

産学官との連携

産学官との連携

科学の 峰々 125

神戸大学大学院 科学技術イノベーション研究科
先端バイオ工学研究センター 特命教授

たくち せいいち 田口 精一 先生に聞く 世界初、海水中で分解できる “強靱性”と“生分解性”を両立した プラスチックの大量生産に成功 下

聞き手：富山裕明 日本科学機器協会 広報委員長
岡部和徳 株式会社 池田理化
岡田康弘 日本科学機器協会 編集長
(取材・撮影・編集協力：クリエイティブ・レイ(株) 安井久雄)



取材日：2024年7月29日
(一社) 日本科学機器協会 会議室

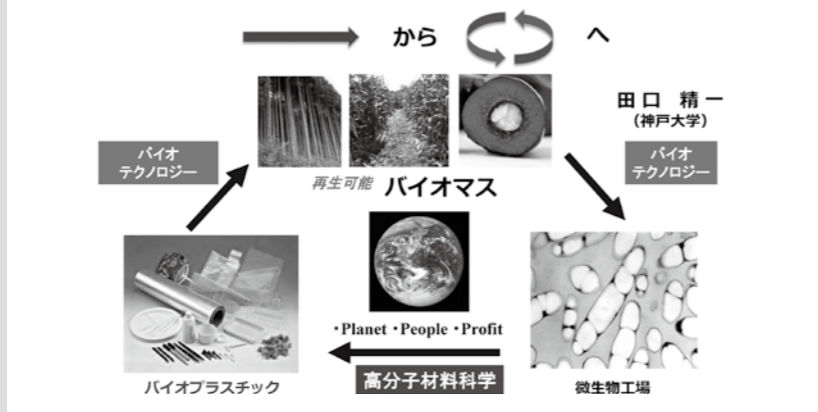
田口 精一 先生のプロフィール

【学歴・職歴】

- 1985年 03月 東京理科大学理学部応用化学科卒業
- 1989年 03月 東京大学大学院工学系研究科博士後期課程2年単位取得退学
- 1989年 04月 東京理科大学基礎工学部生物工学科 助手
- 1991年 01月 工学博士(東京大学) 取得
- 1997年 01月 仏国ルー・パスツール大学分子細胞生物学研究所免疫部門 客員研究員
- 1999年 04月 理化学研究所高分子化学研究室 前任研究員
- 2002年 04月 明治大学農学部農芸化学科 助教授(理化学研究所・客員研究員兼務)
- 2004年 04月 北海道大学大学院工学研究院 教授(理化学研究所・客員主管研究員兼務)
- 2012年 10月 科学技術振興機構 CREST「二酸化炭素資源化領域」研究代表者
- 2017年 04月 東京農業大学生命科学部 教授(北海道大学大学院工学研究院・招聘客員教授・名誉教授、理化学研究所・客員主管研究員兼務)
- 2021年 01月 NEDO 新革新「糖原料からの次世代ポリ乳酸の微生物生産技術の開発」研究代表者
- 2022年 04月 神戸大学大学院科学技術イノベーション研究科/先端バイオ工学研究センター 創発生命工学生産研究室 特命教授



“強靱性”と“生分解性”を両立した「次世代型ポリ乳酸」の大量生産に成功 ～プラスチックごみの解決に期待～



次世代型ポリ乳酸LAHBは バイオプラの機能面を解決

前号では、自ら“奇跡的な成果”と言われる乳酸重合酵素を用い、「微生物工場」で生分解性プラスチック材料を創られたことを伺いました。それをまた一歩進ませた研究が、「次世代型ポリ乳酸 LAHB」ということでしょうか。

田口 そういことです。バイオマス原料から作られるバイオプラスチックの代表格としては、古くからポリ乳酸がありました。しかし、硬くて成型しづらいといった難点と、限定的にしか生分解しないので、自然界に残存してしまうことが難点でした。

