

植物発育論 第9回 植物の形と環境

授業を受ける上での注意

板書や口述の説明を書きとる時間については遅い学生には合わせません。早くメモする能力を身につけてください(必須能力です)。書きとれない学生はホームページの講義録(補足資料もある)を見てください(その後で早くメモする能力も養いましょう)。

1. 生物学におけるなぜ

予習1. 次の生物学におけるなぜに対して, A君とB君は次のように2種類の答えを出した。

問い: ホッキョクグマはどのようにして白い色をしているのだろうか?

A君: ホッキョクグマの毛は中空(空洞)になっていて, 光を乱反射するから白く見えます。実は毛は透明なので **A君は仕組みを説明している(how)** **B君は利点を述べている**

B君: ホッキョクグマの毛は中空になっているので, 寒い北極では保温効果が高いです。さらに白いので, 白い氷原ではアザラシなどの餌となる動物から見えにくくなります。

保温力が高いので, 空からサーモグラフィではわからないらしい

① 2人の答えについて自分の意見を述べよ。

**もの見方にもいろいろある。どっちが正しいということはない。
「ヒマワリはなぜ東を向くか」という書名からどちらの答えを想像するかは人によって違う**

② 次の生物学におけるなぜについてそれぞれA君, B君のような答えをどちらとも考えてみよ。

(1) なぜホタルは光るのか?

**外敵への警告, 雌雄間の連絡信号など
発光基質であるルシフェリンがルシフェラーゼによって発光体であるオキシルシフェリンに変化**

(2) なぜイネのように水の中で育つ植物の根には隙間があるのか?

**地上部から水中にある根へ酸素を運ぶため(運ぶというのが拡散による移動)
根の皮層細胞の特定の部位がアポトーシスを起こし, 細胞が死ぬことによって空隙ができる**

③ 生物学における4つの“なぜ”

“how” 至近要因 (causation)

マイア howとwhy, ニコ・ティンバーゲン 4つのなぜ

直接的な因果関係

**赤信号で止まる 目で感知→脳→運動
生理学的な説明 トマトの実は赤い(リコピン)**

発生要因 (development, ontogeny)

遺伝子の発現, 分子生物学的な機構

**教習所で教え込まれたから
発生学的な説明(遺伝子発現)**

“why” 歴史要因 (phylogeny)

系統的な理由 ヒトの尾てい骨

**赤で止まるという歴史的に決まった
系統的な理由 花卉の枚数など**

究極要因 (function, adaptation)

進化, 環境への適応からみた理由

**赤で止まらないと危険である 損得
進化, 環境への適応**

農学では栽培, 育種によって生物を操作するのでhowを重視する

しかし, 4つとも考えておく必要がある

1

例: 寒さに強い作物を作る だからといって寒さに強い遺伝子を導入すればよいわけではない
なぜ強いのかも重要 遺伝子を導入したからといって現実に機能するとは限らない

③ 植物の茎が上に伸びるのはなぜ？
細胞が（縦・横）に伸びるから、
植物の茎は上に伸びることができる

疑問の階層性

ではなぜ細胞は縦にしか伸びないか？

吸水して細胞は大きくなる。一方向にしか伸びないようにセルロースが細胞を囲う

引っ張りに強いセルロースの繊維が細胞壁を構成する

オーキシンはセルロース微繊維間の架橋をゆるめる

図1 植物細胞の吸水成長の原理

図2 細胞壁多糖の網目構造の概念図

A:セルロース微繊維どうしを非セルロース性多糖が架橋しているが、この状態では細胞は大きくなれない。
B:セルロース微繊維間の架橋が壊されている。この状態なら細胞は大きくなることができる。

