

皆様

沢山の質問を本当にありがとうございました。

真剣に聞いていただいていたのが、伝わってきました。また、鋭い質問も多く、なるほど、考えようとおもうことが多々ありました。

植物に興味をもってもらえて、また、自分も研究を試みようかとおもってもらえたりしたなら嬉しい限りです。

回答がうまくできていない個所もあるかもしれませんが、個別に回答をつくってみました。また、お時間のあるときにでもみていただけたらと思います。

ありがとうございました。

塩尻かおり

2019/9/2

・ダイズと、食害や傷を受けたダイズを混植せずにセイタカアワダチソウと混植するのはなぜですか。同種間のほうがよく誘導防衛がなされると思います。

確かにそうだと思います。ただ一般に作物を切ってしまうというのに抵抗があるかなと思っています。雑草だと、除草はするのでそれを利用するというのは一石二鳥だと考えたのです。ただ、もしかすると、イネ科作物ならイネ科雑草、ナス科作物ならナス科雑草というほうが誘導防衛がなされやすいのかもしれませんが、まだ、どの組み合わせが良いのかというのはわかっていません。

同じ個体間でもそれぞれの枝は独立だとおっしゃっていましたが、それは1つの枝を完全に切り離して扱って他の部分が生き残るための生存戦略なのではないでしょうか。そうだと考えると、植物間コミュニケーションを用いて自分の周りにいる血縁者のことは助けようとするのに自分の個体の一部に関しては切り捨ててしまうのは何故ですか。

植物にもよりけりで、草本だと維管束系での情報伝達がなされています。ただ、樹木では枝ごとに分断しているということが言われています。これは根からの水分保持のためじゃないかと言われています。

○ それぞれの実験について、植物の被害が少ないこと、被害を受けていることは、
どのようにして分かるのですか？

眼でみて数えています。また、葉が大きい場合は、食べられた割合を調べています。

匂いは、単一の成分では構成出来てはならず、複数の成分で構成されている
と聞きました。情報を共有する際の匂いは、数種類しかないのか、たくさんあるのか、
どちらですか。たくさんあるのなら、それらの匂いによく見られる物質や共通の構造など
はありますか？

どれが情報になっているのかは、まだわかっていませんが、血縁認識するということから、
複数の揮発性成分を使っていると考えています。植物の誘導性の匂いには、緑の香り、モノ
テルペン、セスキテルペンなど匂い物質の分類はできますが、緑の香りの中でも、アルコー
ルもあればアルデヒド、アセテートなどもあります。なので、共通構造といわれると、どこ
までを共通構造というのかな？というので、今は答えられません。

植物が情報を共有する手段として匂いで「ある必要性は何である」と思いま
すか？なぜわざわざ空気に放出するよりも、個体内や土壌内で情報を共有した方が良
いのではないですか。また、これは可能ですか？

元もとは何か被害をうけると出てしまう匂いだったのだろうと考えています。なので、それ
ほどは生産コストがかからない。内部伝達するよりも効率が良いという理由からだったの
かなと考えています。また、セージ、セイタカは違いましたが植物によっては土壌をかいし
ても行われている場合もあります。

在の植物の進化後の根組みの両向きを感^じT₂₀ま^もんとして、T₁で維管束
系から^っpp^の47^の11^のか^という点^だ。現在を^うろ^う2^の組^みか^とら⁴2^の1^のT₁1^の2^のも^し実^際
に²維^管束^を「^をう^ろう^やり^とり^をし^らう^とする^とせ^られ^られ^不利^になる^か、^具体的^に
ど^のよ^うな^点か^内題^となる^のか^を1^の2^の。

セージは半乾燥地帯に生息しているブッシュです。なので、水分保持のためにもあまり維管
束系にたよらないのではないかと思います。でも、これは仮説なのでわかりません。セ
イタカアワダチソウの場合は、個体内伝達を匂いでおこなっているのか維管束系でおこな
っているのかは調べていませんが、草本なので両方やっているのではないかと思います。
というのも、セージブラシの近縁種で、生息域が湿地帯にいる種は、維管束系での個体
内伝達も行っているし、匂い伝達も行っているという結果があります。