そこで私たちの研究でLAHBと呼んでいる独自の“次世代型ポリ乳酸”を開発することに成功したのです。

まずは次世代型ポリ乳酸LAHBの利点を、お聞かせください。

田口 メリットは大きく二つです。一つは、バイオマス由来の原料から、水素細菌という微生物工場で作るので、CO₂の排出削減効果があります。そして二つ目は、生分解性機

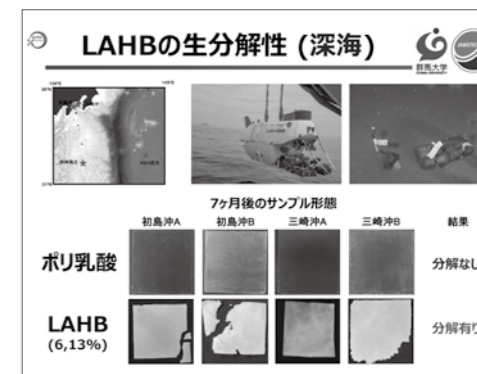
能があることです。つまり“自然に戻る”ということで、環境面のメリットが期待できます。

そこでクイズです。自然に戻ると言っても、自然には森もあれば海もあります。より分解されやすいのは土壌と海、どちらだと思いますか？

どちらでしょう…海洋プラスチックごみの問題を聞きますから、土壌の方が分解されやすいような気がします。

田口 正解で、土壌の方が分解されやすいです。分解のされやすさは菌の密度、つまり菌の多さによります。土を1gすくってみると、そこには1億～10億のレベルで菌がいます。一方海は、深くなると光が差さず、塩分もありますから菌の数は断然に減ります。その中間が河川です。河川は海より菌が多く、土壌より少ないですが結構な数の菌がいます。

しかし、次世代型ポリ乳酸ならば生分解が困難とされてきた海洋でも、生分解されることを明らかにすることが出来ました。この検証は、国立研究開発法人海洋研究開発機構(JAMSTEC)の協力を得て行いました。実際に次世代型ポリ乳酸LAHBを、浅い海と、深さ700m～800mの深海に沈め、約7か月後に引き上げて調べました。その結果、浅海、深海ともに海水中で分解されていました。もちろん土壌や河川で分解されることも調べた上で、圧倒的に菌密度の低い海洋ですら分解できるという結果が得られています。



次世代型ポリ乳酸LAHBは、土や河川や海でも生分解されるということですね。

田口 はい。それが証明できたわけですね。ちなみに、比較対象として、従来からある代表的なバイオプラスチックであるポリ乳酸を同時に調べましたが、やはり分解はされませんでした。

分解されるLAHBは、見た目は表面が白くヌメヌメとして見えます。これは、人の菌が菌によって虫菌になる現象と本質的に同じです。菌が菌の表面に付着してプラークを形成してからエナメル質を溶かすように、LAHBを菌が溶かして分解が進むのです。この菌のかたまり(プラーク)が出来た状態をバイオフィームと言い、生分解する一番重要な必須条件です。ヌメヌメしたところに、微生物の仲間がたくさん付着してきて分解が進むのです。それが出来るのが、生分解の素質を示すものになります。

そしてもう一つ、分解の裏付けとなるのがLAHBの重量減少です。バイオフィームの状態と重量減少があれば、生分解がされているという裏付けになるわけですね。そこに

次世代型 ポリ乳酸「LAHB」

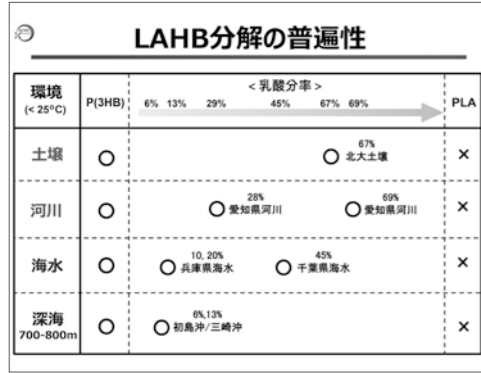
The diagram compares PLA and LAHB. PLA (P(3HB)) is described as '硬い・不透明' (Hard, opaque) and '低菌量、生分解性' (Low bacterial count, biodegradable). LAHB (P(D-LA-co-3HB)) is described as '軟質・透明・生分解性' (Soft, transparent, biodegradable) and '新規な物性を発現' (Exhibits new properties). It also notes '海洋生分解性' (Marine biodegradability) for both.

