



植物と共生菌の間でのシグナル伝達する ペプチドの探索に向けて

Searching signaling peptides between plants and symbiotic endophytes

いとう しほ はなだ こうすけ
伊東 梓帆¹⁾・花田 耕介²⁾

1) 九州工業大学大学院 情報工学研究院
2) 九州工業大学大学院 情報工学研究院 教授

Keywords : 分泌ペプチド, エンドファイト, ホルモン, コリトトリカム

植物の組織間のシグナル伝達物質である植物ホルモンのような低分子有機化合物が共生菌と植物間においてシグナル伝達物質として働いていると考えられ、シグナル伝達を担うペプチドが着目されている。シグナル因子としてのペプチドの機能を調べるためには、モデル生物であるシロイヌナズナで推進することが効率的である。そこで、シロイヌナズナと共生関係を *Colletotrichum tofieldiae* を使用して、環境変化のシグナルを伝達するペプチドの探索を推進する研究を計画している。

はじめに

爆発的に起きつつある世界人口の上昇によって食糧生産量を上昇させる対策を今後10年以内でとる必要があるとされている。しかし、地球規模での気候変動により、耕作適合地の大幅な減少も予測されている。そのため、人類が食糧生産量を上昇させるためにも耕作不適合地での農作物の生産方法の確立が必須である。耕作不適合地で農作物の生産をする有力な方法として、微生物を利用した農法開発が挙げられる。微生物の中には土の中の養分である窒素やリンを微生物独自の方法で吸収し、それを植物に供給するものが存在する。このような微生物の力を利用することにより、様々な場所で農作物を生産することが可能になる。しかし、微生物は

植物に一方的に利用されるだけでなく、植物の光合成産物である糖類などの炭素化合物を獲得する形質を持っている。このように、植物と共生関係を築いている微生物を利用した農法開発が着目されている。

1. 共生菌と植物間に存在する異種間のシグナル伝達物質

共生ではどちらか一方の生物種が繁栄することは許されず、共生菌と植物の生長のバランスが必要になる。このバランスをとるためには、植物が組織間のシグナル伝達物質である植物ホルモンを利用していることと類似した方法があると考えられる。つまり、共生菌と植物間においても異種間のホルモンのようなシグナル伝達物質が存在すると考えられる(図1)。そのため、

Shiho Itoh¹⁾・Kosuke Hanada²⁾ :

1) Department of Bioscience and Bioinformatics, Kyushu Institute of Technology

2) Professor, Department of Bioscience and Bioinformatics, Kyushu Institute of Technology

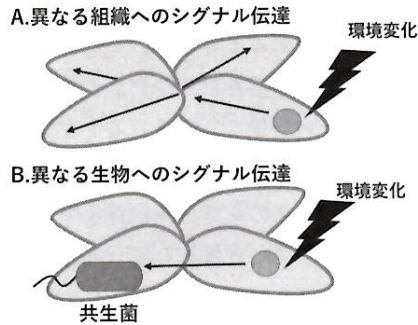


図1 環境変化を伝えるシグナル伝達システム
A: 多細胞生物が個体として共同して活動するために、異なる細胞に環境変化を伝えるシステム。
B: 異なった生物種が生命共同体として活動するために、異なる生物種に環境変化を伝えるシステム。

共生メカニズムを分子レベルで理解するためにも、共生菌と植物間のシグナル伝達物質の同定が必要である。

植物の組織間のシグナル伝達物質である植物ホルモンの多くは、低分子有機化合物であるため、共生菌と植物間においても低分子有機化合物がシグナル伝達物質として働いていると考えられてきた。実際に、低分子有機化合物の植物ホルモンの一つである「ストリゴラクトン」は、幅広い植物で共生菌として働いているアーバスキュラー菌根菌（AM）が植物との共生を促進する機能があることが明らかにされた¹⁾。また、同様に、低分子化合物のサリチル酸も共生菌の細菌叢を変化させることが報告されている²⁾。このように共生菌と植物間の共生関係を担う低分子の有機化合物の探索が行われてきたが、それ以上は見出されていない。

一方で、近年、植物の組織間の新しいシグナル伝達物質として短い遺伝子にコードされる分泌ペプチドが、様々なホルモン様機能を有することが明らかにされている。実際に、共生菌が感染した植物から多種多様なペプチドが分泌され、共生菌に侵入し、病原性糸状菌を減少させ、

非病原性糸状菌を増殖させていることが報告されている³⁾。また、マメ科植物は、抗菌作用のあるNCR（Nodule Cysteine-Rich）ペプチドを分泌し、マメ科の共生菌である根粒菌の過剰増殖から宿主植物を保護し、根粒菌の分化を促進させていることが明らかにされている⁴⁾。さらに、マメ科植物から根粒菌に侵入するアスパラギン酸ペプチダーゼは、根粒菌の窒素固定を促進する役割を持つことが明らかにしている⁵⁾。このように、植物由来のペプチドが共生菌へのシグナル伝達物質として働いていることが次々と明らかにされているが、これだけでは説明できない現象がまだ多数存在する。そのため、植物由来の共生菌へのシグナル伝達物質としてペプチドを同定する研究が盛んに行われつつある。