特定の種で「匂い」のみ存在している（あるいはコミュニケーション）のみはあるのか。

調べられていないのでわかりません。これを明らかにするには大掛かりな実験が必要かと思えます。A 種間ではコミュニケーションがおきるけど、A 種と B、C、D、E、...種でどうかという組合せをしなくてはならないからです。なので、あるかもしれませんが、「ある」と証明するのは非常に難しいです。

同個体の他の枝が実験中に昆虫によって被食されたと思うのですが、その枝の影響がグラフに表れてないのはなぜでしょうか。一本の枝に処置をしてもほかの枝のほうが実験に使用した二本よりも本数が多く、影響が大きくなりそうだと思います。何本もあるうちの一本だけの処置を変えただけで他の数本分の食害による化学物質の放出の影響を上回るのでしょうか。

実験処理をしたのが、シーズン初めで、まだ昆虫が多く発生していません。その時期に匂いを受容するということが重要です。ワクチンみたいなものだと考えています。ハサミでカットした枝よりも、他の枝の方が多いいのは確かですが、他の枝もその匂いを受容しています。その中のある部分の枝だけに注目し、被害量をカウントしています。

植食者の量が多いまたは少ないときでの実験についての質問があります。

グラフを見る限り植食者が多いときの匂い受容ありと植食者が少ないときの匂い受容ありの被害度（共に 18%程度）及び植食者が多いときの匂い受容なしと植食者が少ないときの匂い受容なしの被害度（共に 30%程度）が同じ程度ですが、つまり植食者の量の変化しても被害度が変化していないのはどうしてでしょうか。植食者がおいならそれに伴い被害度が高くなると思いました。

これは、セイタカアワダチソウの研究のことですよ？

実験は同じ場所で行っています。なので、捕食圧は同程度になります。

・「匂い」とは、結局どういう物質であるのか？（化学物質の集まり？）

揮発性物質です。単独でも匂いになりますが、それが合わさっても別の匂いになります。

「匂い」は人間も感じることができるのか？

どのレベルまで感じられるかは人によっても違いますが、感じられますよ。

・植物は、「匂い」をどのように受容しているのか？特別なレセプターがあるのか、またどこにそのレセプターが存在しているのか

それはまだわかっていないのです。トURRESTANタンパク質が防衛遺伝子を制御していて、そのトURRESTANタンパクに特定の匂い物質がつくとそのタンパクが外れて遺伝子が活性化するということが最近わかりましたが、核内までどうやってその匂いがたどり着くのかなど、全くわかっていません。

・近親であるほど、匂いの受容の感度が良いのはなぜか？遺伝子ごとに少しずつ匂いレセプターの構造が違う、もしくは匂い成分の物質たちを受容するレセプターの数、種類の差があるのか？
上述したような遺伝子を制御しているタンパク質の種類が沢山あるのじゃないかと考えられていますが、まだわかりません。

受容者は、必要な時と必要でない時をどのように判断しているのか？
その反応に可塑性があるのか遺伝的に決まっているのか、まだわかっていません。

雑草がいろいろなものが混じっていたので、どの草が反応する匂いか分らないとあったが、草全体の種類を調べて行けばどの草か選別、抽出することができるのではないかと？
そう思っていて、今は個別の雑草をつかった実験を行っています。

「におい物質である必要性はなにがありますか？
においがあるからそう呼んでいると思うのですが、
植物の個体間コミュニケーションがあるいくつかの物質の
授受で行われている。におい物質でなくとも無臭の
物質でもいいのではないかと思いました。」

揮発性物質（空気を介した物質）のことを匂い物質と呼んでいます。分析装置ででてきた物質の中にはヒトが感じない揮発性物質も含まれているかもしれません。

植物のコミュニケーションに用いる物質の構造にはなにが特徴がありますか？

今は、どの単独の匂いが誘導反応を引き起こすか、ちょっとずつ調べられている段階なのでまだ特徴をとらえるまでには至っていません。

なぜ、自分自身の別の葉に対してのにおい物質と介したコミュニケーションが必要なのですか？

自分自身の中でのコミュニケーションなら、わざわざ空気を介して不確実な方法とするよりも体内に伝達物質を放出して循環させるほうがずっと効率的なのに...と思いました。