形作りと植物ホルモン

オーキシン オーキシンは図2のようにセルロース微繊維間の架橋をつくる多糖類を分解する信号となる

ジベレリン ジベレリンはセルロース微繊維の方向を決める微小管の並び方を水平にする

エチレン エチレンはジベレリンは異なる方向、すなわち微小管の並び方を垂直にする 太もやし

ジベレリンでは茎は縦に伸び、
エチレンでは横に太ることになる

オーキシン単独では細胞壁がゆるむことによって細胞は肥大するが、方向性はない。ジベレリンとオーキシンが両方関与することで縦方向への伸長ができるようになる

図3 植物ホルモンによる細胞伸長方向の制御

2400kcalとすると100W電球24時間分
1cal=4.19J
1kWh=3.6×10⁶J

植物発育論 (小林和広)
2011年12月5日

- ④ 植物の形と環境
・ 植物の特徴 (動物との比較)

植物は固着生活する 人間 2200キロカロリー、9200kJを使う。
光合成のエネルギーだけで移動生活するには、太陽エネルギーを1日あたり1m²あたり20MJとしても相当な面積が必要

表1 植物の特徴 (動物との比較)

筋肉は密である
葉は薄く広がる

- ・ 砂漠に生きる, 極地に生きる 極限環境でも生き残るために

極地のクッション植物

ベンケイソウの仲間 強い光を避ける, 白い葉の表面, 葉を立てる 一方, 極地では体温を高める

- ・ 突然の洪水, 熱波...

浮きイネ 茎が急速に伸びることによって水から葉を出す
風が強いところでは茎を太くする 接触刺激を植物に与えるとエチレンが発生し, 茎が太くなる

2. 屈性と傾性

屈性 植物器官が刺激源に対し一定方向に屈曲する性質. 器官の屈曲方向が刺激の来る方向に向かうものを正の屈性, 反対に向かうものを負の屈性という
光屈性, 重力屈性, 化学屈性などがある

傾性 植物器官の屈曲運動のうち, 屈性と異なり運動方向が器官の構造的・生理的非対称特に背腹性によって決まっているもの 葉の上下運動, 花の開閉運動など

3. 光と植物の形

① オーキシンによる屈光性

- (1) 光が来る方向へと植物は伸びる
茎の伸長そのものは下の方がよい. しかし, 光に反応して伸び方が変化するのは先に近いところである

図4から茎の上から (15~20) mm のところでは光の有無と茎の伸長には差がない.

しかし, 茎の上から (5~10) mm のところでは光を照射した側 (△) は照射開始から (30) 分程度で伸長が止まり, 同時に陰側 (▲) が急速に伸長し始めた.

専門家では数値を使って議論
することが多い
客観的である(グラフ, 表)

しかし, 一般人は逆に写真な
どで見せる方が理解しやすい

図4 光をトウモロコシ幼葉鞘に当てたときに, 照射側 (△) と陰側 (▲) の成長の経過. ○は暗所において光を照射しないときの成長 (対照).

(2) なぜそうなるのか? 仮説を立ててみよう.

仮説1. 光が直接関与する

ダーウィン父子は光を黒い紙で部分的に遮り、先端を遮ると屈光性が起こらないことを示した

仮説2. 光の刺激で茎の先端から物質が送られる

光受容部と伸長部が異なる シグナル物質
どのようにシグナル物質が茎の先端から伸長部位へ動くのか
阻害物質, 促進物質どちらなのか

(3) Boysen-Jensen の実験 (図5, 6)

図5の実験では光に反応する部分である茎の先端を切り取ると、茎は光の方へ曲がらなくなるので、茎の先端から茎の伸長を促進する物質は (移動) できなくなったことがわかる。しかし、切除した先端と基部を寒天でつなぐと茎が光の方へ曲がるので、伸長促進物質は寒天を通じたこと、おそらく水溶性であることがわかる。

図6の実験から茎の先端から基部に向かって、茎の成長を (促進) ・ 阻害) する物質が移動していると考えられる

図5 Boysen-Jensen による実験.

図6 Boysen-Jensen による実験. 矢印方向に光が植物の茎に当たる. 雲母片をいろいろな方向から茎にさし込んで茎の伸長の仕方を調べた.

(4) Cholodny と Went によるオーキシン説 (図7)

Went は寒天に茎の伸長を促す物質を移動させ、さらに別の植物の茎を屈曲させることに成功した.