産学官との連携

様々な菌が付いているので、微生物集団構造を知るために菌叢解析を良くします。すなわち、そのDNAをすべて調べるという作業をします。

剤と書いてあると思いますが、それはこのポリリジンです。その他にも、生理活性物質や農医薬品素材、化学品素材、さらにはバイオ燃料など、微生物は色々なものを作ってくれます。

ですが、1匹の微生物がすべて出来るわけではなくて、色々な微生物が“分業化”そして“専門化”されて活躍してくれているのです。



次世代型ポリ乳酸LAHBは超高分子で、強靱性や成型加工にメリットを發揮

次世代型ポリ乳酸の微生物工場には、水素細菌を使ったのことでした。これはどういうものですか。

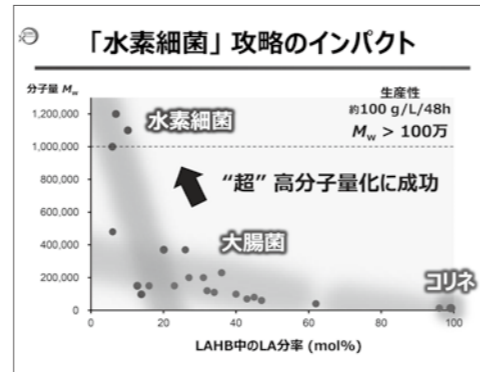
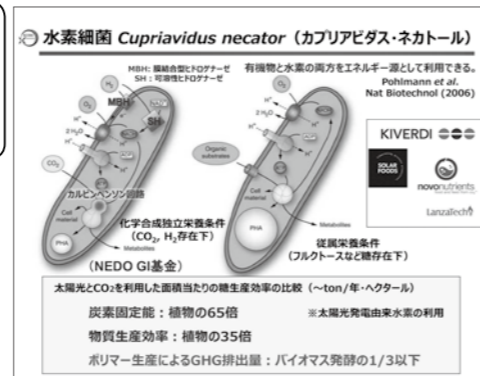
田口 従来のアカデミック用途では、大腸菌を使うのが一般的でした。前号でも触れましたが、既に商用生産されている(株)カネカのGreenPlanet™というものでは、水素細菌が使われていました。ここに着目し、次世代型ポリ乳酸の製造にも水素細菌を使ってみたら、非常に目覚ましい成果が得られたのです。

この水素細菌を使って、我々がゲノム編集をして、ポリ乳酸をたくさん蓄えられるように進化させたものです。言ってみれば、遺伝子組換え水素細菌ということになります。今回は触れませんが、日本では遺伝子組換えを植物で行うことは出来ません。研究の面でいうと、ここにも色々な議論の余地はあるように思います。

そして目覚ましい成果というのは、出来上がったポリ乳酸が分子量

100万を超える“超高分子量”だったのです。つまり、非常に高性能のプラスチック材料が得られました。成型加工プロセスで要求される“強靱性”を發揮する実用的なプラスチック素材が出来たわけです。

更に、すごいことがありました。従来からあったポリ乳酸に添加しただけでも、驚くほど素晴らしい結果が見られたのです。



次世代型ポリ乳酸LABHは環境面、それとも機能面、どちらに良好な結果なのでしょうか。

田口 実は、両方良好なのです。作業の手順としてはポリマーブレンドといい、従来のポリ乳酸に、私たちが作ったLAHBを20%ほど混ぜてブレンドしました。機械を使って溶解し、混ぜて練って成型したわけです。