上述しました。

実験に用いる植物はどのように選んでいるのか。その条件など。

手に入りやすい植物を選んでいます。

動物の記憶細胞のような一度経験した抗原を記憶しておく物質やシステムは植物にも存在するのか。

プライミング効果やエピジェネティクスがあることが知られています。

香水やエッセンシャルオイルに用いられる香りのもとになる分子もこの植物の防衛のために植物がつくっているものなのか。ヒトが匂いを嗅いだ時に癒されるなど、何かしらのプラスの効果があるのは、たまたまヒトにとって良かったということか。私もそう考えています。

匂いを介した植物間コミュニケーションができる距離はあまり長くないが、農業で一定の幅で植えるとき、どれくらいの幅で植えるのが効果的なのか。

まだ、わかりませんが、ただ、何かいも情報を与えると効果が出る場合もあることがわかっています。なので、情報(匂い)を与える頻度にもよると思います。セージブラシの場合は、たった一回なので。

さまざまな植物は匂いの成分が共通しているものもあるが、血縁者というのはその成分の分子の種類が同じまたは似ているのか。

出す成分が似ています。

・匂いを介したコミュニケーションは、匂うということがあるが、匂うというのはヒトの感覚的なもので、植物にとっては他の化学物質による反応とあまり変わらないのか。植物間のコミュニケーションでは他の個体に情報を伝えるために、揮発する必要があって、それらの分子は低分子で、だからたまたま匂いがするということなのか。植物がどう感じているのかはわかりませんが、揮発性物質なので匂いという言葉を使って

います。

質問：

競争関係がある非血縁者も発信者の匂いを情報として利用し、被害を抑えることが分かったが、これは発信者にとって、不利ではないか？

匂い情報は拡散してしまうというデメリットがあります。なので、この場合においては受信者が情報を利用していると考えています。

気になる点としては、今回は食害がメインでしたが、最後に pH のストレス応答に関してもやっていらっしゃったので、今後ほかのストレスにおいても匂いによる情報共有がなされるか調べるなら、どんなものをなさる予定でしょうか。

共同研究ではあるのですが、水分ストレスに関しても研究をしています。

また、本筋とはずれた質問なのですが、捕食者群衆が遺伝子型によって異なるのはなぜでしょうか。捕食者はどうやって植物の遺伝子型を判断し食物を選択しているのでしょうか。遺伝子型によって匂いもことなるし、葉の形質も異なります。食べる前に判断するのか食べてから判断するのかは、虫によっても異なります。

・アロザイム分析で個体の遺伝子型を分析したとありますが、どうしてアロザイム分析を用いたのですか？PCR法などによる分析よりも手軽にできるからですか？

その時は、プライマーがなかったからです。また、安いというのがあります。ただ、セージブラシのプライマーも開発されたので、それ以降は PCR で遺伝解析しています。

またアロザイム分析は植物の研究でしばしば用いられる手法なのでしょうか？今はもうマイナーだと思います。

・さまざまな実験をご紹介いただきましたが、このような実験を設計するうえで気を付けることなどありますか？

もっとも気を付けているのが反復数です。野外で行う場合は、最低でも20反復はとるようにしています。ばらつきそうやなあっておもったときには、30取ります。また、疑似反復に気を付けています。

害虫に针对天敵の昆虫を呼んだ際に、その昆虫が自分の害虫となってしまふことはあるのか？

雑食性の昆虫（植物も食べ他の虫も食べるもの）では、あるかもしれません。

昆虫を使って防衛する前に、自分自身のかで身を害虫から守ることはできるのか？

恒常防衛で守っています。でも、それでもすべての害虫から身を守るわけではないのです。

匂いの実態とは何なのか？

揮発性化学物質です。

害虫によって、匂いの成分が異なる、とあるがその成分に限りはあるのか。例えば、新種の虫に傷をつけられた時、それを認識し、化学物質の配合を新しくするのか。

同じ成分をつかっていてもブレンドを変えるだけで匂いは変わるので無限です。新種の虫の場合にどうなるのかは、とても興味がありますね。

・植食者が多いところで育った植物は昆虫の成長を遅くさせる化学物質を含むが、その物質はヒトにとって害はないのか？もし害があるのであれば、農薬等によって植食者から守られて育った植物のほうが安全なのではないか？

