
















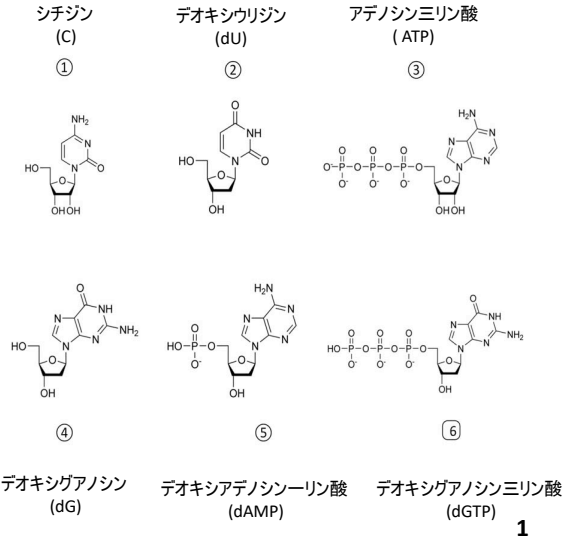
Purine (プリン)

Adenine → Adenosine
Guanine → Guanosine

核糖塩基	リボヌクレオチド	デオキシリボヌクレオチド
 アデニン	 アデノシン A	 デオキシアデノシン dA
 グアニン	 グアノシン G	 デオキシグアノシン dG
 チミン	 5-メチルウリジン T[M]	 チミン T
 ウラシル	 ウリジン U	 デオキシウリジン dU
 シトシン	 シチジン C	 デオキシシチジン dC

Pyrimidine (ピリミジン)

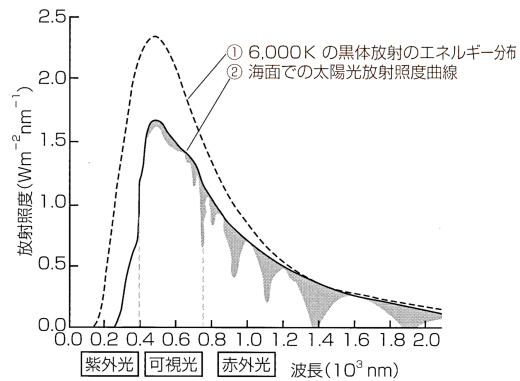
Cytosine → Cytidine
Thymine → Thymidine (例外)
Uracil → Uridine



- 6.1 生態系における光合成
- 6.2 地球環境と光合成
- 6.3 葉の構造
- 6.4 葉緑体の構造
- 6.5 光合成の概要
- 6.6 光捕集
- 6.7 2つの光化学系と光電子伝達
- 6.8 ATPの合成
- 6.9 ストロマ反応
- 6.10 CO₂環境の変化とRuBisCOの特性
- 6.11 光呼吸
- 6.12 C₄炭素回路
- 6.13 CAM植物

私たちはどの波長の光を使っている？ 植物はどの波長の光を使っている？

図 6.1 太陽光の波長組成(スペクトル)
太陽光が標高 0 メートル(海面)へと達するまでの波長組成の変化。絶対温度 6000 K の黒体が放射する光のスペクトル(①)とほぼ等しい太陽光のスペクトルは、太陽自身の大気により吸収された後、宇宙空間に放射される。オゾン層や、大気中の水蒸気、CO₂に吸収され(図中②灰色部分)、海面でのスペクトルには、さらに顕著な吸収が見られる。



光の単位

光量子束密度 (PFD: Photon Flux Density)

光子の数(エネルギーを勘案しない) $\mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$

光合成で使われる光(400 nm – 700 nm)の光量子束密度

光合成光量子束密度 (PPFD: Photosynthetic PFD)

放射照度(Irradiance)

エネルギーで換算した光の量 $\text{J/m}^2/\text{s} = \text{W/m}^2$

照度(Illuminance)

人間の目に感じる明るさ(視感度)で補正した光のエネルギー量

lx (ルクス)

オススメ!

光合成の森(早稲田大学・園池公毅)