産学官との連携

次世代型ポリ乳酸の比率は20%程度なので、占める割合は従来のポリ乳酸が多いわけですね。

田口 はい。そうすると大きく五つものメリットが生まれたのです。

一つ目は、伸びがよくなる。二つ目は、耐衝撃性が高まる。三つ目は、結晶化が促進される。四つ目は、成型加工性がアップする。そして五つ目は、海洋分解性がないはずのポリ乳酸に、海でも生分解されるという特性が付与されたのです。特に五つ目が大きなニュースとなり、LAHBを加えると、まるでスイッチが入ったように生分解が発現するというので、国内外で大きな話題となりました。

一つ目から四つ目のメリットについて少し補足すると、まず透明性にすぐれています。そして、高い伸びと高弾性率の両立が出来ました。つまり可塑効果（柔軟性が增大）が発現できたわけです。さらに耐衝撃性が増しました。そして結晶化が促進されるということは、すごく短時間で結晶化が出来、成型加工に大変役立つようになります。

そして、成型加工のしやすさのひとつに“垂れ性”がありますが、これが大きく改善しました。しかも高い透明性を維持したまま、これが出来たのです。

生分解できないポリ乳酸に想定外のスイッチが入った

田口 そういふ点でもすごいものですが、想定外の結果だったのは、五つ目の生分解が促進されたとい

う驚きの現象でした。念のために補足すると、ポリ乳酸と次世代型ポリ乳酸LAHBをブレンドしたうちの、次世代型LAHBの混合分だけが生分解されたわけではなく、それを超えてポリ乳酸の混合分までが海水中で生分解したのです。

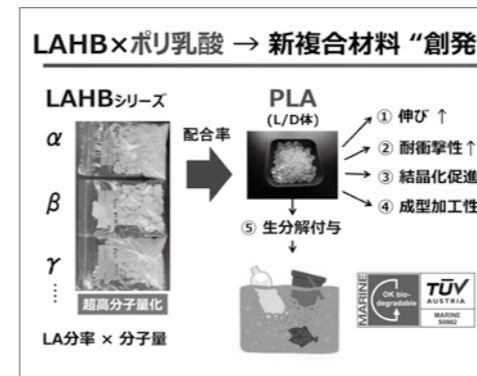
もともとポリ乳酸に生分解性がないのに、それが起きたのですね。

田口 これは本当に驚きでした。「次世代型ポリ乳酸LAHBだけの分解ならここまでしか分解されない」という理論上の数値を超えて分解が進み、明らかに来ています。

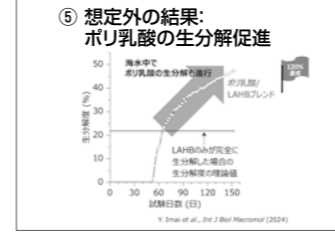
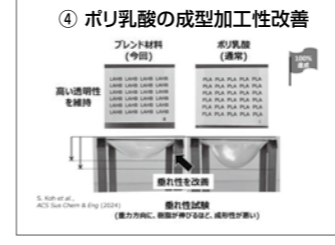
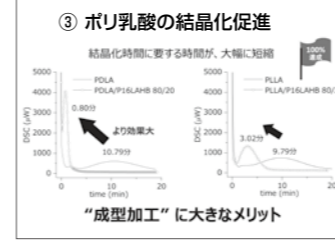
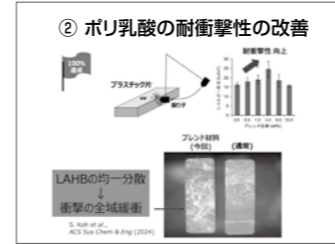
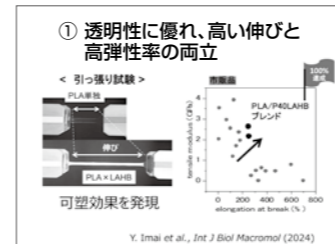
そして“スイッチのように”と言うのは、試験を始めて50日ほどは生分解が見られなかったのに、突然それが見られたのです。50日くらいまで生分解度0%で横ばいだったのが、突然グッと生分解が現れ、一気に進んだのです。