虫の成長を遅くするものは、いわゆる「あく」になるので、調理したときに出てきます。また、逆にその方がヒトにとっては美味しいと思われるようなものもあつたり、栄養成分として人にとっては良いというものもあります。

・農業における誘導防衛の利用方法以外に、匂いコミュニケーションの利用方法はあるか？

とても微量成分でも感知できることがわかったので、匂いセンサーとして使えるのじゃないかと考えています。

笑いの食害の種類によって、防衛反応も異なるというお話がでていますが、莫大な種数がある植食者のそれぞれをどのように認識しているのイメージが？

植食者の食べ方、植食者の唾液成分、また、一部では植食者の中に存在する細菌も関与している可能性があるという報告があります。

遺伝的にプログラミングされた食害に対しては全く防衛的対応とはできないのイメージが？（ヒトの獲得免疫のような機能はありますか？）

植物が侵入地で行くわす植食者や、侵入してきた植食者に対する反応について調べてみるのはとても面白いと思います。

害虫の天敵をピンポイントでよびよせることは可能なんですか？

匂いのブレンドが違うので、その害虫の天敵を誘引することができます。

害虫の被害を受けるときに放出する匂い自体が害虫の天敵を呼ぶ物質になっているのか、それとも「匂い」は害虫の天敵を呼ぶ物質を発現させるためのものなのか、

傷がついたときの匂いはそこから侵入するような病原菌に対する防衛にもなっています。そしてその匂いを害虫の天敵が利用して、特異的な匂いを出す植物が自然選択をうけてきたんじゃないかと考えられています。

防衛機構は、天敵を呼ぶから害虫が減るか(捕食)それとも、天敵が来ると知って害虫が逃げ去るか、

害虫が逃げる(あるいは、そういう場所を避ける)ことで減ることと、天敵によって捕食(寄生)されるので減ることの両方ありあす。

なぜ先生は「匂い」に関する研究をしようと思ったの
ですか、名前に関係はありますか？

まさか、名前にちなんだ研究をすることになるとは思っても見ませんでしたよ。

でも、おかげで一般人に話すときなんかは、掴みでつかっています。

今回の講演では陸上で生育している植物のコミュニケーションについてでしたが、水中で生育する植物も匂いのような水溶性の物質などを介してコミュニケーションを行っているのでしょうか。

それは知られていないので、海藻でやりたいと思っていますところです。食害を受けた海藻は硬くなることや、水溶性の物質の違いでサケは自分の帰る川を見分けているというのがあるので、海藻でもやっているとおもうのです。京大の舞鶴にある研究所の人にこの話をしたら、興味をもってもらったので、もし、やりたいようだったら、できそうですよ。

植食者誘導性植物揮発性物質の「匂い」はヒトにとってはどうのような「匂い」なのですか？

例：臭い、いい匂いとか

また、ヒトに害を与えたりはしませんか？与えないのならば、虫除けスプレーとかに使えないんですか？

良い匂いです。ユーカリの匂いやミントの匂いは虫よけにもなりますよね。

は分かりやすく表現している一時的なものなのかが知りたいです。つまり、植食者誘導性植物揮発性物質は人間は嗅げるものなのかが知りたいということです。

嗅げますよ。植物を切ったりちぎったりした時の匂いがそうです。害虫に食べられているときの匂いを嗅ぐときは、ある程度、密閉しておいて開けてみてください。切った時とは違った匂いを感じると思います。

葉をハサミで切った場合と、害虫が食べて傷ができた場合で、発せられる匂いが異なる可能性がある。それは害虫の唾液などの分泌液の影響なのだろうか。また、ハサミで切った切り口に、害虫の体液を塗布した場合には、発せられる匂いは異なる可能性がある。

傷のつき方が違うあるいは、唾液の量が違うからか、全く同じではありませんが、同じような成分が放出されるという報告があります。また、切って唾液を塗り付けた植物に寄生蜂が誘引されるという報告もあります。