2. シグナル伝達物質を探索するためにモデル生物の利用

非モデル植物を利用して共生菌へのシグナル伝達物質を探索することは困難である。そこで、筆者らは、植物から分泌される新規のシグナル因子として働くペプチドを同定するために、植物のモデル生物であるシロイヌナズナと、シロイヌナズナと共生関係を示す *Colletotrichum tofieldiae* (Ct 菌) に着目している⁶⁾。Ct 菌はリン含有量の少ない高山に生育するシロイヌナズナから単離され、リン不足状態のときにリンを供給し、成長促進をしていることが明らかにされている。しかし、*in vitro* の実験系でシロイヌナズナにCt 菌の感染実験を行ったところ、Ct 菌はシロイヌナズナにリン濃度が低いときには成長促進を示すが、リン濃度が高いときには成長抑制を示した。つまり、Ct 菌は環境によってシロイヌナズナに共生効果と病原性効果を示しているということを明らかにしている。

ここで、病害菌になりうる三つの要因につい

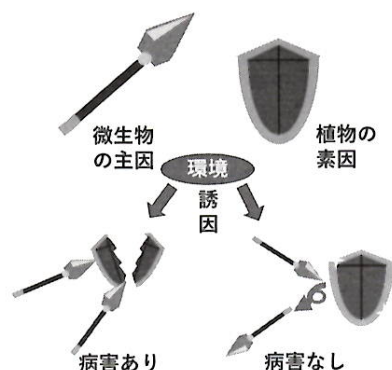


図2 病原体が植物に病原性を与える三つの要因
主因は、微生物が保有する病原を引き起こす因子である。
「素因」は、病原微生物への植物体の抵抗性因子である。
「誘因」は、「主因」と「素因」を変化させる生育環境の
因子である。

て考えてみる(図2)。一つ目の要因は、微生物が保有する病原を引き起こす「主因」である。これは、微生物が植物に対して持つ「矛」と言い換えることができる。少なくともCt菌には主因である「矛」を有していることになる。Ct菌が「矛」を持っているからといって、必ず植物に病害を与えるとは限らない。植物に病害を与える他の要因として、植物体の抵抗性である「素因」と、生育環境である「誘因」がある。「素因」は、植物が微生物の「矛」に対応する「盾」と言い換えることができ、「誘因」は「環境」と言い換えることができる。つまり、リン濃度が高い培地では、植物の「盾」が働きづらく「矛」が効きやすい「環境」であり、リン濃度が少ない培地は、植物の「盾」が働きやすく、「矛」が効きにくい「環境」となる。

これらのことを踏まえると、筆者らは共生関係とは、お互いに共生することが有利な状態になるため、どのような条件でも成り立つものではなく、シロイヌナズナとCt菌のように環境条件に依存して変化するものであると考えた。つまり、植物自身が共生菌を必要とし共生菌が増加してほしい状況か、共生菌を不必要とし共

生菌を抑制してほしい状況かを伝達する分子メカニズムが存在すると考えた。そこで、リン濃度が高い培地で分泌されるシグナル物質と、リン濃度が少ない培地で分泌されるシグナル伝達物質があると想定した。

さらに、これらのシグナル伝達をするペプチドが植物に存在すると仮定して、共生菌とのシグナル伝達物質を同定したいと考えている。そこで、我々は、リン濃度が高い培地で分泌されるペプチドや、リン濃度が少ない培地で分泌されるペプチドをコードする遺伝子を過剰発現させた形質転換体を構築し、この形質転換体とCt菌を感染させ、リン濃度に依存せずに、共生効果や病原性効果を変化させるかを調べたいと考えている。

このように、モデル生物で共生効果を調べることで、共生メカニズムを分子レベルで明白にできると考えている。

文 献

- 1) Akiyama Kohki, Ken Ichi Matsuzaki, and Hideo Hayashi. (2005): Nature 435: 824-27.
- 2) Lebeis, Sarah L., Sur Herrera Paredes, *et al.* (2015): Science 349: 860-64.
- 3) Plett, Jonathan M., Hengfu Yin, *et al.* (2017): Scientific Reports 7: 1-13.
- 4) Pan, Huairong, and Dong Wang. (2017): Nature Plants 3: 17048.
- 5) Shimoda, Yoshikazu, Yuki Nishigaya, *et al.* (2020): Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 117: 1806-15.
- 6) Hiruma, Kei, Nina Gerlach, Soledad Sacristán, *et al.* (2016): Cell 165: 464-74.

謝 辞

本研究はJSPS・科研費(19K22313), およびJSPS(1082712)の助成を受けたものです。



伊東 梓帆 Shihito Itoh
九州工業大学大学院 情報工学研究院
2017年～21年 九州工業大学情報工学部
生命情報工学科 卒業
'20年～九州工業大学大学院情報工学研
究院 博士課程前期