<http://www.photosynthesis.jp>

6.1 生態系における光合成

6.2 地球環境と光合成

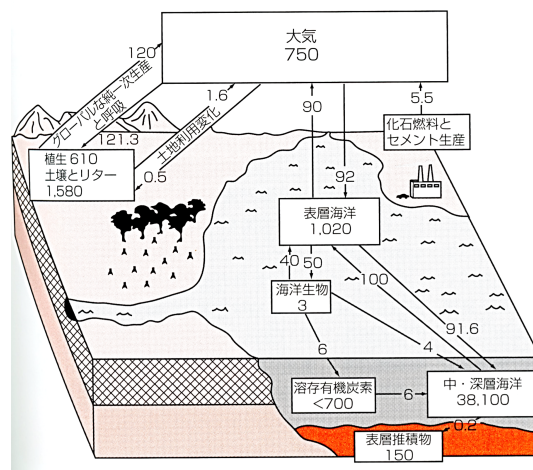
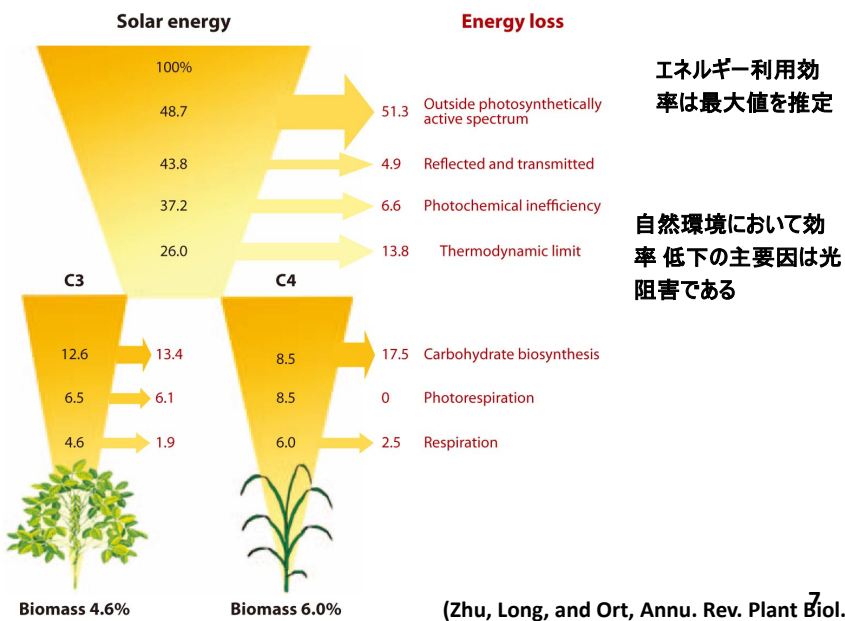


図 6.2 地球上の炭素循環
リザーバー(蓄積場所・蓄積形態とその量、図中の囲み)とフロー(リザーバー間の移動形態とその速度、図中の矢印)を炭素重量に換算し、標準化して表している(それぞれ単位は 10^9 tC と 10^9 tC/年)。環境省 IPCC 第 5 次評価報告書の概要をもとに作成。

光合成における光エネルギーの利用効率(太陽光の全スペクトル)



6.3 葉の構造

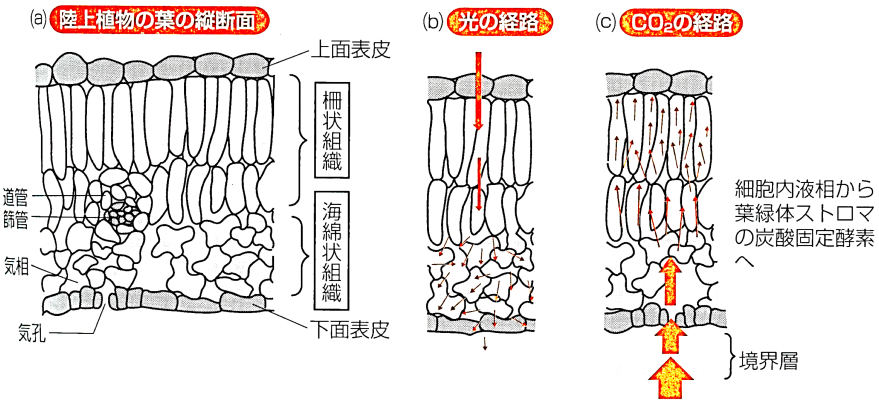
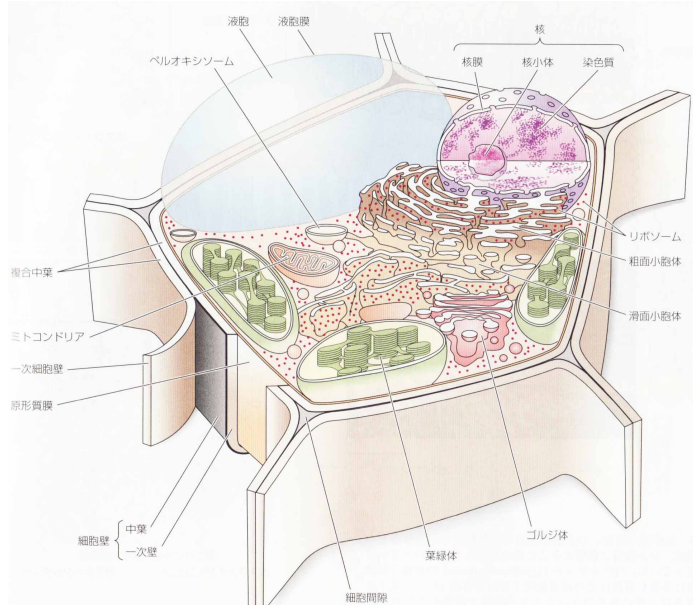