匂いと感じるのは、哺乳類の感覚ではないのか。揮発性物質の匂いとして感じているのかもしれない。

揮発性物質のことを匂いと表現しています。

今回の講義で出てきた植物以外に、匂いを発する植物は何か。それはほとんどの植物が匂いを発するのかもしれない。

少なくとも、緑色植物は切ると緑の香りがします。なので、殆どの植物は匂いを発すると言っても良いと思います。

植物間コミュニケーションを利用すれば、人体や他の動物などに害のない農薬を開発することができると思うのですが、そういった方面での研究は進んでいないのでしょうか。まだ、殆どされていません。今のところ私の紹介した研究（ダイズとセイタカ、ダイズとミント）のみの報告です。ただ、コンパニオンプランツと呼ばれている植物の効用の一つとして植物間コミュニケーションもあるのじゃないかと思っています。でも、まだ調べられていません。

昆虫側の視点として、植物を食べた後に防衛されるのに加えて事前におこる防衛もありとなり、かなり困ったことになったと思います。ですが、実際のデータでは、匂い情報を受けとった植物でも10%以上の被害率があるのはなぜですか？あと、植物の防衛に耐性のある捕食者が出てきたときに、植物はどうか対応するのですか？

植物は事前にも防衛しています。それを回避できた昆虫だけがその植物を食べています。情報を受け取った植物でも、やられるのですが全く0にならないのは、虫がまず食べてから判断するためじゃないかと思っています。

①血緑度が高ければ高いほどHPVs受容による防衛が強くなるなら、応用するときに、なぜ同じ種の作物を切って使用することをしないのか。

先述しました。

②虫の食害によって放出する物質と人為的に切ることによって放出する物質が違ふとあるが、それを受容し行う防衛はどちらも植物を殺すことができるとは、防衛する対象の情報も受け取るなら、行う防衛に違いは全くないのか。またある場合は、応用に影響はないのか。

植物の遺伝子発現までみると違っていると思います。その虫に対応した反応をしているんじゃないかと思っています。それは野外での実験よりも、室内での実験の方がより綺麗に出ると思います。

③今回の講演では主に植食者が虫である実験と研究を挙げたが、植食者が草食動物の場合はどうなるのか。匂いで天敵を誘引するのか。草食動物による食害によって放出物質はまた異なるのか。行う防衛は異なるのか。

イラクサの研究では、シカに食べられる場所では、棘が多く、あまり食べられない場所では棘が少なくなっているという報告があります。匂いでどうかという研究は、まだありません。草食動物の天敵（肉食動物）が、植物の匂いを利用していたら面白いですね。

同種の植物でも環境が異なり、天敵も異なる場合、自己と他個体に伝達する物質も異なることがありますか。

異なるだろうと思っています。

他の植物から発された物質を受容する受容体は植物体のどこに備わっていますか。

はっきりとは分かっていません。ただ、根に匂いを嗅がせた場合でも、葉に匂いを嗅がせた場合でもなんらかの反応がおきことはわかっています（どこに嗅がせたかで反応はことなりますが）。

また、遺伝的に離れた植物が放出する物質に対する反応を示すようにする仕組みはどのように調節されていますか。

それぞれの揮発性物質に特異的な受容体（受容タンパク）があって、その中の一つは、一般的な揮発性物質につく受容体なんだろうとおもっています。

セージブラシでは HIPV を分泌して主に周囲 60cm に散らばっている実生を保護することができ、最後の方に紹介されていた大豆の中にセイタカアワダチソウを植える実験ではセイタカアワダチソウの植えてある間隔が広がったように感じました。HIPV の効果はどのくらいの範囲まで広がるのでしょうか。また、私が大豆の生育の写真を見た限りではセイタカアワダチソウ間の距離は 1m 以上あったように思いましたが、ホウセンカのように種子を遠くまで飛ばすような植物でない限り草本植物の種子はそこまで遠くまでとぶことはないと思うので、なぜ自らの種子の落ちる範囲よりもさらに広い範囲まで届くほど安定な化学物質を分泌しているのでしょうか。

ダイズの実験では、セイタカアワダチソウを植えるのではなく、15センチ程度の長さになって袋に入れてぶら下げています。切っている量が多いので結構な量の匂いが放出されています。また、セイタカアワダチソウは地下茎でも増えるし種子でも増えます。種子はアワダチソウという名の通り、タンポポのような産毛がついていて風によってかなりの範囲とまされます。また、セイタカアワダチソウが強い匂いをもってどの植物にたいしても誘導反応を引き起こすというわけではなく、イネでは上手くいきませんでした。

