

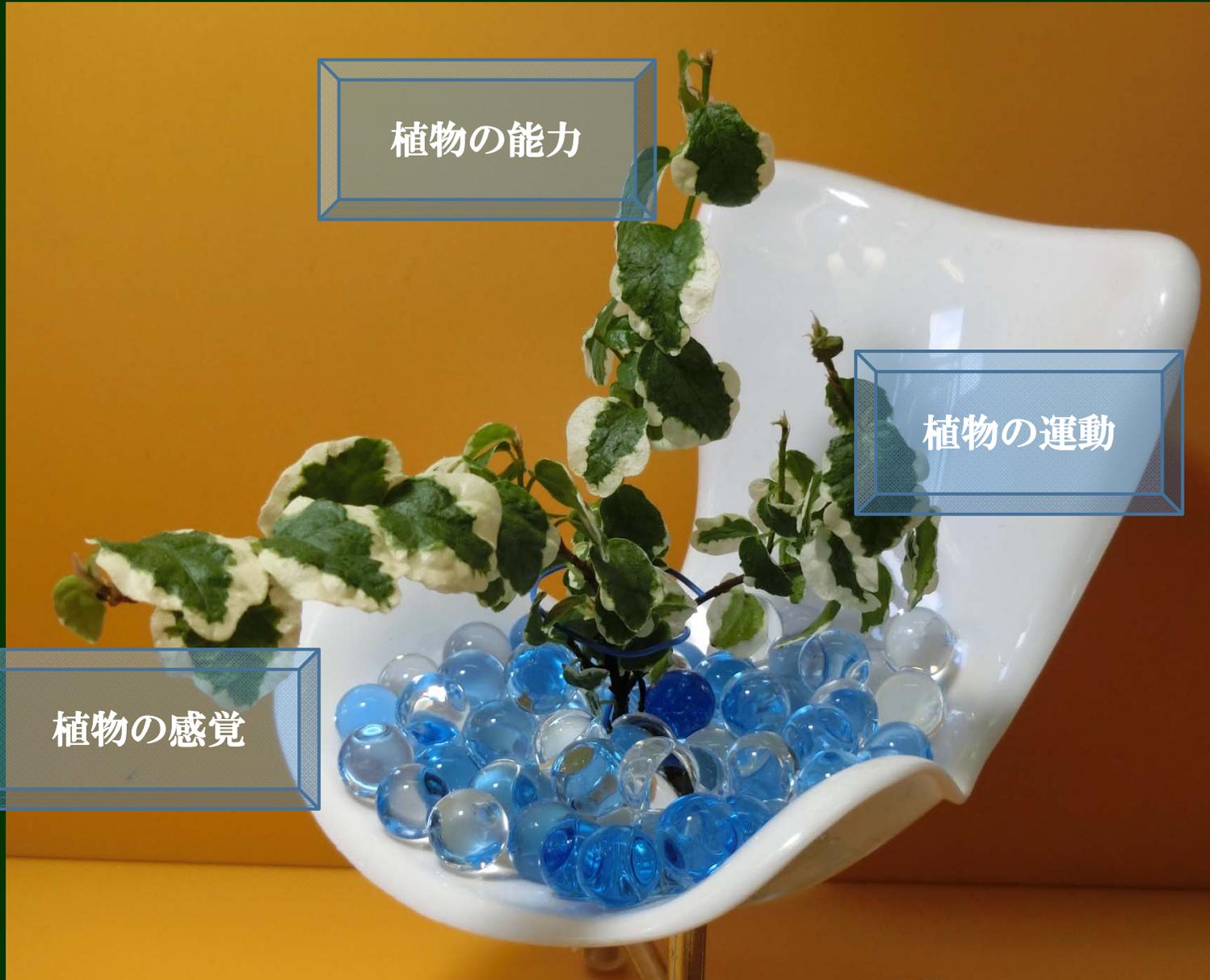
植物は面白い

植物の能力

植物の感覚

植物の運動

植物のお話、ようこそ！！



植物の能力

植物の運動

植物の感覚

植物は、動物と
どこが違うのだろうか。

↳ 植物の優れた点は何か。

↳ 動物にはできないが、植物にできることは？

植物は光合成ができる

ステップ1

光合成は、水と二酸化炭素を材料に、太陽の光エネルギーを取り込んで有機物（糖）を合成する。

光合成の過程 模式図

水と二酸化炭素から糖を合成する過程を紹介する。

植物は、とても大きくなる

- ⌘ 世界で最も大きな木は、ジャイアントセコイアらしい
- ⌘ なぜ、そんなに大きくなれるのか？

植物はとても長生き

- ⌘ 世界で最も長生きの木は、9000年以上生きているらしい
- ⌘ なぜ、長生きできるのだろうか？

植物のお話、ようこそ！！

植物の能力



植物の能力

植物の能力

ステップ1

植物はどこまで大きく成長できる？



植物はどこまで大きくなるか

世界で一番高い木は何メートル？

てっぺんの葉まで水を吸い上げるしくみ

植物はどれくらい大きくなれる？

世界で一番高い木は何メートル？



世界一番「ハイペリオン」
(アメリカ)

ハイペリオンは、アメリカ・北カリフォルニアのレッドウッド国立公園に生息するヒノキ科の常緑針葉樹セコイアにつけられた名前です。なんと高さは115.55メートルで、世界一高い木です。この木を見ようと集まってくる観光客から木を守るため、ハイペリオンの正確な位置は公表されていません。

木の高さの測定には、実際に木に登り、上からメジャーを垂らす方法がとられました。しかし、地上から一番近い枝でさえビルの25階の高さと同じくらいあったので、一番上まで登るのに数時間かかりました。

ハイペリオンは樹齢600年、人間で言う20歳あたりで、これからまだ成長する可能性もあります。

ステップ4



100mをこえる木のでっぺんの葉
まで水を吸い上げるしくみ

その前に、次のことは、なぜ起こる？

ステップ2

↳ 植物がしおれたときには、

植物がしおれた時から水を与えて回復するまでの連続写真

その前に、 次のことは、なぜ起こる？

- と 植物がしおれたときには、水をあげる。
- と 切った野菜をパリッと食べるには、水につける。

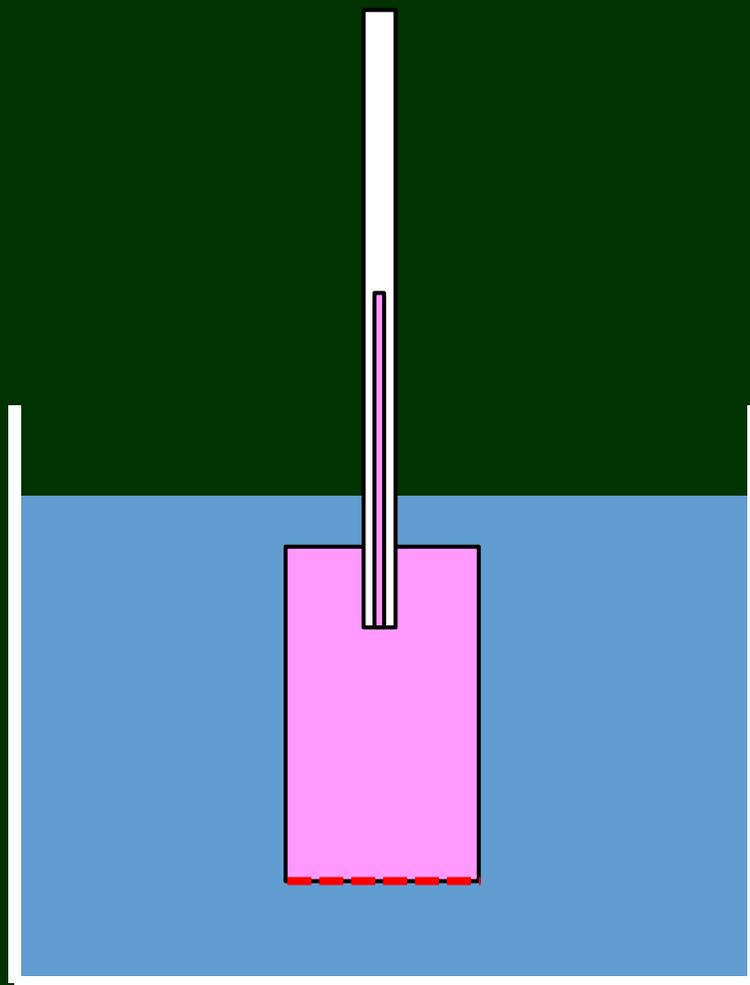
水に差した
セロリの写真

その前に、 次のことは、なぜ起こる？

↳ ナメクジに塩をかけると、縮む。

ナメクジに塩をかけた時のイラスト

実験で確かめてみよう



細胞は、細胞膜の性質から水を吸収することができる。

細胞膜の特殊な性質とは？

膜の透過性と浸透圧

■膜の透過性

全透性 ⇒ 細胞壁 ろ紙 = 全透膜

溶液のすべての成分を通す

半透性 ⇒ 細胞膜 セロハン = 半透膜

溶質（大きな粒子）は通さないが、溶媒（水・小さな粒子）は通す

不透性 ⇒ ラップフィルム

溶液のどの成分も通さない

全透性

- 溶液のどの成分も通す性質

全透性の膜を通して物質が拡散する様子 模式図

半透性

溶質（大きな粒子）は通さないが、溶媒（水・小さな粒子）は通す。

半透性の膜 = 半透膜

半透性の膜を通して水が浸透する様子 模式図

浸透圧

- 浸透 : 半透膜を通しての水の移動
- 浸透圧 : 水の浸透によって生じる圧力 = 溶液が持つ吸水力

浸透圧の定義を説明する模式図

濃度が高い溶液ほど大きな浸透圧を持つ

$$P = CRT$$

P : 浸透圧

C : モル濃度

R : 気体定数

T ; 絶対温度

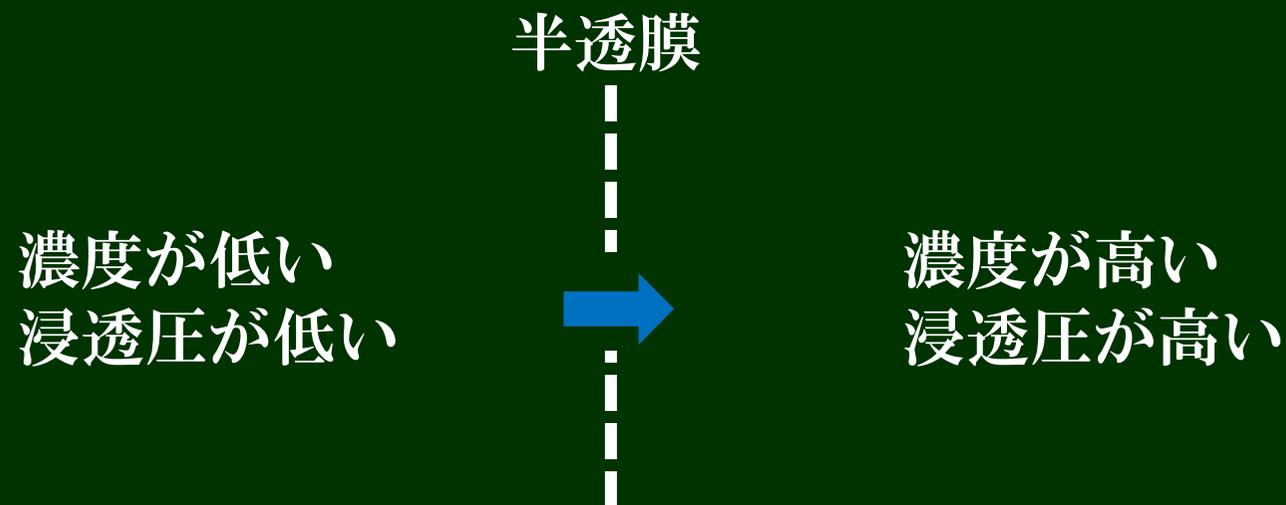
浸透圧は溶質粒子のモル濃度に比例する

水の浸透

ステップ3

異なる濃度の溶液が半透膜を隔てて接しているとき
の水野浸透の様子 模式図

両者の浸透圧の差によって、濃度の低いほうから高いほうへ水が浸透する。



細胞膜と水の出入り

ステップ3

動物細胞と浸透圧

細胞膜は、厚さ8~10nmの薄い膜で、半透膜に近い性質をもっている。

高張液中

低張液中

いろいろな濃度の食塩水に人の赤血球を浸したときの様子 模式図

ヒトの細胞は、約0.9%濃度の食塩水と等張で、このような食塩水を生理食塩水という。生理食塩水は、動物のからだから取り出した組織や細胞をしばらく生かしておくときなどに用いられている。

蒸留水中では、赤血球内に多量の水が入って細胞膜が破れ、ヘモグロビンなどの内容物が流れ出す。この現象を**溶血**という。

細胞膜と水の出入り

ステップ3

植物細胞と浸透圧

細胞壁の存在によって、原形質分離、緊張状態が見られる。

いろいろな濃度のスクロース溶液に植物細胞を浸したときの様子 模式図

原形質分離

植物細胞を高張液に浸すと、細胞内の水が外に出て細胞膜に包まれた部分(原形質)は縮むが、細胞壁はほとんど収縮しないので、原形質が細胞壁から離れる現象が見られる。これを原形質分離という。

限界原形質分離

植物細胞を低張液に浸すと、細胞内に水が浸透してきて原形質はふくらむので、それによって細胞壁を押し広げようとする圧力が生じる。この圧力を膨圧といい、植物細胞に膨圧が生じている状態を緊張状態という。

緊張状態

細胞膜と水の出入り

植物細胞と浸透圧

細胞外のスクロース溶液の濃度変化にともなう植物細胞の浸透圧、
膨圧の変化 模式図

細胞膜と水の出入り

植物細胞と浸透圧

細胞外のスクロース溶液の濃度変化
 にともなう植物細胞の浸透圧、膨圧
 の変化 模式図

細胞の体積と浸透圧は反比例する

外液の浸透圧	吸水力	細胞の浸透圧	膨圧	細胞体積
10.1	10.1	10.1	0	1.0
			2.5	1.3

細胞膜の選択的透過性

ステップ3

選択的透過性

細胞膜は必要に応じて特定の物質を選択的に透過させるはたらきをもっている。これを選択的透過性という。

↳ 受動輸送

濃度差による拡散に伴って物質が細胞膜のチャネルを透過する
濃度勾配にしたがって透過

生きている細胞は、その呼吸によって細胞内部の酸素が消費され、二酸化炭素が増える。したがって、酸素濃度の低くなった分だけ、細胞の外からの酸素を取りこむことになる。同じように、濃度が高くなった二酸化炭素は細胞の外に出ていくことになる。この速度は、濃度の差に影響される。

アクアポリンの模式図

細胞膜の選択的透過性 模式図

細胞膜の選択的透過性

選択的透過性

② 能動輸送

エネルギー（ATP）を使って特定の物質を積極的に移動させる
濃度勾配に逆らって（低濃度の側から高濃度の側へ）移動させる

赤血球・神経細胞

ナトリウム(Na)を細胞外へくみ出し、カリウム(K)を細胞内へくみ入れる

小腸の吸収上皮

グルコースなどの栄養分の取りこみ

植物の根毛

水や養分の吸収



植物細胞と浸透圧の実験 ステップ3

ユキノシタの葉の表皮細胞を様々な濃度のスクロース溶液に浸す。ユキノシタの葉の裏面表皮には発達した液胞があり、アントシアン色素によって赤く見えるので、原形質分離が観察しやすい。

ユキノシタを使った原形質分離の実験

植物細胞と浸透圧の実験

ステップ3

ユキノシタの原形質分離の様子 写真

原形質復帰

ステップ3

時間経過に伴う原形質復帰のグラフ

アオミドロの細胞を30 %スクロース溶液と30 %尿素溶液にそれぞれ浸し、5分ごとに細胞内容物の体積を測定して作成したグラフ。

原形質分離した細胞を水や低張液に浸すと元の状態に戻る。これを原形質復帰という。比較的透過しやすい物質の溶液で原形質分離を起こした場合にも起こる。左のグラフで、尿素溶液に浸した細胞では最初原形質分離が起きるが、B～Cにかけて細胞の体積が元に戻り、原形質復帰が起きている。尿素やエチレングリコールなどの分子量が小さく脂質に溶解しやすい物質は、ゆっくり細胞膜内に浸透するので、細胞内の浸透圧がしだいに上昇する。その結果、水が細胞内に浸透して原形質復帰が起こる。

原形質復帰

植物の水分の調節

ステップ3

植物は、根毛による吸水，気孔による蒸散，水孔による排水によって，体内の水分を調節している

植物体内の水の移動 模式図

水は，物質の輸送，化学反応の進行，光合成の材料など，植物の生命活動に欠かせない物質である。

植物体内では水分子は途切れることなくつながっている。もし途切れると、水を葉まで吸い上げることができなくなる。

根毛から吸収された水は，気孔から蒸散する水に引き上げられ，道管を通ってからだの各部に運ばれる。余分な水は，気孔や水孔から排出される。

植物の根が吸水して水を押し上げる

水は，無機塩類とともに，根毛によって植物体に吸収される（吸水）。

根では内側の細胞ほど浸透圧が高いため，水は内側に向かって移動する。吸収された水には，道管内の水を押し上げる力（根圧）が生じる。

ステップ 3

根毛からの水の吸収 模式図

植物の生活と水

ステップ3

1 水分の調節

水孔からの水の排水
模式図

葉の縁や先端などにある水孔から、液体の水が排出される（排水）。

水孔は、気孔と同様に、2個の孔辺細胞に囲まれているが、開いたままで閉じられることはない。

おもに葉の裏側の気孔から気体の水（水蒸気）が排出される（蒸散）。気孔は、2個の孔辺細胞に囲まれており、この開閉によって蒸散量が調節される。蒸散によって、葉の細胞の浸透圧が高まると、道管を通して根から水が引き上げられる力（吸水力）が生じる。

気孔の開閉 模式図

植物の生活と水

ステップ3

気孔の開閉

気孔の開閉 模式図

孔辺細胞の葉緑体で光合成が起こると、 K^+ が吸収され浸透圧が高まり、吸水して膨圧も高くなる。孔辺細胞は、細胞壁の内側が厚く、外側が薄いため、膨圧の上昇に伴って湾曲し、気孔が開く。