図 6.3 陸上植物の葉の構造

細胞で同化や異化の起こる場所

オルガネラ



6.4 葉緑体の構造

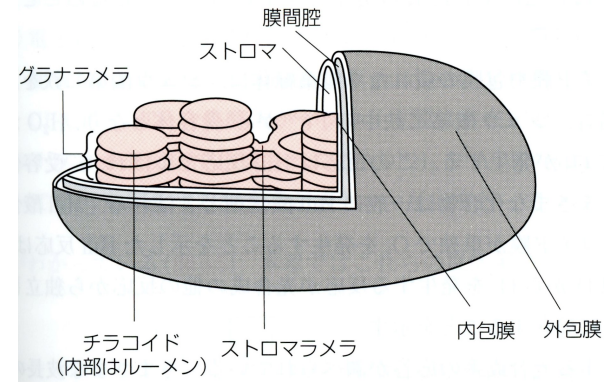
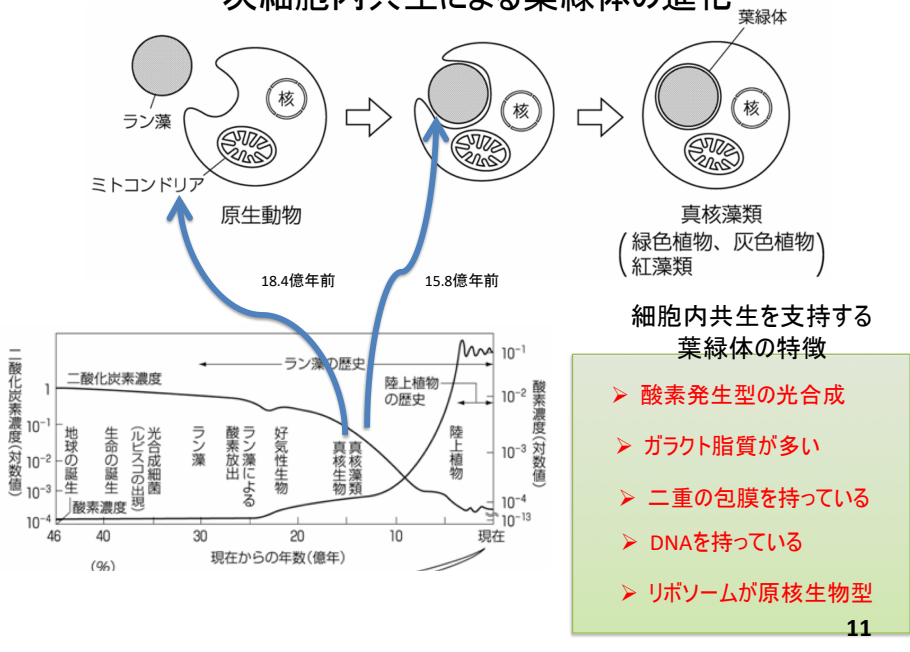