例えばユリ科とナス科と一緒に植えるとお互いに苦手な昆虫を追い払ってくれるというように、本当に欲しい植物を食べる昆虫が苦手とする匂いを出す植物を同時に植えることに比べて、誘導防衛を起こさせる植物を同時に植えることはどのような点で優れているのでしょうか。

コンパニオンプランツの話ですね。コンパニオンプランツとしていわれているのは、恒常的にもっている匂いを害虫がきらっているということや、捕食性昆虫を誘引する代替植物である、土壌線虫が嫌う、など様々な効用が報告されています。その効用の一つとして、プラントコミュニケーションもあるだろうと考えています。

また、同時にうえるのではなく、刈り取るということに意味があると思っています。植える手間がかかるけど、刈り取る（しかも雑草）ということが手間が省けると。

匂いというものは、人間が考えた物であるので、実際植物が、人間のいう「匂い」の観点で誘導防衛していると、どう判断したのかその匂い以外にも誘導防衛をおこなうきっかけがあるのか？

揮発性物質を受容しただけで誘導防衛したので、匂い（揮発性物質）でできると判断しています。誘導防衛は、実際にその植物が切られたり、食べられたり、病原菌が侵入したりしたときにも引き起こるし、土壌での化学成分の変化を根が感知して、反応したりと、様々な刺激にたいして引き起こります。

・ 匂いでのコミュニケーションは大雨、暴風などの悪天候だと困難になると思うが、反応の強さはどう変わるのでしょうか。

大雨、暴風のときなどはあまりしないと思います。もともと虫も食べないのじゃないかと。

・ 誘導防衛をうながすのは外部の傷^{ウチ}だけですが、病気などは防衛できませんか。

病気によって出てくる匂いを受容した場合には、病気に対する抵抗性が増す可能性があります。ですが、まだわかりません。

この匂いコミュニケーションは農業などに役立ちそうだが、そういう研究はされていませんか。

役立つとおもっていて、それを今、私は研究しています。

どうして植物コミュニケーションの研究をしようとしたのか。植物コミュニケーションに着目したきっかけは、

植物、すごいなあって思ったからです。(もうすぐしたら、本が出ます。広報しておきますと、) 文一総合出版から、「植物が感じる世界 -巧みな情報伝達システムが可能にする植物の柔軟な応答-」っていうタイトルで、本がでるのですが、そのうちの一章を担当してまして、そこに書いてます。

植物間の匂いコミュニケーションの発信者は、自己のためにも、近くにいる血縁者のためにも匂いを出しているということであって、その匂いに対して、自己の個体の方が受容しやすい、または血縁者の方が受容しやすい、というように受容の度合に差はあるのか。

自己の匂いを受容したときと血縁の匂いを受容したときを、比べたことはないのですが、これまでの結果からいけば、自己の匂いを受容したときの方は強く誘導がかかるように予想されます。

恒常防衛はどの植物も持ちますか？

証明はされてませんが、もっているものと思われます。防衛していないような植物はすぐにやられて絶滅したと思われます。

“匂い”は動物が鼻で感知するものであって、そもそも植物にはその概念がないように思います。“匂い”と表現する意図はなんですか？

生物によって感知できる匂いも異なると思います。何をもちて“匂い”と括られていますか？

揮発性化学物質です。

ハサミで切った時と害虫から攻撃された時とで匂いが違ったりする、とおっしゃっていましたが、植物が瞬時に判断して放散する物質の組成を変えるのですか？そもそも複数の揮発性化合物を持っているのですか？

傷ついた時に瞬時にでてくるような匂いは緑の香りと呼ばれるもので、細胞内に前駆体があり植物膜が破れたときにでる物質と反応がおこり、その匂いがでできます。その後、数分から数時間後に出てくる匂いは、合成されてでできます。これらの匂いはそれぞれの被害に応じたブレンドででできます。

実験で植物に切れ込みを入れたというのは、ハサミかなにかしら人為的な傷だと認識しています。その場合、虫から傷を受けた時の再現にはならないのではないのですか？

遺伝子発現をしらべると異なるだろうと思いますが、野外の実験ではなんらかの被害をしらべています。そのレベル（なんらかの被害量）では、虫による被害でだされる匂いを受容したときと機械傷の匂いを受容したときとでは、同程度の被害量でしたので、作業効率を考えて、ハサミで被害をつけています。