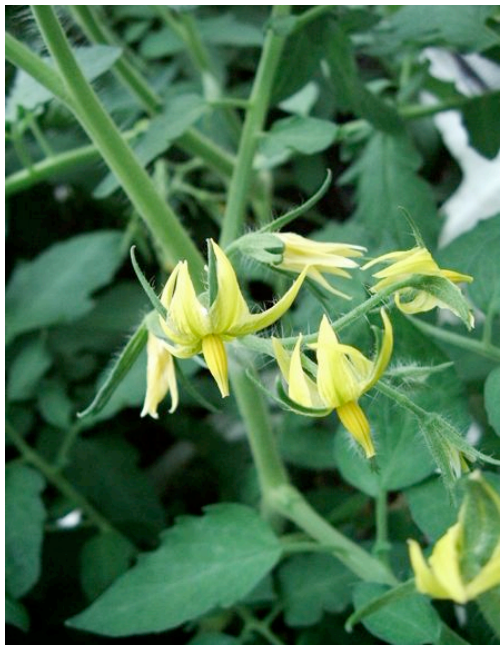
植物はどのように環境を見極めて生き抜いているのでしょうか？



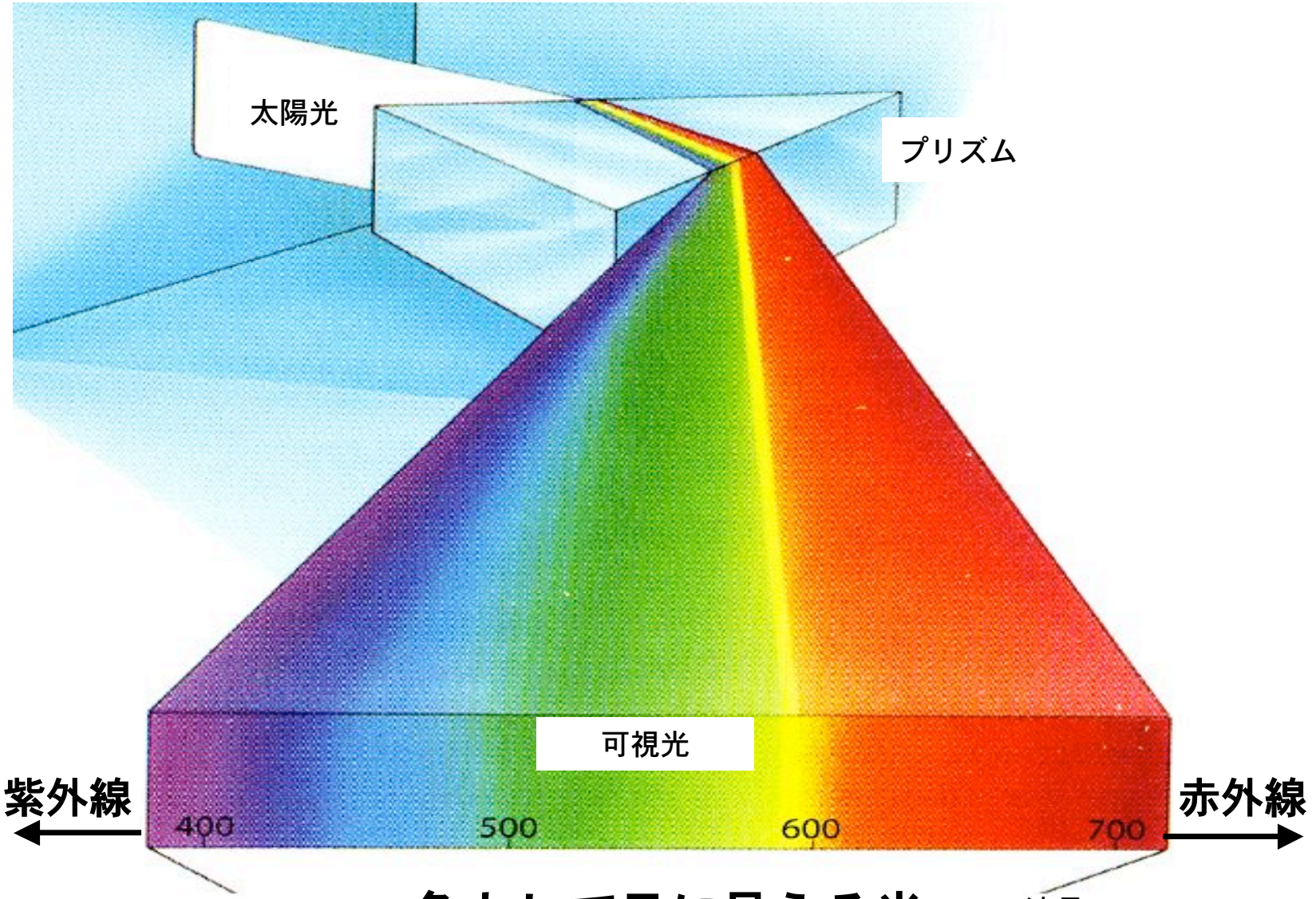
神戸大学理学部生物学科

七條　千津子

色彩にあふれる世界

神戸大学理学部の春

太陽光には、さまざまな色の光が含まれています



P.H. Raven, R.F. Evert, S.E. & Eichhorn (1999)Biology of Plants より

光の性質

光 は電磁波の一種（目に見える電磁波）である。

光は波として伝播され、一般に次の諸量によって特徴づけられる。

光速度（c）3.00 × 10^8 m・s^{-1} （300,000 km・s^{-1}）真空中

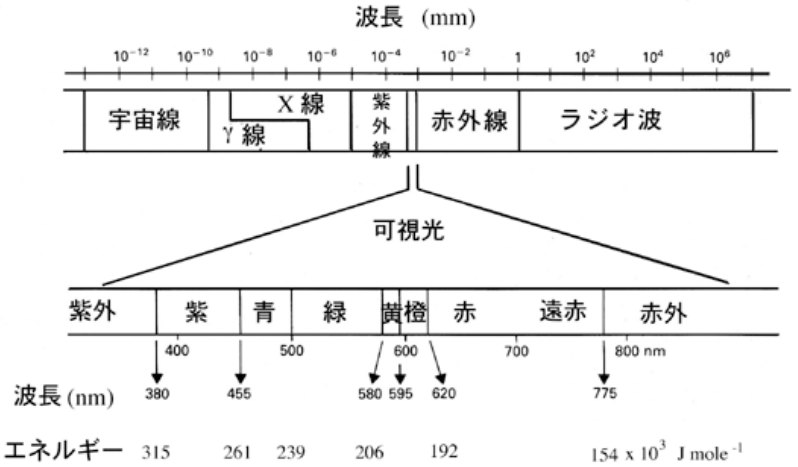
$$c = \lambda \nu$$

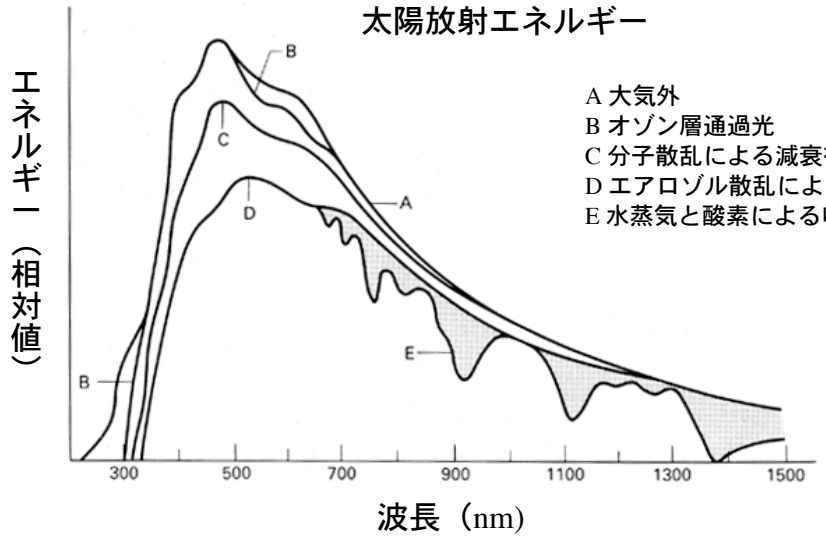
振動数（周波数）（ν = Greek nu, sometimes F）

$$\nu = c/\lambda$$

波長 （λ）（λ = Greek lambda）

$$\lambda = c/\nu$$

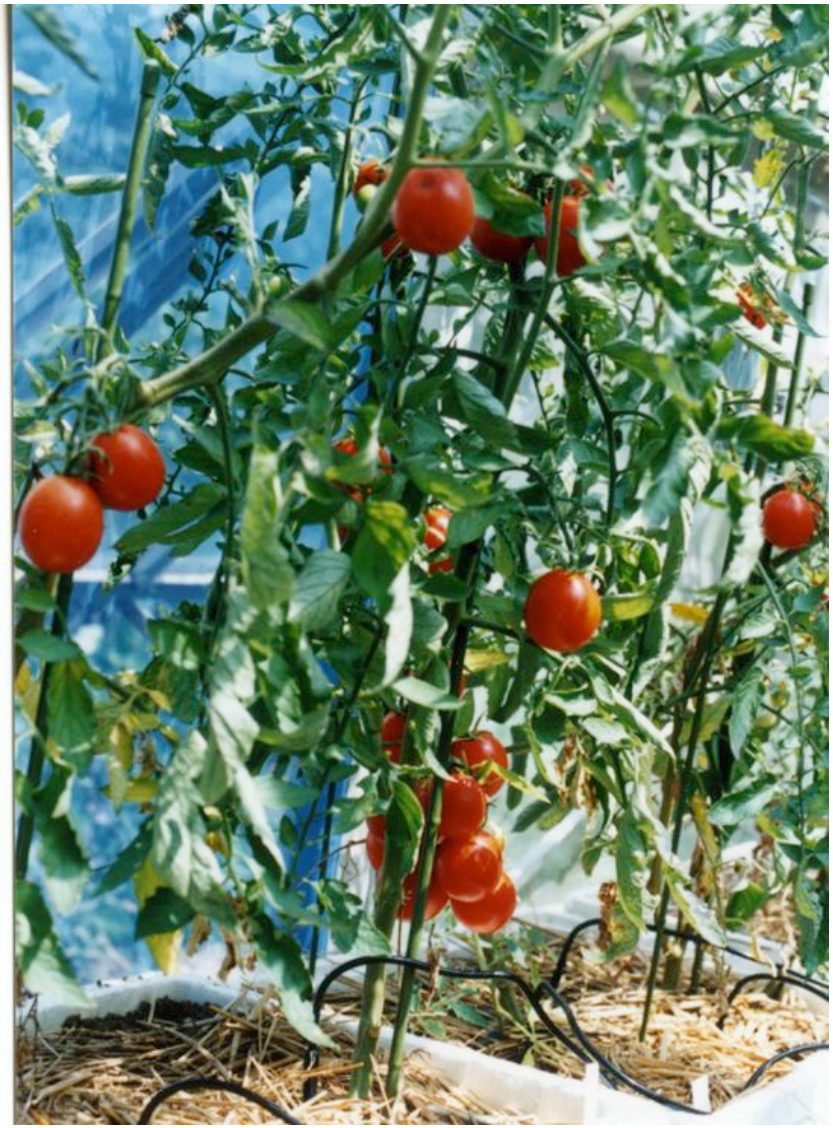




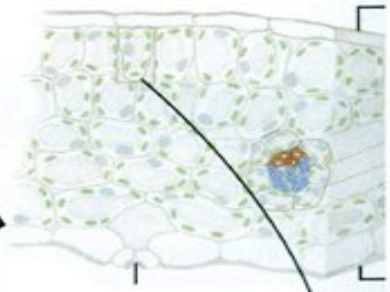
A 大気外
B オゾン層通過光
C 分子散乱による減衰後
D エアロゾル散乱による減衰後
E 水蒸気と酸素による吸収後：地上に到達する太陽光

