

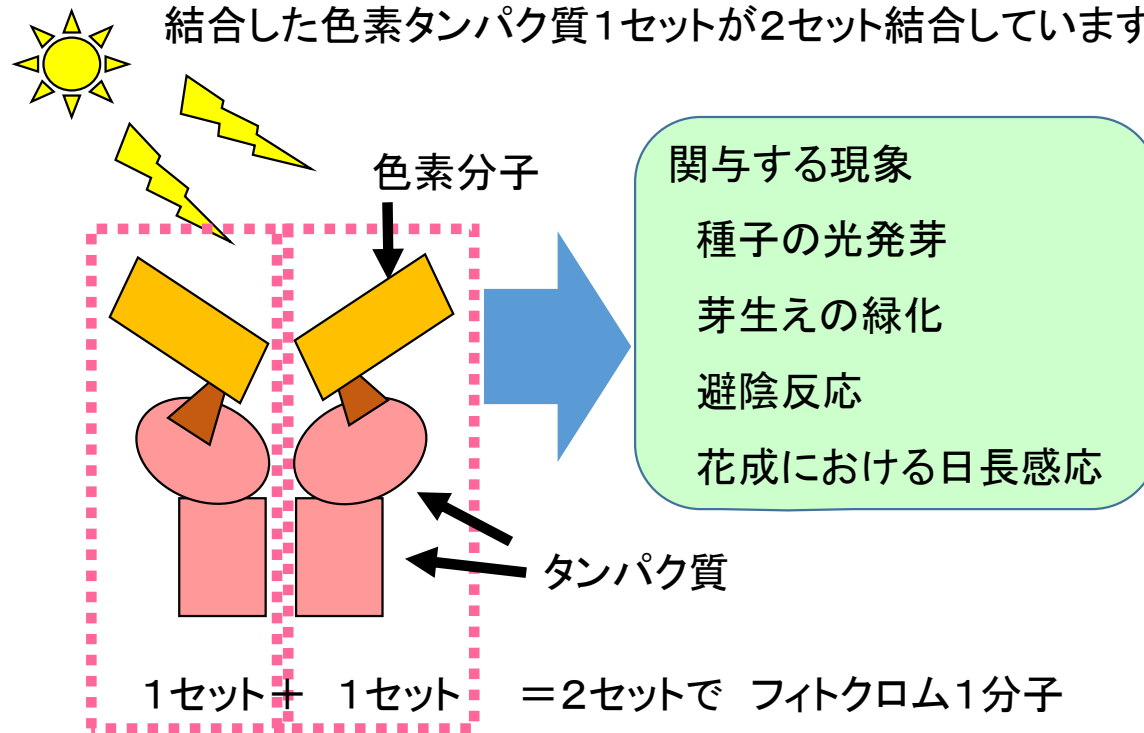
植物が温かさを感じるしくみ

はじめに

植物には、生育に適した温度帯があります。シロイヌナズナでは12°Cから27°Cで、その中でより暖かければ、より早く成長し、開花が早くなったりします。このような温度の変化を、**植物の光のセンサー**として有名な**フィトクロム**という色素タンパク質が感じていることが明らかになりました。