お話から、世界に衝撃を与えたことが理解できました。

田口 これまでのバイオプラスチックには、主にポリ乳酸（PLA）とPHAというものがありませんでした。もう一つのPHAは生分解性に優れているが機能性材料としては使い難いと評価されていました。そうした“あちちを立てればこっちが立たない”矛盾を、次世代型ポリ乳酸のLAHBは一挙に解決したわけです。



新複合材料5つのメリット



産学官との連携

国内や欧州の製紙会社も参加
国際的な産官学プロジェクト

田口 この次世代型ポリ乳酸 LAHBについて、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)、そして株式会社カネカと連携して研究してきたことを話しましたが、実は国内だけでなく、国際的な産官学連携での研究となっています。

私が所属する神戸大学、さらに奈良先端科学技術大学院大学、産業技術総合研究所、そして(株)カネカ、さらに国内の製紙会社、及びフィンランドの製紙会社との連携が図られています。フィンランドは豊富な森林の国で、従来は木を原料に紙を作っていました。私たちは、木を単糖にした原料を微生物に与えて、プラスチックを作っています。NEDOの「クリーンエネルギー分野における革新的技術の国際共同研究開発事業」プロジェクトを軸に進めて来ています。

今後の発展の可能性についても
お聞かせください。

田口 今、水素細菌という微生物でプラスチックを作る話をしてきました。同じように植物でも出来るようになっていきます。まだ色々な改良は必要ですが、例えばタバコの葉で微生物ポリエステルを作ることが出来ています。つまり、大気中の二酸化炭素を植物の葉が直接使って、プラスチックを作ることが出来るようになって来ているということです。

植物の葉がCO₂でプラスチックを作るとはすごい発見です。

田口 言うなれば「エネルギー作物」とも言えるもので、私としては、こうした未来型の技術を日本の国策として準備しておくという考えも必要だと思っています。未来の技術という言い方をしましたが、比較的近い未来の実用可能な技術になると思います。

2050年に、海洋魚の量を
プラスチックゴミ量が
上回るという懸念海洋プラスチックごみ問題の深刻さ
について、お聞かせください。

田口 実はある資料で、2050年には魚の重量よりも、海洋プラスチックの重量が上回ると言われています。これは本当に深刻な問題です。

特に、なぜ海洋に目を向けることが大切なのかというと、食物連鎖で濃縮していくのです。稚魚を見ると白い粒のようにマイクロプラスチックが見える例は、多々報告されています。更に昔、マイクロプラスチックの表面には、環境ホルモンということで問題になりましたが、内分泌かく乱物質が付着しやすいとされています。それが、食物連鎖の過程で生体濃縮され、やがて連鎖の末端に位置する人間が食べることになるわけで、人体への懸念が非常に大きいわけです。

海洋環境のことに触れましたが、更に大気中にも目に見えないマイクロプラスチックが浮遊して、取り込

んでしまっているという懸念がされています。多くは道路から吹き上げられて空中に散乱しているようです。

私も生態系などにはもちろん深く興味を持っているので、今春日本水産学会なども聞きに行きました。そこで生態系への影響がどれくらい進行しているかを聞いてみると、ある研究者は心配なデータに「レンジ(幅)がある」という見解をしていました。ただし、そういうレンジという言葉を使うのは、濃厚なレベルの場所や場合はどうなるのだという懸念がある裏返しとも考えられます。そういう中で、リスクはリスクとして想定することは、科学者がやらなければいけないことでもあると思います。

