

第6回佐倉サイエンスアカデミー

「植物に含まれる分子の不思議

～昆虫、動物と植物の関わりを

分子から読み解く～」

千葉大学大学院薬学研究院

天然物創薬化学研究室 教授

石川 勇人 先生



植物の中には、多種多様な分子が含まれています。

それらの分子は、長い進化の過程で生み出され、周囲の動物や昆虫と相互に影響を及ぼしあいながら機能しています。本講演では、石川教授らが最近解明した、分子が生み出す不思議な現象についてご紹介いただきました。

植物と生物の関わりを分子で解き明かす

陸上生態系の基盤を成す植物は、光合成によって有機物を作り出す「生産者」として食物連鎖の底辺を支えており、常に昆虫や動物による捕食の危機にさらされています。その一方で、植物が子孫を残すためには、花粉を運んでくれる「送粉者」との共生系が不可欠です。動くことも話すこともできない植物は、体内で作る多種多様な有機化合物を巧みに利用することで、外敵から身を守り、味方となる生物を呼び寄せています。石川先生は、天然物化学と有機合成化学の力を駆使し、植物と他の生物との複雑な関わりを「分子」というミクロの視点から紐解き、その最新の研究事例を紹介してくださいました。

香り成分が導く絶対共生の関係

最初の事例は、奄美大島などに自生するサルトリイバラ科の植物「カラスキバサンキライ」という植物と、「タマバエ」の間に見られる絶対共生関係についてです。この植物の葉は唐鋤（からすき）の刃に似た形をしており、その花は一般的な花のように大きく開くことはありません。つぼみのような状態のまま小さな穴（開口部）が開く程度の開花にとどまり、やがてそのまま落下してしまうという奇妙な特徴を持っています。神戸大学の末次健司教授らの生態学的観測により、落下した雄花の中には必ずタマバエの幼虫がおり、幼虫は花の組織を餌にして成長することが判明しました。タマバエの雌は、カラスキバサンキライの花の開口部に穴が開くとすぐにやってきて産卵管を突き刺し、その過程で花粉が付着する「受動受粉」が行われます。一方、雌花に産卵された場合は空間が狭く幼虫は成長できませんが、花は落下せず種子も消費されないため、タマバエが訪れることで受粉のみが成立します。このように、植物側は

最小限の負担で繁殖を遂げ、昆虫側は育児室として花を利用するという、相手の存在なしには生存できない「絶対共生」の関係にあることがわかります。

では、なぜタマバエは地味で目立たないこの花に特異的に惹きつけられるのでしょうか。野外観察により、タマバエは匂い物質に対する反応としてよく知られる「ジグザグ飛行」で花に向かって近づくことがわかりました。花が視覚的に目立たない地味な姿であることを併せて考えると、視覚よりも「香り」が誘引に重要な役割を果たしている可能性が高いと考えられます。そのため、特殊な香り物質が放たれ、それが誘引に寄与しているのではないかという仮説が立てられました。

花の香りを集め、ガスクロマトグラフィー質量分析を行った結果、カラスキバサンキライの花の香りはほぼ単一の化合物からなることがわかりました。石川先生らの研究チームはこの化合物が「ジヒドロエデュランⅠ」または「ジヒドロエデュランⅡ」という花の香りの成分としてきわめて珍しい化合物であるところまで突き止めました。しかし、カラスキバサンキライを大量に集めて香り成分を抽出し、誘引効果を証明することは現実的に不可能です。そこで、石川先生の研究チームは、有機合成の力を駆使してジヒドロエデュランⅠおよびⅡを化学合成し、野外実験を行いました。その結果、ジヒドロエデュランⅠというたった一つの香り成分だけでタマバエを強力に誘引し、他の昆虫は一切引き寄せないことが見事に証明されました。雄花も雌花も同じ香りを放つため、タマバエは香りのみを認識して誘引され、両者を区別せずに訪花します。

このように、カラスキバサンキライとタマバエの絶対共生関係は、単一の香り成分による高度に選択的な誘引によって維持されています。

この「プライベートチャネル」による相互作用は、特定の植物と昆虫がいかにして進化の中で精巧な共生関係を築き上げたかを示す新たな化学生態学的な発見であり、植物の生存戦略がいかに高度であるかを物語っています。