気孔の開口にはサイトカイニンが、閉口にはアブシシン酸がそれぞれ関与する。

4 植物の生活と水

ステップ3

気孔の開閉

1日の蒸散量と吸水量の変化
グラフ

根での吸水の原動力は蒸散である。太陽が昇るにしたがってまず蒸散がさかんになり、少し遅れて吸水が始まる。また、午後蒸散が低下し始めると、まもなく吸水も低下する。

1日の光の強さ、温度の変化と
蒸散量の変化
グラフ

蒸散には光・温度・湿度・風などの環境要因が影響する。
蒸散が温度よりも光照射と関連が深いことがわかる。

実は、植物の吸水について
本当のしくみは
はっきりとはわかっていない

検索しよう

- 根圧
- 浸透圧
- 吸水力
- 根から葉 水の移動
- 道管

植物はどこまで大きくなるか

シャーマン将軍の木

ステップ4

アメリカ合衆国
カリフォルニア州
セコイア国立公園

体積1487m³

世界一大きな木と同時に、地球上で最も大きな生命体だといわれています。

学名 *Sequoiadendron giganteum*
属名 ヒノキ科セコイアデンドロン属
別名 セコイアデンドロン
ジャイアント・セコイア
セコイアオスギ
樹高 80m以上



植物の能力

植物は細胞1個からでも再生可能なのはなぜ？

植物組織培養技術 模式図

植物は細胞1個から
再生可能なのは
なぜ？

植物は細胞1個から再生可能なのはなぜ？

ステップ2

植物細胞ができるまで

細胞共生説の模式図

植物は細胞1個から再生可能なのはなぜ？

植物細胞の構造とはたらき

植物細胞の電子顕微鏡による細胞内の構造の様子
模式図

植物は細胞1個から再生可能なのはなぜ？

植物の再生能力

ニンジンの組織培養 模式図

植物細胞の誕生

地球上の生物はどのようにして現れたのか

- 1 無機物から有機物ができた。
- 2 有機物から細胞ができた。
- 3 細胞が進化して、動物や植物の細胞のもとができた。
- 4 それぞれの生物の祖先が地球の様々な環境に適応して進化し、多様な生物が現れた。

有機物の起源

生命の起源と化学進化

地球は太陽系の惑星の1つで、今から約46億年前に誕生した。誕生まもないころの原始地球では、微惑星が次々と衝突して表面は高温のマグマでおおわれていたが、微惑星の衝突が減って表面がしだいに冷えると、大気中の水蒸気が雨となって降り、原始海洋がつくられた。このような原始地球において生命が誕生するためには、まず、その材料となる有機物が必要であった。

ミラーの実験 模式図

ミラーは、当時、原始地球の大気を構成していると考えられていた組成（アンモニア、メタン、水素など）の混合気体に、放電を続けてエネルギーを供給すると、グリシン・グルタミン酸などのアミノ酸の他、乳酸・酢酸・尿素などの有機化合物が微量ではあるが生じることを示した。

有機物の起源

現在では、原始地球の大気がミラーが考えていたよりも酸化型（水，二酸化炭素，窒素，硫化水素）であることがわかった。しかし，この場合でも時間はかかるものの，同じように複雑な有機物までは形成されると考えられている。

太古の地球の様子 模式図

海洋底の熱水噴出孔

いん石にはアミノ酸や塩基などの有機物が含まれている

高温 高圧

紫外線

空中放電（雷）

火山の噴火

有機物の起源

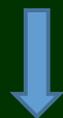
複雑な有機物の生成と蓄積

化学進化の過程 模式図

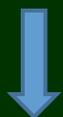
原始海洋中に蓄積したアミノ酸や塩基や糖などの有機物はたがいに反応しあい、タンパク質や核酸などの複雑な有機物もできたと考えられる。原始地球では、このような化学変化が数億年という長い年月のなかでくり返され、しだいにタンパク質・核酸・炭水化物などの生体を構成する高分子物質が生成・蓄積していったと考えられている。このような原始地球上での物質変化の過程は、生命誕生の準備段階と考えることができ、化学進化とよばれている。

生体物質から生命誕生まで

「まとまり」の形成と代謝能力の発達



自己増殖能の獲得



生命の誕生

くわしいことはまだよくわからないが、何らかの形で代謝系と自己増殖系などを備えたコアセルベートのような構造体が、約38億年前に最初の生物になったと考えられている。

ゼラチンやアラビアゴムなどのコロイド溶液を混ぜ合わせると、コアセルベートという小胞ができる。コアセルベートは、有機化合物を吸着したり、分裂・成長する性質をもつ。オパーリンは、これを原始細胞のモデルであると主張した。

アミノ酸を含む混合液を、現在の海水よりも1千~1万倍金属イオンを多く含む溶液中で、105℃で4週間反応させるとマリグラヌールという小胞が生成する。海底の熱水鉱床でも同様の反応が起こると考えられており、原始細胞のモデルとして注目されている。

生体物質から生命誕生まで

RNA ワールドからDNA ワールドへ

セントラルドグマ 模式図



現在の細胞の遺伝情報の担い手はDNA、生体内の化学反応の触媒は酵素（タンパク質）である。

DNA が複製されて遺伝情報が伝わり、DNA からRNA が転写され、それが翻訳されてタンパク質ができる。しかし、原始細胞は遺伝機能と触媒機能の両方をもったRNA だけを含んでいた（RNA ワールド）という考えがある。これによれば、進化が進むにつれて、より複雑なタンパク質が作られるようになり、その中から、RNA の塩基配列をアミノ酸配列と結びつけて、RNA からタンパク質を作ることのできる細胞が出現した。さらに、RNA に基づいてDNA が作られ、そのDNA に基づいてRNA を作る酵素も出現した、これにより、RNA よりも安定で、多くの遺伝情報を蓄えられるDNA が遺伝機能を担う現在の細胞の基本的なしくみが確立したとされる（DNA ワールド）。

原核生物の発達と大気組成の変化

- 原核生物の時代 40億年前～21億年前
 - 最初の生物は、単細胞の原核生物（細菌）
- 従属栄養から独立栄養へ
 - 化学合成細菌 光合成細菌
- 酸素発生型光合成へ
 - シアノバクテリアの出現 酸素の放出
- 好気呼吸生物の出現
 - 酸素を利用して有機物を分解 エネルギー効率向上

原核生物の発達と大気組成の変化

原核生物の変遷と大気組成の変化 模式図

ストロマトライト 写真

ストロマトライト(左:西オーストラリアにある現生のシアノバクテリアが作ったもの 右:断面)

原核生物の発達と大気組成の変化

地球の誕生から現在までの大気中酸素濃度と二酸化炭素濃度の変化

先カンブリア時代には原核生物，真核生物が出現した。
ラン藻類が出現して光合成が始まり，さらに緑藻類の出現で大気中に酸素（ O_2 ）が増加していった。

原核生物の発達と
大気組成の変化

原核生物の発達と大気組成の変化 模式図

真核生物へと進化 そして、植物細胞が誕生した

細胞共生説 模式図

- 多細胞生物の出現（約10億年前）

生物の系統

地球上で生物が進化してきた道筋は系統と呼ばれる。
系統を表す図は、樹木状の形に描かれるため系統樹と呼ばれる。

系統樹

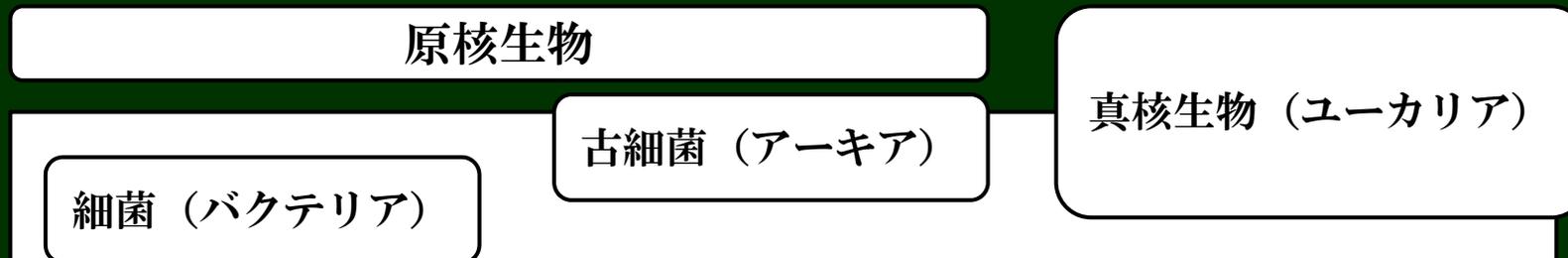
生物の世界の3ドメイン

細胞の構造に着目すると生物は、原核生物と真核生物に2分される。しかし、DNAの塩基配列に基づいた系統解析が行えるようになると、原核生物には2つの異なる系統の生物群が存在することが明らかになってきた。

その後、すべての生物がもつリボソームRNAの塩基配列を用いて全生物の分子系統学的解析が行われ、真核生物は1群にまとまるが、原核生物は2群に分かれて、全体で3群に分かれることが明らかになった（ウーズら（1990年）を改変）。

2群に分かれた原核生物の一方は、大腸菌やシアノバクテリアなどの比較的なじみ深い生物を含み、細菌（バクテリア）と呼ばれる。もう1群は超好熱菌、高度好塩菌、メタン菌など、ヒトにとっての極限環境に生息する原核生物が多く含まれ古細菌（アーキア）と名付けられた。

細菌（バクテリア）、古細菌（アーキア）、真核生物は生物の世界の3ドメインと呼ばれている。



3ドメインの図

C 真核生物（ユーカリア）

真核生物ドメイン

- 核やミトコンドリアなどの細胞小器官がみられる真核細胞をもつ生物
- 動物，植物，菌類，原生生物が含まれる。
- 真核生物ドメイン内の系統関係は，DNA塩基配列を比較した解析により明らかになりつつあり，原生生物は多様な系統群の集まりであることがわかってきた。
- 多細胞の生物のほとんどが含まれる動物，植物，菌類は，それぞれ原生生物に属していた単細胞生物の祖先から独立に生じたものである。
- 動物と菌類が比較的近縁であり，植物とは異なる系統群であることが明らかになっている。

真核生物の系統樹 模式図

真核生物（ユーカリア）

真核生物ドメイン

スーパーグループ 模式図

検索しよう

と 分類 植物

と 植物 進化

と 植物細胞

電子顕微鏡で明らかとなった細胞の微細構造

動物細胞と植物細胞の比較

模式図

植物細胞だけにある構造は？

細胞説

細胞研究法

植物細胞の詳細な構造

模式図

細胞小器官のはたらき

動物細胞の詳細な構造

模式図

細胞説

細胞の発見と細胞説

■細胞の発見

ロバート フック (1665: イギリス 物理学者)
コルクを観察し、細胞 (cell) と名づけた。

「なぜ木片が水に浮くのか」といった疑問を微細構造を調べることで説明しようとした。

フックが観察したのは、はたらきを失った植物細胞の細胞壁にすぎなかった。

フックの顕微鏡と細胞のスケッチ

顕微鏡レンズの改良

■最初の生きた細胞の観察

レーウェンフック (1674: オランダ 商人)
生きている精子、赤血球、微生物などを観察した。

■核の発見

ブラウン (19世紀: イギリス)
ランの葉の表皮を観察し、細胞の中の核を発見。

細胞説

「生物体の構造と機能の基本単位は細胞である」

植物について細胞を確認 ⇒ 細胞説を提唱

シュライデン (1838:ドイツ)

植物だけを調べた

植物細胞
の図

動物について細胞を確認 ⇒ 細胞説を提唱

シュワン (1839:ドイツ)

動物や植物も調べていた

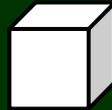
シュライデンより先に細胞説を予報していた

動物細胞
の図

細胞説の定着

フィルヒョウ(白血球の発見者) (1858) は細胞分裂を観察 ⇒ 「細胞は細胞から生まれる」

細胞はなぜ小さいのか



1mm立方体

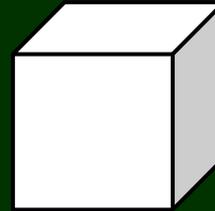
容積

1 mm³

表面積

6 mm²

6 : 1

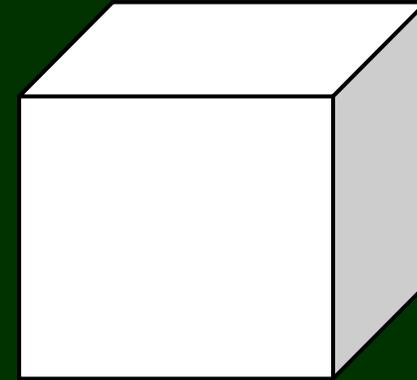


2mm立方体

8 mm³

24 mm²

3 : 1



4mm立方体

64 mm³

96 mm²

1.5 : 1

容積に対する
表面積の比

大きな生命体が多数の小さな細胞で構成されている理由

As an object grows larger, its volume increases more rapidly than its surface area. Cells must maintain a large surface area-to-volume ratio in order to function.

To appreciate this point, let's assume that amount of chemical activity carried out by a cell is proportional to its volume. The surface area of the cell determines the amount of substances that can enter it from the outside environment, and the amount of waste products that can exit to the environment.

The large surface area represented by the many small cells of a multicellular organism enables it to carry out the many different functions required for survival.

植物細胞についての 研究方法

細胞分画法 遠心分離機を用いて、大きさや密度の違いにより細胞小器官を分離する方法を細胞分画法という。各分画の分析によって、細胞小器官の化学組成・構造・働きが明らかにされた。

細胞分画法

模式図

細胞の研究と顕微鏡

細胞の多くは $1\mu\text{m}$ から $100\mu\text{m}$ の大きさで、光学顕微鏡で観察することができる。なかには、 1m 以上にも達する繊維状の細胞もある。

$$1\mu\text{m} \text{ (マイクロメートル)} = 10^{-3}\text{mm} = 10^{-6}\text{m}$$

$$1\text{nm} \text{ (ナノメートル)} = 10^{-3}\mu\text{m} = 10^{-6}\text{mm} = 10^{-9}\text{m}$$

$$1\text{ \AA} \text{ (オングストローム)} = 0.1\text{nm}$$

分解能

肉眼： 0.1mm

光学顕微鏡： $0.2\mu\text{m}$

電子顕微鏡： 2 \AA (オングストローム) = 0.2nm

いろいろな細胞や構造体の大きさ

さまざまな細胞の大きさ

模式図

- ㊦ 観察の際は、対象に適した倍率の顕微鏡（レンズ）を用いる。
- ㊦ 走査型電子顕微鏡は低い倍率（10倍程度）でも観察できる。
- ㊦ 倍率 ルーペ : 1.5～20倍

光学顕微鏡 : 20～2000倍

電子顕微鏡 : ～100万倍

光学顕微鏡の使い方

模式図・写真

光学顕微鏡の特徴

低倍率

ピントが合いやすい
視野が広い
明るい

レボルバーに装着
された対物レンズ
の写真

低倍率でピントが合っていれば、そのままレボルバーを操作して倍率を上げててもほぼピントが合っている（微調整ですむ）。

高倍率の対物レンズ
レンズ装置は大きい
レンズ自体の直径は小さい

高倍率にすると

視野の範囲 ⇒ 狭くなる（倍率が4倍変化すると1/16になる）
視野の明るさ ⇒ 暗くなる
対物レンズとプレパラートとの距離 ⇒ 短くなる（レンズのすぐ近くでピントが合う）
焦点深度 ⇒ 浅くなる（ピントが合う範囲が狭い）

低倍率と高倍率での視野の見え方の違い

光学顕微鏡の原理

網膜に映った像

対物レンズが結ぶ実像（倒立像）。
接眼マイクロメーターはここに置き、
目盛を像に重ねる。

光学顕微鏡の内部構造

模式図

対物レンズが結ぶ実像を接眼レンズ
で拡大した虚像（正立像）。観察し
ているものが、まるでこの位置に拡
大されて存在するように見える。
観察している実物とは、上下左右が
逆になった倒立像である。

光学顕微鏡の観察

光学顕微鏡で見える像

実際と上下左右が反転しているため、プレパラートを動かす方向と像が動く方向は逆になる。

絞りの調節

- A：絞りが開き過ぎ。立体感が少なく、細部は明るすぎて見えない。
- B：適正な状態。
- C：絞り過ぎると、視野が暗い。

視野は倒立像であることを説明するイラスト

絞りの調節による視野の見え方の違い

- ↳ ミドリムシ
- ↳ アメーバ
- ↳ ケイソウ
- ↳ ゾウリムシ
- ↳ ツリガネムシ

細胞の長さを測りたいとき・・・

マイクロメーターを使う

マイクロメーターの使い方の説明

イラスト

電子顕微鏡

と 電子顕微鏡の仕組みを
調べてみよう

細胞小器官の比較

	二重膜構造	一重膜構造	DNAを含む	植物細胞に特有	電子顕微鏡でのみ確認できる
細胞膜		○			
細胞質基質					
核	○		○		
ミトコンドリア	○		○		
葉緑体	○		○	○	
中心体					
液胞		○			
小胞体		○			○
リボソーム					○
リソソーム		○			○
細胞骨格					
細胞壁				○	

細胞小器官の比較

原核細胞と真核細胞

原核細胞から真核細胞への進化

真核細胞と原核細胞

■ 真核細胞

- ◇ 核膜で囲まれた核を持つ
- ◇ 真核生物の細胞
バクテリア・シアノバクテリア以外の生物

■ 原核細胞

- ◇ 染色体はあるが核膜はない
- ◇ 原核性物の細胞
バクテリア（細菌類）
シアノバクテリア（藍色細菌）

真核細胞と原核細胞の比較

模式図

真核細胞と原核細胞

真核細胞	動物細胞 植物細胞 共通	細胞膜	リン脂質の二層構造をした生体膜 選択的透過性 半透性 能動輸送	
		細胞質基質	嫌気呼吸など化学反応の場。	
		核	核膜	核膜孔がある。二重膜。
			染色体	DNA（遺伝子を構成する物質）とタンパク質からなる。
			核小体	RNAとタンパク質からなる。核あたり1～数個存在する。
		ミトコンドリア	好気呼吸の場。二重膜。独自のDNAをもつ。	
		リボソーム	タンパク質合成の場。	
		小胞体	タンパク質などの合成・輸送。粗面小胞体，滑面小胞体。	
	ゴルジ体	小胞体で合成されたタンパク質などの加工・濃縮・分泌。		
	リソソーム	加水分解酵素をもち細胞内で消化作用を行う。		
	動物細胞のみ	中心体※1	動物細胞で紡錘体形成に関わる。	
植物細胞のみ	葉緑体※2	光合成の場。二重膜。独自のDNAをもつ。		
	細胞壁	全透性の膜。セルロースとペクチンを主成分とする。※3		
	液胞※4	塩類や色素の水溶液を満たした空間。周囲は半透性の膜。		
原核細胞 ※5	バクテリア シアノバクテリ ア	細胞壁	ペプチドグリカン（糖タンパク質）が主体	
		細胞膜	脂質二層構造 化学反応の場	
		染色体	核膜に包まれていない。環状のDNA分子である	
		細胞質基質	化学反応の場。	
		リボソーム	タンパク質合成の場。	

