

田中さんへの質問

質問 1 (当日回答済み) 水草には幅広い葉よりも細長い葉をもつ印象ですが、そういった葉の形状には水中で生きることと関係はあったりしますか??

>理由として2つ考えられます。1つは、水中からの二酸化炭素吸収です。葉の表面から直接に吸収するため表面積を増やすことで吸収効率を上げる意味があると考えられます。液体は気体よりも拡散がしにくいため、葉と接している水はすぐに二酸化炭素濃度が下がってしまうことが予想されます。空気中の葉に比べて、表面積を大きくする意味が特に大きいのです。もう一つは、水流への抵抗を小さくするということです。水流で葉が切れたり、個体が根ごと流されたりすることを抑制する意味があると考えられます。細長い葉は、水流によって損傷しにくいことも知られています。

質問 2 昆布は水中でうまみ成分を出さないように踏ん張っていると聞いたことがあります。が本当ですか?ほかの水草も体内の成分を外に出さないようにしているのでしょうか。

>そのはずですが、その仕組みは実はよくわかっていません。今後、研究が進むことでその秘密が明らかになるかもしれません。もしかしたら、ある程度流れ出ている可能性もあります。

質問 3 陸上植物から、水草に進化する途中の種はありますか? ミッシングリンクとして、どんなものが発見されて欲しいですか?

>ある程度まとまったグループ(属)の中に、陸生種と水中種がふくまれていて、両生的なものが見られるものはあります。例えば、ミズハコベ属(オオバコ科)では、両方の種が含まれる上に、その中で、陸生から水中だけでなく、水中から陸生へもどった可能性も示されています。

<https://academic.oup.com/botlinnean/article/184/1/46/3797256?login=true>

1つの種の中でも、両生的な種は多くあります。ミソハギ科キカシグサ属 *Rotala* のキカシグサやホザキキカシグサなどは、湿地でも水中でも生きられるので、これらは陸上から水中への進化の途中にあると言ってよいと思います。

質問 4 海藻とかは水草に属するのですか?

>海藻は、緑藻、紅藻、褐藻など藻類の大型種を意味していますが、水草は藻類ではなく、陸上植物(コケ、シダ、種子植物)から水中へ進化したものなので、全くの別物です。

質問 5 水草は水の中か外かをどうやって判断して、使い分けを可能にしているのでしょうか?

>おそらくいろいろな要因が関与していると思われませんが、私を知る限りでは、青色光(水

中に入ると赤色光が減少することと関係すると思われます) で水中葉が誘導されることや、日長が長くなると水上葉が誘導される (花と関係があるのでは)、温度が関与するなど、の報告があると思います。種毎に異なる可能性も高いと思います。

質問 6 (当日回答済み) 陸生形、面白いですね。一生陸生形のままでいいのでしょうか
>一時的なもので、一生をそのまま過ごすことは難しいとおもいます。水位の安定した川の縁などで、常に陸生形が生じている様子は見たことがありますが、それは茎が繋がった部分が水中で安定した生育をしているのと、高い湿度があるためと思われます。陸生形単体で、花を咲かせ、一生過ごすことはないと思います。

質問 7 パンタナール湿原のように、しょっちゅう水位が変わる所では、水陸両用にならないと、植物は生きられないのでしょうか。

>そうですね。アマゾン川などでは日本では想像できないような水位の変動 (10 m近い) があります。そのような環境での適応は、水草の面白いところですよ。

質問 7 多くの水草は水面に花を出して受粉を行うということでしょうか？

>これはむしろ少数です。3000 種ほどある水草の中で、水面で受粉をする水面媒種は、30 種ほどしかありません。詳しくは、「異端の植物、水草を科学する (ベレ出版)」をご覧ください。

質問 9 環境によって「地上→水中」の進化が起こりやすい地域・起こりにくい地域はあるのでしょうか？

>科学的なデータは何もありませんが、想像するのは興味深いことです。水位の変動が大きい地域 (熱帯など) では、強制的に水没することがあるため、その機会 (進化のチャンス) は多いかもしれませんね。

質問 10 ウミシヨウブは花粉を濡らさないような工夫がなされている、というお話がありましたが、なぜ植物は花粉が濡れないような工夫をするのでしょうか? 「水にぬれても良い花粉」はないのでしょうか?