図 6.4 陸上植物の葉緑体

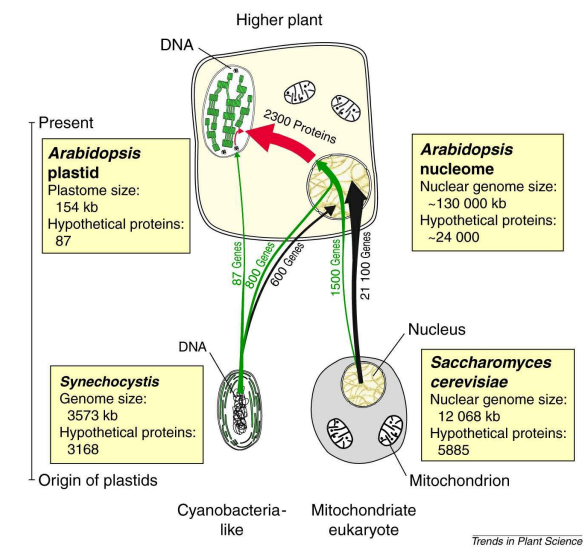
一次細胞内共生による葉緑体の進化



細胞内共生を支持する葉緑体の特徴

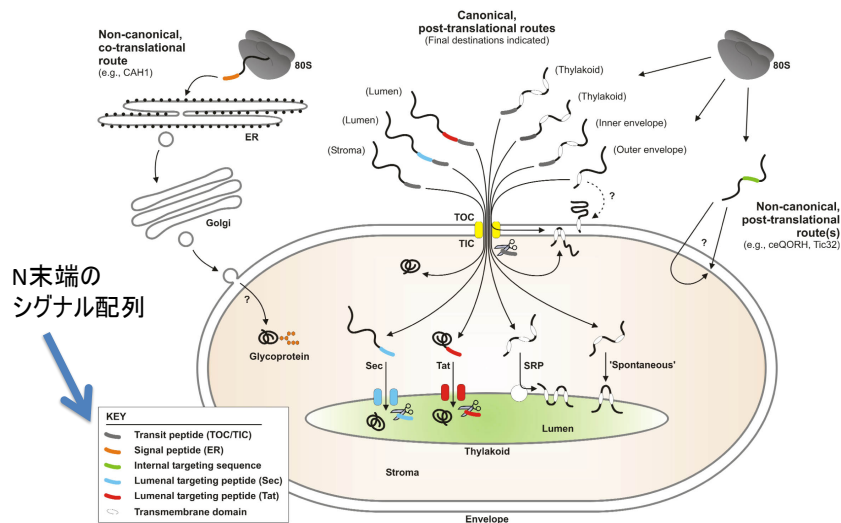
- 酸素発生型の光合成
- ガラクト脂質が多い
- 二重の包膜を持っている
- DNAを持っている
- リボソームが原核生物型

細胞内共生により生じたオルガネラの宿命は？(その1)



宿主であった細胞の核に支配されるようになって多様な機能を獲得するようになった

細胞内共生により生じたオルガネラの宿命は？(その2)



葉緑体(ミトコンドリア)を作るためには核遺伝子にコードされた様々なタンパク質が細胞質で合成され葉緑体(ミトコンドリア)へと輸送される

重要なこと:

緑のままの光合成細菌から進化した葉緑体は、プラスチドとなって様々な形に変化する



ピーマンの実→クロモプラスト
(有色体)

オオカナダモ→クロロプラスト
(葉緑体)

ジャガイモの塊茎→アミロプラスト
(デンプン体)

プラスチドはいろいろ

6.5 光合成の概要

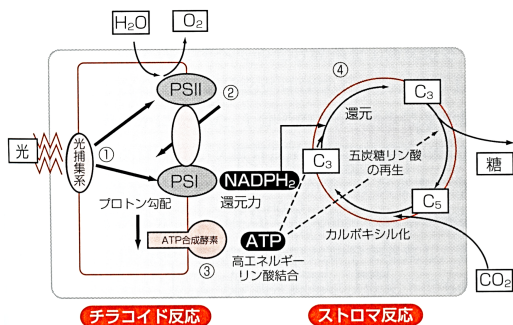
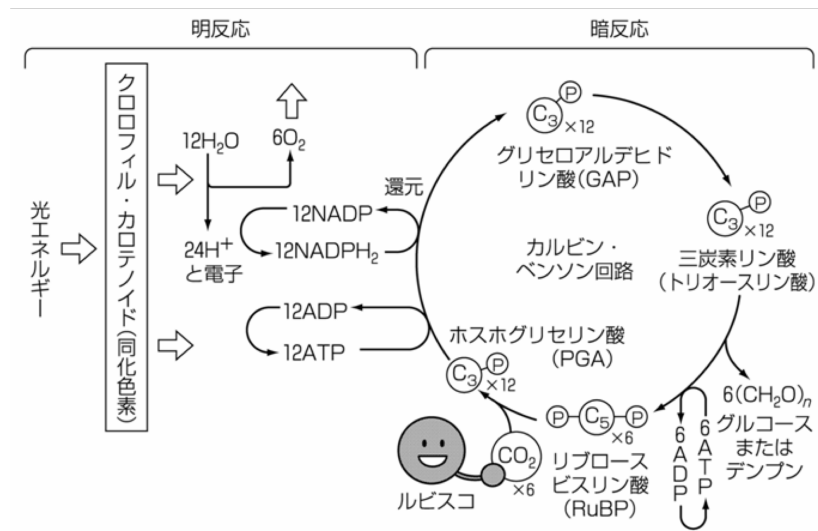


図 6.5 光合成系
光合成には① 光捕集系, ② 電子伝達系, ③ ATP 合成系, ④ CO₂固定系がある。①~③ はチラコイド反応, ④ はストロマ反応とよばれる。

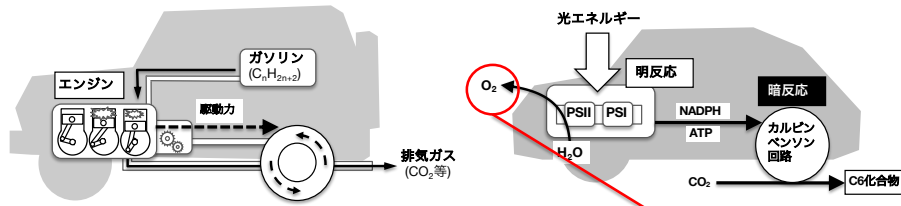
光合成のチラコイド反応(明反応)とストロマ反応(暗反応)



光合成を車に例えると...