この深刻な問題に、覚悟を持って
向き合っているかという、考え
させられます。

田口 結局、マイクロプラスチック問題って何だろうと考えると、私は時間のファクターがすごく重要だと思っています。

一つの例で、実はナイロンを分解する微生物や酵素が、ナイロンの製造工場の廃水溝から見つかっています。つまり、微生物は生き永らえたいので、そのように分解する能力を進化的に獲得する生き物なのです。ですが今、海洋に漂うプラスチックを分解する微生物が現れるのは、億単位の何世代も後かもしれません。

だから、この問題を考える時、時間軸を考えることが、私は大事だと思っています。

多くの学問分野と連携する
必要性—倫理的な問題も

田口 また、生分解性バイオプラスチックの研究を考えるにあたって、倫理的な問題もあります。バイオテクノロジーの分野、高分子化学の分野、そして社会人文科学の分野などです。例えば、経営学、政治学、倫理学、地政学の視点も必要です。それはどういうことかと言うと、「生分解性のプラスチックが出来た。だからポイ捨てしていい…」という発想が広がっては、元も子もないわけです。

そうしたモラルの面も含め、社会
人文科学の領域等とも連携する
必要があるわけですね。

田口 一つの新製品が世に出回る時、その波及効果はあらゆる面に及ぶわけです。その事をあらかじめ考えておく「予測の科学」が必要なわけです。

これは1981年、日本で初めてノーベル化学賞を受賞した、福井謙一先生も晩年おっしゃっていました。「これから重要なことは、技術開発だけでなく予測の科学が大切で、実際にそれが世の中に出ていった時に、本当に大丈夫かということを考えていかなければいけない」といった意味のことです。技術が世に出た時の、言わば先だけでなく影の部分も予測しなくてはならないということです。

こうしたことも踏まえつつ、今後、色々な分野の方々の協力を得ていきたいと思っています。

産学官との連携

色んなことを“ほけっ”と
考え込んでいた少年時代

ジャンルを固定しない考えや取り組みをされてきたからこそ、発見が導き出せたのです。先生の幼い頃のお話もお聞かせください。

田口 私は東京で生まれた後、幼稚園から小学校の4年間、母親の実家である長野県の信濃大町という、北アルプスの麓の町で過ごしました。そこは自然豊かで、冬はものすごく寒く、そんな自然の厳しさも含めて、今に活着ているように思います。幼稚園から高校まで、休むことなく皆勤賞でした。

小さな頃から小中学校、高校まで一言で言うと“ほけっ”と生きていました。私は幼い頃、ぼんやりと色々な事を考えるのが好きでした。もともと文系、理系と区分して考えることもありませんが、答えを特定しない考え方をすることが好きなので、その面では文系の方の考え方に寄っているかもしれません。理数系の科目は苦手ではありませんでした。高校卒業後、東京理科大学の理学部応用化学科に進みますが、そこからスタートしたのは、自分にちょうど良かったように感じています。

学部3年で当時新しい分子生物学に魅了され、大学院は東大大学院工学系研究科の三浦謹一郎教授(mRNAワクチンの安定性に寄与するキャップ構造を発見)の研究室に入りました。刺激的で文化度の高い環境で多くのことを学び、プライベートでは、私の結婚式で仲人をして頂きました。

日本の産業や研究分野は
几帳面に考えすぎる傾向

先生の研究は、まさに世界をリードするポジションにあるものですが、日本は近年、研究面や産業面で勢いがなくなっていることが心配されています。今後、どんな視点が大事になると思われますか。

田口 あくまで私の肌感覚としてお答えすると“日本は考えすぎ”“几帳面すぎ”だと感じます。

環境に敏感と言われるドイツでも、傷が入ったりしたものを平気でリユースします。自動販売機の飲み物の容器などもそうです。そうした場合に傷を気にしたりするのは、世界で見ると日本くらいです。つまり几帳面過ぎて高級志向すぎるので、もっとルーズになっていいと思います。