※ 1 コケ植物・シダ植物にもある。

※ 2 葉緑体をもたない植物細胞もある。

※ 3 成熟に伴って、リグニン（木化），クチン（クチクラ化），スベリン（コルク化）などの物質からなる二次細胞壁が形成されるものもある。

※ 4 動物細胞にもあるが，ふつう発達しない。

※ 5 遺伝物質としてのDNA が核膜に包まれていない。細胞分裂時に凝縮しない。原核細胞ではDNA自体を染色体と呼ぶ。

原核細胞の構造

バクテリアの細胞構造

模式図（英語）

原核細胞の構造

Capsule: 莢膜

Cell wall: 細胞壁、Plasma membrane: 細胞膜

Cytoplasm: 細胞質

Ribosome: リボソーム

Plasmid: プラスミド

Pili: 性繊毛

Bacterial flagellum: 真正細菌鞭毛

Nucleoid (circular DNA): 核様体

真核細胞と原核細胞

	真核細胞（植物）		真核細胞（動物）			原核細胞	
	根毛	孔辺細胞	筋細胞	ヒトの精子	ヒトの赤血球	大腸菌	光合成細菌
細胞壁	○	○	×	×	×	○	○
細胞膜	○	○	○	○	○	○	○
核（核膜）	○	○	○	○	×	×	×
ミトコンドリア	○	○	○	○	×	×	×
葉緑体	×	○	×	×	×	×	×
ゴルジ体	○	○	○	○	○	×	×
液胞	○	○	○	—	—	×	×
小胞体	○	○	○	○	○	×	×
リボソーム	○	○	○	○	○	○	○
中心体	×	×	○	○	○	×	×
体細胞分裂	×	×	○	×	×	○	○
減数分裂	×	×	×	×	×	×	×
光合成	×	○	×	×	×	×	○
DNAの合成	×	×	○	×	×	○	○
呼吸	○	○	○	○	○	○	○

真核生物はどのようにして現れたか

真核生物は核膜をもっているが、この核膜は細胞膜が陥入して染色体を包みこんでできたと考えられている。

ミトコンドリアと葉緑体は、それぞれ細菌の中に別の細菌やラン藻類が取りこまれ、共生してできたと考えられている。このような考え方を細胞共生説という。

細胞共生説

模式図

細胞小器官のはたらき

細胞膜

細胞内外をしきる厚さ8~10nmの1枚の膜である。細胞は細胞膜で包まれていて、細胞は細胞膜を通して必要な物質（水や栄養分）を取りこみ、不要になった物質を排出している。細胞膜は単なるしきりの膜ではない。

リン脂質の2層構造

生体膜に共通な構造

脂溶性の分子は透過させる

リン脂質二重層の中にタンパク質が入り混じった構造と考えられている（流動モザイクモデル）。

受動的・能動的に細胞内外の物質移動を行っている。

選択的透過性

特定のイオン・分子のみを透過させる

半透性

小さな分子は透過させる

能動輸送

特定の物質を細胞から出したり入れたり、決まった向きに輸送するポンプの役割がある

細胞膜の構造

模式図

細胞膜の働きと構造

選択的透過性

1 受動輸送

- 細胞膜の内外の濃度勾配に従って、濃度の高い方から低い方へ物質が移動することを受動輸送という。
- 受動輸送にはエネルギーが不要である。拡散による移動のほか、チャネルと呼ばれる膜タンパク質も働いている。

細胞膜を核酸によって移動する様子

酸素や二酸化炭素などの小さい分子は、細胞膜の小孔を通して移動する。アルコールなどの脂質に溶けやすい（脂溶性）分子は、リン脂質に溶けて移動する。大きい分子やイオンはほとんど透過しない。

細胞膜の働きと構造

選択的透過性

1 受動輸送

- 細胞膜の内外の濃度勾配に従って、濃度の高い方から低い方へ物質が移動することを受動輸送という。
- 受動輸送にはエネルギーが不要である。拡散による移動のほか、チャネルと呼ばれる膜タンパク質も働いている。

細胞膜のチャネル

模式図

Na⁺やK⁺のようなイオンは、タンパク質でできた特定の通路（イオンチャネル）を通る。水分子が通るチャネル（アクアポリン）も存在する。チャネルは状況に応じて開閉する。

細胞膜の透過性

細胞膜の透過性

グラフ

溶質分子が大きいほど、細胞膜を透過しにくくなる。この現象からも細胞膜が半透膜であることがわかる。例えば、スクロースはほとんど細胞膜を透過できないが、尿素はゆっくりと透過する。

細胞膜はリン脂質を主成分としているため、脂質に溶けやすい分子ほど透過しやすくなる。同程度の大きさの分子間で比較すると、脂溶性の高いものほど透過性も高い。グラフの黒点の大きさは分子の大きさを表している。

細胞膜の働きと構造

選択的透過性

- 2 能動輸送 細胞膜の内外の濃度勾配に逆らって、濃度の低い方から高い方へ物質が移動することを能動輸送という。
能動輸送にはエネルギーが必要で、このエネルギーはATP から得られる。
ポンプと呼ばれる膜タンパク質が働いている。

ナトリウムポンプ

模式図

ナトリウムポンプは様々な細胞の細胞膜にあり、イオンの濃度勾配に逆らって、 Na^+ を細胞外に、 K^+ を細胞内に輸送している。

細胞膜での大きな分子の分泌・排出と取り込み

エンドサイトーシス

模式図

エンドサイトーシス

細胞膜の包み込みにより液体や比較的小さな物質を取り込むことを**飲作用**，固形物を取り込むことを**食作用**といい，両者を合わせて**飲食作用**という。

エキソサイトーシス

模式図

エキソサイトーシス

ホルモンや消化酵素は，それらを含む分泌小胞の膜が細胞膜と接着することによって細胞外へ**分泌**される。

細胞壁

- 植物細胞では、細胞膜の外側に細胞壁がある。
- セルロースにペクチンなどが組み合わさってできたもので、張力や圧力にも耐えられる構造をつくり、細胞を保護し、形を保持する役割をしている。

細胞分裂の模式図

- 細胞の成長に伴い、特定の物質が沈着する場合もある。

セルロース+リグニン	⇒	木化
セルロース+スベリン	⇒	コルク化
セルロース+クチン	⇒	クチクラ化

細胞小器官 核の構造とはたらき

■ 核膜

- ◇ 2枚の膜 一部は小胞体につながる
- ◇ 核膜孔がある 遺伝情報を写し取った伝令RNAがここから細胞質へ出ていく

■ 染色体

- ◇ DNA (デオキシリボ核酸 遺伝子) とタンパク質 (ヒストン) からなる
- ◇ カーミンやオルセイン (塩基性色素) で赤く染まる
- ◇ メチルグリーンで緑青色に染まる

■ 核小体 主成分はRNA とタンパク質で被膜はない

- ◇ リボソームRNAの合成場所
- ◇ ピロニンで赤桃色に染まる

■ 核液

- ◇ 核内を満たす液体で、遺伝子を調節する物質がある



遺伝子=タンパク質の設計図

核の構造とはたらき

アメーバの除核実験

模式図

- 細胞には、ふつう1個の核がある。アメーバを切断すると核を含む部分は生き続けて分裂し、増殖するが、核を含まない部分はやがて死んでしまう。



- 核は生命の維持や成長に関係していることがわかる。

カサノリの核交換実験

模式図

- 単細胞であるカサノリにはかさの形態が異なる2種類があり、図のように移植すると、核のある仮根と同じ種類のかさが形成される。



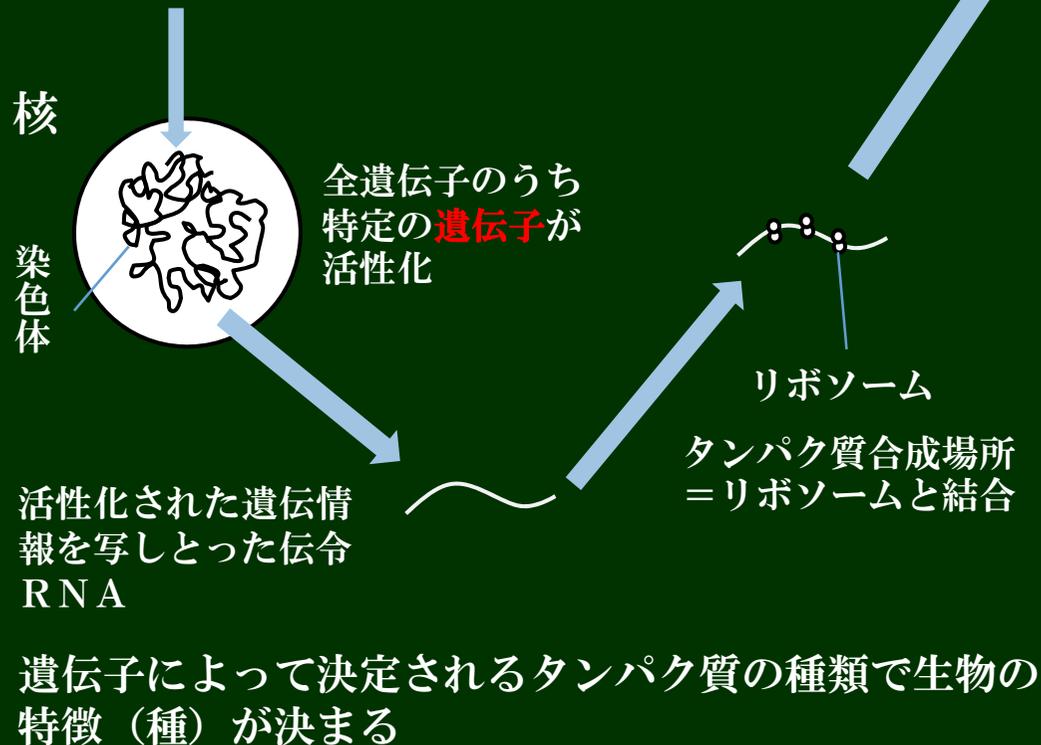
- 細胞の形態を決定するはたらきをしていることがわかる。

核のはたらき

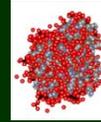
核は生命の維持や成長に関係している

- 細胞の形態を決定するはたらきをしている

遺伝子を調節する物質



タンパク質



細胞や個体の構造物を作る
生物体内の触媒として、化学反応を進める
生物の運動や構造の変化を起こす
特定の物質と結合して、からだの各部へ輸送する
免疫などの生体防御に働く
内分泌腺からホルモンとして分泌されて情報を伝達する
受容体として特定の物質と結合して、細胞内部に情報を伝える
特定の物質と結合して、様々な生命活動を調節する
栄養として胚やからだの成長に利用される

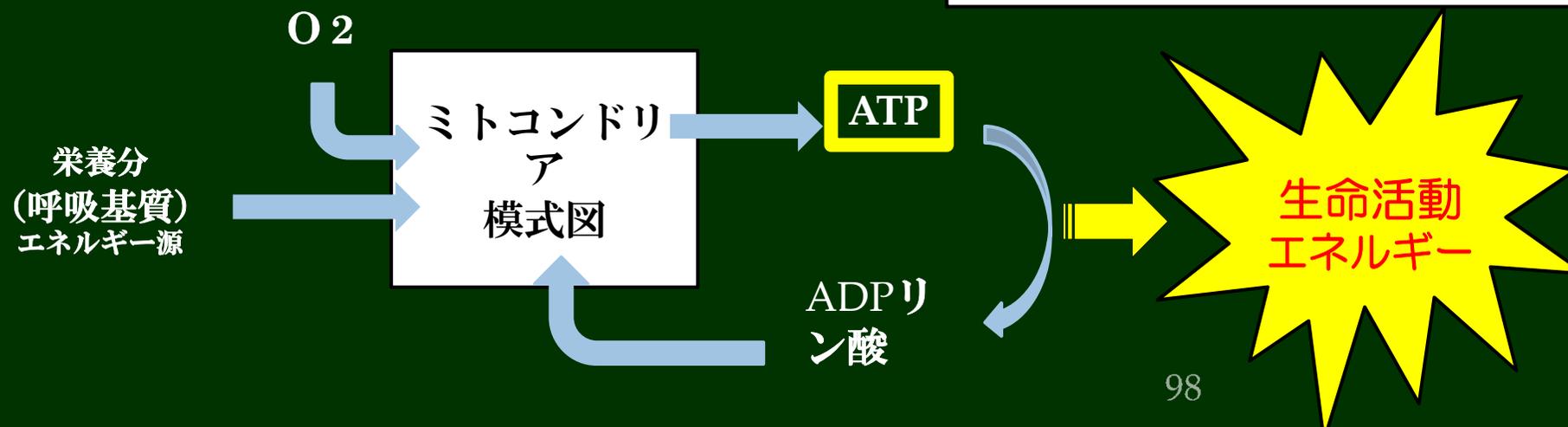
細胞小器官

ミトコンドリアの構造とはたらき

- ⓧ 長さ1～数 μm の球状または棒状の細胞小器官である。
- ⓧ 生体内のエネルギー活動で広く用いられるATP（アデノシン三リン酸）を合成する好気呼吸の場。
- ⓧ 二重膜からなり内膜は内側に折れ曲がっていてクリステという。
- ⓧ ATP合成酵素が多く存在している。

ミトコンドリア

模式図



細胞小器官

葉緑体の構造とはたらき

- と 緑色植物や藻類に含まれる大きな細胞小器官で、直径5~10 μ m、厚さ2~3 μ mの凸レンズ形や紡錘形をしている。
- と 二重膜に包まれた内部に扁平な袋（チラコイド）が重なった構造（グラナ）をもつ。
- と チラコイドに光合成色素（光を吸収する、緑色のクロロフィル、橙色のカロテン、黄色のキサントフィルなど）を含み光エネルギーをとらえる。
- と ストロマで二酸化炭素と水から糖の合成（光合成）を行う。
- と 有色体、白色体とともに色素体と呼ばれる。

有色体

パンジーの黄色の花弁やニンジンの橙色の根などの細胞には、キサントフィルやカロテンなどを含んだ色素体が見られる。

白色体

根や茎の内部の白色の細胞には、色素をもたない白色の色素体が見られる。葉緑体で合成した有機物を受け取って、デンプンの合成や一時的な貯蔵を行う。袋状の構造（チラコイド）はない。

葉緑体

模式図

色素体

模式図

細胞小器官

ゴルジ体の構造とはたらき

- ⓧ イタリアのゴルジが1898年に発見した。
- ⓧ 一枚の膜からなる
- ⓧ 膜でできた扁平な袋が層状に重なったものであり、小胞を伴うことが多い。
- ⓧ 動物細胞にも植物細胞にも存在するが、植物細胞では光学顕微鏡では観察しにくい。
- ⓧ 細胞内でつくられた物質を受け取り、物質の加工、濃縮し、小胞に包んで細胞膜に運び、細胞外に放出する細胞の分泌作用に関係している。
- ⓧ 分泌小胞、リソソームを形成する。
- ⓧ 消化腺などの腺細胞（粘液やタンパク質を分泌する）や神経細胞では特に発達している。

ゴルジ体

模式図

細胞小器官

中心体の構造とはたらき

- ⌘ 動物細胞では全般に見られるが，植物細胞では藻類やコケ・シダ植物の精子をつくる細胞など一部にしか見られない。
- ⌘ 中心体は核の近くにある。
- ⌘ 微小管3本が1組になり，環状に9組並んで中心粒となる。
- ⌘ 中心体は，中心粒2個が互いに直交して形成される。2個の中心粒とそれを取りまく不定形な部分からなる。
- ⌘ 中心体は，細胞分裂時に紡錘体形成の起点になる。
- ⌘ べん毛や繊毛の形成に関与する。



中心体

模式図

細胞小器官

液胞の構造とはたらき

- よく成長した植物細胞では、発達した大きな液胞が見られる。
- 液胞の外側は1枚の液胞膜できている。
- 内部は有機酸・無機塩類・糖・色素などを含む細胞液で満たされている。
- 植物体は細胞の活動でできた不要物を細胞外に排出できないので、液胞で無害な物質につくり変えてためておくことが多い。
- 赤色や紫色をもつ花卉の細胞では、液胞にアントシアン(花青素)とよばれる色素が含まれている。
- 果実の酸味や甘味は、液胞中の物質によるものである。

液胞
模式図

細胞小器官

小胞体の構造とはたらき

- ⌘ 小胞体は複雑な膜状の構造。
- ⌘ タンパク質や脂質の合成・輸送に関わる。
- ⌘ 表面にリボソームが付着している粗面小胞体と付着していない滑面小胞体がある。

小胞体

模式図

細胞小器官

リボソームの構造とはたらき

↳ リボソームはリボソームRNA とタンパク質からなる小粒で，タンパク質を合成する。

リボソーム

模式図

細胞小器官のつながり

タンパク質合成から分泌まで

模式図

- ▶ 核（タンパク質の合成情報をもつ）
- ▶ 小胞体・リボソーム（タンパク質合成の場）
- ▶ ゴルジ体（タンパク質の選別・修飾・分泌顆粒形成）
- ▶ 分泌小胞（分泌物の輸送） ⇒ 分泌
- ▶ リソソーム（加水分解酵素を含む 消化作用） ⇒ 細胞内消化

ステップ 3

細胞小器官 どうしの かかわり

ホルモンにより
転写が活性化さ
れ、タンパク質
が合成されて分
泌(ぶんぴ)が起
こるまでの過程

タンパク質合成から分泌まで

模式図

細胞質基質

- ⓧ 細胞質基質は、細胞小器官の間を埋めている液状の部分。
- ⓧ アミノ酸、タンパク質、酵素、グルコース、無機塩類などを含む。
- ⓧ 有機物を分解して細胞の活動に必要なエネルギーを取り出す嫌気呼吸を行う。
- ⓧ 各種物質の分解や合成などが行われている。
- ⓧ 細胞骨格がある。

細胞質基質

模式図

細胞骨格

- ⓧ 細胞質基質に存在する繊維構造。微小管，中間径フィラメント，ミクロフィラメントの3種類がある。
- ⓧ 微小管はチューブリンというタンパク質からなる。一端が中心体に付着しており，細胞分裂の際に集合して紡錘体を形成する。また，繊毛やべん毛の中軸となって運動に関わり，小胞輸送のレールの役割もする。
- ⓧ 中間径フィラメントは細胞の構造・形を保つ働きをする。
- ⓧ ミクロフィラメントはアメーバの仮足の支柱となるなど細胞運動に関わる。

細胞骨格

模式図

原形質流動

生きている細胞で見られる原形質流動

- 細胞の内部では、原形質が流動的な状態（ゾル）と固体的な状態（ゲル）に相互転換する。これをゾル-ゲル転換という。ゾル-ゲル転換は、細胞骨格のミクروفィラメントの主成分であるアクチンタンパク質の結合状態の変化によって起こる。
- ゾル-ゲル転換にはエネルギー（ATP）が必要なため、生きている細胞でしか起こらない。
- 植物細胞では、細胞質が流れるように動く現象が見られる。これを原形質流動(細胞質流動)といい、物質の運搬などに役立っている。原形質流動は、細胞が死ぬと見られなくなる。