ガソリン車

光合成



発生する酸素はどこから来ているかを理解しよう！！

6.6 光捕集

光を捉える色素がタンパク質と結合して集光アンテナを作る

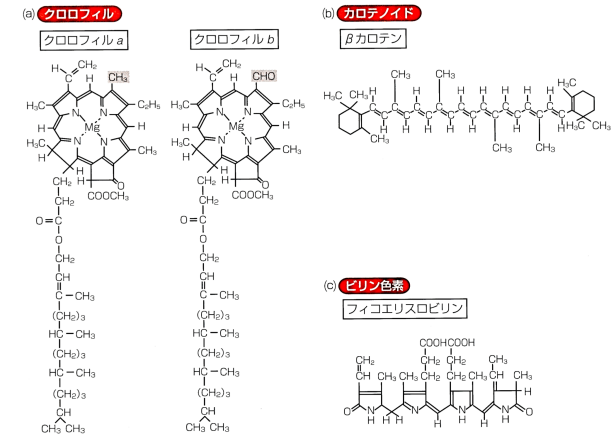
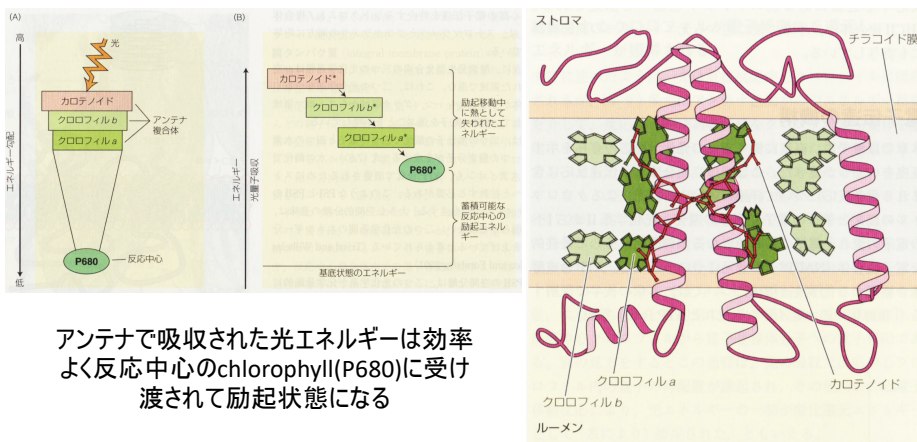


図 6.6 光合成に関連する色素分子
 (a) クロロフィルはピロールが4つ組み合わさったポルフィリン環の中心に Mg が配位した色素で、側鎖として長い炭化水素鎖をもち、脂溶性で、チラコイド膜に固定されやすくなっている。ポルフィリン環の側鎖の違いにより区別されるクロロフィル a やクロロフィル b などのいくつかのクロロフィル分子が存在する。(b) 複数の共役二重結合をもつ直鎖状の炭化水素であるカロテノイドには、光合成の光捕集に利用されるβカロテンやキサントフィル(xanthophylls)などがある。(c) 開環構造のテトラピロールであるビリジン色素は、シアノバクテリアや紅藻で光捕集に使われる。