そして、“考えすぎ”という例で、例えばマレーシアやインドネシアなど東南アジアの国の国際会議に行くと、粘土細工から何から、とりあえずたくさん試験作品を展示しています。日本だとそうした展示はあるかないかという感じで、そこには「高級な立派な展示物でないといけない」という考えがあるように思います。海外は、とりあえずでも「作って出す」、しかし一方で日本人は「考える」に終始して、出展することにひるんでいるわけです。私はその印象を強く持っていて、そうした几帳面な感覚が、日本の国力を落としていることに繋がっているように感じています。妥協ではなく許容がカギだと思います。

産学官との連携

話の中で進化学にも触れましたが、“構造は分からないけど機能をどんどん高めてしまおう”というアメリカ的発想は、大きく科学を進歩させ、国力に多大に寄与したわけです。そうしたマインドが、研究者にも、また企業にも、色んな分野の一人ひとりに大切になると思います。これから益々、世界の競争は激しくなりますからね。

講師を務めた一般向けのサイエンスカフェで感じた若者の科学への興味の強さ

日本の中高生への理科教育について、どんなことをお感じですか。

田口 北海道大学在職時代に、中高生を含む一般の方々がどなたも参加できる「サイエンスカフェ」の講師を経験しました。2月の受験時期と重なっていた頃でしたが、たくさんの中高生が来てくれて、若い人達の科学への興味の強さをとても感じました。こういった場は少しでも多い方が良いと思いました。札幌のサイエンスカフェで、私は「夢のプラライフ」というテーマで話をしたのですが、自分の方も資料を準備して、どうしたら伝えやすくなるかと考えたりして、とても勉強になります。

日本の学校教育現場で思うことは、中高生の頃に実験のチャンスを多く持ってもらう事は間違いなく大事だと思いますし、それが、座学の授業との連携でシナジー効果が出ると思います。そして大事なのは、先生が「しなければならぬ」でなく、一緒に楽しむことで、その姿に

生徒たちは惹かれていくと思います。まず、先生が好奇心旺盛で「なぜだろう?」という好奇心をくすぐる探求心を持って、生徒さんたちに教えていただければと思っています。とはいえ、時折記事になるように、教師の方々の負担は大変になっていて、色々な悩み多き事情があることは承知しております。

大学が企業の“下請け”にならない事、連携が大切

さらに、日本の大学の研究についての課題や思うことをお聞かせいただけますか。

田口 随分、産学連携での研究が進んできました。一方で、大学の研究が企業の下請けのようになってはいないだろうか、とも感じています。研究費の調達に苦しんでいる大学としては、企業でできないような研究を一生懸命やるわけですが、連携であり、下請けではないわけです。

言ってみれば、大学へのリスペクトがおろそかになっているということですね。

田口 日本でも大学発ベンチャーが出てくるなど変わってきていて、大学の先生も元気づいているように思います。昨今は“持続可能”“サステナブル”という言葉が使われます。しかし産官学で研究をする時、企業は数十年や長いスパンのサステナビリティを考えてサポートしているのかと言えば、どうしても短い期間

での利益が気になるものではあるでしょう。その考え方自体をサステナブルにしていくことも必要ですし、経済界とアカデミアが対等になっていかねばならないとも思います。

昨今、博士課程に進学する大学生が少ないと言われるのですが、大学の先生の姿が魅力的でないとそうになってしまうと思います。そんなに高くない給料で、望まないような形でサイエンスをやっている姿を見ると、失望してしまいますよね。

サイエンスから話がそれますが、メジャーリーグの大谷翔平選手は、お金が欲しいとかそういうことでなく、何より自分が楽しんでますよね。その姿を見るとやはり魅力を覚えるものです。科学の分野に限らず、日本自体が“楽しそう”と、外から見えているでしょうか。例えば海外からの留学生も日本以外の国を選ばないようになることが進み、色々な問題が起こってくると思います。