J.W. Hart (1988) Light and Plant Growth より

なぜ葉は緑に、トマトの実は赤く見えるのでしょうか？



植物は太陽光を生きていくためのエネルギーに変換します

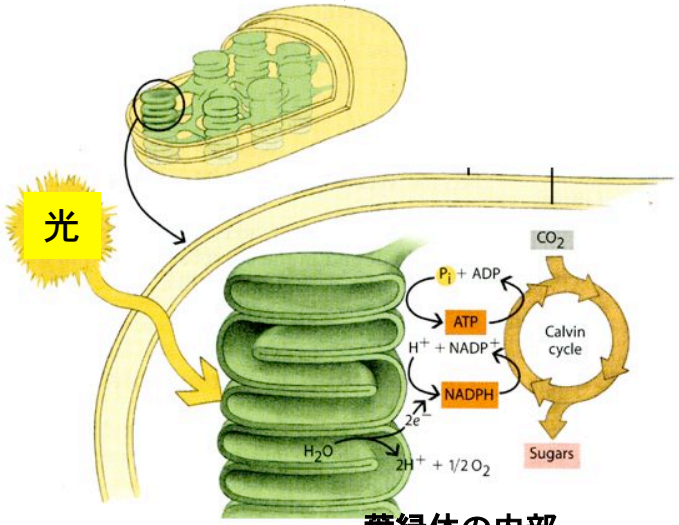


葉の断面

気孔

葉緑体

葉緑体は光から食料をつくる工場



葉緑体の内部

光のエネルギーを使って
水と炭酸ガスから食料（有機物）
をつくる

P.H. Raven, R.F. Evert, S.E. & Eichhorn (1999) Biology of Plants より

植物は日光を最大限にうけるように葉を広げます

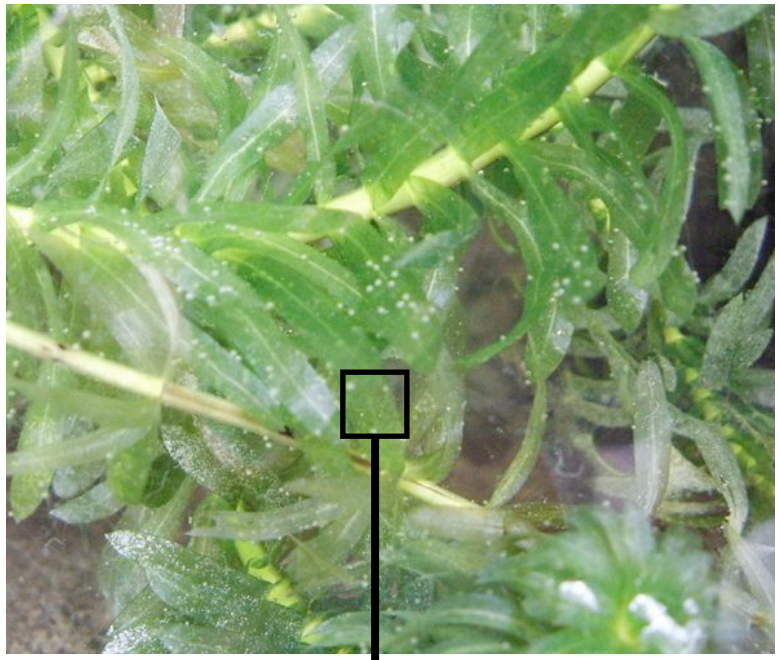
互いに重ならないように葉を開き、葉面を光の方向に向けています

上から見たところ

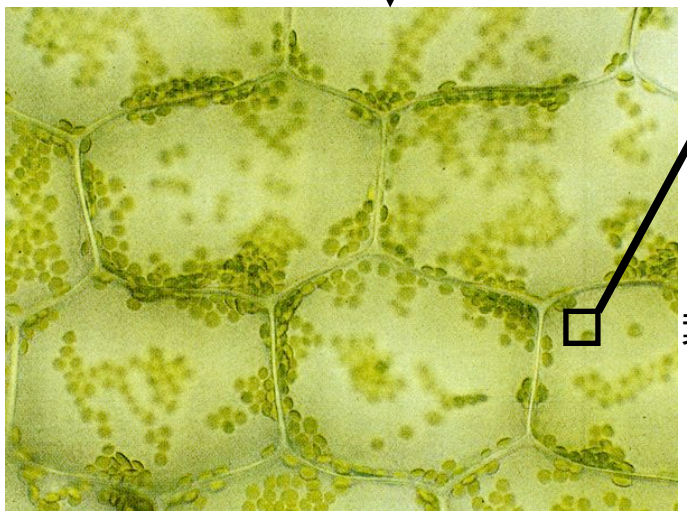
横から見たところ

茂みの縁の植物

神戸大理学部キャンパスにて



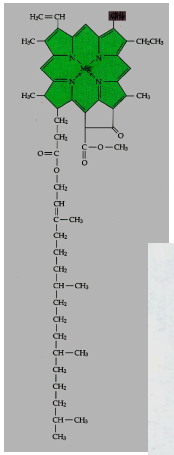
光合成によって盛んに酸素を出している
神戸大理学部温室のオオカナダモ



葉の顕微鏡写真

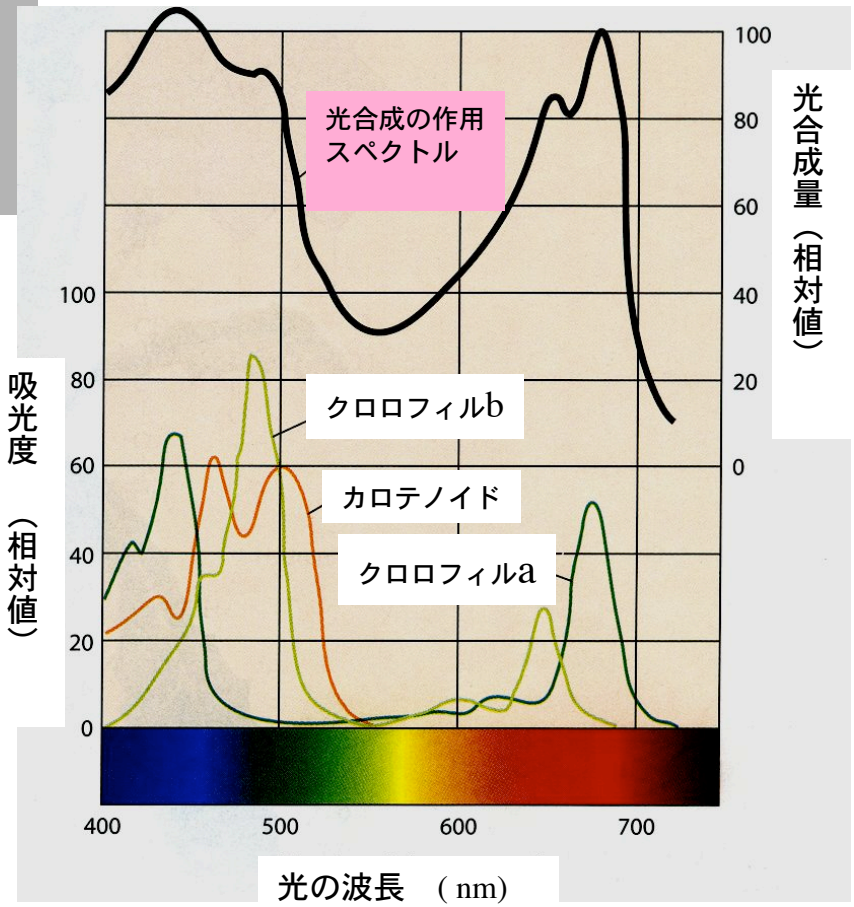
葉緑体

クロロフィル（葉緑体の中に含まれる色素の一つ）



光合成に必要な光

赤い光と青い光が必要です



P.H. Raven, R.F. Evert, S.E. & Eichhorn (1999) Biology of Plants より

植物は、最適な光環境を求めて、自らの姿、形を変化させます

↓

光形態形成

植物は周りの環境をどのように見分けているのでしょうか？

1．植物は光の色を見分けることができます。

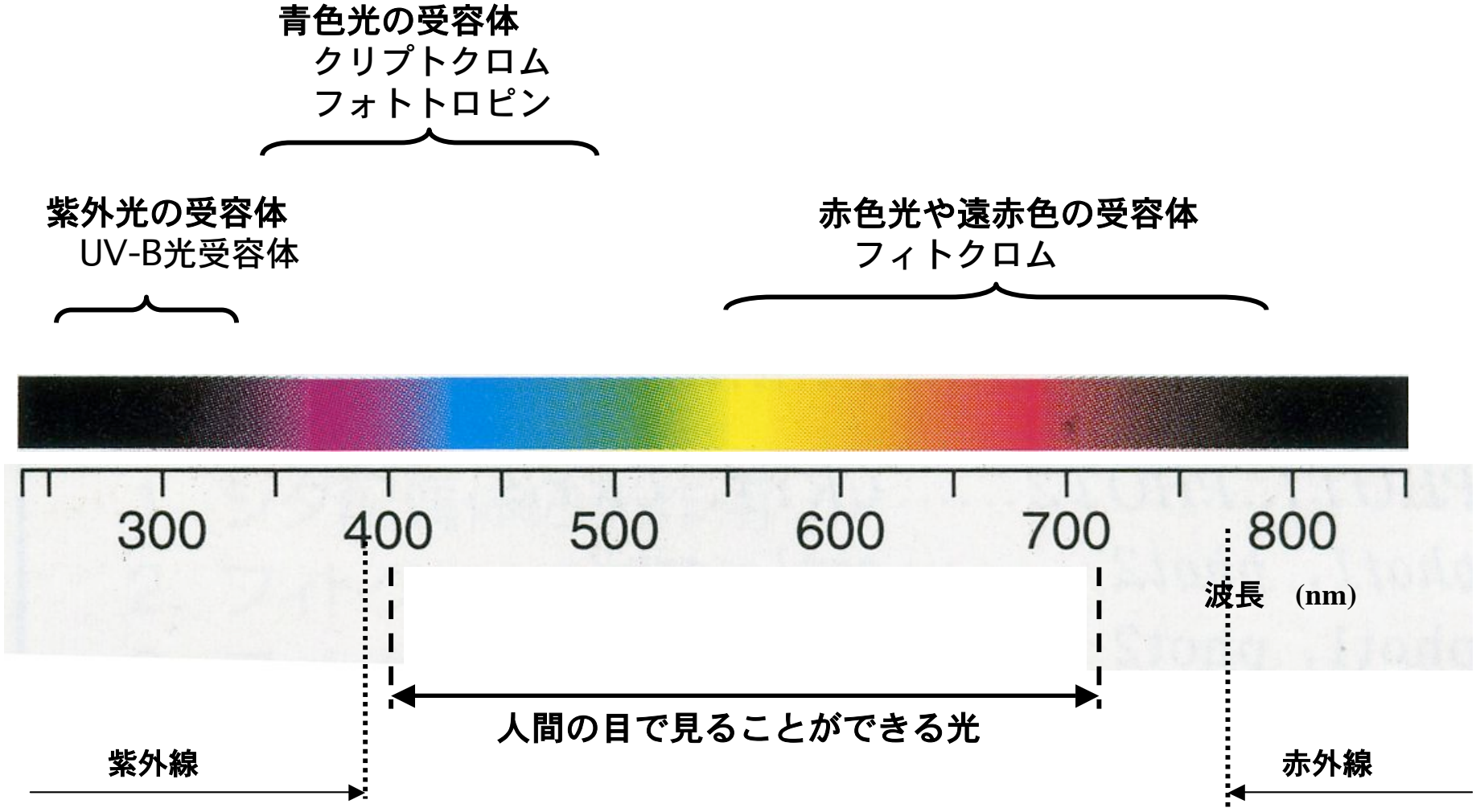
2．植物は光の来る方向を感じることができます。

3．植物は、明るい場所と暗い場所を知っています。

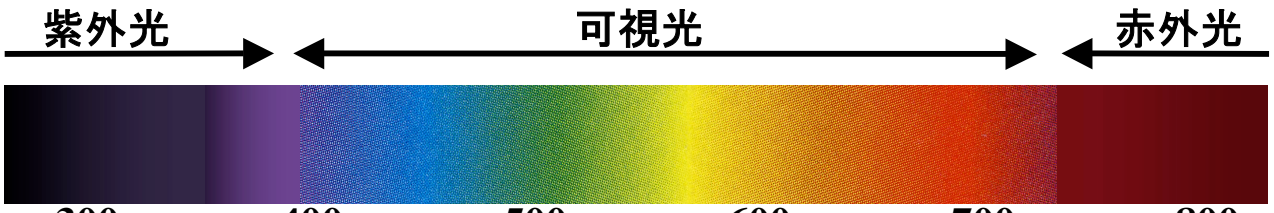
4．植物は光が当たっている時間をはかる時計を持っています。

