

# 光合成の力を生かした物作り 低炭素社会の実現を目指して

光合成を行う細菌の一種であるラン藻を利用して二酸化炭素からプラスチックの原料を作り出し、低炭素社会の実現に取り組んでいるのは明治大学農学部的小山内崇専任准教授だ。学生と共に数多くの論文を発表する他、企業との連携にも積極的に取り組むなど成果を出し続ける秘けつに迫る。

## きっかけは偶然の重なり CO<sub>2</sub>と水から作るコハク酸

プラスチックは便利な素材だが、海洋プラスチック汚染をはじめさまざまな環境問題を引き起こし、原料となる石油の枯渇も懸念されている。そのため、近年では環境負荷が小さいバイオプラスチックの研究が盛んだ。

従来のバイオプラスチックは、食用にもなる糖や油脂などの構造が似た物質を原料にして作られている。これに対し、最も単純な構造を持つ物質の1つであるCO<sub>2</sub>をプラスチックの原料にしようと挑んでいるのは、明治大学農学部的小山内崇専任准教授だ。「今後人口が増えれば糖や油脂は食糧用途が優先されるようになるでしょう。大気中にあるCO<sub>2</sub>と水からプラスチック原料を作ることができれば資源の問題も解決しますし、地球温暖化の原因となるCO<sub>2</sub>も削減できます」と研究の狙いを語る。



図1 ラン藻は細菌の一種で、シアノバクテリアとも呼ばれる。温度と光が制御された「人工気象器」の中で培養する。

2013年11月号vol.19登場

おさない たかし  
**小山内 崇**

明治大学 農学部 農芸化学科  
専任准教授  
2011年～14年さきかけ研究者、  
13年よりALCA研究代表者

小山内さんは2011年からさきかけ研究者として、バイオプラスチック原料の1つであるポリヒドロキシ酪酸 (PHB) をラン藻内で作る研究に取り組んできた(図1、図2)。ラン藻は生成したPHBを細胞内に蓄積するので、工業的に利用するには細胞外に取り出す工程が必要だった。

そこで、ラン藻が生成した後に細胞外に自然に放出するような有用物質を探していたところ、13年にバイオプ

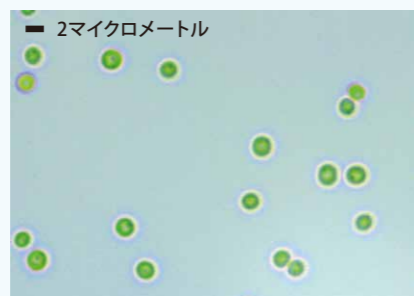


図2 小山内さんが研究で主に用いているシネコシステリス。世界中で広く研究されているラン藻の1つで、球形の単細胞だ。

ラスチック原料となるコハク酸がラン藻から生成されることを小山内さんは発見した。「実はコハク酸を生成するラン藻は少ないのですが、偶然にも自分が研究していたラン藻はコハク酸を生成する種類でした。また当時使用していた分析機器で、たまたまコハク酸がとてもきれいに分離できたのです。コハク酸の生成を発見したのと同じ年に、ALCAで低炭素化技術に関する研究テーマに採択されました。研究を始めたきっかけは偶然の重なりとしか言えません」と小山内さんは当時を振り返る。

## 費用対効果を常に意識 企業とWin-Winの関係に

ラン藻は光合成でCO<sub>2</sub>と水から糖類のグリコーゲンを作り、細胞内に蓄積する。これを光合成ができない暗い

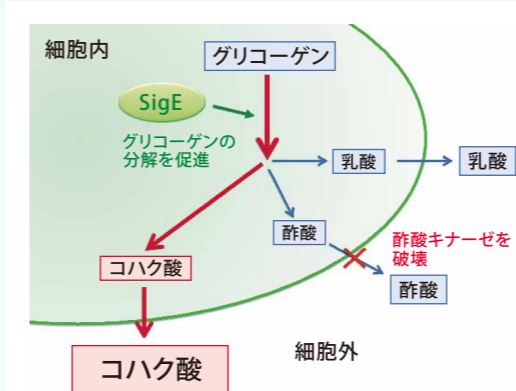


図3 ラン藻を嫌気・暗条件下で培養すると、細胞内に蓄えられていたグリコーゲンが分解され、コハク酸、乳酸、酢酸などの有機酸が合成され、細胞外にも放出される。小山内さんはラン藻の遺伝子を、炭素の貯蔵源であるグリコーゲンの分解を促進する因子の1つであるSigEが過剰発現すると同時に、酢酸キナーゼが欠損するように改変し、コハク酸の生成量を大幅に向上させた。