>一般的に花粉は水に濡れると浸透圧の作用で、壊れてしまいます。それは水草の花粉であってもです。その中で、クロモヤコカナダモなどの花粉水面媒種では、花粉は水面に落ちても数日以上生きています。ウミシヨウブなどは数時間も保ちません。ただ、クロモヤコカナダモは、水に濡れても大丈夫というよりは、水をはじく表面形態を進化させているため水に濡れないというのが正確です。詳しくは、「異端の植物、水草を科学する (ベレ出版)」をご覧ください。

質問 11 特に熱帯に分布している、浮葉をもつ水草の葉の裏側によく棘がついている印象を

持っているのですが、この棘はどんな役割をもっているのでしょうか？

>証明をした論文は見たことがありませんが、おそらく草食性の魚などからの被食を防いでいると考えられます。特に熱帯に多いということは無いかもしれません。

質問 12 海流に沿って長距離移動する魚等によって水草の分布が広がることはあり得ますか？

>魚による散布はとても興味深いのですが、残念ながら、それを示した研究はおそらくないと思います。ごく狭い範囲で、魚の糞から種子が出てきたという報告があったように思うのですが（すみません、特定できません）、その程度しかわかっていません。調べてみたら面白いと思います。

質問 13 クチクラ層形成はどのように行われるのですか？

>専門外ですので、私からはお答えできませんが、以下のページにその制御機構に関する新しい知見も含め、解説がありますので、参考にしてください。

https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2013/pr20130524/pr20130524.html

水草全般に関する参考書

田中法生 異端の植物「水草」を科学する ベレ出版 (2012)

坂本さんへの質問

質問 1 : 光のないところで生命活動のエネルギーを生み出す化学合成が熱水鉱床で行われていますが植物はそれをできないのでしょうか？

>人工光合成という研究分野があります。植物の光合成により水分子を分解する反応を人工的に応用できないかという試みです。光合成の水分解装置が明らかになったので、それらの構造をもとに光からエネルギーを利用する研究が進んでいます。ご質問の熱水鉱床の研究は、光合成生物が生まれるよりも前の有機物合成を対象としているようですね。

質問 2 : 一度葉緑体を使い始めた後、「やっぱりいらない」と言って葉緑体を捨ててしまった植物（植物？）は存在するのでしょうか？

>はい。寄生植物や腐生植物という、自分の成長を他の生物（宿主や菌根菌）に依存するようになった植物では、光合成を諦めているようです。寄生植物は被子植物に多いので、おっしゃる通り、光合成を使っていたのにやめてしまった、あるいは栽培条件で光合成をやめる種があります（ただし、葉緑体ではなくなっても、プラスチドはなくなりません）。寄生植物では、本来残っているべき葉緑体の遺伝子が失われています。

質問3：シアノバクテリアが細胞に取り込まれたときにその遺伝子が失われなかったのはどうしてなのでしょう？

>シアノバクテリアには約3,000の遺伝子があり、葉緑体では90程度しか残っていません。宿主となった細胞の染色体が失った遺伝子を持っています。どうして90個くらい残っているかについては、①進化の途中でまだ残っている、②どうしても遺伝子を残さなければならない理由がある、という仮説があります。②では、光合成をするためのタンパク質のいくつかは傷がつきやすく、それを作りなおすには、葉緑体の外で作ると間に合わないために遺伝子を残している、と主張する研究者もいます。どちらにしても、葉緑体が維持されるためには、タンパク質を作る、というしくみはやめることができません。

実は、葉緑体には遺伝子の数が少ないのですが、DNAの量はたくさんあります。葉緑体にDNAを残しておく、遺伝物質としてだけでなく、養分としてリンなどを維持し、必要な時に分解して再利用できるので、残している、という仮説を実証する研究を、私の研究室でやっています。

質問4：人1人が呼吸にて発生させる二酸化炭素を、光合成にて消費し切るためには、ざっくり何本の植物が必要なのでしょう？

>人1人、という例えがちょっと難しいです。お答えになっていないかもしれませんが、以下の例えでご理解いただけるでしょうか。「植物が地球をかえた！（化学同人、葛西奈津子著）」で植物学会長の寺島先生が書かれています。