植物の目：光受容体

これらの光受容体は環境を見極める目です。
光合成に関わるクロロフィルやカロテノイドとは異なります。



光受容体が引き起こす様々な形態形成反応



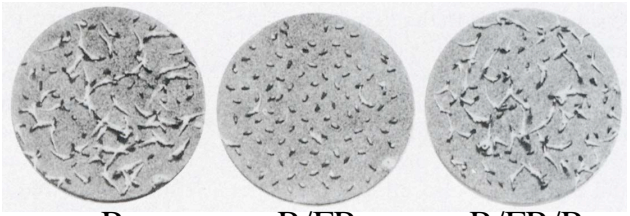
フィトクロム*

クリプトクロム　フォトトロピン

UV-B光受容体

光屈性

種子発芽



R　R/FR　R/FR/R

アントシアニン形成

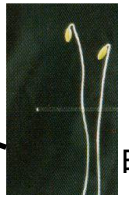
（ホウキモロコシ芽生え）

芽生えの緑化

単子葉植物

双子葉植物

光



暗黒芽生え

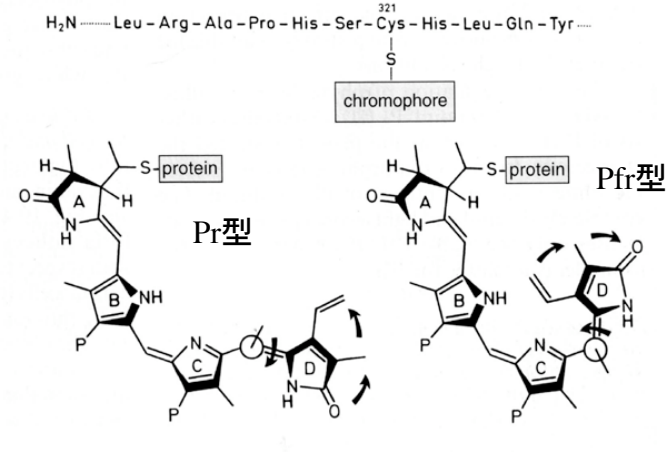
＊ フィとクロムは赤色光や遠赤色光だけでなく、
他の波長の光を感知する能力も、持っています。

フィトクロムについての説明

1．**フィトクロムは赤い光のセンサーとして働きます。**

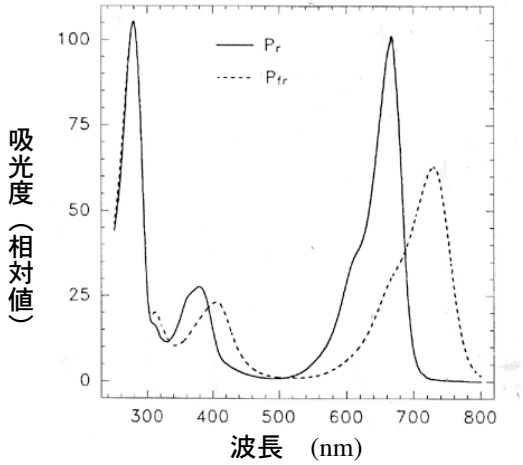
フィトクロムは分子量約12万の水溶性色素タンパク質で、開環テトラピロール構造を持つ
フィトクロモビリンと呼ばれる色素分子がタンパク質と結合したものです。
不活型Prと活性型Pfrの二つの型があります。
不活型Prが光（主に赤色光）を吸収して活性型Pfrに変わり、様々な生理生化学反応を引き起こします。

フィトクロモビリンの構造



Mohr & Schopfer (1995) Plant Physiology より

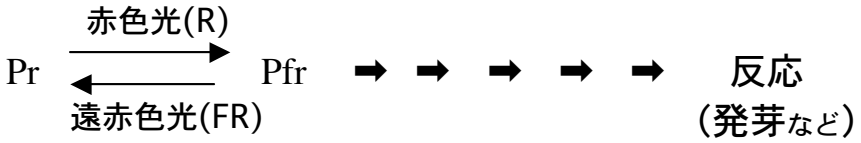
フィトクロムPrとPfrの吸収スペクトル



Mancinelli (1994) The physiology of phytochrome action より

２．フィトクロムによって起こる反応は、遠赤色光によってリセットされます。

不活性型Prは赤色光(R)を吸収して活性型Pfrに変わります。
Pfrは遠赤色光(FR)を吸収してPrに戻ることから、 Rを与えた直後にFRを当てると、反応をうち消すことができます。
これはフィトクロムの光可逆反応とよばれ、最後に与えた光が有効に働きます。