アメーバ運動

- 白血球やアメーバなどでは、細胞質が流れるように動いて細胞の外形が変化する変形運動をする。これをアメーバ運動という。
- アメーバ運動は原形質流動の一種で、細胞質基質が部分的にゾル-ゲル転換を行うことによって起こる。
- 先端部でゾル→ゲル、後端部でゲル→ゾルの変化が起き、原形質全体が先端部へ流動しながら前進する。

アメーバ運動

模式図

植物の再生能力

植物は細胞1個から 体全体を再生できる

栄養生殖

植物細胞の脱分化と再分化

植物の組織培養

植物の優れた増殖能力 無性生殖＝栄養生殖

ステップ3

無性生殖

親のからだの一部が分かれて、そのまま新个体になっていく生殖法。
配偶子によらない生殖
子は親と全く等しい遺伝子を持つ
適した環境下では増殖に有利だが、環境の変化に適応できにくい。

植物の無性生殖 ⇒栄養生殖

根・茎・葉など植物の栄養器官の一部から新个体ができる。
無性芽・不定芽・走出枝・むかご・地下茎・塊茎・塊状根、
人為的栄養生殖として、さし木・とり木・つぎ木などがある。

ゼニゴケ（無性芽）

ユキノシタ（走出枝）

ジャガイモ（塊茎）

写真

コダカラベンケイソウ（不定芽） オニユリ（むかご）

サツマイモ（塊状根）

写真

植物細胞の 脱分化と再分化

植物の傷を治すしくみ

＜脱分化とカルス形成＞

植物の組織が傷つくことがきっかけとなって、オーキシンやサイトカイニンと呼ばれる植物ホルモンが傷口の細胞で作られる。これらの植物ホルモンによる刺激を受けると、それぞれの細胞が持っていた形や機能を消去し、その植物の細胞ではあるが形や機能が定まっていない未分化な状態に戻ることができる。この過程を脱分化という。脱分化した細胞は、分裂を始め癒傷組織（カルス）を作り、傷口を覆っていく。同時に、傷口の付近の細胞ではフェノール化合物の合成に関わる酵素などの誘導が起こり、リグニンが合成されて細胞壁に沈着し、硬い組織となって傷口を修復します。

大きな枝を切り落とされた後の切り口
傷口は癒合している

写真

植物の再生能力

<再分化>

傷口にできたカルスに、植物ホルモンがはたらいて、傷口の組織を補いますが、この時、各細胞はその場所に応じた形や働きを持つように分化します、これを再分化と呼びます。小枝を土に挿しておく、傷口から根が再生されて新しい植物体になります。この方法を利用して、優れた苗を増やすのが「挿し木」増殖方法です。

植物の再生能力

<再分化>

オーキシンという植物ホルモンが強くと、根が再分化します。サイトカイニンという植物ホルモンが強くと芽が再分化し、茎や葉などの組織を作ることがわかっています。

組織培養の方法

模式図

植物の組織培養

植物の組織培養

多細胞生物の組織から一部を取り出し、生育に必要な栄養分を与えて無菌的に生かしておくことを組織培養という。

組織培養のイラスト

組織培養

↓ 脱分化

カルス

↓ 再分化

植物体の再生
(分化の全能性)

<応用>

人工種子

希少植物の増殖

遺伝子組換え作物

品種改良

生産拡大

茎頂培養

(ウイルスフリー)

スチュワードの実験

植物の細胞融合

植物の細胞融合

模式図

植物組織

↓ペクチナーゼ

植物細胞

↓セルラーゼ

プロトプラスト

↓ポリエチレン

↓グリコール

細胞融合

動物の細胞融合

ポリエチレングリコール

センダイウイルス

電気刺激

動物の細胞融合

模式図

- と 植物の組織培養
- と 植物ホルモン
- と 細胞融合
- と バイオテクノロジー
- と ハイブリッド 植物

検索しよう

植物の能力

ステップ1

植物の一生

植物の一生と光受容体・ホルモンの関与 模式図

植物の一生

発芽から開花結実・種子形成まで、植物の一生は
光と植物ホルモンで調節されている。

発芽

成長

気孔の開閉

ストレス応答

光受容体→

植物ホルモン
→

植物の一生と光受容体・ホルモンの関与 模式図

光受容体と植物ホルモン

植物の生活とホルモン

花芽形成

果実の成長
成熟

光受容体 →

← 植物ホルモン

植物ホルモン
→

老化・落葉

植物の一生と光受容体・ホルモンの関与 模式図

← 光受容体

植物ホルモン
←

種子の発芽

種子の成熟・休眠の調節

アブシシン酸の含有量が増える

貯蔵物質の蓄積と脱水 → 乾燥に対する耐性を獲得し、休眠

アブシシン酸の含有量は、種子の成熟後期から 減少し始める

水に触れると、吸水して膨らむ

種子の発芽の調節

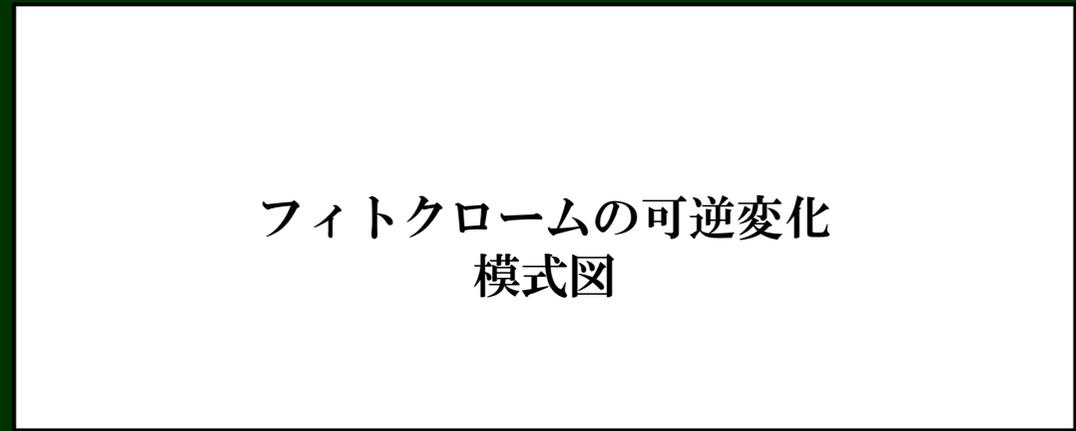
発芽の条件

- 水分・温度・酸素
- 光

発芽促進ホルモン

ジベレリン

光発芽種子：光の照射によって発芽が促進される種子
 [例] レタス、タバコ、シソ、シロイヌナズナ、マツヨイグサなど



光発芽種子に光を照射したとき、赤色光には発芽の促進効果があり、遠赤色光にはこの効果を打ち消す作用がある。つまり、最後の照射光が赤色光のときのみ発芽が促進される。

暗発芽種子：光を照射すると発芽が抑制される種子
 [例] キュウリ、カボチャ、ケイトウなど

発芽とジベレリン オオムギなどの穀類の発芽は、次のような機構を経て起こる。

- ① 胚でジベレリンが生成され、糊粉層へ移動する。
- ② 糊粉層では、ジベレリンによってアミラーゼの合成が誘導される。
- ③ 胚乳の貯蔵デンプンがアミラーゼによって分解される。
- ④ 分解で生じたグルコースが胚の成長に使われる。

オオムギ種子で見られる
発芽とジベレリンの作用
模式図

ジベレリンの発見

イネの草丈を異常に高くする 馬鹿苗病 の原因である 馬鹿苗病菌 (ジベレラ) から発見された。

〔参〕ジベレリンは、日本人の黒沢英一によって発見され、藪田貞治郎らによって単離・同定された植物ホルモンである。現在、種なしブドウの生産など、農業で応用されている。

植物の生長

植物ホルモンによる栄養成長の調節 茎の伸長と肥大

オーキシン

- 天然オーキシン → インドール酢酸 (IAA)
- 人工オーキシン → ナフタレン酢酸 (NAA) 2, 4-ジクロロフェノキシ酢酸 (2, 4-D)

- オーキシンは、細胞壁の強度を低下させることで細胞の吸水・膨潤を容易にして、茎や根の成長を促進する。

オーキシンによって、細胞膜に存在する水素イオン (H^+) の運搬にかかわるポンプが活性化し、細胞質から細胞壁側に水素イオンがくみ出され、細胞壁が酸性化する。すると、細胞壁の主成分であるセルロース繊維どうしの結び付きを弱くするはたらきをもつ酵素が活性化される。これによって、セルロース繊維どうしが分離し、細胞壁が緩んで細胞が伸長することが可能となる。 <酸成長説>

- オーキシン濃度が高すぎると、成長は抑制される。
- 植物の器官によってオーキシン感受性が異なる。

オーキシン濃度による茎と根の成長促進・成長抑制

模式図

ダーウィンの実験

ボイセン・イエンスンの実験

模式図

ウェントの実験

模式図

- ① 光は幼葉鞘の先端部で受容される
- ② 先端部でオーキシンが生成される
- ③ オーキシンは光が当たる側から当たらない側に移動する
- ④ オーキシンは下方に移動し伸長成長を調節する

植物ホルモンによる栄養成長の調節 オーキシンの極性移動

オーキシンの極性移動は先端側から基部側へと決まった方向にしか移動せず、重力の方向に影響されない

オーキシンの極性移動のしくみ

模式図

細胞膜に存在する2種類の輸送タンパク質

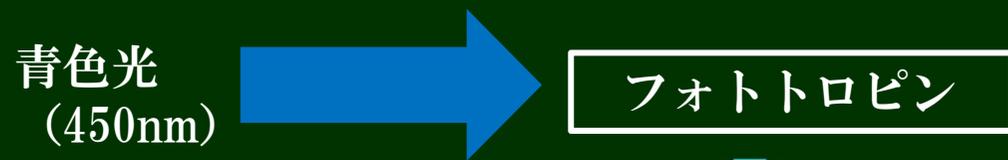
シロイヌナズナを用いた研究より

取りこみ輸送体

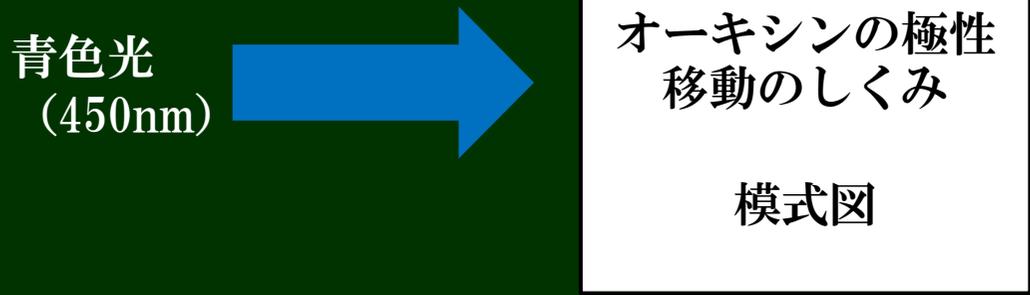
排出輸送体

オーキシンの細胞からの排出は 排出輸送体 によってのみ起こる
オーキシン排出輸送体は、細胞の 基部側の細胞膜 に集中

植物ホルモンによる栄養成長の調節 光屈性

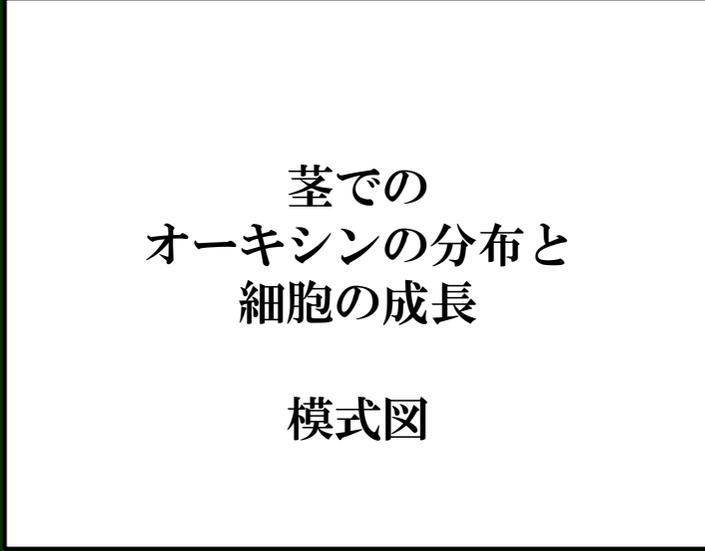


↓ オーキシン輸送タンパク質の分布が変化

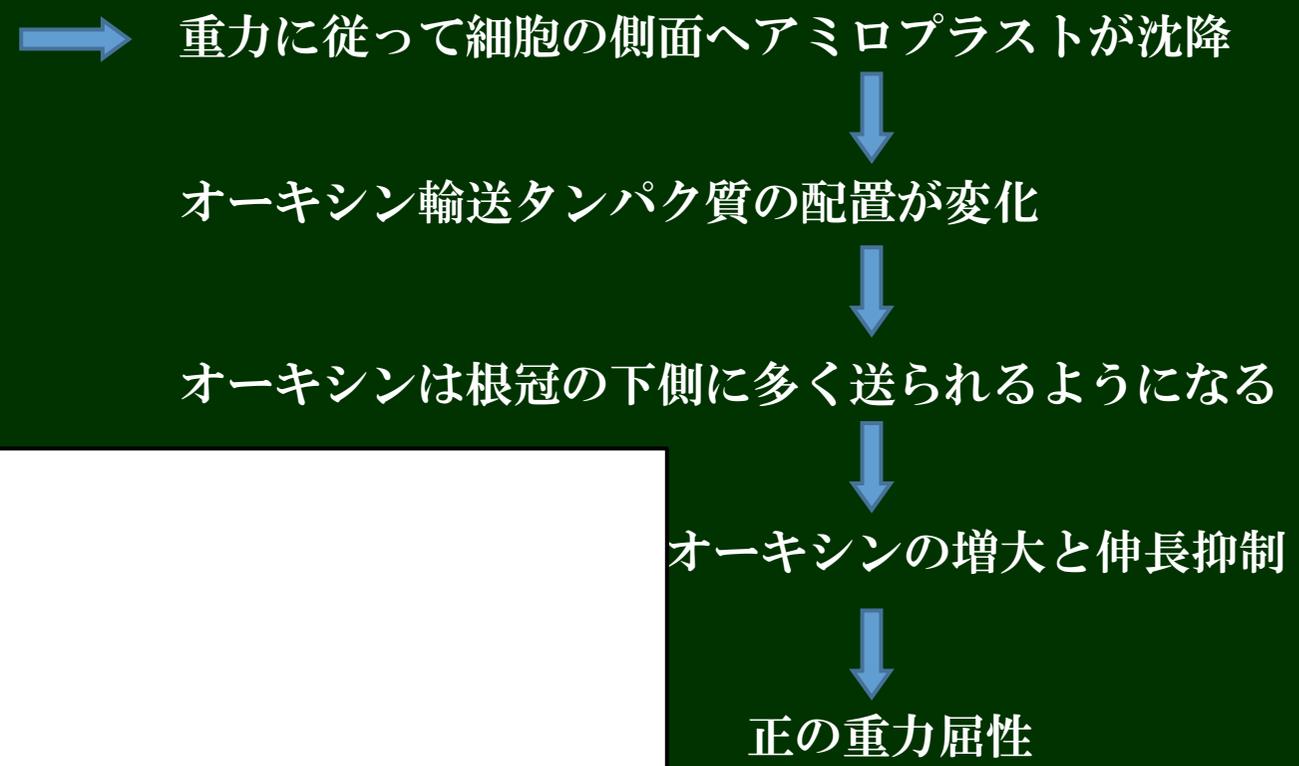
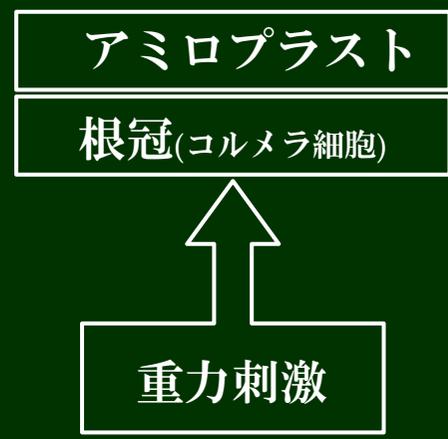


陰となっている側へのオーキシンの移動

オーキシンは、茎の先端部で 光の反対側へ移動し、陰の側を 先端から基部へ移動して、伸長部の成長を促進する。



植物ホルモンによる栄養成長の調節 根の正の重力屈性



根端でのオーキシシンの分布の偏り

模式図

植物ホルモンによる栄養成長の調節 頂芽優勢

頂芽優勢 : 側芽に対して頂芽の成長が優先されること

頂芽の成長が活発なときには、側芽の成長が抑えられているが、頂芽を切り取ると、側芽の成長が促進される。

頂芽優勢における
オーキシンの作用

模式図

- 頂芽はオーキシン生産の場であり、オーキシンを下方に向けて送り出している。
- 頂芽を切り取っても、切り口にオーキシンを与えると、側芽の成長は始まらない。
- 頂芽に由来するオーキシンは、茎の中で側芽の成長に必要なサイトカイニンの合成を妨げ、側芽の成長を抑えている。

植物ホルモンによる栄養成長の調節 茎の伸長と肥大

ジベレリン ブラシノステロイド

- 細胞骨格の 微小管 の方向を制御して、細胞が 横方向 には成長しにくく、縦方向には成長しやすいように細胞壁 の構造を変える。

➡ 茎が細長く伸びる。

エチレン

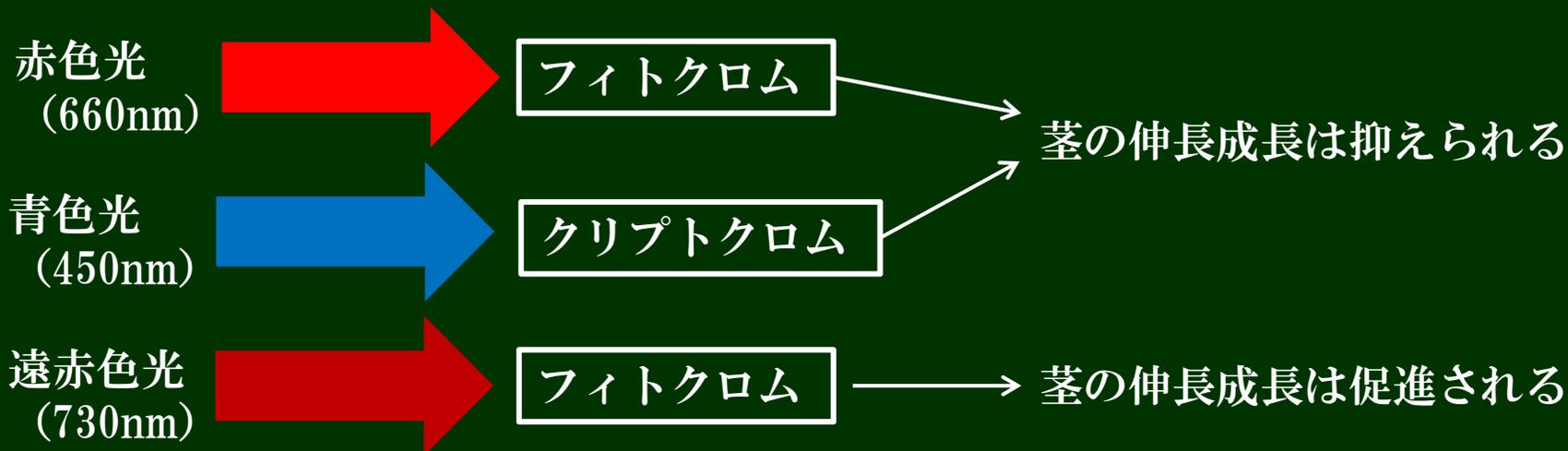
- 細胞が横方向には成長しやすく、縦方向には成長しにくいように、細胞壁 の構造を変える。