クロロフィルはアンテナタンパク質(LHC)と複合体を作り、チラコイド膜に結合している



アンテナで吸収された光エネルギーは効率よく反応中心のchlorophyll(P680)に受け渡されて励起状態になる

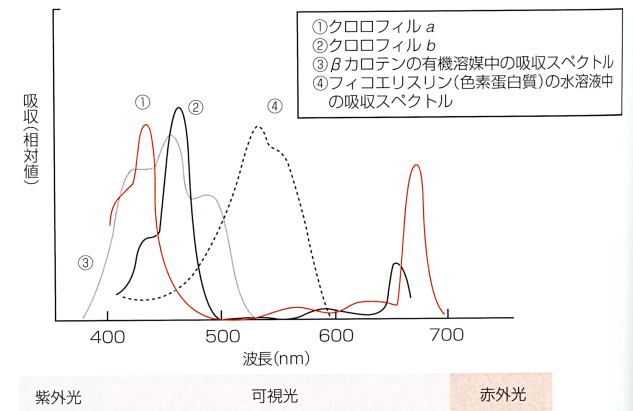
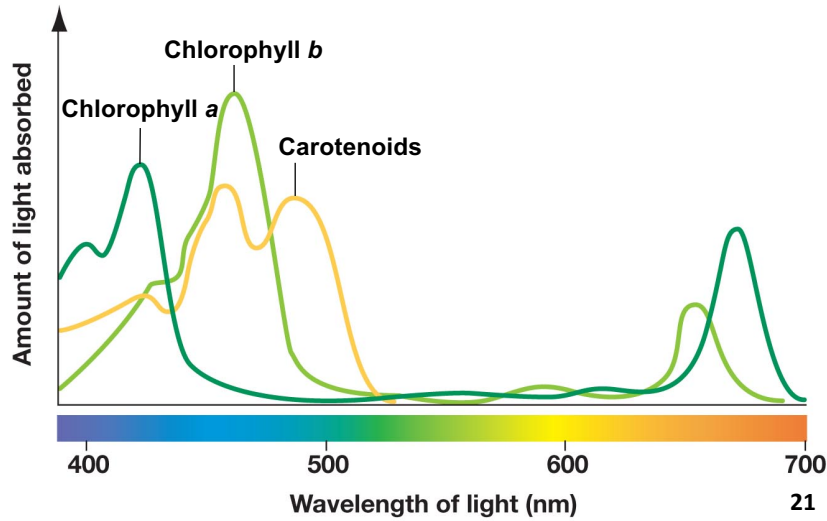


図 6.7 色素の吸収スペクトル
 補助色素はクロロフィルとは異なる吸収スペクトルをもち、光捕集の効率を高めている。

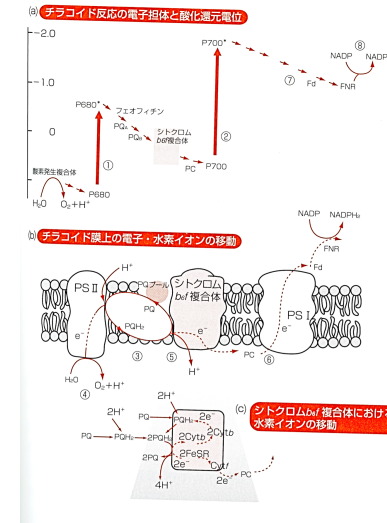
光合成に最も効率よく使われる光は青と赤の波長である

(a) Different pigments absorb different wavelengths of light.