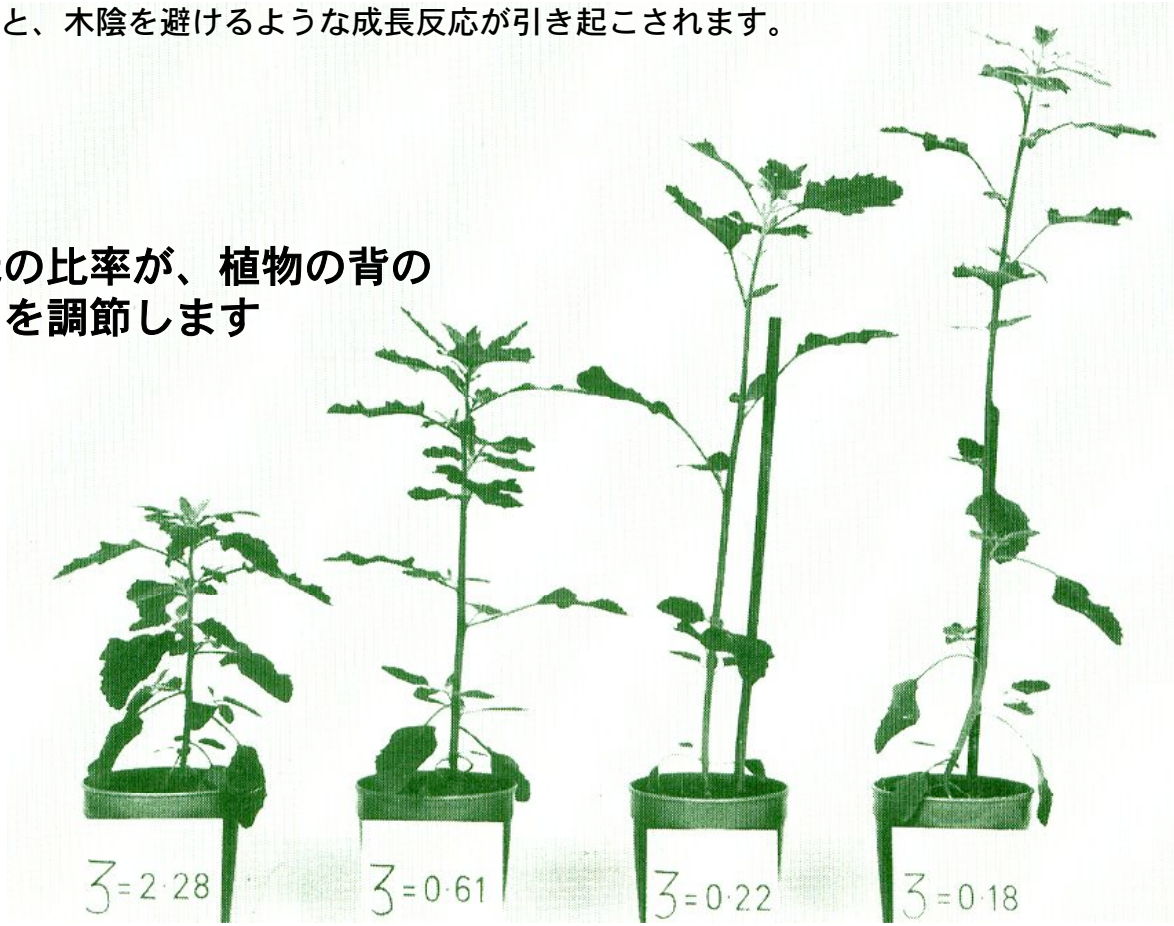
発芽を引き起こす赤い光（Ｒ）　　発芽を止める遠赤色光（ＦＲ）

レタスの種子発芽

３．フィトクロムは日なたと木陰を見分けることができます。

赤い光（日なたの光）と遠赤色光（木陰の光）の比率によって、できてくる活性型Pfrの量が変化します。
Pfr量が少なくなると、木陰を避けるような成長反応が引き起こされます。

赤い光と遠赤色光の比率が、植物の背の高さ、葉の大きさを調節します

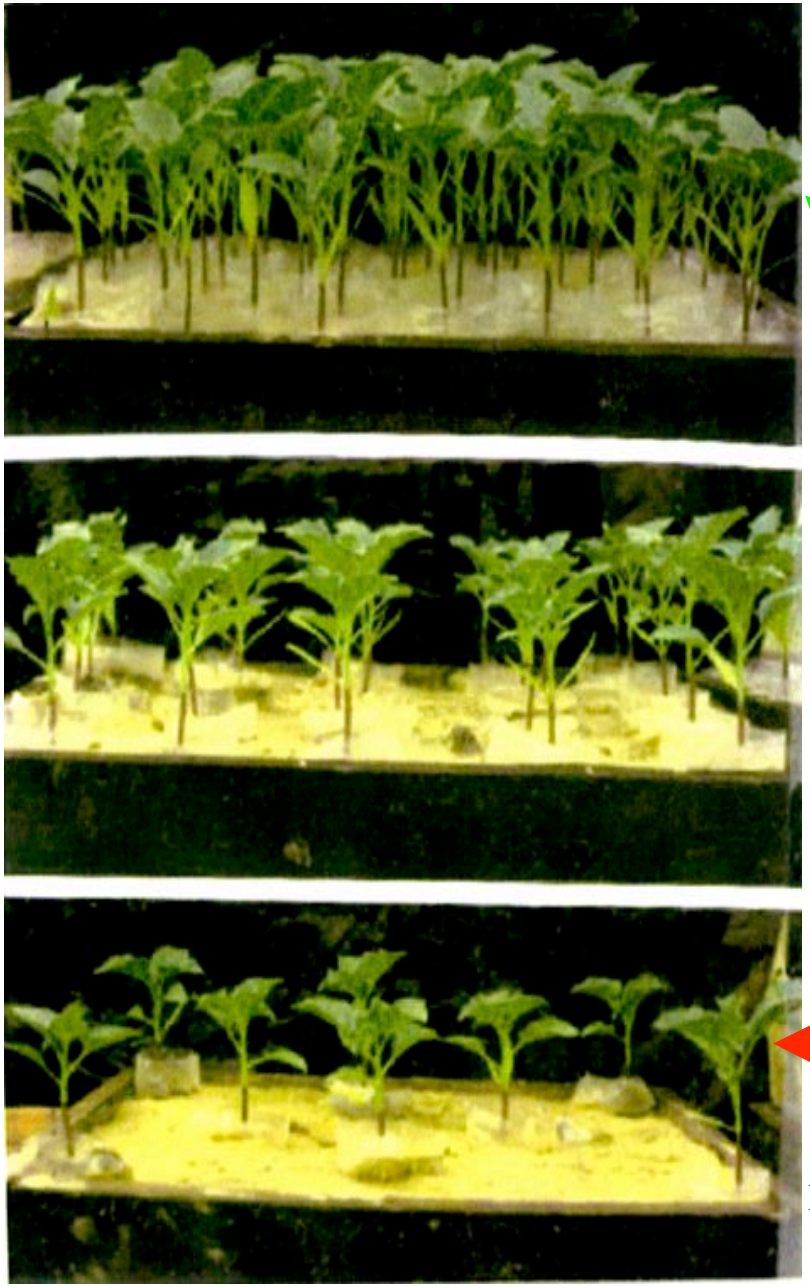


日向の光
赤い光

日陰の光
遠赤色光

H. Smith (1994) Sensing the light environment: the functions of the phytochrome family より

光を求めて競争している植物



競争相手との距離を測って
背の高さを調節しています

近くに競争相手がいるほど
背が高くなります

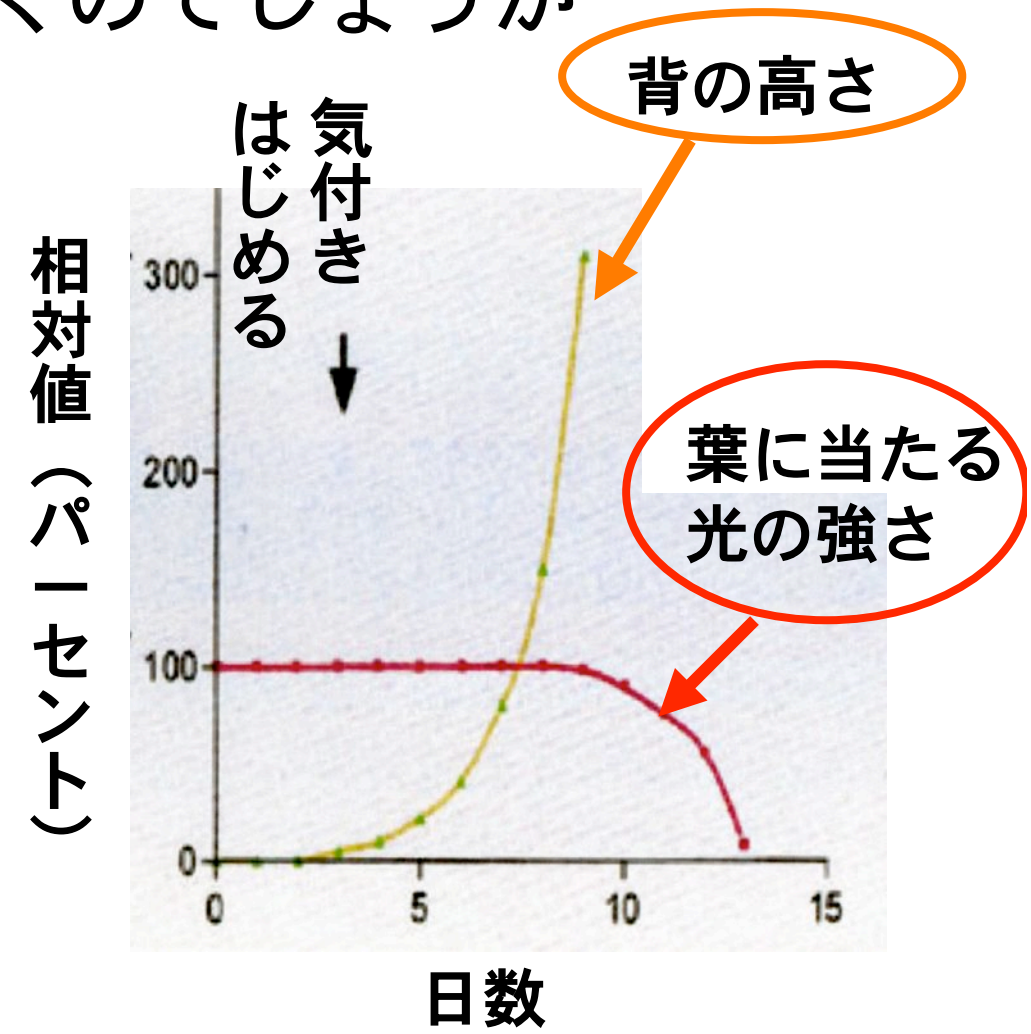
競争相手が少なくなると
背丈は伸びません

Ballarè et al. (2002) Know thy neighbor through phytochrome.
"Plant Physiology"online, Essay 17.2 より