➡ 茎の伸長を抑制し、肥大を促進、つまり茎を太く短くする。

茎の伸長と肥大のしくみ

模式図

光による栄養成長の調節



他の植物に覆われて陰になった場所では、

遠赤色光 の割合が高くなるので、茎の伸長成長が促進される。これにより、光合成のための光を確保できる。

いろいろな波長の光が混じっている環境では、フィトクロムの経路とクリプトクロムの経路の両方がはたらく。

太陽光と緑葉を通過した光
波長による光強度の違い

グラフに、赤色光、青色光、遠赤色光の位置を記入しなさい。

振動・接触による栄養成長の調節

風や接触などの刺激



茎が太く短くなり，風や接触物の負荷に抵抗できる

植物ホルモンと器官分化

分化した植物組織

組織培養

栄養分や植物ホルモンを含む
適当な培地で培養

脱分化

高濃度オーキシン
高濃度サイトカイニン

カルス

カルス

低濃度オーキシン
高濃度サイトカイニン

再分化

茎頂分裂組織を形成して茎や葉（不定芽）

高濃度オーキシン
低濃度サイトカイニン

再分化

根端分裂組織を形成して根（不定根）

植物細胞から細胞壁を酵素で分解して取り除くと，プロトプラストと呼ばれる裸の単細胞が得られる。このプロトプラスト1個からカルスをつくり，さらに植物体を再生することも可能である。このことから，植物の細胞は，分化した後にも分化全能性（全分化能）を失っていないことがわかる。

気孔の開閉

気孔の開閉の調節

青色光
(450nm)



孔辺細胞
フォトトロピン



気孔が開いたとき
模式図

サイトカイニン



孔辺細胞では、浸透圧が高まる



孔辺細胞に水が流入



孔辺細胞が膨らんで、膨圧が上昇



気孔が開く。

水不足



植物体内のアブシシン酸が増加
アブシシン酸が孔辺細胞に作用



気孔が閉じたとき
模式図

孔辺細胞の浸透圧の低下



孔辺細胞から水の流出



孔辺細胞の膨圧の低下



気孔が閉じる

ストレスに対する応答

ストレスに対する応答

環境ストレスに対する応答

低温, 乾燥, 高濃度の塩 → アブシシン酸 の含有量増加 → 抵抗性を獲得

傷害に対する応答

昆虫の食害などによる
傷害ストレス → ジャスモン酸 類の合成 → 昆虫の成長を妨げるタンパク質の合成を誘導

病原菌に対する応答

病原菌の感染 → 感染部位の近傍で過敏感反応
(自発的な細胞死) が起こる

病原菌の感染 → 抗菌物質 や リグニン が合成される → 病原菌の増殖や植物体への侵入を防ぐ

花芽形成

花芽形成と日長

光周性 : 生物が日長（1日の明期または暗期の長さ）に応じて、1年のうちの決まった季節に一定の反応を示す性質

長日植物・短日植物・中性植物

長日植物、短日植物、中性植物の表

光周性を示す植物は、明期の長さを感じるのでなく、暗期の長さを感じている。

長日植物は 一定時間以下の連続した暗期が与えられると花芽形成を行う。

短日植物は 一定時間以上の連続した暗期が与えられると花芽形成を行う。

花芽形成の閾値となっている連続した一定の長さの暗期を限界暗期という。

花芽形成と日長

花芽形成に関与する
明暗周期の実験と光中断の実験

模式図

光周性を示す植物は、明期の長さを感じ取るのではなく、暗期の長さを感じ取っており、長日植物は一定時間以下の連続した暗期が与えられると花芽形成を行い、短日植物は一定時間以上の連続した暗期が与えられると花芽形成を行う。

長日処理・短日処理

長日処理 短日処理

花芽形成のしくみ

日長を感じ取る部位

短日処理の葉との関係、環状除皮の実験

模式図

葉で日長の情報を感知



葉でFTタンパク質（フロリゲン）合成



FTが茎の師管を通過して茎頂分裂組織に移動



花芽形成に必要な遺伝子の発現を誘導する

春化： 種子や植物が 一定期間、低温にさらされることによって、花芽を形成できるようになる現象

〔例〕 秋まきのコムギやライムギ，ダイコン

シロイヌナズナでは，低温にさらされる前に形成された葉は，日長条件によらず花成ホルモンを合成できない状態になっているが，低温にさらされた後に形成された葉は，日長条件に応じてフロリゲンを合成できる状態になっている。

果実の生長と熟成

果実の形成と成長

ジベレリン いくつかの植物では、受粉の刺激により めしべ内のジベレリンが増加し、ジベレリンの作用で果実の形成が始まる

ジベレリンの人工的な処理によって、受粉なしに果実を形成させることが可能な植物もある。このはたらきは、種なしブドウの生産などに応用されている。

オーキシン 受精が起きて種子が形成されると、種子でオーキシンがつくられるようになり、このオーキシンが果実の肥大成長を促進する。

果実の成熟

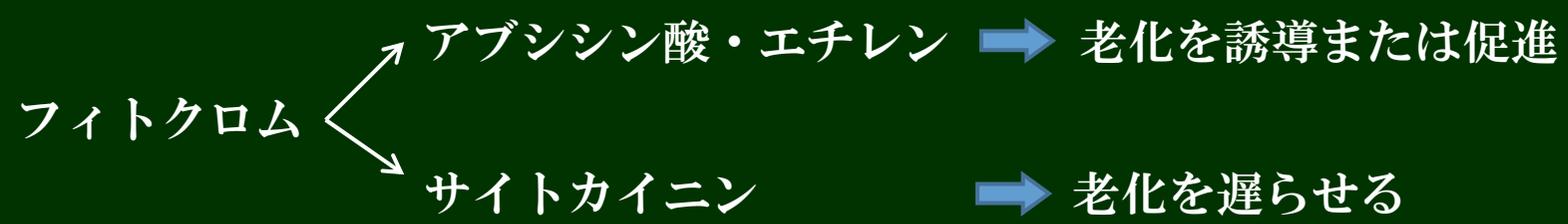
エチレン 果実は初め少量のエチレンを生成しているが、このエチレンがさらにエチレンの生成を促すので、果実の成熟とともにエチレンは急速に増大する。

急増したエチレンは、細胞壁分解酵素（細胞の接着を弱め、果肉を柔らかくする）などの遺伝子発現を誘導し、これらの酵素のはたらきで果実の成熟が進む。

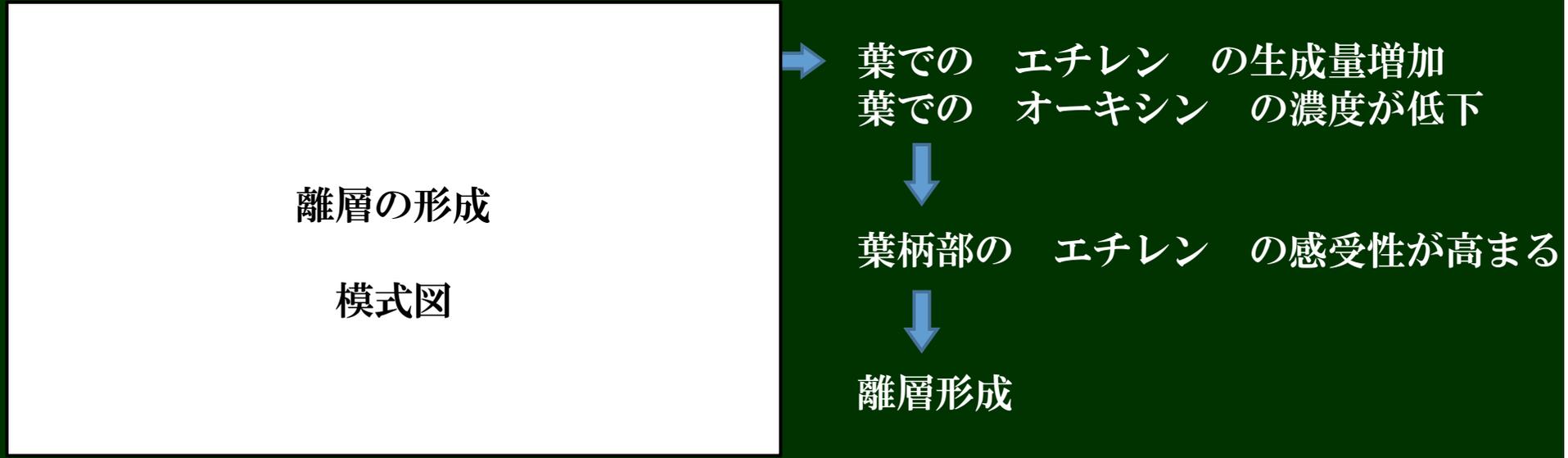
植物の老化と落葉

老化と落葉

葉の老化 : タンパク質などの分解が始まり, クロロフィル が減少して緑色がうすくなる。
 老化した葉からは, 分解産物の アミノ酸 などが回収され, 転流したあとに, 若い器官で再利用されたり, 貯蔵器官に蓄えられたりする。



離層形成 : 葉の老化が進むと, 葉柄の付け根に, 離層 と呼ばれる細胞層が形成される。離層では細胞間の結合が弱まり, 最終的には葉の脱離を引き起こされる。



植物の生活と植物ホルモン

植物ホルモン	はたらき・その他	
オーキシシン (インドール酢酸) (ナフタレン酢酸) (2,4-D)	<ul style="list-style-type: none"> 細胞の伸長成長促進 落葉の抑制 頂芽優勢 果実の肥大成長促進 根端分裂組織の形成 	<ul style="list-style-type: none"> サイトカイニンの合成阻害 先端部で合成、伸長域に移動し作用 光の反対側に移動 先端からの基部への極性移動 器官による感受性が異なる
ジベレリン	<ul style="list-style-type: none"> 細胞の伸長成長促進 茎を細長く伸ばす 種子の発芽促進 果実の形成 	<ul style="list-style-type: none"> イネの馬鹿苗病から発見 種なしブドウの生産に利用 光発芽種子では光照射と同じ効果
サイトカイニン	<ul style="list-style-type: none"> 細胞分裂の促進 側芽の成長促進 老化の抑制 	<ul style="list-style-type: none"> 気孔を開く 茎頂分裂組織の形成
アブシシン酸	<ul style="list-style-type: none"> 種子の休眠 種子の発芽抑制 気孔を閉じる 	<ul style="list-style-type: none"> 老化の促進 ジベレリンと対抗的にはたらく サイトカイニンと対抗的にはたらく
エチレン	<ul style="list-style-type: none"> 果実の成熟 落葉促進 老化の促進 	<ul style="list-style-type: none"> 気体のホルモン 茎を太く短くする
ブロリゲン	<ul style="list-style-type: none"> 茎頂分裂組織を花芽に分化 	<ul style="list-style-type: none"> 葉で合成され、師管を移動
ジャスモン酸	<ul style="list-style-type: none"> 昆虫の食害の拡大防止 	<ul style="list-style-type: none"> ストレスに対する応答
ブラシノステロイド	<ul style="list-style-type: none"> 細胞の伸長成長の促進 茎を細長く伸ばす 	<ul style="list-style-type: none"> 落葉落下の抑制

植物の能力

ステップ1

植物の環境への適応能力

世界のバイオーム分布図

植物の環境への適応能力

乾燥への適応

二酸化炭素不足への適応

寒冷への適応

地球の環境に適応した植物たち

乾燥への適応

種子の形成

アブシシン酸の含有量が増える



乾燥に対する耐性を獲得し、
休眠する。

アブシシン酸の含有量は、種子の成熟後期から減少し始める

ナズナの種子形成

種子植物では、受精卵が発生を開始して胚と呼ばれる段階になると、約9割の水を脱水して休眠をはじめ、種子となる。

種子の乾燥耐性は「脱水耐性」である。吸水すると生命活動を再開し発芽する。

植物体には脱水耐性はなく、脱水するとそのあとで吸水しても生命活動は再開しない。

コケ植物の脱水耐性

コケ植物は大気中の湿度と常に平衡状態にあり、空気が乾燥すると細胞が極度の脱水状態になる。しかし、細胞は死ぬことはなく、再び吸水すると生命活動を再開し生長する。乾燥した岩の上にコケが生育できるのは、こうした能力を持っているためである。

受精における乾燥への適応

- ☞ コケ植物とシダ植物は、雨が降ると精子が水中を卵細胞まで泳いで到達し、受精が起こる。受精には、まだ、水が必要である。
- ☞ 種子植物は、植物体が生きていれば植物体の中を花粉管が精細胞を運ぶことで受精ができ、直接的に水を必要としない。

乾燥に適応した体のつくり

- ☞ コケ植物は、茎と葉が明瞭な茎葉体（けいようたい）と明瞭でない葉状体（ようじょうたい）とに仮根と葉状体の体表から水分を吸収する。地面から水を吸収して葉まで運ぶ通路である維管束はない。従って、湿度が高くなる環境に生育し、1個体の大きさが大きくなることはない。乾燥に備え、脱水耐性を持っている。
- ☞ シダ植物および種子植物は、根、茎、葉の分化がみられ、根から吸収した水の通路である維管束が発達している。乾燥した大気中でも根からの吸水で生活できるので、大木になることができる。しかし、脱水耐性はないので、一度乾燥すると枯れてしまう。

乾期に落葉する植物

↳ 雨緑樹林の植物を調べてみよう

二酸化炭素不足への適応

光合成の過程

模式図



C₄植物の光合成

光合成の炭酸固定で、最初の産物が炭素数4のジカルボン酸になる植物をC₄植物という。C₄植物は、高温・強光に適し、乾燥に強い。

C₄植物の構造 模式図

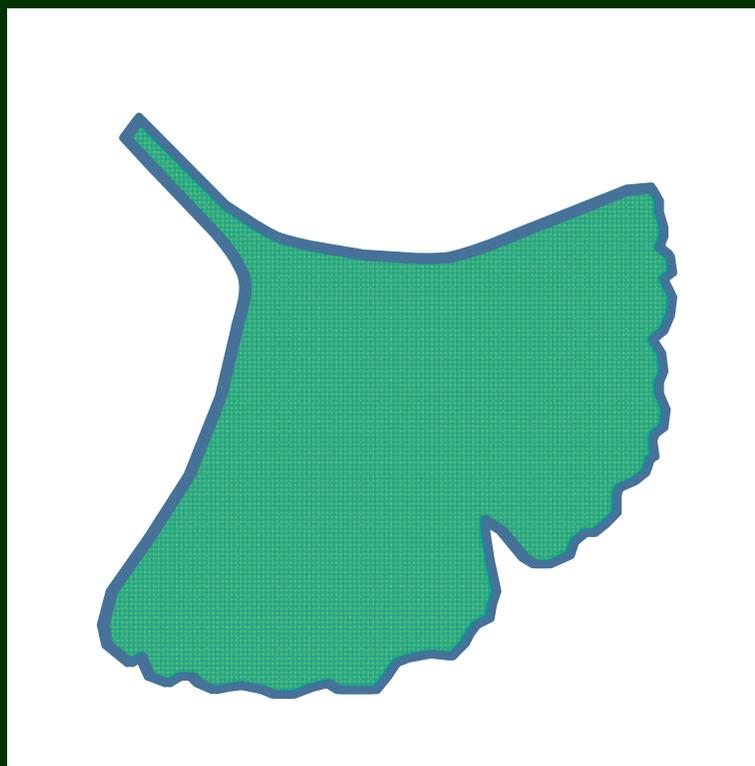
	C ₃ 植物	C ₄ 植物
初期産物	C ₃ 化合物 (リングリセリン酸)	C ₄ 化合物 (オキサロ酢酸, リンゴ酸)
炭酸固定回路	カルビン・ベンソン回路	C ₄ ジカルボン酸回路とカルビン・ベンソン回路
葉肉細胞	光合成全般を行う。	C ₄ ジカルボン酸回路で、CO ₂ を維管束鞘細胞に送る。
維管束鞘細胞	発達していない。	カルビン・ベンソン回路でCO ₂ を固定する。
光飽和点	低い	高い
最適温度	低温から高温 (15~30℃)	高温 (30~40℃)
植物種	多くの植物	トウモロコシなどイネ科植物を中心に1200種以上