オオバコとダンゴムシの奇妙な関係

2つ目の事例は、日本全国の道端などごく身近に自生し、古くから生薬としても利用されてきた「オオバコ」と、その若葉を好んで食べる「ダンゴムシ」の不思議な関係です。京都大学の山尾僚教授らの観察により、ダンゴムシのフンがある場所ではオオバコの種子が全く発芽せず、若葉があらかた食べられてダンゴムシがいなくなり、雨などでフンが洗い流されると一斉に発芽を始めることが知られていました。まるでオオバコの種子が、天敵であるダンゴムシが地上にいることを何らかの方法で認識し、食べられる危険を回避するために発芽を意図的に遅らせているかのようです。実際に行われた試験でも、オオバコを食べたダンゴムシのフンに特異的な発芽抑制活性があり、シロイヌナズナなど他の植物を食べさせたフンや、野生ではなく栄養たっぷりの土壌で育てたオオバコを食べさせたフンでは活性がないことが判明しました。

石川先生の研究チームは、この精巧な捕食者認識機構を化学的に解明するため、大量のダンゴムシのフンを採取し、抽出と分離を繰り返す成分探索を行いました。分離・分析の結果、発芽を止めている物質の正体は「D-(+)-トレハロース」であることが特定されました。興味深いことに、化学合成した非天然型のL-トレハロースでは発芽抑制効果が見られなかったことから、植物側の特定の受容体がD-トレハロースの立体構造を正確に認識して作用していることがわかります。さらに成分解析を進めた結果、オオバコの葉自体にはトレハロースは存在しておらず、オオバコ葉内のトレハロース前駆体がダンゴムシの体内で代謝されることによってトレハロースが生成され、フンとして排出されている可能性が高いと結論付けられました。話すことも動くこともできない植物が、分子を使って自分たちの危機を種子に伝え、集団の生存を守っている驚異的なメカニズムです。

線虫を誘引する物質の発見と応用

その他の事例として、世界中で年間約1000億ドル（約15兆円）もの甚大な農業被害をもたらしている「ネコブ線虫」と植物の関わりについても紹介されました。特定の植物に感染するネ

コブ線虫は、植物の根から放出される誘引分子を感知して寄り付いてきます。大豆から発見された「カダベリン」という遠隔シグナルや、亜麻仁から発見された「ラムノガラクトソナン」 という部分シグナルが、線虫を誘引していることが突き止められました。また、研究の過程で試薬の純度を徹底的に調べていた際に、硫酸カルシウムや炭酸カルシウムといった無機物だけでも線虫を強く誘引できることが偶然発見されました。組成に明確な統一性はないものの、この性質を活用すれば、農薬に頼らない「線虫ホイホイ」のような、新しい環境調和型の害虫防除技術へ展開できる可能性を秘めています。

最後に

本講義で紹介された事例から、植物が決して受動的で無力な存在ではなく、高度な化学物質のネットワークを用いて昆虫や動物と相互に作用し、自らの生存と子孫繁栄のための戦略を高度に練り上げていることが明らかになりました。特定の共生昆虫だけを呼び寄せる香り成分や、天敵のフンに含まれる代謝物を感知して発芽時期をコントロールする仕組みなど、進化の過程で築き上げられた生命の神秘には驚かされるばかりです。石川先生が率いる天然物創薬化学研究室では、自然界に存在する有機化合物の構造を決定し、人工的に合成してその働きを解明する「ケミカルバイオロジー」のアプローチで生命現象の謎に迫っています。1981年から2019年に上市された医薬品の約50%が天然物に関連していることからわかるように、こうした基礎研究で得られた知見は、新たな医薬品の開発や持続可能な農業技術への応用など、未来の私たちの社会に大きく貢献していくことが期待されます。

○講師：石川勇人先生

2004年に千葉大学大学院医学薬学府博士後期課程を修了後、米国スク립ス研究所化学科博士研究員、同アシスタントプロフェッサーを歴任。2007年に東京理科大学工学部工業化学科助教、2011年に熊本大学大学院自然科学研究科准教授、2018年に同教授を経て、2021年より千葉大学大学院薬学研究院教授に着任され、現在に至ります。

現在は同大学院にて、天然物を「探す」「作る」

「医薬へつなげる」次世代創薬の最先端研究に邁進されています。2021年に長瀬研究振興賞、2024年に日本薬学会学術振興賞を受賞されるなど、多数の優れた実績を残されています。