植物は隣に競争相手がいることに、
いつ気がつくのでしょうか

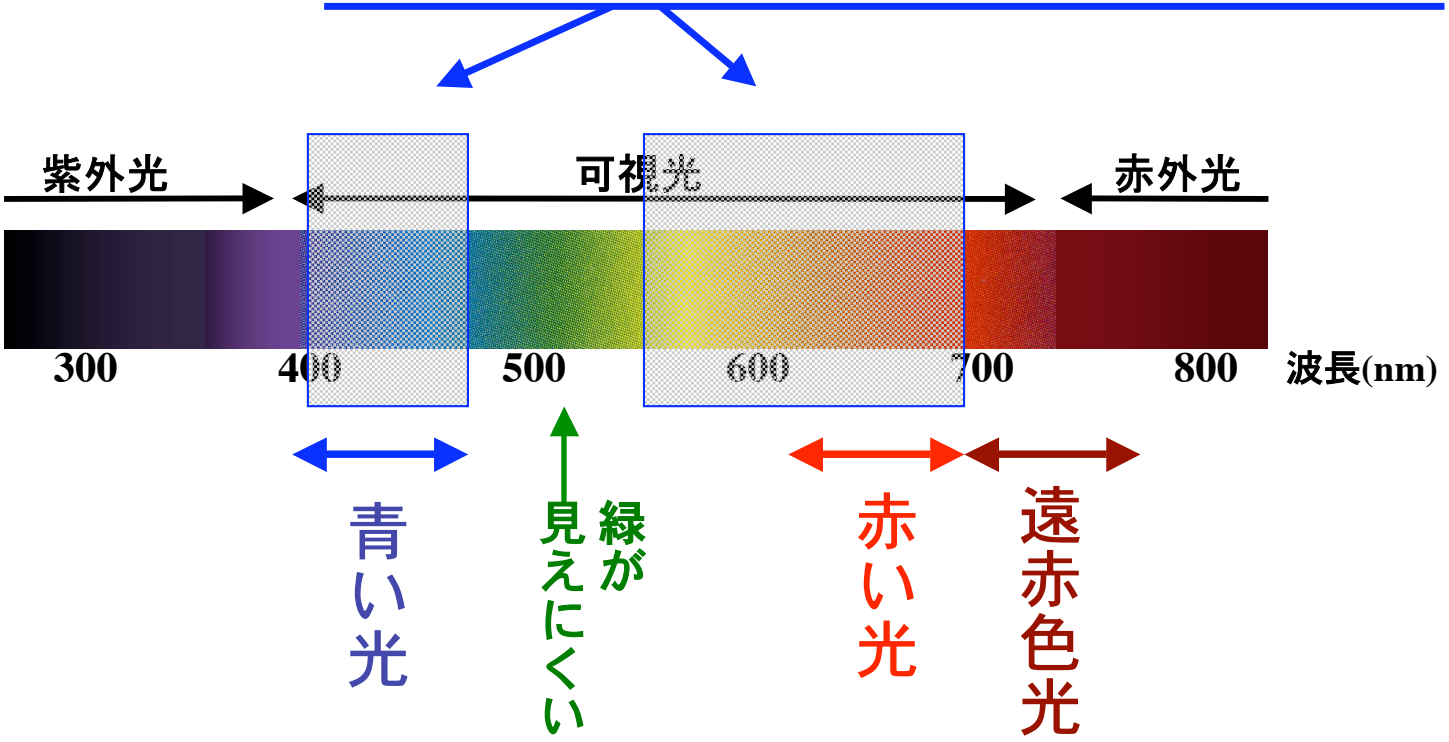
お互いに日陰になっていないのに
もう気づいています

Ballarè (1999) Trends in plant science 4, 97-102より



Ballarè et al. (2002) Know thy neighbor through phytochrome.
"Plant Physiology"online, Essay 17.2 より

周囲の植物が光合成で使ってしまう光



周囲の植物は、光合成によって、赤い光と青い光をたくさん使ってしまいます。
高等植物は緑を感知する目（光受容体）を持っていません。
ですから、植物は、周囲の植物を遠赤色光として感じます（人間の目には緑に見えているのですが）。