最近、科学論文の数やインパクトの世界ランキングが後退しています。博士課程進学者の数も伸び悩み、将来を案じています。先ほど東大・三浦研究室の文化度に触れました。共通部屋に「お茶場ノート」が置いてあり、皆が自由に書き連ねる文章には、価値観の多様性と表現の豊かさがあり、“インスピレーション”が溢れていました。あのノートは今どうなっているのか？久しぶりに思い出しましたが、そこにヒントがあるように思います。多くの卒業生は、それぞれの分野で大活躍していますが、まさに百花繚乱の才能が育った環境でした。

科学機器業界に期待したい研究を“自分ごと”のように思ってくれるマインド

先生が利用されてきた、科学機器についてもお聞かせください。

田口 GC(ガスクロマトグラフ)、HPLC(高速液体クロマトグラフ)や遺伝子工学関連機器はよく使用してきました。特にDNAシーケンサーは擦り切れる程使ってきました。また、蛍光顕微鏡もよく使ってきました。やはりリアルに物が見えるということは大きいです。マイクロプラスチックの危険性にしても、目に見えるから人々の興味と関心が広がったと思いますし、見えることは“理解できること”に繋がると思います。

最後に、科学機器業界へのご意見やご要望などはございますか。

田口 科学機器が私の研究活動を支えてくれて、色々と助けていただきましたので、感謝しています。

要望というと、実際に接する担当者の方のサイエンスへの興味の持ち方についての要望が一番大きいです。サイエンスそのものが好きで、私の研究を“自分ごと”として考えてくれる担当者の方はやはり非常にありがたいです。逆に、例えば、新しい機械のパフレットだけを置いていかれても、私の研究にどう役立つのか、分からないわけです。私の研究を、一緒になって加速促進してくれるような提案をしてくださる担当者の方はありがたく、今後もお力を借りたいと望みます。



田口ポリマーLAHBは、生分解性と加工や強靱さなどの実用性を両立した次世代型プラスチック材料として世界的に注目されています!

CO₂削減を定めたパリ協定その目標を達する重要性

産業と地球環境保護を両立させる現在進行の動きに、色々と考えさせられました。

田口 今、何においても世界で非常に重要とされているのは、やはりパリ協定の2050年の目標で、2030年の中間報告が、世界的に置かれているマイルストーンです。CO₂の削減量はどうか、平気気温はどうか、などあらゆる面において2030年の中間報告を確認し、いよいよ本番の2050年、各国が宿題を片付けられたのかを問われます。

パリ協定はものすごく強制力が強いです。そして課せられているハードルは非常に高いです。しかし達成しないと、本当に人類、生命の危機につながるのです。

とにかく20世紀まで、人類はワンウェイでCO₂を出してきました。そのCO₂を原料に使ったものづくりをする、そしてそれぞれリサイクルを全部やるという21世紀型のプロセスを作っていないと、今後、人類の世の中はやっていけないわけです。

そうした危機的状況にあることは、間違いがないのは事実です。

地球環境問題は、自身の健康問題に置き換えるとたちまち実感が湧きます。定期健診の結果が戻ってくるたび、生活態度を見直し対策を打ちます。我々の産業活動が、そのまま地球の健康状態に反映されます。産業革命により地球温暖化が進みました。パリ協定やSDGsの取り決めは、地球の健康維持のためのアジェンダです。私利私欲の戦争をしている場合にはありません。“水の惑星”地球が、真の意味で瑞々しく持続可能な状態を維持していきたい。この惑星に奇跡的にも誕生した我々にとっての本能であり、そのメッセージは子々孫々にリレーされていく運命にあると思います。

改めて、地球環境の深刻さを認識しました。田口先生の今後の研究に期待いたします。

次号「科学の萌芽」では、東京大学工学系研究科 総合研究機構 准教授 横田知之先生にお話を伺います。