C₃植物とC₄植物の葉の構造の写真

光の強さと温度の違いによる光合成速度のグラフ

植物の寒冷への適応

冬に黄葉するしくみ



イチョウの場合

植物の葉っぱの緑は、

カロテン

キサントフィル

クロロフィルa

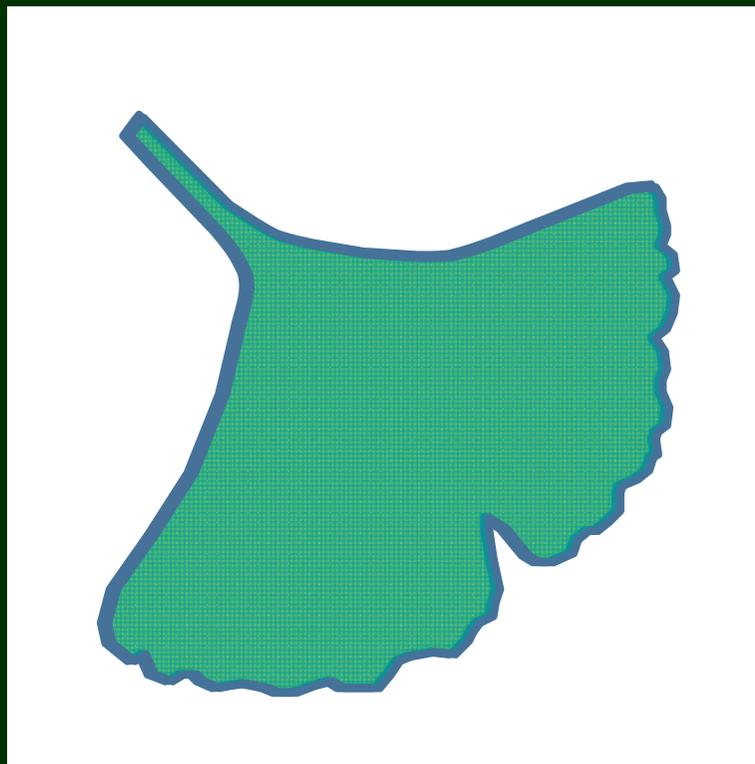
クロロフィルb

が混ざり合っ
てできています。

冬に黄葉するしくみ

寒くなって光合成ができにくくなると、

養分の多い**クロロフィル**が分解されて枝の方へと回収され、



イチョウの場合

カロテン

キサントフィル

クロロフィルa

クロロフィルb

カロテノイドが残ります。
これが黄葉のしくみです。

冬に紅葉するしくみ



モミジの場合

植物の葉っぱの緑は、

カロテン

キサントフィル

クロロフィルa

クロロフィルb

が混ざり合っ
てできています。

冬に紅葉するしくみ

寒くなって光合成ができにくくなると、

養分の多い**クロロフィル**が分解されて枝の方へと回収され、



モミジの場合

カロテン

キサントフィル

クロロフィルa

クロロフィルb

さらに、葉に残った糖分と残留物が反応し

アントシアニン

が蓄積します

針葉樹の工夫

↳ 針葉樹は寒いところに生育しているが、寒さに対してどのような地王をしているのだろうか。調べてみよう。

地球の様々な環境に 適応した植物たち

植物の形態と生活形

生活形・・・環境に適応した生活様式に伴う生物の形態

デンマークの植物生態学者ラウンケルは、乾燥と低温という生育に不適當な時期を過ごすときの植物の適応の姿に注目し、冬芽（越冬芽・休眠芽・抵抗芽）の位置によって生活形を分類した。

植物の生活形

模式図

バイオームとその分布

1 気候とバイオーム

■生態分布

- ◇生育地の環境と対応した生物群集の分布
- ✓環境要因（気温・降水量など）による

■相観にもとづいた植生の分類

■森林

- 熱帯多雨林，亜熱帯多雨林，照葉樹林，
- 雨緑樹林，夏緑樹林，針葉樹林，硬葉樹林

■草原

- サバンナ，ステップ

■荒原

- 砂漠，寒地荒原（ツンドラなど）

年平均気温と年降水量に伴うバイオーム
模式図

暖かさの指数とバイオーム

暖かさの指数：植物の生育に必要な最低の温度を5°Cと考え、1年間のうち平均気温が5°Cを超える月において、月平均気温から5°Cを引いた数値を求める。

暖かさの指数による気候帯とバイオームの区分		
気候帯	暖かさの指数	バイオーム
寒帯	0～15	ツンドラ
亜寒帯	15～45	針葉樹林
冷温帯	45～85	夏緑樹林
暖温帯	85～180	照葉樹林
亜熱帯	180～240	亜熱帯多雨林
熱帯	240以上	熱帯多雨林
*暖かさの指数が15以下では森林は成立しない。		

世界のバイオーム

バイオームの世界分布

模式図

世界のバイオーム

熱帯・亜熱帯多雨林

熱帯

つる植物

着生植物

写真

熱帯

降水量の年間変化
気温の年間変化

熱帯

階層構造の模式図

生息する動物のイラスト

高温多湿の熱帯・亜熱帯では、多種類の樹木が密林（ジャングル）を形成している。林内は暗く湿度が高いために着生植物やつる植物が多い。
フタバガキ（ラワン） ガジュマル

世界のバイオーム

雨緑樹林

雨緑樹林

写真

熱帯から亜熱帯にかけての雨期と乾期がはっきりしている地域には、雨期に葉を繁らせ乾期に落葉する樹木が密林を形成している。

雨緑樹林

降水量の年間変化
気温の年間変化

雨緑樹林

階層構造の模式図

生息する動物のイラスト

世界のバイオーム

照葉樹林

照葉樹林

写真

暖温帯の雨の多い地域では、一年中緑の葉をつけた樹木が森林を形成している。林床が暗く、季節による景観の変化が少ない。

照葉樹林

降水量の年間変化
気温の年間変化

照葉樹林

階層構造の模式図

生息する動物のイラスト

世界のバイオーム

硬葉樹林

硬葉樹林

写真

冬季に多雨で、夏季に乾燥する地中海性気候の地域には、夏季の乾燥に強く樹高の低いオリーブなどの固い葉をもつ常緑広葉樹の林が形成される。

硬葉樹林

降水量の年間変化
気温の年間変化

硬葉樹林

階層構造の模式図

生息する動物のイラスト

世界のバイオーム

夏緑樹林

夏緑樹林

写真

冬季に低温となる冷温帯では、春から夏に葉を繁らせ、秋に落葉する樹木が森林を形成している。季節により景観が異なるのが特徴である。

夏緑樹林

降水量の年間変化
気温の年間変化

夏緑樹林

階層構造の模式図

生息する動物のイラスト

世界のバイオーム

針葉樹林

針葉樹林

写真

針葉樹林

降水量の年間変化
気温の年間変化

針葉樹林

階層構造の模式図

生息する動物のイラスト

冬が長く寒冷な亜寒帯では、針状の葉をもつ常緑の高木が森林を形成している。植物の種類数は少ない。

世界のバイオーム

サバンナ 熱帯草原

サバンナ

写真

サバンナ

降水量の年間変化
気温の年間変化

熱帯・亜熱帯の乾燥した地域には、イネ科やカヤツリグサ科の草原の中に木本の植物が点在する。

サバンナ

階層構造の模式図

生息する動物のイラスト

世界のバイオーム

ステップ 温帯草原

ステップ
写真

ステップ

降水量の年間変化
気温の年間変化

冬季に雨が降り、夏季になると乾燥する大陸内部では、イネ科やカヤツリグサ科などの草本からなる草原が発達する。

ステップ

階層構造の模式図

生息する動物のイラスト

世界のバイオーム

砂漠

砂漠

写真

極端に降水量が少ない地域には、植物がほとんど生育せず、サボテン科やトウダイグサ科などの乾燥に強い植物がまばらに生育する。

砂漠

降水量の年間変化
気温の年間変化

砂漠

階層構造の模式図

生息する動物のイラスト

世界のバイオーム

ツンドラ 寒地荒原

ツンドラ

写真

ツンドラ

降水量の年間変化
気温の年間変化

低温のため樹木の生育が困難な地域には、地衣類やコケ植物などが生育するが、種類数は少ない。

ツンドラ

階層構造の模式図

生息する動物のイラスト

世界のバイオームと生活形スペクトル

世界のバイオームと生活形スペクトル

世界のバイオームと生活形スペクトル

世界のバイオームと生活形スペクトル

標高による違い

標高が高くなるほど、地上植物や一年生植物は少なくなり、
地表植物や半地中植物が多くなる。

日本のバイオーム

■ 水平分布と垂直分布 ■

■ 水平分布

- ◇ 緯度に応じた水平方向の植物群落の分布
 - ✓ 温度分布は緯度に対応して帯状になっている

■ 垂直分布

- ◇ 標高に応じた植物群落の分布
 - ✓ 標高が高くなると気温が低くなる

日本のバイオーム

■ 日本の水平分布 ■

日本のバイオームの水平分布

模式図

日本のバイオーム

日本のバイオーム

写真

日本のバイオーム

日本のバイオーム

写真

日本のバイオーム

■ 日本の垂直分布 ■

(本州中部)

●高山帯 (低木・高山植物) **お花畑**

●高木限界 樹高が低くなる

●森林限界 (高木が点在)

●亜高山帯 **針葉樹林**

●山地帯 **夏緑樹林**

●丘陵帯 **照葉樹林**

日本のバイオーム垂直分布

模式図

日本の群系の分布

■ 日本の垂直分布 ■

日本のバイオーム垂直分布

模式図

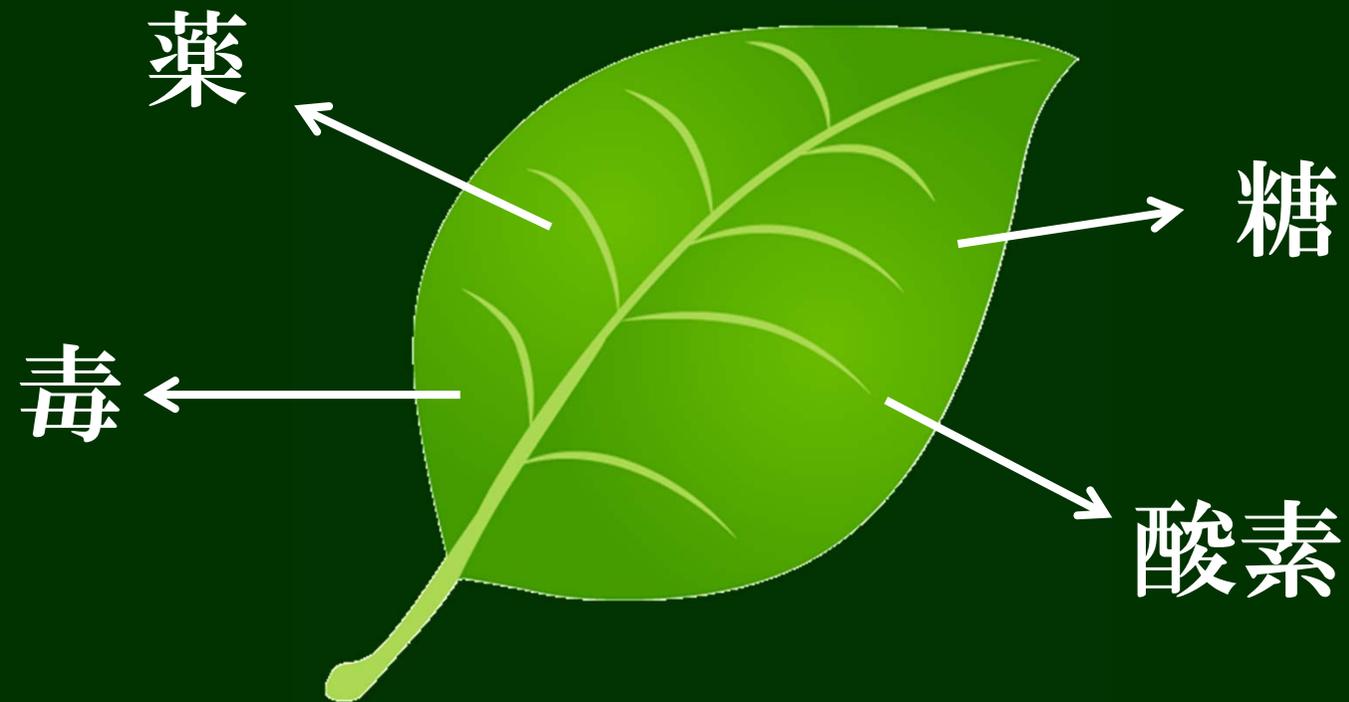
日本のバイオーム

日本のバイオーム水平分布と垂直分布

模式図

植物の能力

植物は物質生産の天才



植物は物質生産の天才

植物の物質生産

光合成

植物が作る様々な物質

生態系での植物の役割

光合成

同化とは・・・

同化 CO_2 ・水・無機窒素化合物などを取り入れ、
有機物を合成する働きを同化という。

- ┌ 炭酸同化： CO_2 を炭素源とし、有機物を合成
 - ┌ 光合成： 光エネルギーを利用
 - └ 化学合成： 化学エネルギーを利用

- ┌ 窒素同化：タンパク質などの有機窒素化合物を合成
 - ┌ 植物の窒素同化： 無機窒素化合物から有機窒素化合物を合成
 - └ 動物の窒素同化： 簡単な有機窒素化合物から有機窒素化合物を合成

3 光合成

光合成の場と反応の流れ

緑色植物の光合成の場は葉緑体である。光合成の反応は、葉緑体のチラコイドにおける光が直接関係する反応段階と、ストロマにおける光が直接関係しない反応段階の2つに大きく分けられる。

第一の段階は、光エネルギーによって引き起こされる、チラコイド膜上の光化学系Ⅱから光化学系Ⅰへとつながる電子伝達である。光化学系Ⅱに電子を与えるのは H_2O である。 H_2O から電子が引き抜かれると O_2 が生じる。光化学系で伝達された電子は最終的に酸化型補酵素の $NADP^+$ に渡され、還元型の $NADPH$ が生産される。一方、電子伝達と結びついたATP合成により、光エネルギーがATPの化学エネルギーに変換される。

第二の段階は、ストロマに含まれる酵素によって進行する炭酸同化である。反応経路はカルビン・ベンソン回路と呼ばれ、第一の段階でつくられたATPのエネルギーと $NADPH$ の還元力を用いて、二酸化炭素が糖に取り込まれる。

光合成と葉緑体

模式図

3 光合成

光合成の研究の歴史

ファン・ヘルモントの実験

模式図

プリーストリの実験

模式図

3 光合成

光合成の研究の歴史

インゲンハウスの実験

模式図

セネビエの実験

模式図

3 光合成

光合成の研究の歴史

ソシュールの実験

模式図

ザクスの実験

模式図

3 光合成 光合成の研究の歴史

エンゲルマンの実験

エンゲルマンの実験

模式図

光合成を行うアオミドロと酸素に集まる好気性細菌を混合して、葉緑体で光合成が行われ酸素を放出していることや、光合成には特定の波長の光が有効であることを明らかにした（1882年）。

A

好気性細菌は、葉緑体付近に集まる。

B

暗所で葉緑体と葉緑体以外の部分に白色光を当てると、葉緑体の方に集まる。

C

暗所で葉緑体の部分に赤色光と緑色光を当てると、赤色光の方に集まる。

D

暗所でプリズムで分けた光を照射すると青紫と赤の部分に集まる。

3 光合成 光合成の場 葉緑

葉と葉緑体の構造
模式図

色素体（プラスチド）

色素体の変化
模式図

植物細胞に見られる独自のDNAをもつ細胞小器官で、葉緑体、白色体、有色体などがある。また、若い細胞には原色素体（プロプラスチド）が存在し、これが各器官でそれぞれの色素体に分化する。一般に、有色体が色素体発達の最終段階と考えられている。

チラコイド	扁平な円盤状の小胞。膜上に光合成色素や電子伝達系の酵素などが含まれている。層状に積み重なり、グラナという構造を作る。
ストロマ	チラコイド以外の無色の基質部分。光合成で働く多くの酵素が含まれている。カルビン・ベンソン回路によって二酸化炭素を固定する。

3 光合成 植物の系統と葉緑体の型

植物の系統と葉緑体の構造

模式図

原核生物から真核生物へ進化するにつれて、単純な構造からチラコイドが発達した構造へと変化してきた。

3 光合成 光合成色素の種類と分布

光合成色素の種類とそれを持つ植物

C₃ 植物には、クロロフィルa とクロロフィルb がおよそ 3:1 の割合で含まれている。カロテノイドとフィコビルリンは、集光を補助する働きをもつので、補助色素とも呼ばれる。

キサントフィルは、ルテイン・フコキサンチン・ビオラキサンチン・ネオキサントニンなどに分けられる。

クロロフィルの構造式

カロテノイドの構造式

3 光合成 光エネルギーの吸収のしくみ

葉緑体の反応中心

模式図

葉緑体のチラコイド膜には、数百個のクロロフィル分子がタンパク質と結合したアンテナ複合体が規則正しく配列されている。

光エネルギーはアンテナ複合体のクロロフィル（集光クロロフィル）で吸収され、反応中心のクロロフィル（反応中心クロロフィル）に集められる。反応中心クロロフィルは集まった光エネルギーを電子伝達系に渡す役割をもつ。

集光クロロフィル	クロロフィルa, b, カロテノイドなどの補助色素
反応中心クロロフィル	クロロフィルa

3 光合成 光合成色素の吸収スペクトル

光合成色素の吸収スペクトル

グラフ

光合成色素がどの波長の光をどれくらい吸収したかを表したものを吸収スペクトルという。
フィコビルリンは水中を透過する緑色光をよく吸収する。

光合成色素の吸収スペクトルと光合成の作用スペクトル

吸収スペクトル：光の波長と光の吸収の関係を表したもの

作用スペクトル：光の波長と光合成の速さの関係を表したもの

クロロフィルの
吸収スペクトルと作用スペクトル

アオサの
吸収スペクトルと作用スペクトル

〔左上〕 クロロフィルの吸収スペクトルと作用スペクトル
青色光と赤色光ともによく吸収されているが、作用スペクトルから、光合成には青色光の方が赤色光よりも有効なことがわかる。

〔右上〕 アオサの吸収スペクトルと作用スペクトル

アオサ（緑藻類）は二層の細胞からなり透過度が高いので、体内での反射や屈折がほとんどない。したがって吸収スペクトルと作用スペクトルは、ほぼ一致する。

〔右下〕 陸上植物の生葉と色素抽出液の吸収スペクトル

一般の緑色植物の生葉では細胞が何層にも並んでいて厚みがあるため光の通過距離が長い。緑色光でも透過途中で吸収されていくので青色光や赤色光の吸収率との差が小さくなる。

陸上植物の生葉と色素抽出液の
吸収スペクトル

ペーパークロマトグラフィー

緑葉からの色素の抽出とペーパークロマトグラフィー

実験操作の手順とデータ

クロマトグラフィーの原理

色素は展開液に溶けながらろ紙やアルミシートを上昇していく。そのため、展開液に溶けやすい色素ほど速く上昇し、色素ごとに分離できる。

各色素のR_f値は、展開溶媒によって決まる。

薄層クロマトグラフィー

緑葉からの色素の抽出と薄層クロマトグラフィー

実験操作の手順とデータ

- ⓧ 展開中、展開容器は密閉し、展開溶媒の蒸気で満たす。
- ⓧ 原点は、展開溶媒液面より上になるようにセットする。
- ⓧ 展開後、各色素の輪郭を鉛筆でなぞる。

3 光合成 植物の生育に必要な元

素 植物の生育に不可欠な元素を必須元素という。

必須元素は植物が必要とする量から便宜的に多量元素と微量元素に分けられている。

植物に必要な元素 表

CO₂ は気孔から，H₂O は根毛から，その他の元素はイオンの形で水に溶けて根毛から植物体に吸収される。

3 光合成

光合成のしみの研究

↳ ブラックマンの限定律

光合成速度は光の強さ・二酸化炭素濃度および温度のうち、最も不足した要因（限定要因）によって決定される。

光強度、温度、二酸化炭素濃度の変化に伴う光合成速度

グラフ

3 光合成

光合成のしみの研究

ヒルの実験 (1939 年)