赤い光 < 遠赤色光
この比率をフィトクロムは感じて背の高さを調節します。

青色光受容体について

青い光を感知する受容体には
クリプトクロムとフォトトロピンがあります。

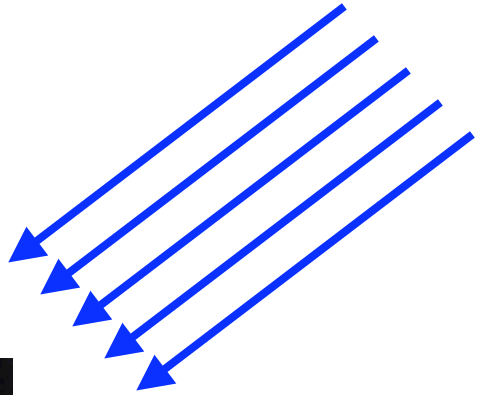
クリプトクロムによって

胚軸伸長抑制
子葉拡大成長
クロロフィル生成
アントシアニン生成
花芽形成（光周期の測定）
などが起こります。

フォトトロピンによって

光屈性
気孔が開く
葉緑体の運動
葉の拡大成長
胚軸の成長抑制
などが起こります。

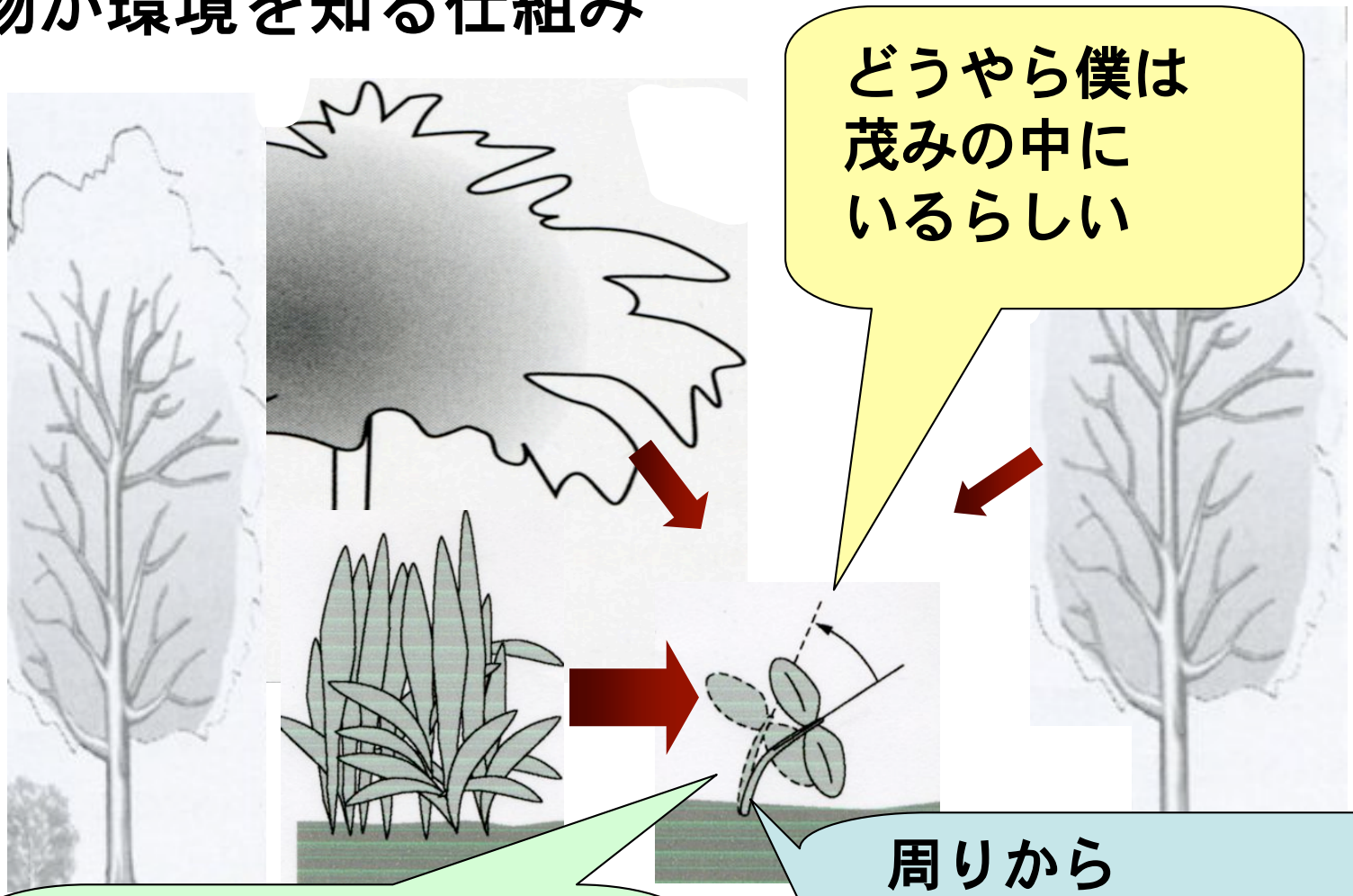
植物は青い光に向かって成長します

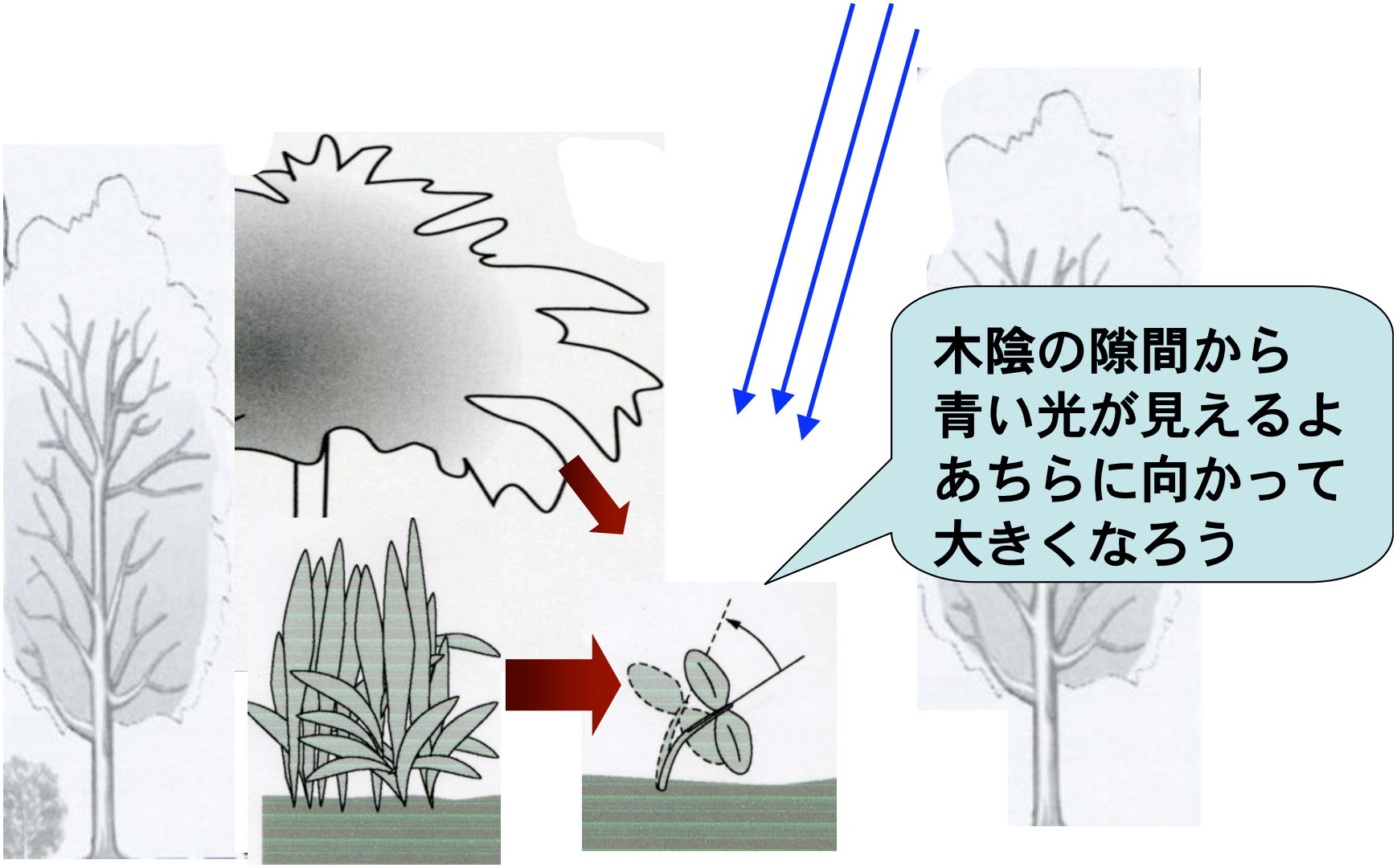


窓から差し込む光の中の青い光を見て
その方向に胚軸を曲げています。

フォトトロピンによる光屈性

植物が環境を知る仕組み

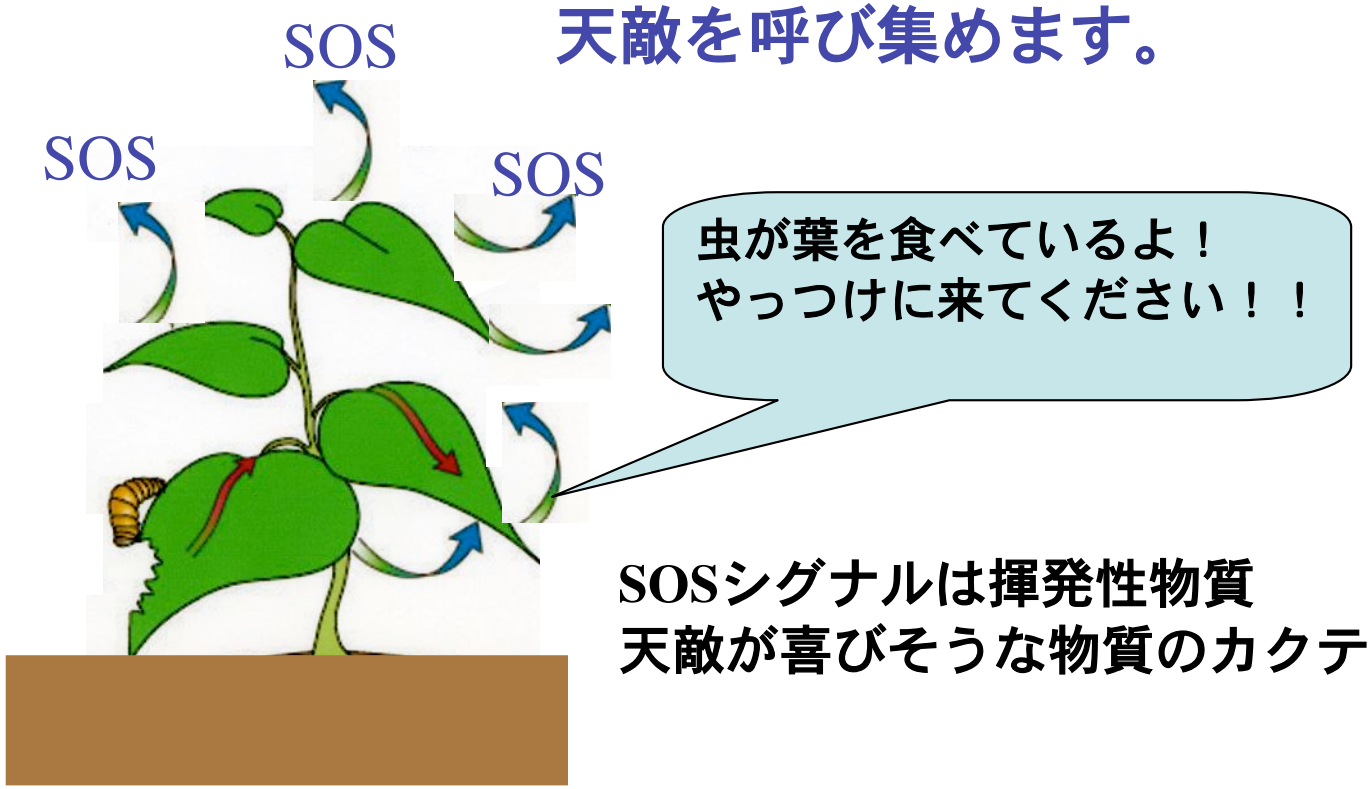



木陰の隙間から
青い光が見えるよ
あちらに向かって
大きくなろう

植物と虫との戦い

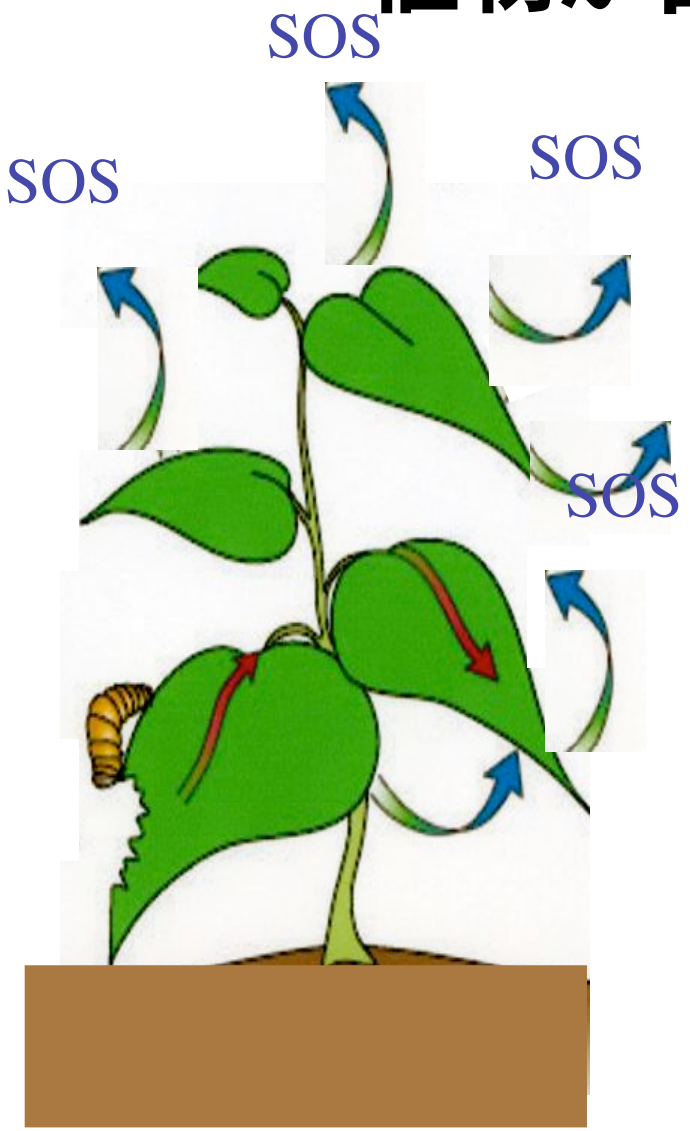
イモムシがタバコの葉をかじると

SOSシグナルを出して
天敵を呼び集めます。



SOSシグナルは揮発性物質
天敵が喜びそうな物質のカクテルです

植物が出すSOSシグナル



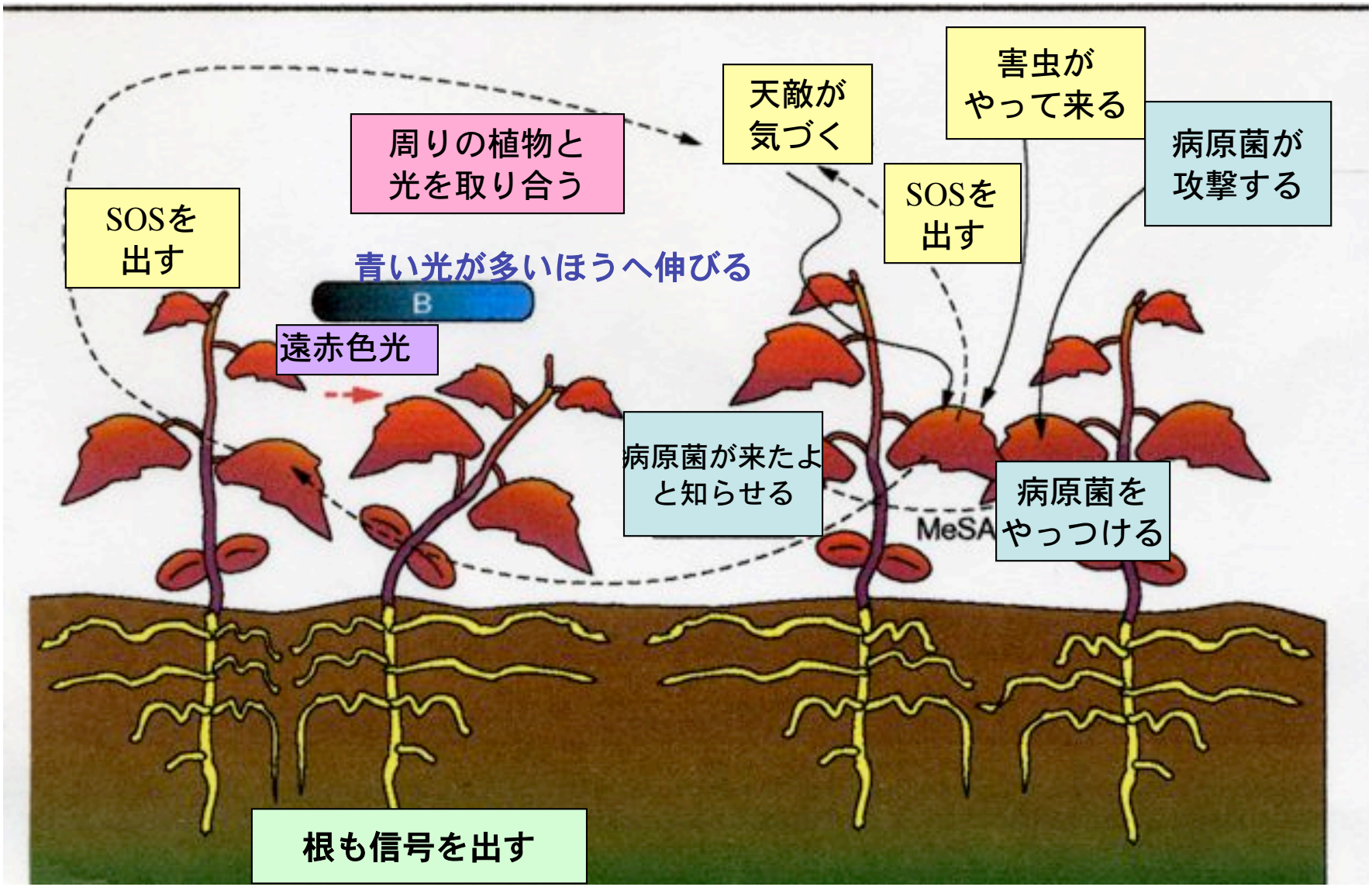
SOS物質は花の香りにも似ています。

虫にかじられた所からだけでなく、
植物全体から放出されます。

時間を決めて放出する事もあります。

虫の唾液が傷口につくと、
植物体内で作りはじめます。

環境と植物たちの関わり合い



Ballarè (1999) Trends in plant science 4, 97-102　より

光を求める植物同士の競争と、虫をやっつける戦いとでは、どちらを植物は優先させるのでしょうか？

