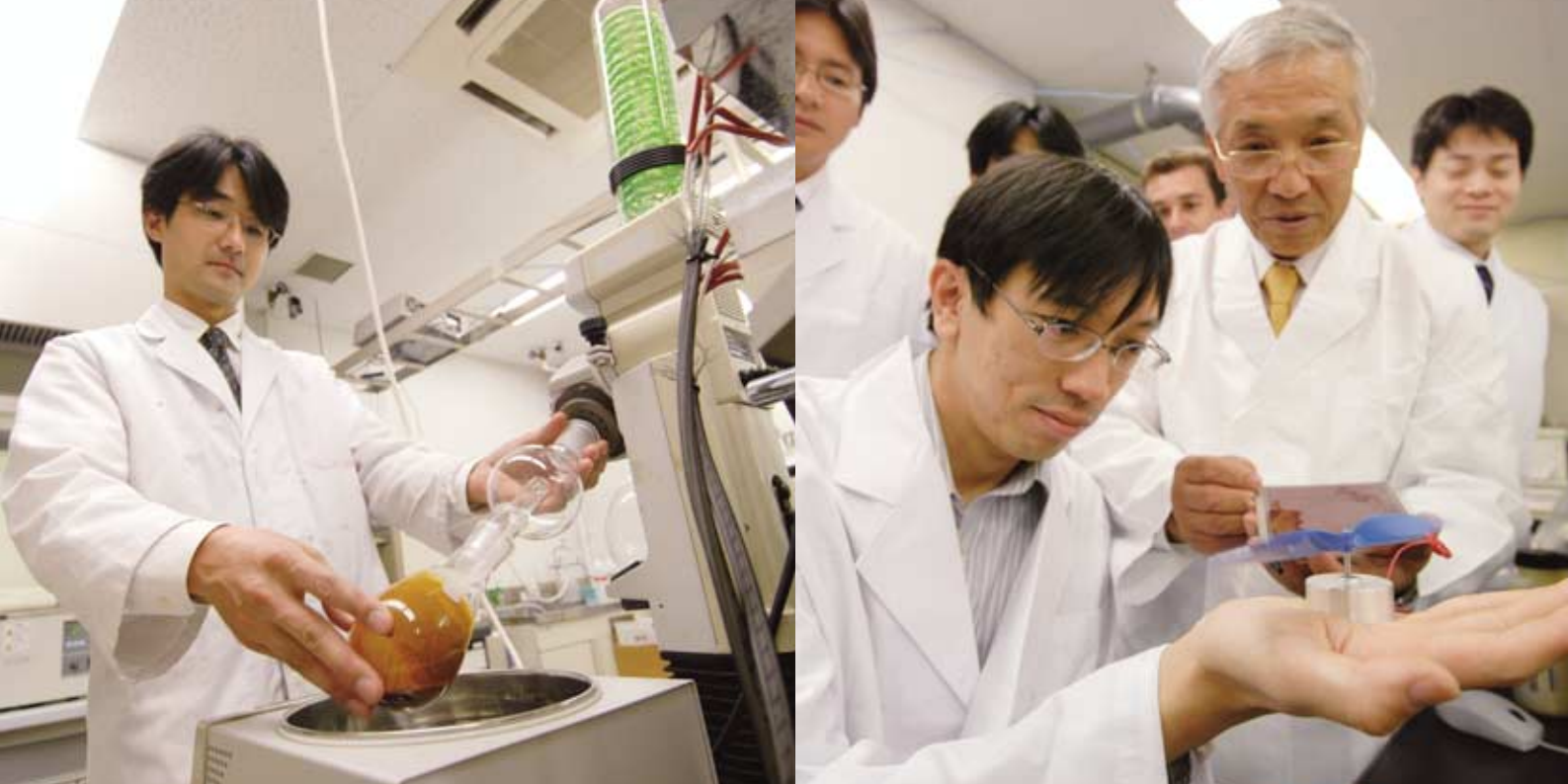
柳田祥三教授は、化学を楽しんでいる結果なのか、研究は幅広い分野に広がっている。有機化学における新反応の発見にはじまり、ポリエチレンオキサシ

ド関連物質の金属イオン補足相互作用、そしてプロセス工学専攻に移籍。講座担当後は、人工的光合成系の構築に成果を挙げるとともに色素増感太陽電池に関する研究を展開する。また、希土類イオンの強発光系の創出ならびにマイクロ波加熱の化学反応プロセスへの応用など多くの分野で国内外から極めて高い評価を受け、さらに環境・エネルギー関連の研究を展開し続けている。