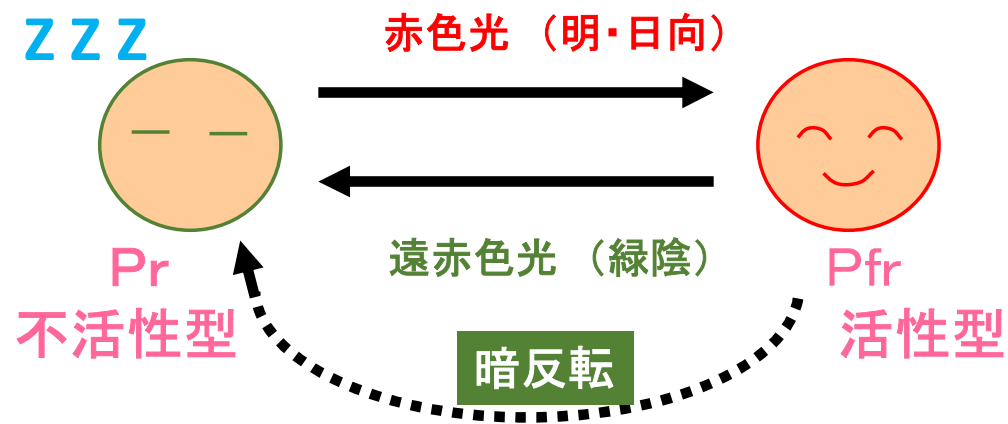
これまで知られていたフィトクロムの役割

フィトクロム分子は、光を受ける色素分子とタンパク質が結合した色素タンパク質1セットが2セット結合しています。



例えばレタス好光発芽品種の種子は、吸水によって生命活動を開始しますが、発芽には**赤色光という600nm～700nmの波長の光**が必要です。赤色光があたるとフィトクロムの立体構造が変化し**活性型(略称Pfr)**になり、発芽に必要な遺伝子の発現を促します(次図)。**700nm～750nmの波長の光である遠赤色光**を照射すると、フィトクロムは**不活性型(略称Pr)**になり発芽しません。

遠赤色光は、植物の葉陰の光に多く含まれます。植物は、フィトクロムによって遠赤色光を日陰、赤色光を日向として感じているといえます(総説 化学と生物 44、pp596-602、2006)



フィトクロムBの光による変化
立体構造が変化し、活性型、不活性型になる。

フィトクロムの種類

1980年代、モデル植物シロイヌナズナのフィトクロムには、異なる遺伝子により作られるA～Eの5種類があることが示されました(総説 光合成研究18、pp16-23、2008)。

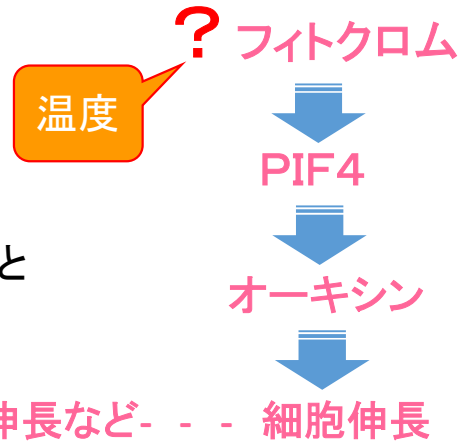
種子の光発芽に関わるのは、**フィトクロムB**です。フィトクロムBやC～Eは、明暗にかかわらず一定レベルで存在し、光によりPfrからPr、再びPfrというように可逆的に変化します。

一方**フィトクロムA**は、暗所で高レベルに蓄積し、ひとたび赤色光があたってPfrになると速やかに分解されるという、特殊な性質を持っています。

温度とフィトクロム

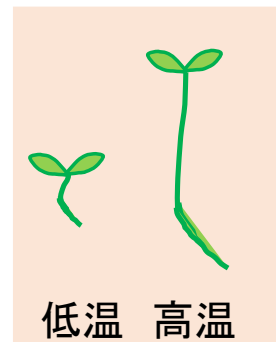
光センサーとして研究されてきたフィトクロムですが、2011年、温度が高くなると、**PIF4**というタンパク質が働き、植物ホルモンであるオーキシンの生合成が活発になり、オーキシンの働きで細胞が伸長するという論文が発表されました(PNAS 108 pp20231- 20235)。

PIF4は、フィトクロムにより制御されます。そこで、フィトクロムに温度感応性があるのではないかと
いう仮説がたてられました。

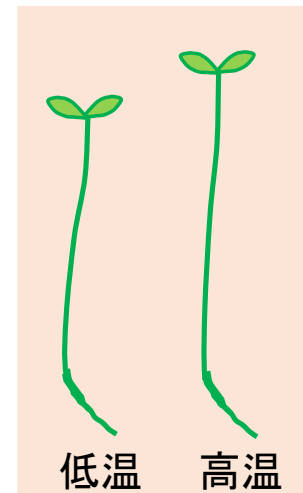


まず**フィトクロムA~E全て欠失したシロイヌナズナ変異体の幼植物体**では、野生株(変異のない株)とは異なり、温度による胚軸の伸長の違いがみられないことがわかりました (Science vol.354、pp886-889、2016)。また、野生株では夜間、高温により胚軸を伸長させるPIF4遺伝子の発現が促進されることもわかりました。