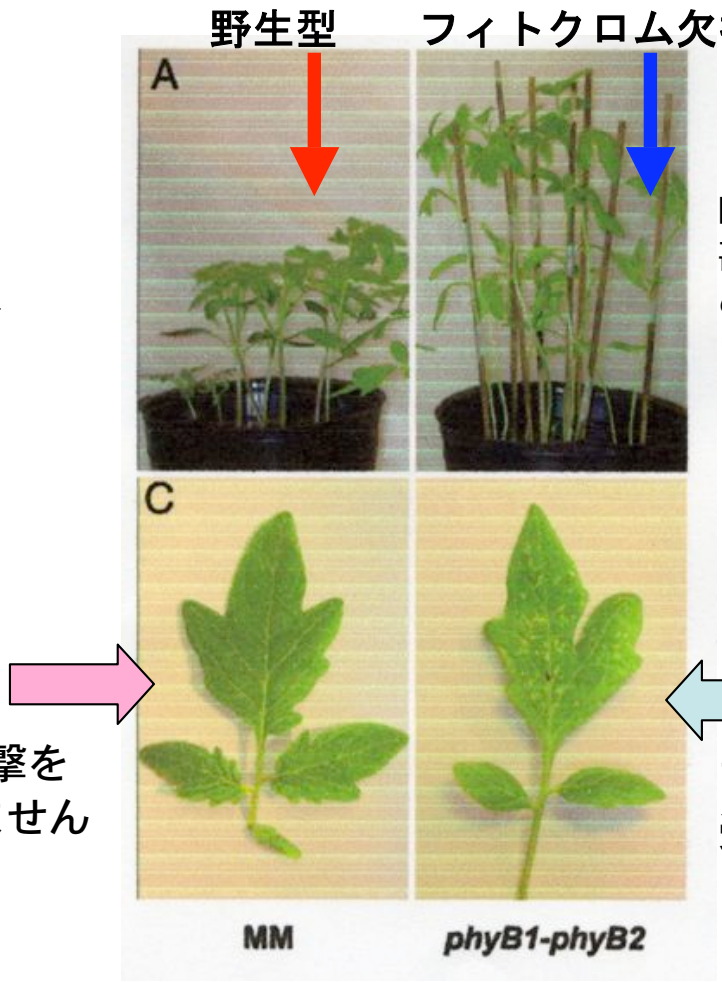
[最新情報]

やはり植物にとって、光が一番大切でした。

1. 遠赤色光を多く与えて育てたタバコは、害虫に弱いことがわかりました。

2. トマトのフィとクロム欠損株も、害虫に弱いことがわかりました。

どちらのトマトも充分に光を受けて育っています

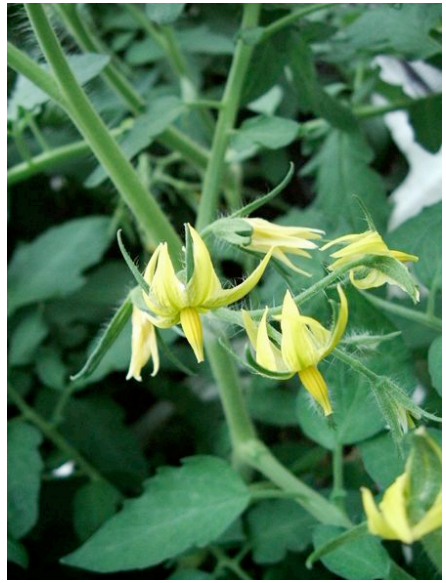


（光が見えないので、暗闇で育っていると勘違いして、光を求めて背丈を伸ばしています）

害虫の攻撃を受けていません

アザミウマの攻撃を受けてしまいました

Izaguirre et al. (2006) PNAS 103,7170-7174より



神戸大学理学部温室風景

2006.07.06.

サイエンスセミナー実験の部

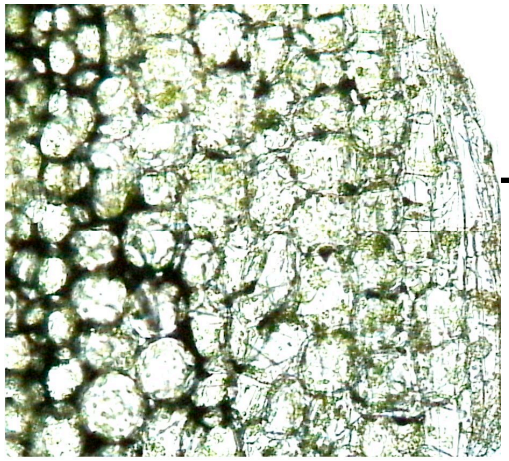
プロトプラストを作ってみましょう

植物が様々な形態形成反応を引き起こすとき、細胞レベルでは何がおこっているのでしょう。
それを知る方法の一つにプロトプラストを作って調べる実験があります。
今回は、いろいろな植物からプロトプラストをつくって観察してみましょう。

プロトプラストとは

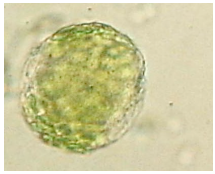
植物細胞は細胞壁をもっています。細胞壁を酵素で溶かして取り除きますと、細胞膜で囲まれたバラバラの細胞になります。そのような細胞をプロトプラストと呼びます。

細胞壁に囲まれた葉の細胞



酵素処理で
細胞壁を溶かす

プロトプラスト



プロトプラストを作って実験をすると何がわかるのでしょう？

１．細胞膜上には、生命活動に重要な分子がたくさん並んでいます。
細胞膜を通って、イオンや水、その他重要な物質が出入りします。
光やその他様々な刺激をプロトプラストに与え、プロトプラストに起こる様々な変化を調べると
細胞レベル、分子レベルで何が起こっているかを知ることができます。