ヒルの実験

模式図

葉緑体を含む緑葉の絞り汁にシュウ酸鉄 (III) を加えて光を当てると、二酸化炭素 (CO_2) がなくても酸素 (O_2) が発生し、シュウ酸鉄 (III) の Fe^{3+} イオンが還元されて (電子を受け取って) Fe^{2+} になった (ヒル反応)

推論

二酸化炭素ではなく、水 (H_2O) が分解されて酸素が発生する。水の分解には、光エネルギーと Fe^{3+} のような電子受容体 (ヒル試薬) が必要である (植物体では、 NADP が電子受容体となる)。

3 光合成

光合成のしみの研究

↳ ルーベンの実験 (1941年)

ルーベンの実験

模式図

酸素の同位体 (^{18}O) を含む水 (H_2^{18}O) と二酸化炭素 (C^{18}O_2) をそれぞれ別々にクロレラに与えると、 H_2^{18}O を与えたときのみ $^{18}\text{O}_2$ が発生する。

推論

光合成²¹⁷で発生する酸素 (O_2) は水 (H_2O) に由来する。

3 光合成

光合成のしみの研究

↳ ベンソンの実験 (1949 年)

ベンソンの実験

模式図

- ① 暗黒条件下ではCO₂の吸収は起こらない。
- ② ②' CO₂のないところで光を照射された植物をCO₂のある暗黒下におくと、しばらくの間CO₂を吸収するが、その後CO₂吸収量が低下する。
- ③ CO₂のあるところで光を照射するとCO₂の吸収は連続して起こる。

推論

光合成では最初に光エネルギーが必要な反応（明反応）が起こり、続いて光を必要とせずCO₂を吸収する反応（暗反応）が起こる。

3 光合成

光合成のしみの研究

↳ エマーソンの実験（1956年）

エマーソンの実験

模式図

クロレラに赤色光（680nm）のみを当てると、クロロフィルが光を吸収するにもかかわらず光合成速度の低下が起こる（レッドドロップ）。

しかし、波長の短い光（650nm）を同時に照射すると、この低下は起こらない（エマーソン効果）。

推論

光合成で光を必要とする反応には、長波長（680nm）の光を必要とする反応系（光化学系 I）²¹⁹と短波長（650nm）の光を必要とする反応系（光化学系 II）がある。

3 光合成

光合成のしみの研究

↳ カルビンの実験 (1957 年)

カルビンの実験

模式図

二次元クロマトグラフィー

抽出物を原点につけて展開させる（一次展開）。乾燥させて90°回転し、別の展開液を用いて再度展開する（二次展開）。左図では縦が一次展開、横が二次展開。

オートラジオグラフィー

放射性元素を含んだ物質がフィルムを黒く感光させる性質を利用している。この実験では ^{14}C 化合物の位置に黒いスポットができる。

3 光合成

光合成のしみの研究

↳ カルビンの実験（1957年） 結果

カルビンの実験結果

グラフ

結論

二酸化炭素が取り込まれ、リングリセリン酸（C3化合物）が最初に作られ、その後、アラニンなどができる。

3 光合成 光合成の過程① チラコイドでの反応

チラコイドでの反応

模式図

- ① クロロフィルの活性化 光化学系Ⅱから、光エネルギーを利用して高エネルギー状態になった電子が放出される。
- ② 水の分解 光化学系Ⅱから失われた電子は、水の分解により補充される。このとき発生する酸素は気孔から放出され、 H^+ はチラコイド内腔へたまる。
- ③ 電子の伝達 電子はエネルギーを放出しながら電子伝達系を通り、光化学系Ⅰに入る。このエネルギーを利用してストロマの H^+ がチラコイド内腔に移動する。
- ④ $NADPH + H^+$ の生成 光化学系Ⅰでは、光エネルギーによって高エネルギー状態の電子が放出される。この電子と $NADP$ 還元酵素により、 $NADP^+$ とストロマの H^+ が結合して還元型の $NADPH + H^+$ となる。
- ⑤ 光リン酸化 H^+ が濃度勾配に従ってチラコイド内腔側からATP合成酵素を²²通ってストロマ側へ移動する。このときATPが合成される。



3 光合成 光合成の過程① チラコイドでの反応

チラコイドでの反応

模式図

光合成の過程① チラコイドでの反応

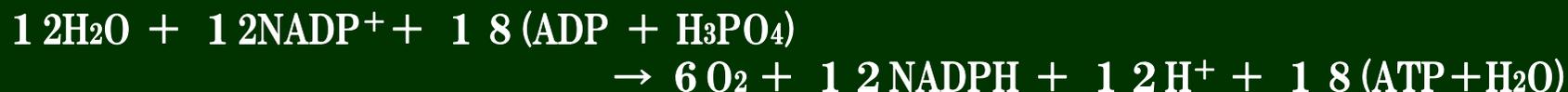
《光化学反応》 チラコイド膜(まく)には、光化学系Ⅰ、光化学系Ⅱという、2つの電子伝達のシステムがある。光合成色素が吸収して捕えた光エネルギーは、まずこれら光化学系の中にあるクロロフィルに集まる。このエネルギーによって、クロロフィルが活性化され、電子を放出する。これは、光合成の反応のなかでも、光によって直接引き起こされるので、特に光化学反応と呼ばれる。また、光化学系のなかの光化学反応が起きる部分を反応中心という。

《電子伝達》 反応中心のクロロフィルから飛び出した電子は、光化学系ⅠとⅡの電子伝達を促す。光化学系Ⅰと光化学系Ⅱの電子伝達は独立に並行して起こるわけではなく、光化学系Ⅱから光化学系Ⅰに電子が渡されるといふ反応が連続して起こる。

光化学系Ⅱでは、電子がより還元されやすい物質に伝達されていくときに、チラコイドの外側(ストロマ側)から内側に H^+ が輸送され、 H^+ の濃度勾配を形成する。光化学系Ⅱを伝達された電子は、最後には光化学系Ⅰに受け渡される。光化学系Ⅱの反応中心のクロロフィルは、電子を放出し酸化された状態になるが、これを還元してもとに戻すのは、 H_2O から引き抜かれる電子である。電子を引き抜かれた H_2O は分解し、 O_2 と H^+ を生じる。光合成における O_2 の発生は、このように水の酸化的分解による。

《ATP合成》 電子伝達に伴う H^+ 輸送によってチラコイド内腔に濃縮された H^+ は、濃度勾配に従ってチラコイドの外側に流れ出そうとする。こうした H^+ の流れのエネルギーを利用して、チラコイド膜にあるATP合成酵素がADPをリン酸化して、ATPを生産する。このATP合成反応は、もとをたどれば、光エネルギーが電子伝達系を動かしたことによるので、光(こう)リン酸化と呼ばれる。光リン酸化と酸化的リン酸化は、基盤となるエネルギーが、光化学反応で得られたものか、有機物の酸化で得られたものか、という点で大きく異なる。しかし、電子伝達からATP生産にいたるしくみを見ると、かなり似ているところがあるのがわかる。

《反応式》 2分子の H_2O からの電子が、光化学系Ⅱ→光化学系Ⅰと伝達されるとき、合成されるATPはおよそ3分子であることがわかっている。ATP合成量は実際にはほかの条件によっても変わるが、3分子のATPが合成されるとして、ここまでの反応を式で表すと、次のようになる。



光合成の過程① チラコイドでの反応 電子伝達

還元力に注目したチラコイドでの反応

模式図

光化学系 I では、反応中心のクロロフィルから飛び出した電子は、最終的に NADP^+ に渡され NADPH が生じる。反応中心のクロロフィルの還元には、光化学系 II から受け取った電子が使われる。

- ① H_2O の電子が引き抜かれて、光化学系 II の反応中心のクロロフィルに渡される（酸化されたクロロフィルの再還元）。
- ② 光エネルギーによってクロロフィルが活性化され、著しく電子を放出しやすい状態、つまり還元力の非常に強い状態になる。
- ③ 少しずつ還元力の弱い物質に電子が伝達されて、光化学系 I の反応中心のクロロフィルにいたる（これも酸化されたクロロフィルの再還元）。
- ④ 光エネルギーによって、クロロフィルが活性化されて、還元力の非常に強い状態になる。
- ⑤ 少しずつ還元力の弱い物質に電子が移る。
- ⑥ 還元力が NADPH として蓄積(ちくせき)される。

3 光合成 光合成の過程② ストロマでの反応

ストロマでの反応

模式図

- ⑥ 気孔から取り込まれた二酸化炭素 (CO₂) は、6分子のリブローズビスリン酸 (炭素数5；C₅) と結合し、12分子のホスホグリセリン酸 (C₃) となる。
- ⑦ 12分子のホスホグリセリン酸 (C₃) は、ATP とNADPH+H⁺ を使って12分子のグリセルアルデヒドリン酸 (C₃) となる。
- ⑧ 12分子のグリセルアルデヒドリン酸 (C₃) のうち2分子が回路の外に出て、いくつかの過程を経て1分子のグルコース (C₆) になる。
- ⑨ 残りのグリセルアルデヒドリン酸 (C₃) は、いくつかの過程を経て6分子のリブローズビスリン酸 (C₅) に戻る。²²⁶このとき、ATP を使う。



光合成の過程② ストロマでの反応

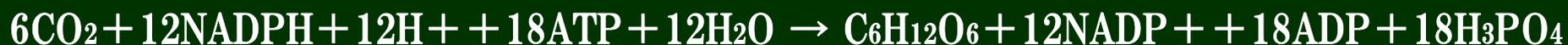
カルビン・ベンソン回路

模式図

光合成の過程② ストロマでの反応

チラコイドでの反応で生産されたATPとNADPHは、葉緑体のストロマで二酸化炭素を固定する炭酸同化に用いられる。CO₂を取り込む反応段階では、リブローズ-1, 5-ビスリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼという酵素（略してRubisco, ルビスコとよむ）のはたらきによって、5個の炭素をもつC₅化合物とCO₂からC₃化合物のホスホグリセリン酸（PGA）が2分子つくられる。この反応は、炭酸同化全体の速度を制限しており、その意味でとても重要である。PGAからは、何段階かの反応を経て、初めに使われたC₅化合物が再生産される。このように炭酸同化の反応経路は循環しており、これを明らかにした研究者の名前を取って、カルビン・ベンソン回路と呼ばれている。

カルビン・ベンソン回路では、1分子のCO₂を固定するのに3分子のATPと2分子のNADPHを消費する。カルビン・ベンソン回路からの直接の生産物はC₃化合物のグリセルアルデヒド-3-リン酸（GAP）で、これを1分子つくるのに3分子のCO₂の固定が必要である。GAPからグルコースが直接できるわけではないが、できる化合物をグルコースに換算し（C₆H₁₂O₆）で表すと、GAP1分子からグルコース2分の1分子に相当する化合物ができる。これを整理すると次のように示される。



光合成全体は次のように示される。



3 光合成 ルビスコと光呼吸

ルビスコと光呼吸

模式図

ルビスコは、カルビン・ベンソン回路において1分子のRuBPにCO₂を付加し、2分子のPGAを生成する酵素である。一方、ルビスコは、RuBPにO₂を付加してPGAとホスホグリコール酸を1分子ずつ生成する反応も触媒する。ホスホグリコール酸は、カルビン・ベンソン回路の阻害剤となる。

このため、植物は、ペルオキシソームとミトコンドリアを經由して葉緑体に戻る反応系によって、ATPを消費してホスホグリコール酸をPGAに変えている。この反応は、O₂を消費しCO₂を発生させることから、光呼吸と呼ばれる。

3 光合成 光合成全体の反応

光合成全体での反応

模式図



C₄植物の光合成

光合成の炭酸固定で、最初の産物が炭素数4のジカルボン酸になる植物をC₄植物という。C₄植物は、高温・強光に適し、乾燥に強い。

C₄植物での反応

模式図

	C ₃ 植物	C ₄ 植物
初期産物	C ₃ 化合物 (リンゲリセリン酸)	C ₄ 化合物 (オキサロ酢酸, リンゴ酸)
炭酸固定回路	カルビン・ベンソン回路	C ₄ ジカルボン酸回路と カルビン・ベンソン回路
葉肉細胞	光合成全般を行う。	C ₄ ジカルボン酸回路で, CO ₂ を維管束鞘細胞に送る。
維管束鞘細胞	発達していない。	カルビン・ベンソン回路で CO ₂ を固定する。
光飽和点	低い	高い
最適温度	低温から高温 (15~30°C)	高温 (30~40°C)
植物種	多くの植物	トウモロコシなどイネ科植物を中心に1200種以上

C₄植物の葉の断面 光光合成曲線

写真

グラフ

CAM植物の光合成

高温や乾燥から身を守るため、気孔の開閉によって昼夜で炭酸固定の方法を変えている植物をCAM植物という。

CAM植物の光合成

模式図

CAM植物は、C4植物と同様に最初の産物がC4化合物となるが、C4植物のような細胞間の分業はみられない。

- ① 夜間気孔を開いてCO₂を固定し、おもにリンゴ酸として液胞に蓄える。
- ② 昼間水分の蒸散を防ぐために気孔を閉じ、必要なCO₂は夜間に蓄えたリンゴ酸の脱炭酸反応により得る。
- ③ 日没近く有機酸の蓄積が少なくなると気孔を開いて空気中のCO₂を取り入れ、カルビン・ベンソン回路を使って固定する。

このようなCO₂の固定は、ベンケイソウ型代謝（crassulacean acid metabolism）とよばれ、この代謝経路をもつ植物はその頭文字をとってCAM植物といわれる。

植物が作る様々な物質

調べてみよう！ 植物が作る物質

セルロース

薬草の成分

アルカロイド

生態系での植物の役割

生態系の成り立ち

生物にとっての環境は、温度・光・水・大気・土壌などからなる非生物的環境と、同種・異種の生物からなる生物的環境に分けて考えることができる。生物と非生物的環境を物質循環の観点から1つのまとまりとしてみると、これを生態系という。生態系内の生物の関係

生態系内で、非生物的環境と生物の間には、作用と環境形成作用と呼ばれる働きあいがある。これに対して、生物どうしの間に見られる被食・捕食をはじめとするさまざまな働きあいは、相互作用と呼ばれる。

生態系全体の概念

模式図 (小)

生態系全体の概念

模式図

食物連鎖

生態系では、生産者を食べる植食性動物は一次消費者、一次消費者を捕食する肉食性動物は二次消費者と呼ばれ、さらにこれらを食べるより高次の消費者が存在する。このように、被食者と捕食者は連続的につながっており、このつながりは食物連鎖と呼ばれる。生物の遺骸などからはじまる食物連鎖は、特に腐食連鎖と呼ばれる。

食物連鎖は直線的なつながりではなく、相互につながった複雑な網目状の関係になっている。このようなつながりを食物網という。

食物網

イラスト
模式図

キーストーン種

生態系内で食物網の上位にあって他の生物の生活に大きな影響を与える生物種は、キーストーン種と呼ばれる。

食物連鎖におけるキーストーン種となる捕食者は、キーストーン捕食者とも呼ばれる。

キーストーン種であるヒトデを除去する実験

模式図

食物連鎖と生態ピラミッド

■ 生態ピラミッド ■

■ 栄養段階

◇生産者を出発点とする食物連鎖の各段階

■ 個体数ピラミッド

◇栄養段階ごとの個体数を積み重ねるとピラミッド状になる

個体数ピラミッド

模式図

食物連鎖と生態ピラミッド

■ 生態ピラミッド ■

■ 生物量ピラミッド

栄養段階ごとの生物量を積み重ねるとピラミッド状になる

生物量ピラミッド

模式図

生態系での物質生産

■ 生産者の生産量と成長量 ■

- 現存量 : 一定面積内に存在する生物量
- 総生産量 : 一定面積内の生産者が一定期間に光合成によって生産する有機物総量
- 純生産量 : 総生産量から呼吸量を引いたもの
- 成長量 : 純生産量から枯死量と被食量を引いたもの

$$\text{純生産量} = \text{総生産量} - \text{呼吸量}$$

$$\text{成長量} = \text{純生産量} - (\text{枯死量} + \text{被食量})$$

生態系での物質生産

生産者の生産力ピラミッド

模式図

生態系での物質生産

■ 消費者の同化量・成長量 ■

$$\text{同化量} = \text{摂食量} - \text{不消化排出量}$$

$$\text{成長量} = \text{同化量} - (\text{呼吸量} + \text{被食量} + \text{死滅量})$$

生態系での生産力ピラミッド

模式図

物質の循環とエネルギーの流れ

■ 炭素の循環 ■

炭素の循環

模式図

物質の循環とエネルギーの流れ

■ 窒素の循環 ■

窒素の循環

模式図

物質の循環とエネルギーの流れ

■ エネルギーの流れ ■

エネルギーの流れ

模式図

植物と菌根菌

菌根菌は、糸状につながった細胞(菌糸)を土壤中に張り巡らせるとともに、植物の根の表面をおおったり、なかに菌糸を入り込ませたりしている。これによって、菌根菌は、土壤中から吸収したリンや窒素などの栄養分を植物に供給している。一方、植物は、光合成によって合成した有機物を菌根菌に与えている。菌根菌には、マツタケやトリュフなど多くの種類がある。

植物と菌根菌との間で、多量の物質がやり取りされていると考えられており、生態系内での物質循環において、菌根菌は大きな役割を果たしていると考えられている。

多くの植物は、化学物質を分泌して、ある種の菌類を呼び寄せ、これを根に共生させることによって、土壤中の栄養分を吸収している。菌類の共生している根は菌根と呼ばれ、共生している菌類は菌根菌と呼ばれる。

菌根菌と植物

模式図

植物の能力

ステップ1

植物は何年生きられるか



?歳の木

<https://wired.jp/2010/03/25/>

長生きできる木

最長寿の木



9550歳のヨーロッパトウヒ

<https://wired.jp/2010/03/25/>

- 維管束系が細かく区切られており、木の一部分が死んでも他の部分は元気に成長できる。
- 細菌や寄生虫を撃退するために、防御効果のある化合物を作り出している。
- 年月を経ても細胞内で遺伝子の突然変異が蓄積されない。