環境に置くと、細胞内のグリコーゲンを分解してエネルギーを作るが、副産物としてできた酢酸、乳酸やコハク酸は細胞外へ放出される。

小山内さんはラン藻の遺伝子を改変して、15年には放出されるコハク酸の量を従来の5倍となる1リットル中100ミリグラムに増加させることに成功し、20年には1グラム以上生成できるようになったという(図3)。「現在の世界最高記録とはいえ、実用化には50グラム以上の生産量が必要です。どんなに良い成果でも、費用対効果に見合わなければ企業は導入しません。実用化するには安価で大量生産できる、少量でも付加価値が高いといった強みが必要だと痛感しました」と小山内さんはコスト意識の重要性を強調する。

例えばバイオベンチャーのユーグレナ社(東京都港区)との連携では、16年12月にミドリムシの名でも知られるユーグレナからコハク酸が生成されることを発見し、20年10月には1.5グラムまで生成量を増やすことに成功した。加えて18年12月にはユーグレナからアミノ酸が得られる可能性を発見し、20年10月にはミドリムシの培養液を酸性にするとグルタミン酸やグルタミンが多く生成されることを突き止めた。

企業との連携を多く手掛ける小山内さんは、成果を出す秘けつをこう分析する。「企業とはWin-Winの関係でいることが大切です。できてよかったと自己満足で終わらず、互いに納得できる成果を出せているかを常に意識しています」。

## 学生自ら考え選ぶ研究課題 研究成果と自己実現を両立

企業との共同研究を実際に担うのは研究室に所属する学生たちだ。小山内さんの研究室では、6割から7割の学生が大学卒業後すぐに就職する。2年の研究期間で目に見える形で成果を出し、将来につなげるのに企業連携は良い学びの場だという。「実際の製品開発に携わり仕事への向き合い方やスピード感、製品に要求されるレベルを間近に感じた学生は意識も変わり、研究者としてだけでなく人として大きく成長します」と小山内さんはその効果を語る。

一方で大学院に進学を希望する学生には、早いうちから論文執筆に挑戦させている。ラン藻に限らず生物学の分野では研究に時間がかかるため、他分野と比較して論文を執筆する機会が少ない傾向にある。小山内さん自身も最初の論文がなかなか出せずに苦労した。「最初の論文を早く完成させると、研究を進める上で大切なことが学生にも見えるようになり、次のステップに進みやすくなります」と小山内さんは学生が成果を早く出すことの重要性を語る。

成果が出ないテーマには早めに見切りを付けることもある。テーマを変更する時には、学生の希望も聞きながら他にはどのような選択肢があるのかを伝え、学生自身に考えさせ選ばれるようにしている。テーマを変える過程も学生の成長の糧となるからだ。

「幸いなことに研究室の初期の学生たちが頑張って早いうちに論文を執筆してくれたので、今では学部生

だって論文を出せる、大学院生なら論文は書いて当たり前という雰囲気がある研究室の様子を語る。学生が研究成果を手にすると同時に、自己実現も、人として成長できるよう小山内さんは日々心を砕いている。

## 長い研究生生活を見据え 人脈広げ目標高く

さきがけでは基礎研究に注力し同年代の研究者と切磋琢磨する中で、合宿形式の領域会議や成果報告会を活用して人脈を広げたことがALCAへの応募につながったという。応用や社会実装を意識したALCAでは、何度も厳しい中間審査を受けることで、自分の出した成果に満足することなく、常に一段高い目標を描きながら研究する習慣が身に付いたと語る。「採択がゴールではなく、採択された後にどれだけ自分を高められるかが大切です。研究レベルの向上はもちろんですが、自分から積極的に動くことで異分野の研究者や別の支援プログラムを紹介してもらえたこともありました。人脈も情報網も広げることができれば、次のステップにきつとつながります」と研究の幅を広げ発展させるコツを語る。

今後の目標を聞くと「定年が70歳なので、いかに飽きずに長く研究を続けられるかが大事」と話す小山内さん。自分自身を飽きっぽい性格だと分析するが、同時に「人が面白いと思わないことに面白さを見いだせるのが研究者。面白いものを見つける目は持っていると思いますし、常にアンテナを張っていたい」と語る。

研究の足跡を見ても、生物の代謝メカニズムに軸足を置きつつ、基礎から応用まで興味のある分野へ多彩なアプローチで進んできたことがよくわかる。今興味を持っているのは「生物と化学の融合」と話す小山内さん。ラン藻が生成できる有用な物質はまだあるはずと嬉しそうに語る、小山内さんの低炭素社会実現への挑戦に注目したい。