２．プロトプラストにいろいろな遺伝子を入れ、そこから完全な植物体を育て、形質転換植物を
作ることができます。

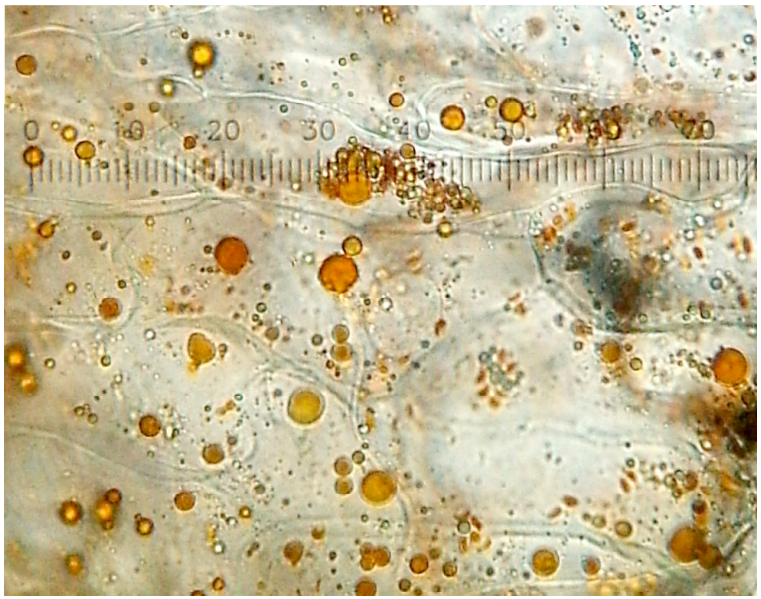
３．異なる植物のプロトプラストを融合させて新しい植物を作ることができます。

自分たちで作ったプロトプラストを顕微鏡で観察してみましょう！

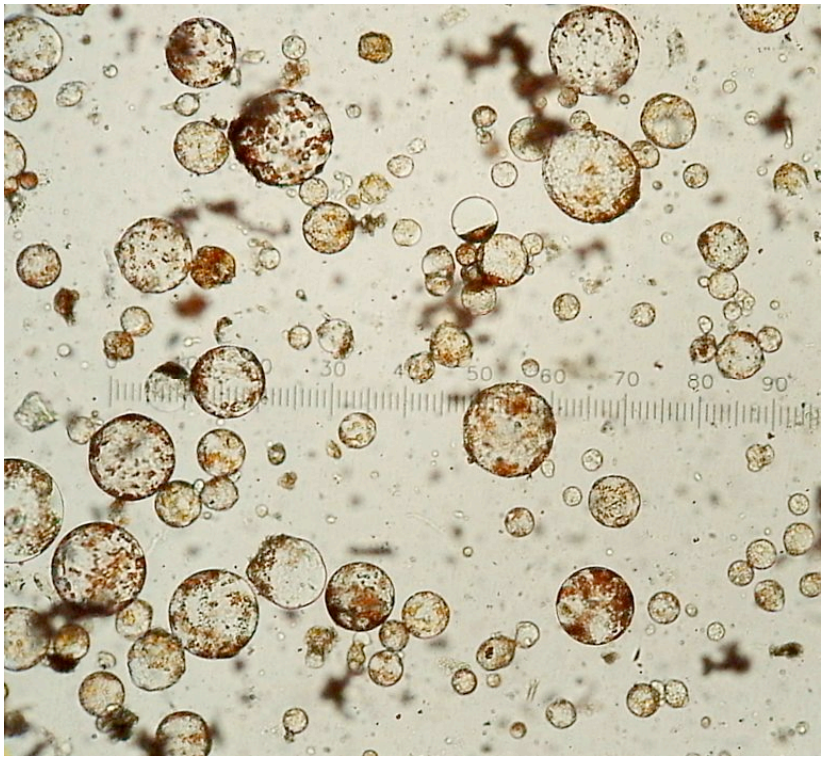
謝辞
　プロトプラスト実験には、甲南大学理工学部　田中修教授と同大学クリエイティブ21「バイオテクノロジー教材開発チーム」による「 プロトプラストの迅速単離法」 を参考にさせていただきましたことを感謝いたします。

赤ピーマン

果皮の裏側の細胞

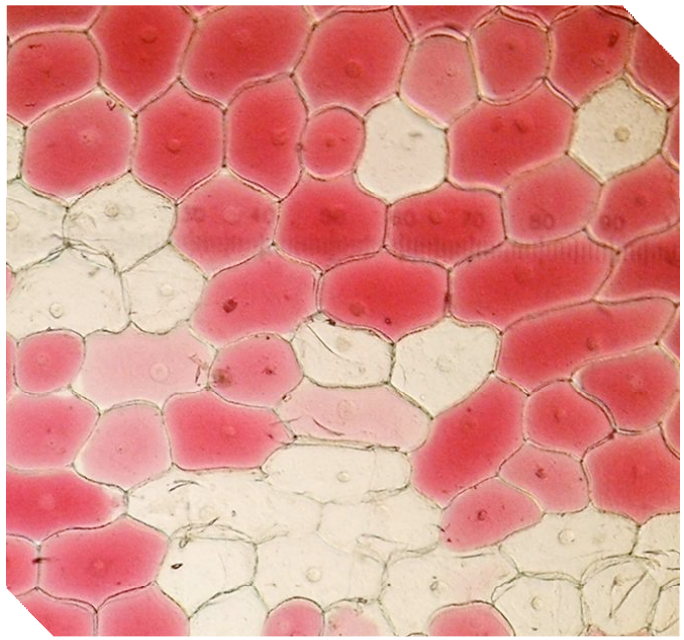


プロトプラスト

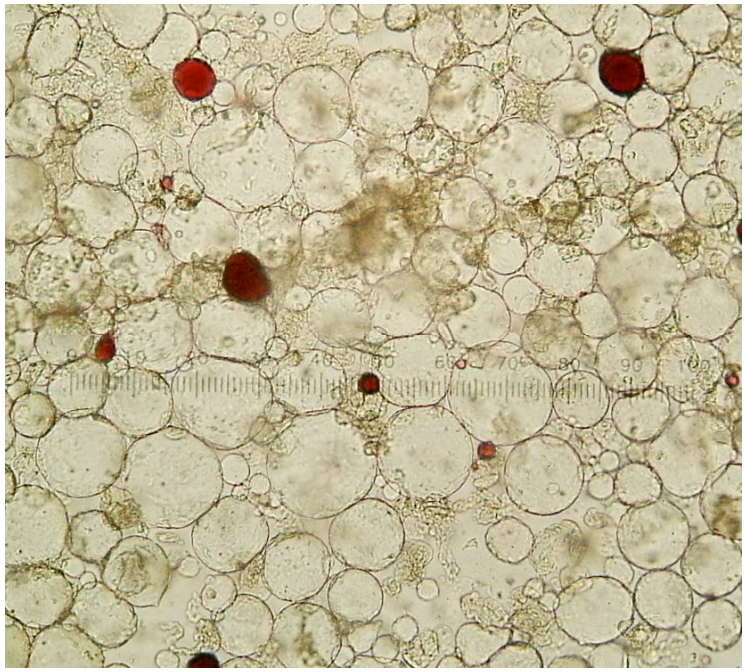


赤タマネギ

りん葉の細胞



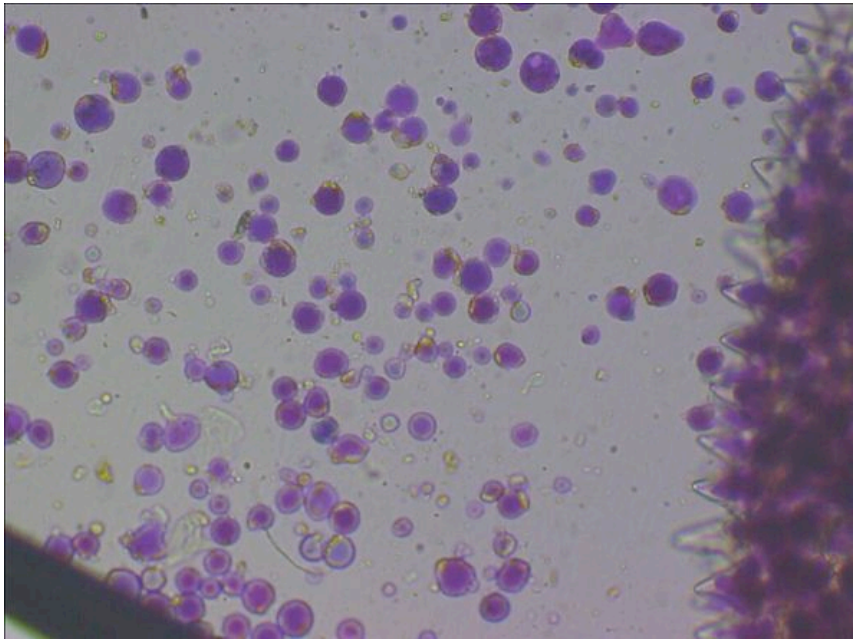
プロトプラスト

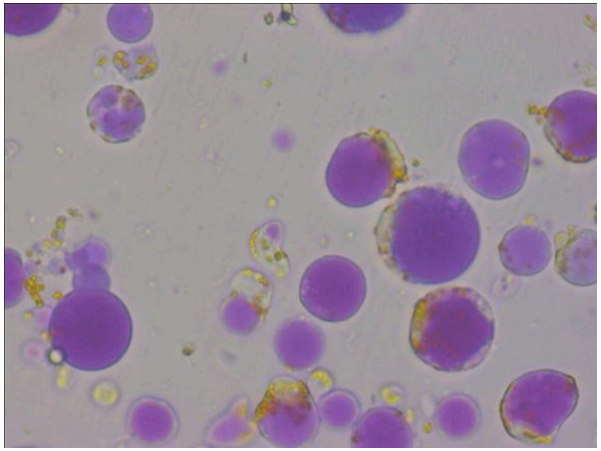
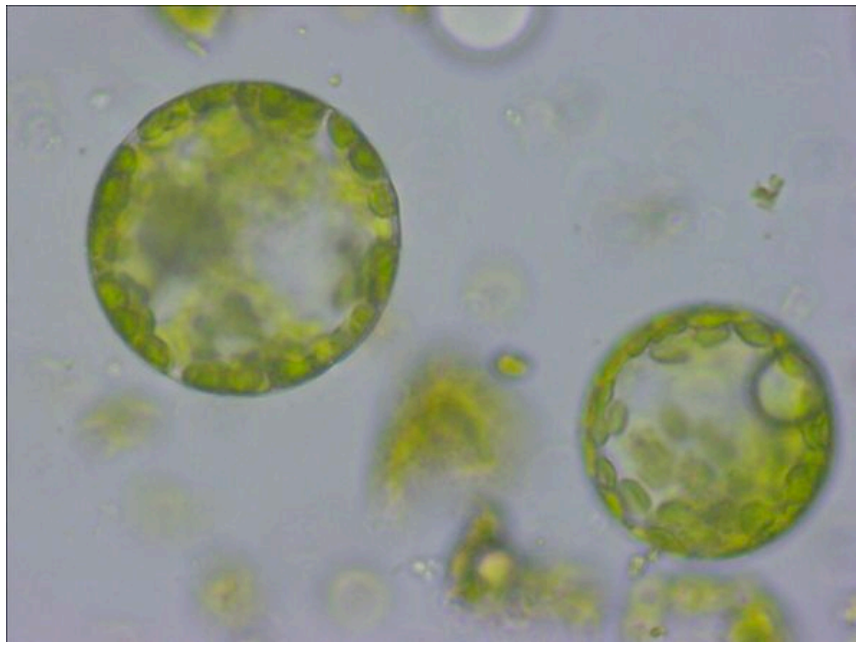


パンジー

パンジーの花びらの切片

花びら表皮のプロトプラスト





キクの葉のプロトプラスト