この物質をオーキシンと命名した

(5) 疑いと新たなる進展

にもかかわらず1970年代にはこの説に対する疑問が強かった 内生的と外生的投与の違い

(6) 自然界では実際どうなのか?

図7 Went による実験.

以上の試験はほぼ暗黒下の条件のところ人工光をあてて行った実験であり、実際の自然界で同じことが起こっているかどうかはまだ未知の部分が多い.

ヒマワリの向日運動では夜のうちに東を向いている
ポットを正午に東西を入れかえると、しばらくは首振りが惰性のまま進み、数日後になって太陽を追いかけるようになる

植物発育論 (小林和広)
2011年12月5日

② ヒマワリの向日運動 動く形作り

ヒマワリのつぼみは太陽の方角を向く
受精する頃に向日運動は停止し、花は東を向くことが多い
なぜ東を向くか？ 花の温度を下げ、夜露を早く乾燥させて、病原菌のまんえんを防ぐという説がある

マメ科の調位運動 (図8)

太陽の光を効率的に受け止めることができるようにマメ科の葉は朝夕は水平になり、昼頃は立つようになる

就眠運動

夜になると閉じる葉 オジギソウなど 托葉などがとげになっている 食害の防止か？ 昼は光合成のために開き、夜は閉じる

③ 傾光性運動

レタスの葉球形成 (図9)

図8 ダイズの葉の調位運動.

同化葉を取り除くと外側の貯蔵葉が開いて、同化葉になる
しかし紙を巻いて貯蔵葉に当たる光を弱くすると同化葉を除いても貯蔵葉は開かない

花の開花にも傾光性運動がみられる

図9 レタスの葉球形成と光の強さ. 貯蔵葉の巻き具体を示すために縦切りにしたものを図示してある.

④ 季節にともなう形作り (花成については来週詳しく学ぶ予定)

タマネギの鱗茎形成

タマネギは春、日が長くなると鱗茎が太り始める.

冬の間は鱗茎の細胞は縦に伸びる(ふつうのネギのような形)
タマネギの鱗茎の細胞の微小管の並び方が縦方向から長日になると方向性がなくなり、やがて消失する

その結果、吸水による細胞の膨張の方向がなくなり、鱗茎が玉のように膨らむ
ジベレリンを与えると鱗茎形成を抑制し、ジベレリン阻害剤は促進する

ウキクサの休眠型葉状体

ウキクサは秋になるとどこかに消えたようにみえる

ウキクサの葉状体 茎と葉がいっしょになったもの

栄養型葉状体には通気組織が浮き袋の役目を果たして浮く

秋になると休眠型葉状体を形成
デンプンとアントシアニンの蓄積 沈む

図10 ウキクサの栄養型葉状体 (左) と休眠型葉状体 (右).

4. 温度と植物の形

ユリ科の球根と収縮根 (牽引根)

ユリ科の球根は新しい球根を古い球根の (上 ・ 横 ・ 下) に作る性質がある。

その結果、球根はどんどん地表に (遠ざかる ・ 近づく) ことになる。

地表に近づくほど昼と夜の温度の差は (大きくなる ・ 変わらない ・ 小さくなる) ので、ユリ科はこの変化を感じ取り、収縮根を形成するようになる。収縮根が縮まることで球根は地中に引きずりもどされる。

ヒヤシンスでの研究では水を吸い込むことで根が収縮することがわかっている

ニンジンの牽引根

越冬するために温度変化の小さい地中へと根を引きずり込む

5. 重力屈性

① なぜ茎は上へ、根は下へ伸びる

茎において重力を感じるのは (内皮) 細胞である。

内皮細胞を欠く突然変異系統の利用

根において重力を感じるのは (根冠) である。 (根冠) を除去すると重力屈性はみられなくなる。

アクチンマイクロフィラメント

根冠には (コルメラ) 細胞があり、この中にあるアミロプラストの位置によって重力を感じる (図11)。

★ 図12からどんなことがよみとれるか?