——現在注目を浴びているマイクロ波ですが、柳田先生はマイクロ波応用研究会委員長を務めるなどこの分野での第一人者として、マイクロ波の使い方に関して多くの企業から引き合いが来ているのではないですか。

柳田 大学のシーズから産業に発展させていこうというのは我々が学生だった頃の考え方でシーズ・オリエンテッド。現在の工学的研究は、マーケットからシーズを見つけてくるので、マーケット・オリエンテッド・リサーチと言えます。

マイクロ波こそ、このマーケット・オリエンテッド・リサーチの最たるもの。多くの企業の方が、「この反応はマイクロ波でやれないか」と相談にやって来られます。実は、私が大阪大学を退官後、マイクロ波化学は当時助教授の和田雄二先生（現在東工大教授）に受け継いでいただきました。和田先生は、大阪大



柳田教授の研究室には、それぞれの研究テーマを持った研究員が共存。右の写真で手に持っているのは、プロペラを回転させる色素太陽電池

学のフロンティアリサーチセンターに企業の援助で設立された寄付講座の兼任助教授になられ、マイクロ波化学を推進されました。しかし、外部の方々には、寄付講座は企業色が強いと感じられて、私のところに相談に来られることが少なくないのが実情です。ですから、先端科学イノベーションセンター特任教授としてマイクロ波化学の新たな共同研究が始まったものもあるし、特許の問題も絡んでくるので、大学外での指導に留めているなどのケースもあります。

——現在注目されているこのマイクロ波とは、どういうものなのでしょうか。

柳田 化学反応のすべては、男女の恋愛・結婚に近似しています。電子に富む分子と電子に富まない分子は、混合すると基本的に引き合いペアを作ります。その二つの分子を結合に導くには、分子に活性化エネルギーを与える必要があります。しかし、熱を与えるとペア分子は動き出しますので、出会って反応するのに一定の時間が必要です。しかしマイクロ波照射による加熱は、引き合っているペア分子間に活性化熱エネルギーを一瞬にして与えることになり、化学反応が速やか(触媒的)に進行します。

ではなぜ、反応溶液にマイクロ波を照射すると熱が発生するのか。これまでの解釈は、電子の偏りがある分子(極性

分子)はマイクロ波の交番電磁波によって動き回ると考えます。その時に分子間の摩擦が生じるために熱になる、と解説されました。分子の摩擦熱で大量の熱が発生することはあり得ません。極性分子(電子が部分的に局在化している)が構成する溶液は、誘電率を保持する意味で、結晶類似の秩序構造を形成していると考えます。そのような分子集合系の動きに追従する電磁波エネルギー(水の分子とその類似有機分子は振動数2.45GHzのマイクロ波エネルギーが最適)が照射されると、その分子はかき回されて、秩序構造が破壊され、誘電率が減少・消滅する状態になる。これを数値化したのが誘電損失係数です。ところが、そのような極性を失った分子集合系は、自然に元の結晶類似の秩序構造に戻ろうとします。その時に熱が発生する訳で、マイクロ波エネルギーの吸収によって発生する熱は、分子系の局在電子が関わる電子熱なのです。揺らいでいる水分子系から熱を取る(冷やす)と凍る(結晶状態になる)現象と同じで、マイクロ波エネルギーを吸収した分子集合系のエントロピー変化による放熱です。

マイクロ波エネルギーを物質に照射することで熱が発生する現象は、偶然に見いだされた幸運な発見(セレンディピティ)なのです。マイクロ波領域の電磁波

を用いるレーダーの研究をしていた人が持っていたチョコレートが溶けたり、ポップコーンが弾けたり、マイクロ波を浴びると体が熱くなる、というマイクロ波と熱発生現象の相関に気付いたのです。——柳田先生がマイクロ波に注目されていたのは、いつからでしょうか。

柳田 随分以前から、私が尊敬する阪大工学部での恩師であり石油化学で名高い(故)堤繁先生から「マイクロ波照射加熱が面白い」と聞いておりました。また、阪大の元総長であられたマイクロ波通信で名高い熊谷信昭先生が「僕はずっと以前から化学系を含めた材料系の人に、なぜマイクロ波エネルギーを使わないのかと言ってきた」ということをお聞きしたこともありました。実は、阪大にはマイクロ波に関する研究土壌が古くからありました。高周波領域の電磁波を極性溶液に照射すると温度が上昇する現象を、エントロピー現象として捉えられた熱化学で名高い阪大理学部の間集三・松尾隆祐先生、さらに、1928年にマグネトロンを発明されたのも阪大産業科学研究所の岡部金次郎先生(東北大で退官)です。私がマイクロ波エネルギーに再度注目したのは、10年前にハワイで開催されたアジア環太平洋化学会議でのマイクロ波化学のシンポジウムへの参加が契機になりました。