野生株



フィトクロム
欠失変異体



短日条件下 低温;12, 17°C 高温;22, 27°C

フィトクロムの種類を絞る

フィトクロム5種類中、**フィトクロムB**には、暗いところでPfrがPrになる**暗反転**という現象が知られていました。フィトクロムBが常にPfrのままであるような遺伝子組み換え体を作り調べたところ、温度に応答した胚軸の伸長がなくなりました。

以上の結果とPfrの半減期の結果をあわせ、**フィトクロムB**のPfrが**温度の上昇とともに暗反転により減少すると、PIF4遺伝子の発現が促進され、胚軸が伸長すると**考察されました。つまり、**夜間(暗条件下)は、フィトクロムBが温度センサーである**という仮説が提案されました。

フィトクロムの試験管内合成

前述Science vol.354にもう一報、同じテーマの論文が掲載されました(pp897 -900、2016)。

その報告では、**フィトクロムBを作る全生合成遺伝子を改良して酵母に導入し、試験管内で完全合成**させています。フィトクロムは種類別に抽出、精製できませんでしたので、画期的手法です。

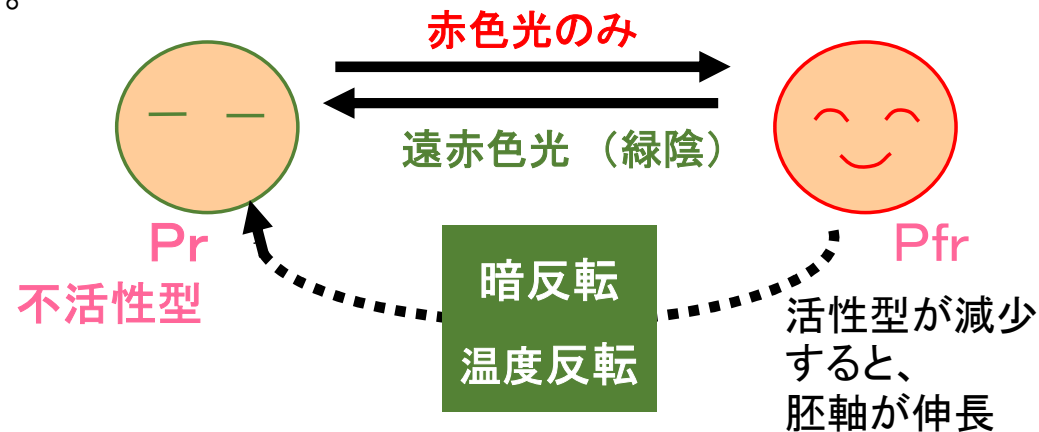
そして、試験管内で暗条件下、温度の上昇に伴いフィトクロムBがPfrからPrへと暗反転し、Pfrが減少することが示されました。

核に集まるフィットクロムBの観察

フィットクロムBのPfrは、細胞質から核に移動して集合体となり、核遺伝子の発現を制御することがすでに報告されています。ここでは、高温下で、シロイヌナズナ組織の核のフィットクロムBのPfrが減少することが、共焦点顕微鏡観察により示されました。そして、同紙(Science)掲載の前論と同様、夜間はフィットクロムBが温度センサーであるという結論となりました。

昼夜の温度センサー

2019年、光として赤色光だけをあてることにより、日中（明条件下で）も温度の上昇に伴ってフィトクロムBの暗反転がおこり、シロイヌナズナ胚軸が伸長することが示されました（Nature communications 10.1038/s41467-018-08059-z 2019）。日中は、HEMERというタンパク質がフィトクロムの変化を伝えます。



今後

フィットクロムに関わる精密な実験の積み重ねにより、光センサー、温度センサーとしての役割が明らかになりました。今後、成果が活用される可能性を感じました。