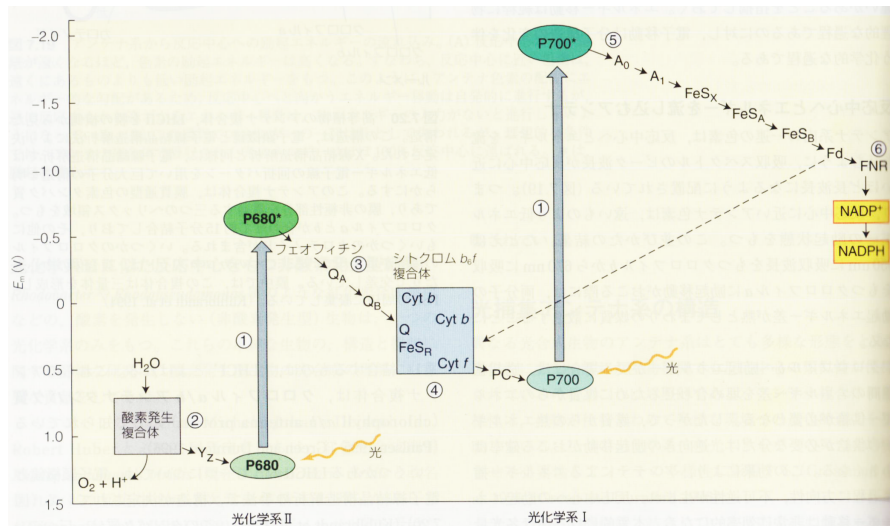
6.7 2つの光化学系と光電子伝達

6.8 ATPの合成

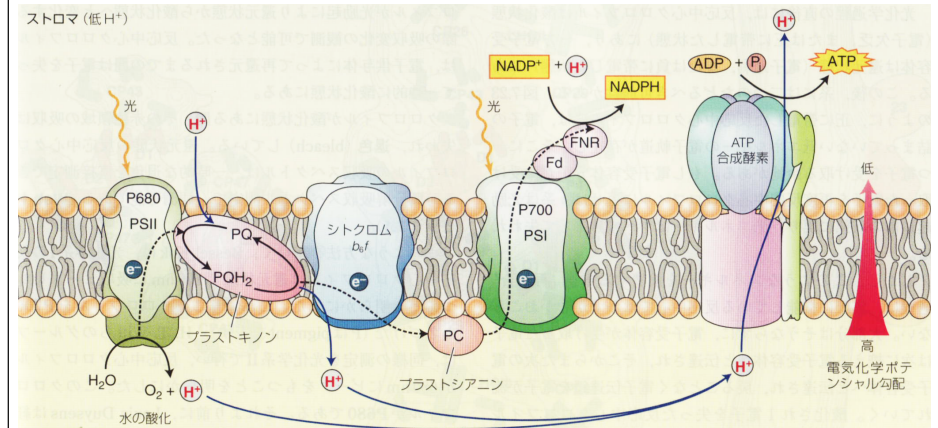


22

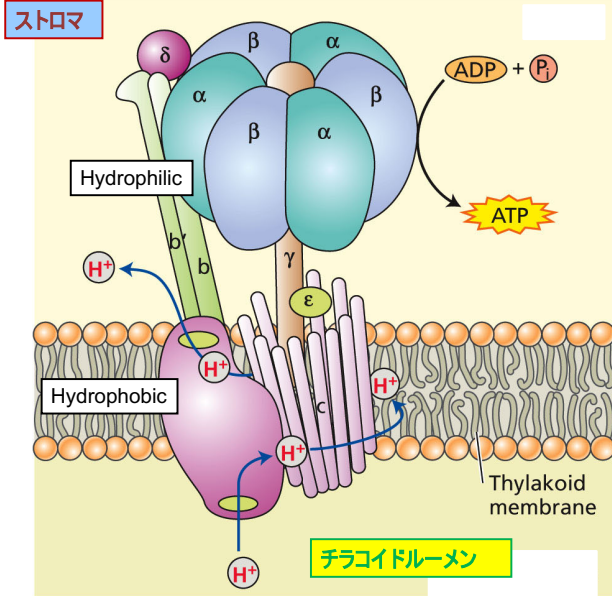
酸素発生型光合成の電子伝達はZ型の直線的でZスキームと呼ばれる



電子伝達によりプロトン勾配が形成されNADPHが合成される



ATP合成酵素はストロマチラコイドで働く

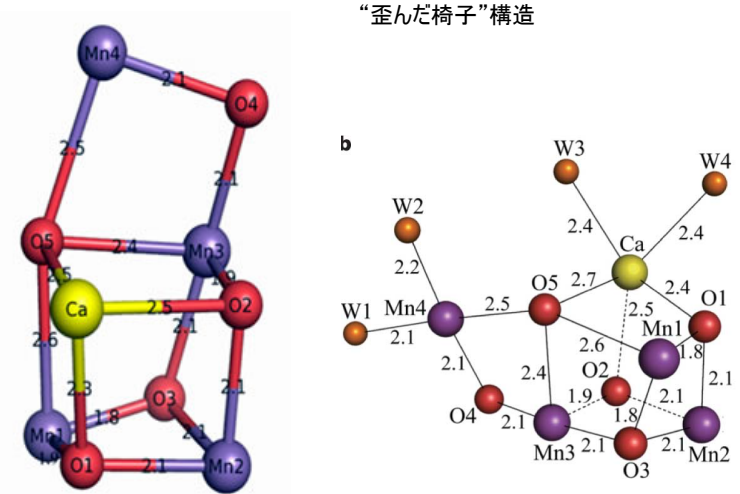


膜間で形成されたイオン勾配 (プロトン勾配) を化学ポテンシャルとして、ATPを合成する (化学浸透説)

チラコイド膜のATP合成酵素は光合成電子伝達で形成されるプロトン勾配を駆動力としてATPを合成する (光エネルギーが化学エネルギーへと変換される)

ATP合成酵素は電子を駆動力にしたモーター

水分子を分解するマンガンクラスター (Mn4CaO5)