人間が1日の活動に必要なエネルギーを2000キロカロリー = 8000キロジュールとします。地球に降り注ぐ太陽光のうち、光合成に使える光エネルギーは最大で10000キロジュール/m²/day。このうち5%が有機物に変換されるとして500キロジュールメガジュール/m²/dayなので、植物が人間と同じだけエネルギーを光から得るとすれば、縦横が4メートル四方（16m²）面積が必要になります。でもこれは光合成が最大効率の時なので、曇ったり雨が降るともっともっと少なくなります。植物が人間と同じように生活するとしたら、面積が必要になります。植物は動かないでエネルギー消費を抑え、光合成しながら生きる道を選んだようです。

質問5：なぜ動物は葉緑体を持たないのでしょうか？

>植物連鎖のところで、生物がピラミッドを形成して食うもの、食われるものの関係を築いて生態系を作ることを話しました。それぞれの生き物は、自分の子孫を残すために最も有利になるようにそれぞれの環境で適応しています。最も有利、ということは、利点と欠点のバランスがうまく維持できていることになります。動物が葉緑体を持って光エネルギーを使うことと、捕食でエネルギーを補うことを両方持つのは、おそらくエネルギー収支として欠点が多すぎるのでしょう。仮に猫が光合成をするなら、光を集めるために葉緑体に光が当た

らなければならないので、毛をなくして皮膚を露出しなければなりません。猫が寒くてコタツに入ると光合成できなくなってしまいます。動かないでじっと光合成している植物も、いろんな工夫をして寒さをしのいでいます。

話は逆になりますが、食虫植物は、植物でありながら捕食してエネルギーを補おうとしているので、動物になろうとしているのかもしれませんが。でも食虫植物自身は動きません。それから、ウミウシの種類には、海中で藻類を食べ、葉緑体だけを体内に維持するものが知られていて、何らかの共生関係にあるのではと考えられていますが、これもいずれは消化されてしまいます。

質問6：寄生植物は、植物に寄生するために光合成能力を失ったと聞いたことがあります。このように光合成能力を失ってしまった植物は他にありますか？

>おっしゃる通りで、上の回答にも述べた通り、腐生植物が知られています。特定の菌根菌に依存して生育するので、私には生存に有利には思えませんが、光が届かない特殊な林床ではこちらがいいのかもしれませんが。

私が知っているギンリョソウは、真っ白で葉といえる構造を持ちませんが、プラスチドらしきオルガネラが細胞にあります。光合成しないのに大きな花を作ります。

質問7：葉緑体は、細胞から別の細胞（同種、近縁種）に移植できますか？

>移植して増えるのか、ということでしょうか。興味深い質問ですが、答えはイエス or ノーです。移植は実験的には可能ですし、1つの細胞に別の細胞由来の葉緑体を持たせることは不可能ではありません。ただし、講演のスライドでオオカナダモの葉緑体を紹介したように、1つの細胞はたくさんの葉緑体があるので、多くの場合、排除されてしまうので、移植が成功しません。移植した葉緑体が、もとの葉緑体よりも有利な場合は、そういう種を作ることは可能です。品種改良では「細胞質育種」といって、葉緑体ではなくてミトコンドリアの置換であるケースが多いですが、品種に使われていることもあります。