「日本には資源もエネルギーもない。 我々日本の化学者は、資源、エネルギー、 環境に関する技術を究めることが大事です。 Chemistry for better sustainable lifeです」

柳田先生が進めている研究はマイクロ波熱・電子触媒効果による物質変換。これはエネルギー消費を抑える短時間・クリーン加熱方法として京都議定書の目標達成に寄与する可能性がある。さらにマイクロ波加熱によるナノ材料の短時間創製にも取り組み、PCBやダイオキシンに代表される塩素系物質の完全分解無害化にも適用可能というのだ。

化学を楽しんで研究し、それを 社会に役立つものにしていく

現在、柳田先生が「最も時間をかけている研究」というのが色素（増感）太陽電池。屋外での長期間の使用に耐える長期耐熱性が確立すれば、人類は太陽光を電気エネルギー源として幅広く利用できるようになる。さらに「ものすごく光る材料を見つけた」という強発光物質に関する研究も同時に進める。

——光化学やマイクロ波の応用などテリトリーはどんどん広がっていますね。
柳田 40歳ぐらいまでは有機化学をやっていましたが、縁あって光化学を研究するようになりました。光化学は難しいものですが、反応機構がとて面白かった。光化学を始めた途端、私のなかで化学は電子中心に置き換わりました。つまり、有機化学反応は全部、電子移動反応になるんです。例えば、光合成によって美味しいお米を作り、太陽電池は電気を貯める。どちらも光を電子エネルギーに変換して貯めているのです。

私は化学が専門ですが、今、私自身は極めて物理的になってきているんです。物理学は電子の寿命とポテンシャル、それとどれだけ動き回れるかという拡散移動。それで物理は電子物性で評価する。そういうことがいろいろなことから分かってきて、どこかが新たな問題を提起してくれると、化学を物理的な視点でも解決していきたいと思うようにな

っているんです。

私は現在、名誉教授の立場で、「問題解決のための化学」を楽しくやっています。先端科学イノベーションセンターの特任教授を拝命して以来、化学的課題を企業サイドからいただくことが多くなりました。問題解決に迫られている訪問客の話を知っていると、これまでの経験と知識が加わり、問題解決の糸口が何となく分かってくるのです。

——色素太陽電池は、未来の電気エネルギーとして注目されていますね。

柳田 実は色素太陽電池の研究がメインです。色素太陽電池の主役の一つが酸化チタンです。酸化チタンそれ自体は電気を通さないと思われていますが、ナノサイズにしてつなげると、電気がそこそこ流れるようになるのです。ナノサイズの酸化チタンに注入された電子は、寿命が延びて数十 μ の距離を拡散できるようになります。その酸化チタン表面に色素を吸着させると、光を吸収した色素から電子が注入され、数十 μ の距離を一方方向に拡散移動させることができます。このような原理で最大百 μ までの膜厚のナノサイズ酸化チタン膜電極を作ることによって色素太陽電池が創れるのです。

ヨーロッパでは原子力発電から自然エネルギー発電に変換すべく方針を立てています。資源とエネルギーに富まない日本にも、費用効果にすぐれた色素太陽電池は将来絶対に必要です。NEDOは、2030年には家庭用の電気エネルギーの50%を太陽光発電でまかなう太陽電池技術の確立を目標としています。色素太陽電池の研究は、ヨーロッパ、中国、台湾、韓国、最近では米国でも行われはじめ、関係する科学者の熱い気持ちが伝わってくるので「絶対に日本で成功させないといかん」と思っています。——強発光物質の研究も同時に行っていますね。

柳田 これは、希土類イオンと有機分子を用いて創るのです。これまでの希土類を含む発光無機系物質は、高温焼結反応で合成しますが、我々は低い温度での化学反応で合成します。よく光る希土類錯体の合成には、有機配位分子の π 軌道の広がり、その重なりを微細にコントロールして、近紫外領域のLED光、または青色LED光で、赤色、緑色に強く、しかも、安定に光り続ける希土類発光錯体を開発しています。