もっと長生きしている植物がいた！！

植物は動物のように刺激を
感じるのだろうか？

植物のお話、ようこそ！！



植物の感覚

植物の感覚

植物は刺激を感じるのだろうか？

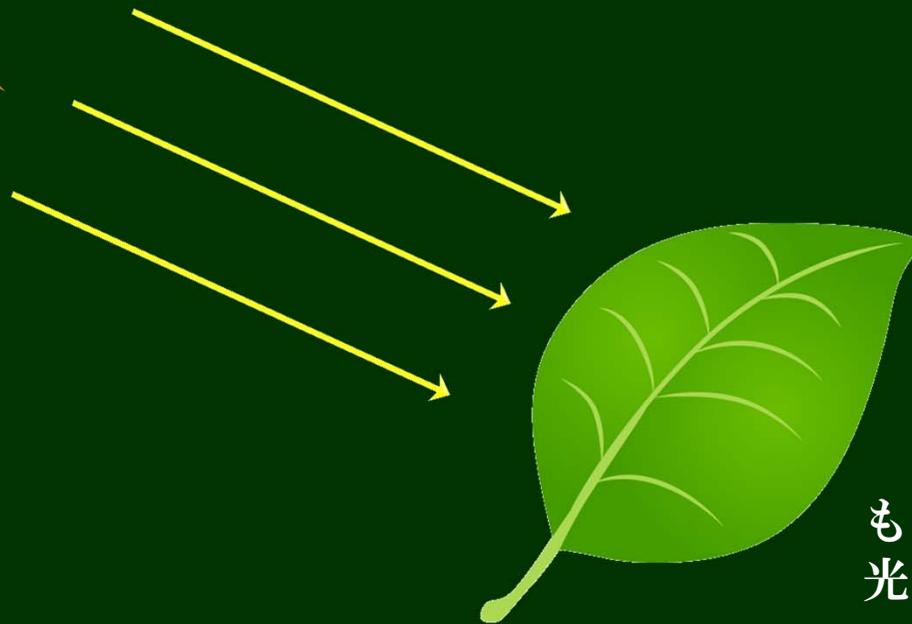
- ⌘ 光を感じる
- ⌘ 重力を感じる
- ⌘ 触れられたことがわかる
- ⌘ 湿度がわかる
- ⌘ 味がわかる
- ⌘ 温度がわかる

植物は光を感じる？

植物は光合成をするから光には敏感ではないかな。



光を感じていると、
どうしたらわかるのだから。



もしもし～、
光を感じてますか～？

植物は重力を感じる？

ジャングルにつる植物が繁茂した写真

もしもし～、どっちが下ですか～？

植物は触れるとわかる？



植物は湿度がわかる？

大地に大きく根を張った大木のイラスト

植物は味がわかる？

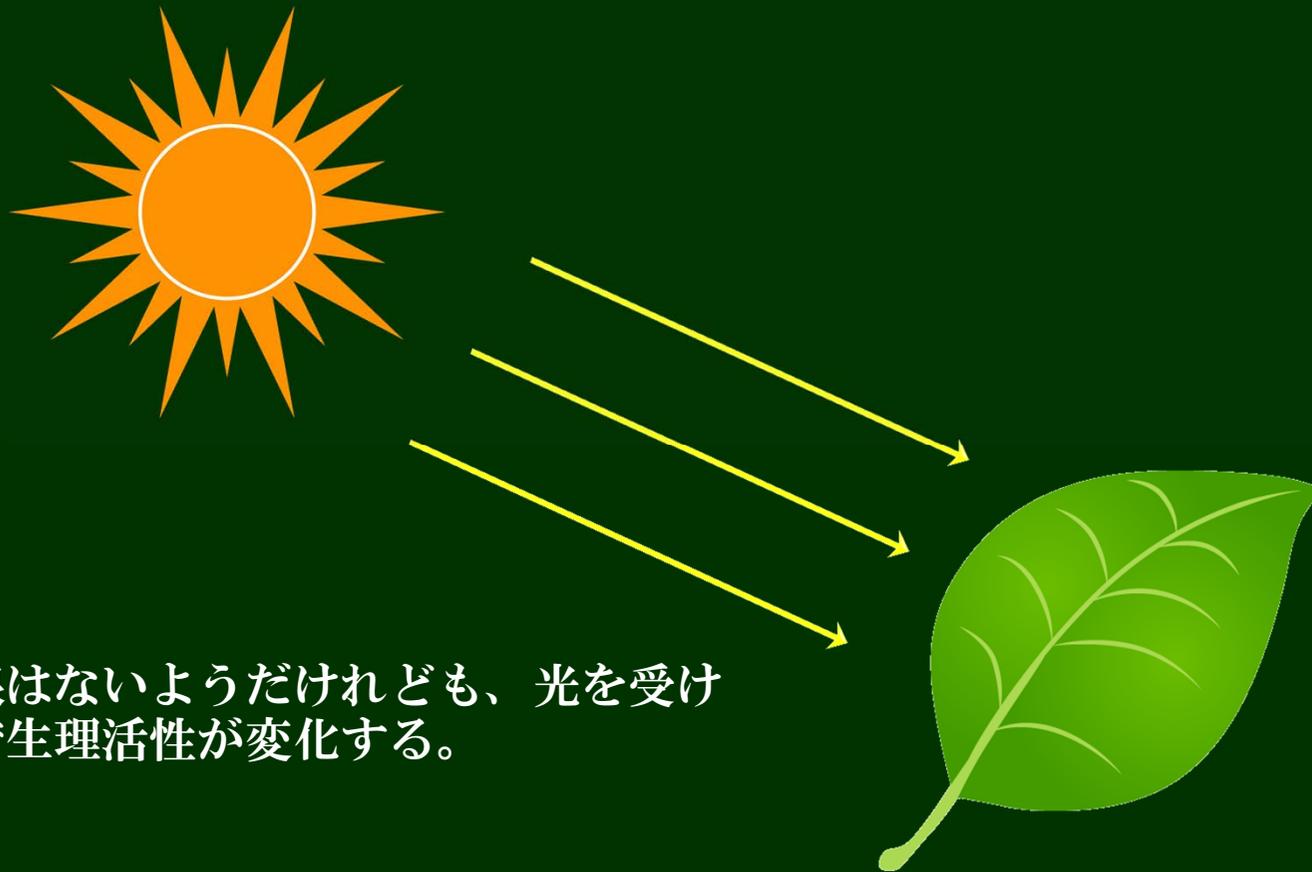


植物のイラスト

砂糖がわかる？

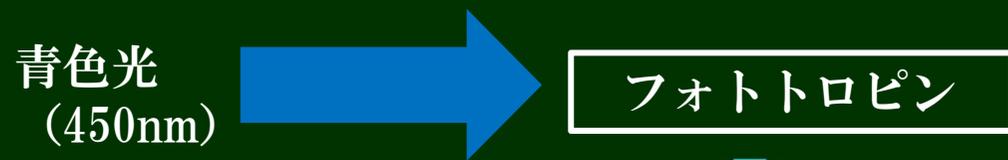
植物は温度がわかる？

植物は光を感じる？

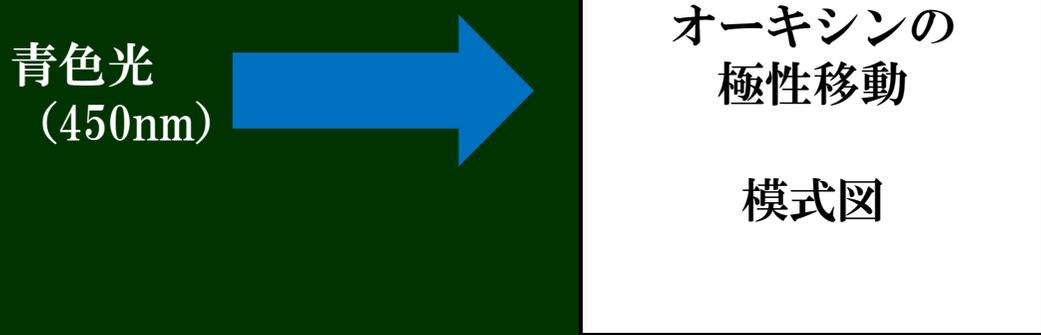


植物に眼はないようだけれども、光を受けることで生理活性が変化する。

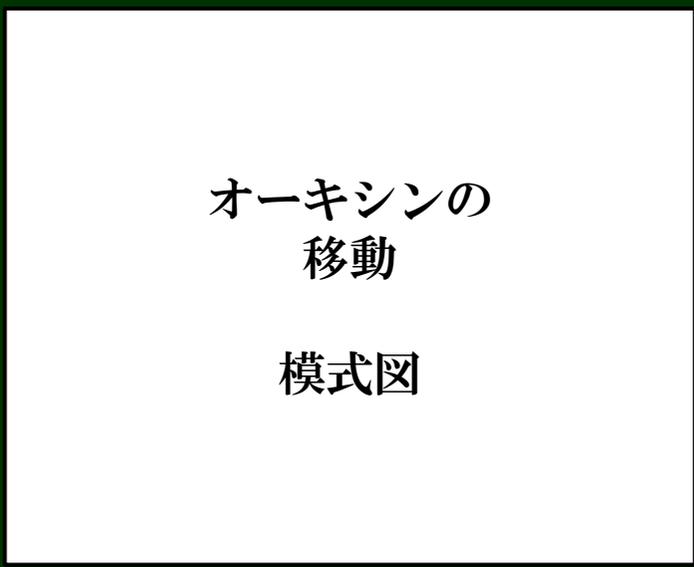
植物ホルモンによる栄養成長の調節 光屈性



↓ オーキシン輸送タンパク質の分布が変化

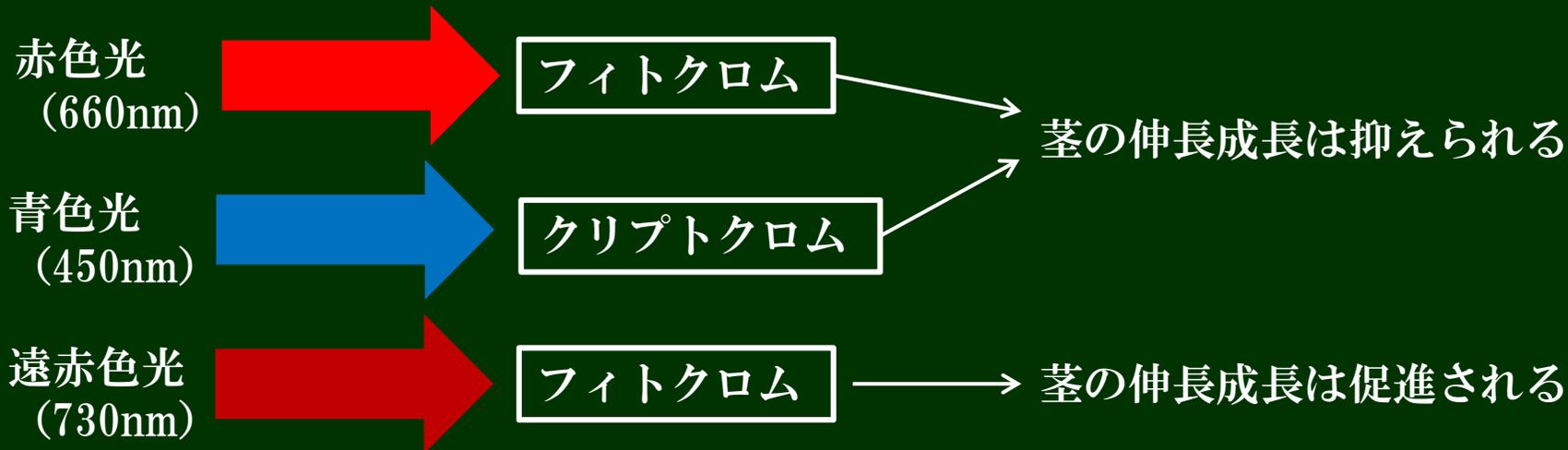


陰となっている側への
オーキシンの移動



オーキシンは、茎の先端部で 光の反対側へ移動し、
陰の側を 先端から基部へ移動して、
伸長部の成長を促進する。

光による栄養成長の調節



他の植物に覆われて陰になった場所では、

遠赤色光の割合が高くなるので、茎の伸長成長が促進される。

これにより、光合成のための光を確保できる。

いろいろな波長の光が混じっている環境では、フィトクロムの経路とクリプトクロムの経路の両方がはたらく。

太陽光と葉を通った光

各波長の光強度
グラフ

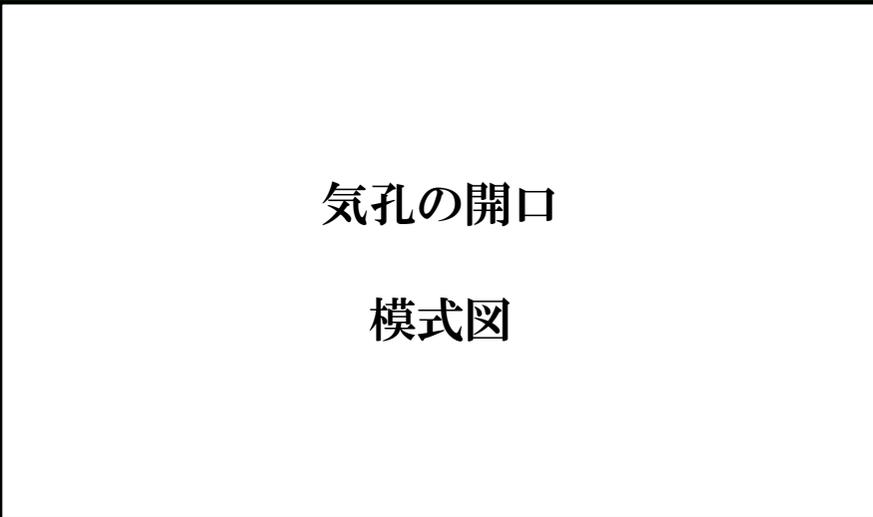
グラフに、赤色光、青色光、遠赤色光の位置を記入しなさい。

気孔の開閉の調節

青色光
(450nm)



孔辺細胞
フォトトロピン



サイトカイニン



孔辺細胞では、浸透圧が高まる



孔辺細胞に水が流入



孔辺細胞が膨らんで、膨圧が上昇



気孔が開く。

水不足



植物体内のアブシシン酸が増加
アブシシン酸が孔辺細胞に作用



孔辺細胞の浸透圧の低下



孔辺細胞から水の流出



孔辺細胞の膨圧の低下



気孔が閉じる



青色光とアブシシン酸による気孔の開閉のしくみ

模式図

検索しよう

- ⌘ 光屈性
- ⌘ 植物 光受容
- ⌘ フォトトロピン
- ⌘ フィトクロム
- ⌘ クリプトクロム
- ⌘ 孔辺細胞

植物は重力を感じる？

ジャングルにつる植物が繁茂した写真

もしもし～、どっちが下ですか～？

検索しよう

- ⌘ 重力屈性
- ⌘ コロドニー・ウエント仮説
- ⌘ 無重力 芽生え
- ⌘ 重力形態形成
- ⌘ ペグ ウリ科 宇宙

植物は触れるとわかる



神経系はないようだけれども、触れることで生理的な作用が変化するようだ

触らない方

ほったらかしの
盆栽の写真

触った方

手入れの行き届いた
盆栽の写真

振動・接触による栄養成長の調節

風や接触などの刺激



エチレンを生成

→ 茎の伸長成長が抑制され，肥大成長が促進される



茎が太く短くなり，風や接触物の負荷に抵抗できる

エチレン生成のしくみ

模式図

検索しよう

- ↳ 接触 生長阻害
- ↳ 機械的刺激 植物 生長
- ↳ 接触形態形成
- ↳ 感覚 植物

植物は水のありかがわかる

大地に大きく根を張った大木のイラスト

根の水分屈性

植物の根は水分のある方へと屈曲して生長する

そのしくみは、植物によって異なるようで、
未だはっきりとわかっていない。

検索しよう

- ④ 水分屈性
- ④ 屈性
- ④ コロドニー・ウェント仮説
- ④ オーキシン応答性遺伝子

植物は温度がわかる

春化

種子や植物が一定期間、低温にさらされることによって、花芽を形成できるようになる現象

〔例〕 秋まきのコムギやライムギ，ダイコン

シロイヌナズナでは，低温にさらされる前に形成された葉は，日長条件によらず花成ホルモンを合成できない状態になっているが，低温にさらされた後に形成された葉は，日長条件に応じてフロリゲンを合成できる状態になっている。

春化のしくみ

模式図

温度と気孔の開閉

温度に伴う気孔の開閉

グラフ

20°Cのときの開度を100としたときの相対値を示している。

検索しよう

- ↳ 温度傾性
- ↳ 春化
- ↳ 熱ショックタンパク質
- ↳ 不凍性タンパク質

植物は味・匂いがわかる

植物は味・匂いがわかる



植物のイラスト

砂糖がわかる？

エチレンが作用するしくみ

エチレンが作用するしくみ

模式図

エチレンは水溶性で細胞膜を透過する。

エチレンが小胞体膜にある受容体に結合すると、調節タンパク質であるEIN3タンパク質が安定化し、標的遺伝子の発現が誘発される。一方、エチレンが受容体に結合していない状態では、EIN3タンパク質は分解される。

病原体に対応するしくみ

病原体に対応するしくみ

模式図

- ① 細胞膜上に存在する受容体によって病原体が認識される。
- ② 受容体からの情報は、細胞内シグナル伝達によって核内へ伝えられ、感染時に特異的に発現するPRタンパク質や、ファイトアレキシンと総称される抗菌作用を持つ低分子化合物、植物ホルモンのサリチル酸などが合成される。
- ③ PRタンパク質やファイトアレキシンは病原体に採用する。また、PRタンパク質は周囲の細胞に感染の情報を伝達する。
- ④ サリチル酸から作られる揮発性物質は気孔から出て植物体の他の部位や周囲の植物体に病原体抵抗性を誘発する。
- ⑤ 感染細胞では液胞が崩壊し、アポトーシスが誘導される。

昆虫の食害に対応するしくみ

昆虫の食害に対応するしくみ

模式図

検索しよう

植物の化学物質に対する応答は、どんどん研究が行われている。

- ② 植物 化学受容体
- ② 植物 匂い受容体
- ② 植物 匂いを嗅ぐ

植物は動物のようにとまで
いかないが、運動できるの
だろうか？

植物のお話に、ようこそ！！



植物の運動

植物の運動

植物だって速く動ける？

- ↳ ハエトリソウはハエを捕まえるのだから、速いぞ！
- ↳ オジギソウのおじぎは、割と速いのでは？
- ↳ ホウセンカやカタバミは、種を飛ばすぞ！
- ↳ タヌキモの作戦

ゆっくりなら植物だって動ける

- ⌘ 時間を速送りすると、植物は運動している！
- ⌘ 歩く植物がいるんだって？

植物のすばやい運動

膨圧運動

オジギソウの就眠運動

イラスト

蒟果(さくか)

蒟果の様子

写真

ハエトリソウ

ハエトリソウ

写真

ハエトリソウには感覚毛と呼ばれるセンサーが3本あり、これに虫が2回触れると、約0.5秒の速さで葉が閉じます。

タヌキモ

タヌキモ

写真

これでミジンコなどを吸い込む

捕虫囊

検索しよう

- ↳ 膨圧運動
- ↳ 就眠運動
- ↳ ホウセンカ 種
- ↳ 蒴果
- ↳ タヌキモ 仕組み

植物は生長して動く

成長運動

時間を早送りすると、植物は運動している。



検索しよう

↳ ガジュマル

↳ タニワタリ

↳ 歩く植物