質問8：先ほど図示されていた暗反応は日中ではなく夜間に行われるということでしょうか。

>違います。ご質問の「暗反応」は、私もつい使ってしまいましたが、このような誤解を避けるため、多くの教科書では使っていません。

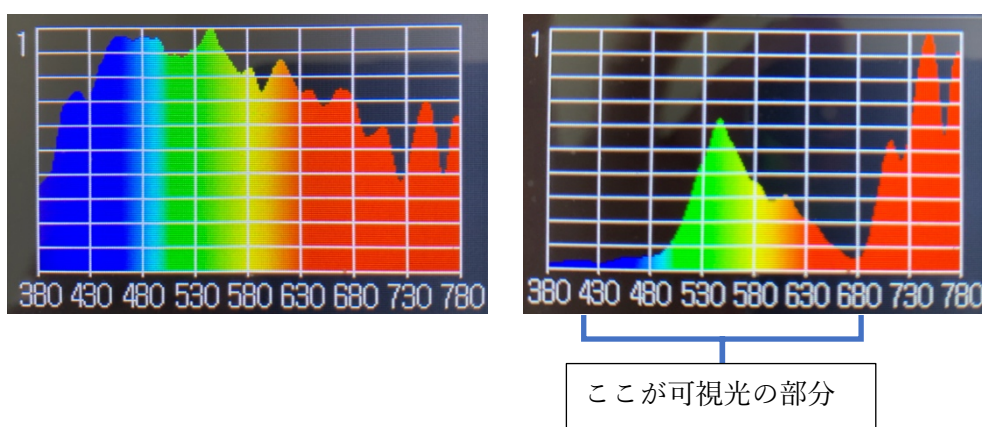
光エネルギーを転換する「明反応」に対して、カルビンベンソン回路＝「暗反応」が使われていましたが、誤解を避けるために、明反応＝チラコイド反応、暗反応＝ストロマ反応、のように多くの教科書では説明されています。

質問9：植物は緑の光を捨てているので緑色に見えるとすれば紅藻類は赤い光を捨てているのでしょうか？

>紅藻については、講演では詳しく説明しませんでした。質問の通り、赤く見えているのは赤以外の光を効率よく使っているからです。これは、フィコエリスリンという陸上植物とは異なる色素が使われているため、緑に近い波長の光も吸収されるために、赤っぽく見えます。ただし、赤い光を捨てているのではなくて、光化学系の発電所で光エネルギーを捕まえる中心の色素はクロロフィルなので、緑色の植物と同じ仕組みを使っています。紅藻が、他の光合成生物と共存して水中で効率よく光エネルギーを使うための適応反応といえます。

質問 1 0 : 赤の部分が残っているのに葉の色が緑に見えるのはなぜでしょうか？

>説明不足でした。講演の実験で使ったライトアナライザーは、近赤色光（700 nm より長波長の光）も光スペクトラムに入っていたので、赤い部分が残っているように見えますが、可視光の赤い光はほとんど吸収されて残っていないので、人間の目には緑に見えます。



質問 1 1 : 緑の光も光合成に使えばいいのに・・・そもそもなんで葉緑体って緑なんだろう・・・

>その通りです。私も大学で植物生理学の講義を聞いたときに、クロロフィルの吸収スペクトルの意味が理解できませんでした。ほんと不思議ですが、植物が使わない緑の光で「いやされる」人間とはバランスが取れて生存に有利なのかもしれません。これは私のまったくの想像です。

講演では青と赤の光を使い、緑の光を使っていない、と言ってしまったようですが、吸収がゼロになるのではなく、緑の光を全く使っていないわけではありません。紅藻のフィコエリスリンのように、限られた環境では緑も使う補助色素があります。また、葉の中ではクロロフィルに吸収されない緑の光が反射して効率よく利用される、ということも報告されています。

質問 1 2 : 葉緑体の遺伝子も、親から子に遺伝するのでしょうか？

>はい。講演では話せませんでした。葉緑体だけでなくミトコンドリアも細胞内共生で

きたオルガネラで、両者にある DNA も親から子に伝わります。でも、核にある染色体とはことなり、父親と母親から DNA が混ざるのではなくて、DNA は父親か母親のどちらかの DNA のみが遺伝します。教科書では、多くの場合、母親から遺伝するので「母性遺伝」と書かれていますが、プラスチド（葉緑体）の場合は父親から遺伝する種もあります。私の知人が調べた研究では、被子植物の中で 80%程度はプラスチドが母性遺伝しますが、20%では「両性遺伝」と報告しています。両性遺伝とは、母親からも父親からも子供に遺伝するのですが、両方を持つのではなく、どちらか一方のみになります。

父親と母親の遺伝子が混ざり合って遺伝子が増えることは種の生存に有利ですが、細胞内共生に由来する DNA は、それ自身が進化してしまうと宿主に不都合なこともあるので、混ざり合うことなく片親遺伝すると想像されています。ただこれは仮説で、詳しいことは分かりません。

柴田さんへの質問

質問 1：食虫植物は自我がないのになぜ動くのですか？またどのようにして動くのですか？

>動くものと動かないものがあります。

ハエトリソウでは、感覚毛で感知された刺激が電気信号に変換され葉全体に伝達されます。葉身細胞の一部でイオンの移動が引き起こされ、一定閾値を超えると葉の内側と外側に差ができ、葉片の外側からの圧迫によって葉の閉合が始まります