現在では重力屈性変異株の利用が一般的である

② ウリ科植物の芽生えのペグ

図11 A: 根冠とコルメラ (中心部のアミロプラストを含む細胞がコルメラ細胞)。 B: コルメラ細胞

図12 トウモロコシの根の重力屈性。黒い部分は根冠。上の2段は水平において、下の1段は垂直において、14時間後の屈曲角度を測定。

AとBから根冠が重力屈性を感じる場所であることが分かる
D、Eから根冠から伝わる物質は根の伸長を阻害することがわかる
Jから阻害物質の移動を遮ると反対側へ移動することがわかる (屈光性における茎の実験とは異なる結果)

図13 ウリ科植物の種子の発芽とペグの形成

ウリ科種子の発芽では種皮から子葉が抜け出しやすくなるようにペグが幼根と胚軸の境目の地面側に形成される。微小重力下ではペグは2方向とも形成される

6. 水と植物の形

① 通気組織

水の中に根が生育するイネやイグサの根には地上部から取り込んだ空気の通り道である (**破生**) 通気組織が発達する

破生通気組織は根の特定の皮層細胞が壊れることによって形成される

図14 イネの通気組織の発達した根

② 浮きイネ

水の中にイネが沈むと組織内部のガス環境が変化し、酸素 O_2 は (減少 ・ 増加)、二酸化炭素 CO_2 は (減少 ・ 増加)、エチレン C_2H_4 は (減少 ・ 増加) する。

エチレンの増加はアブシジン酸を低下させ、ジベレリンに対する反応性を増加させ、節間伸長を促すと考えられている。

図15 浮きイネの伸長にはエチレンとジベレリンの2つの植物ホルモンが関与する

低酸素条件に反応して節間が伸長することもある

水が引くと重力刺激によって節から起き上がる

図16 浮きイネは水位が下がると節から立ち上げる

7. 物理的刺激

① エチレンと物理的刺激

植物体を触るといった物理的刺激によって、エチレンが放出される
つるありインゲンでもこの結果、つるなしインゲンのようになる
強い風が吹くなどの環境でこの形質は茎を太く、丈夫にする有利さをもたらすと考えられる

② 接触刺激で作物を丈夫に育てる

農家は接触刺激を作物に与えて茎を太く丈夫にさせることを実践している場合がある

北海道のテンサイ農家

麦踏み

水稻の育苗

山形県庄内地方の稲作農家

図17 山形県庄内地方の稲作農家実践する朝露払いの効果には接触刺激によるエチレンの効果も含まれるのかもしれない

さらに植物の形について学びたい人は

植物は形を変える 柴岡弘郎 共立出版 第4章 P58~74, 第6章 P89~137

植物の成長と分化 下巻 Wareing and Philips 古谷雅樹監訳 7成長運動 P251~289

植物生理学 増田芳雄 培風館 7植物の運動 P342~365

植物分子生理学入門 横田明穂編 学会出版センター 8屈性 P159~168

ヒマワリはなぜ東を向くか 滝本敦 中公新書

作物の生理活性—自立生育のしくみ— 菅洋 農山漁村文化協会

動く植物 サイモンズ 八坂書房 第6章 電氣的自己防衛

なお出版から30年ほど経過したWareing and Philipsの著作では光や重力屈性の説明としてのCholodnyとWentの説に懐疑的であることから科学における学説の推移を読み取ることができるだろう。

今回は環境への適応を軸に植物の形がどうしてそうなのかを説明した。しかし、分子生物学などその仕組みに興味を持つ学生も多いだろう。この分野は近年、急速に発達しているので興味のある学生は以下の図書を読むとよい。

新版 植物の形を決める分子機構—形態形成を支配する遺伝子のはたらきに迫る— 岡田清孝ら編 秀潤社

今回の小テストと次回の予習

今回の講義を復習するために小テストを受けてください。さらに次回の予習課題を moodle に提出してください。小テスト、予習は <https://moodle.cerd.shimane-u.ac.jp/moodle/> を見てください。