——さまざまな研究を同時並行させる研究室体制はどうなっているのですか。

柳田 NEDOが関わる色素太陽電池の研究に従事しているのは、博士研究員が日本人二人、中国人一人、ブラジル人一人、そしてソウル大学の博士コースの大学院生が一人。強発光物質の研究にはある企業から一人の博士研究員を雇用していただいています。マイクロ波は3社ぐらいが関係していて、常駐ではないけれど、その時その時に企業から研究員の方が来て実験しています。

——企業との共同研究の難しさというのはどのようなことですか。

柳田 ほほ、科学する範囲では問題ないのですが、共同研究で応用技術に発展させる場合に問題があります。できれば「近い将来には役に立つ特許」にする体制が望まれます。大学の先生は、教育・研究が第一義ですので、特許をとる研究体制にはありません。従って、企業側は研究者を派遣するか、大学側に研究者を雇用できる経済支援で迅速に進めることが望まれます。一方、大学側の先生は、企業が興味を示すかもしれない「まだ応用されていない科学」を推進することが望まれます。技術を支援する官庁には、大学と企業との共同研究を揺るぎのないものにするための、さらなる支援体制（予算支給体制）の設定、推進を望みます。

Column

01

先生方の 開発研究を世の中に 活かしていきたい



大阪大学 先端科学
イノベーションセンター
特任教授
(産学官連携担当)
多田英昭 氏

「先端科学イノベーションセンターは、大阪大学の産学連携の窓口として平成16年度に発足。一つの例は企業から技術相談申込を受け付け、私どもがそれに合った先生を探します。先生の研究の役に立つ場合には共同研究が成り立ちます。

ただし、あくまでも大学は教育の場であり、研究の場です。共同研究をコーディネートするのも、先生の研究に役立つというのが前提です。最近産学連携というと、何でもかんでもやれば良いという風潮がありますが、私自身はそれを常に心掛けています。企業が大学に研究を依頼する場合、研究員を連れてくるのが前提なのですが、日本の企業はそこまで資金を出すのは少ないですね。もし企業依頼の研究を学生にやらせれば、大学は企業の下請けになってしまいます。

柳田先生の研究に関しては、私どもが

企業を探さなくとも多くの企業がきますので、コンソーシアム型の共同研究が成り立ちます。これは大学と企業の1対1の共同研究ではなく、八つぐらいの企業が参加して一つの共同研究契約書のもとで研究します。さらにその研究には素材メーカーが入っていたほうが良いという話になれば、新たにそうしたメーカーに参加を求め、プロジェクトとして成長させるお手伝いもしているのです。

さらに、JSTやNEDOなどの公的な資金を獲得する手伝いも重要な仕事です。昨年、JST関係でシーズ発掘試験がありましたが、阪大は応募件数224件で全国一、採択件数は二番目の38件が採択されました。さらに企業と一緒に応募する産学共同シーズ・イノベーション化事業でも、阪大は20件採択されており、二番目の大学は12件でした」

Column



Column

02

大学が積極的に 特許を所有し、 有効活用するために



大阪大学 客員教授
知的財産本部特任教授
山元 進 氏

「国立大学法人化前は大学で出願された特許も90%まで先生個人にお返ししていた、残りの10%の特許は国が継承していました。大学は法人格を持っていないので、特許は持てなかったのです。

法人化後は、先生から発明届けが出れば、結果的には90%まで大学が継承することになっています。先生にお返しした10%はあまり使い物にならないものばかりです。大学が継承した特許は世の中で有効活用していこうというわけで、そのために企業などに使ってもらわなければならないわけです。法人化の大きな目的は大学の社会貢献なのです。

ただし、正直言って、その機能は十分に果たせてないのが現実です。というのも、法人化後は特許の出願件数がやたら多くて、今後をもっとその出願を絞ろうという動きが出ています。我々は発明届

けが出れば、その発明がどういう発明でどれほどのものかという目利きをしなければならぬ。しかも先生の特許の半分近くは企業と共同で発明したものだから、企業との調整もやらなければならない。出願すれば契約書を交わし、それが終われば、次に外国出願をしなければなりません。外国に出願するにはJSTの書類などの処理もしなければならず、大変な作業になっているのです。

この知的財産権の所有の目的は、世の中のマーケティングをして結果を出し、その収入を大学に入れ、次なる研究に回していくこと。現在はまだまだ混乱の渦中にありますが、共同研究と特許という、言ってみれば兄弟のような裏表の話かもしれないかもしれませんが、共同歩調を取りながら阪大の知的財産を有効活用する方法を構築していこうと考えています」