質問 2：モウセンゴケ属の長く伸びた腺毛と短いままのムシトリスミレ属の腺毛の違いは、どうして生じたのでしょうか？

>ムシトリスミレ属はシソ目に属し、シソのように葉の表目に生えた毛を捕虫、消化につかうように進化しました。一方、モウセンゴケ属の毛は、毛の中に道管が通っており、他の植物の毛とはずいぶん違って、モウセンゴケ属の外縁触毛は葉の縁が切れこむことで出来あがった、それ以外の葉の表面の触毛も、似た仕組みで進化したのではないかと考えられています。なので、ムシトリスミレ属とモウセンゴケ属の毛の違いは、起源が異なるから・・・と考えられます。

質問 3：消化のために、消化用の特別な細胞が葉の表面などにあつたりするのでしょうか？

>消化液を分泌する分泌腺があります。

質問 4：食虫植物は土壌からも虫からも栄養分を吸収して生長しているということでしょうか？

>植物としては根から吸収するのが基本ですが、貧栄養土壌に生育するために不足する養分を補うように葉が変化するのが食虫植物です。葉から栄養を取る分、根は貧弱になります。

質問5：湿地の植物や水草が多い印象ですが、乾燥地が生息地の食虫植物もあるのでしょうか？（当日回答済み）

質問6：消化した栄養分は葉で吸収するのでしょうか？それとも根で吸収するのでしょうか。

>葉で吸収しています。沢山の虫を捕らえ、地面にこぼれ落ち、根からの吸収も吸収ではあるのですが、食虫植物の定義から外れると思います。

質問7：土壌に含まれる栄養分と食虫植物の分布には関係があるのでしょうか？

>土壌養分が多いと多種類の植物が生育できますが、食虫植物は一般の植物が生育するような場所をこのみません。食虫植物はパイオニア植物として水と光とほんのちょっとの栄養があれば光合成で生きていけます。土壌養分が多くなると背の高い草や木が増え乾燥化が進みます。日陰になると衰退し土地を明け渡します。したがって、貧栄養の地で、水が多いところがお気に入りです。生育環境を考えると分布も考えられると思います。

質問8：コウシンソウ、岩場に住んでいるから土からの代わりに虫をとっているということ？

>そうです。岩場には養分が少ないです。その為、捕虫で補うようになりました。コウシンソウの葉は小さく地面を這うアリなどを主に捉えます、つり竿のように伸び出す花茎で飛んでくる虫を捉えています。これも工夫の一つです。

質問9：虫媒花なのに、虫を捕って食べてしまうことと、どう両立されているのでしょうか。（虫は捕られないように進化しそう）

>私も写真を撮っていて疑問でした。捕虫葉と花をはなせば良いのです。セファロタスなどは花茎が80cmも伸びます、アフリカナガバモウセンゴケなども葉と花が30cmほど離れます。小さな虫にとっては結構な距離です。これも工夫です。

質問10：キッチンに食虫植物を置くと小バエが捕れそうですが、小バエ捕りのように食虫植物を実用的に利用する研究はあるのでしょうか？

>良く聞かれます、今利用されているのはハエトリリボン、ゴキブリホイホイなどですが今後詳細な分析ができれば、誘引物質などを利用できるのではないかと思います。植物体をキッチンに置くのは栽培環境としては疑問もあります。場合によっては今までよりコバエが増えるかもしれません。

質問11：ゲンリセアおもしろい！なぜ栽培が難しいのでしょうか？

>ゲンリセアすごい工夫、語りきれません。栽培が難しいのは生育環境がわからないということ、経験が少ないからだとおもいます。何より種子の入手が難しいのです。生育地が行き難い場所であったり、国立公園だったり、実っていなかったりととても難しいです。こうなると栽培も思うように行かないです。一杯増やせるといいのですが・・・

その他質問

質問1：モミジバフウは街路樹で見ますが何が神秘的なの？

>特別展「植物 地球を支える仲間たち」の3章にモミジバフウの神秘とありますが、こちらにはモミジバフウの巨大な根の展示があります。地下に広がる根の世界は見たことある方はほとんどいないため、土の中の神秘、として紹介しております。