水分子の配置まで明らかにできる高解像解析により水分解の触媒装置が明らかになった

6.9 ストロマ反応

6.10 CO₂環境の変化とRuBisCOの特性

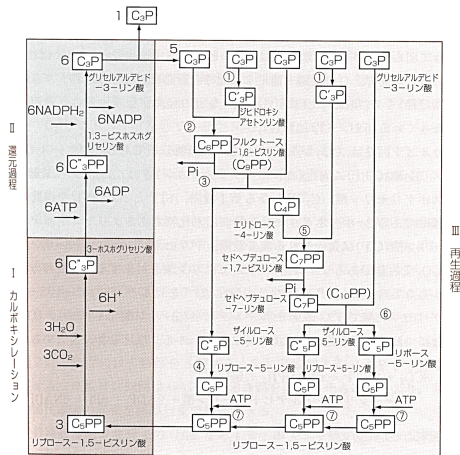
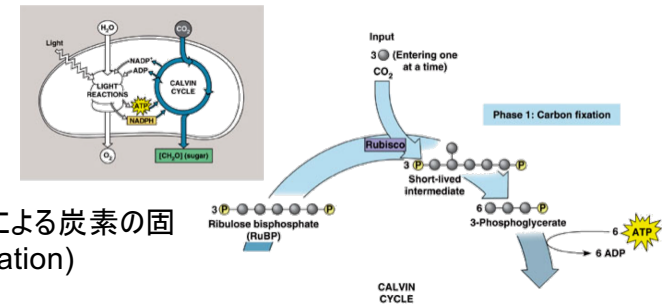
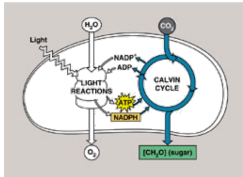


図6.9 ストロマ反応(カルビン回路)
カルビン回路は、I: カルボキシレーション、II: 還元過程、III: 再生過程の3段階からなる。IIIでは5分子のC₃Pのうち、① 2分子は異性化されてC₃Pを、② C₃PとC₃PはC₃PPを、③ これが脱リン酸化されたC₃PとC₃PはC₃PとC₃Pを生じる。④ C₃Pは異性化されてリブローズ-5-リン酸(C₅P)となる。一方、⑤ C₃PとC₃PはC₃PPを生じ、⑥ これが脱リン酸化されたC₃PとC₃PとからC₃PPとC₃PPを生成する。これら2種も異性化されてC₃Pとなる。⑦ C₃Pはリン酸化してC₃PPとなる。

カルビンベンソン回路には3つのステップがある



- #1 - ルビスコによる炭素の固定 (Carbon fixation)
- CO₂ が5炭糖 (5-C)に取り込まれる
- 5-C = ribulose bisphosphate (RuBP) - enzyme: Rubisco
- 6-C は不安定であるため速やかに2分子の3炭糖 (3-ホスホグリセリン酸)になる

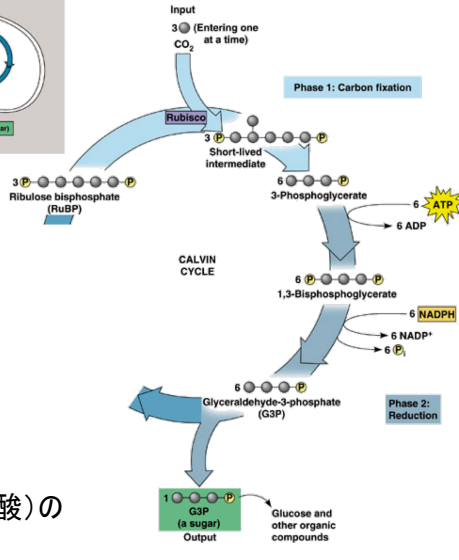


• #2 – 還元的反応

• 3-C の還元

• ATPとNADPHが利用される

• G3P (グリセルアルデヒド-3-リン酸) の生成



• #3 – C受容体の再生

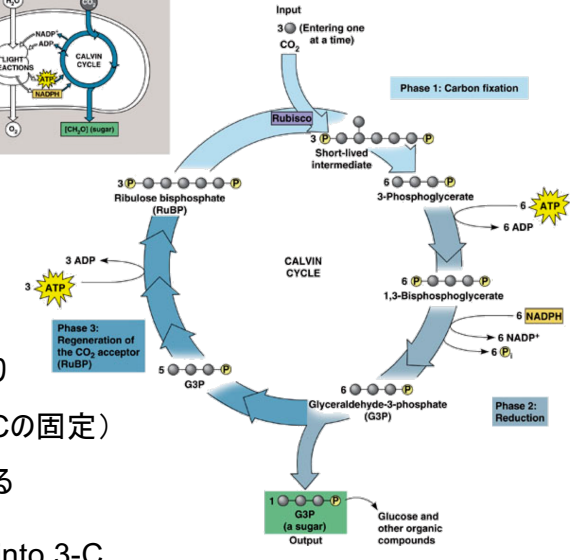
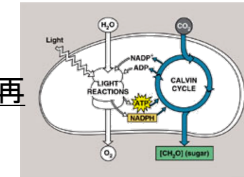
• 多段階反応を経て
5 G3P → 3 RuBPが生成される

回路が1回まわることにより

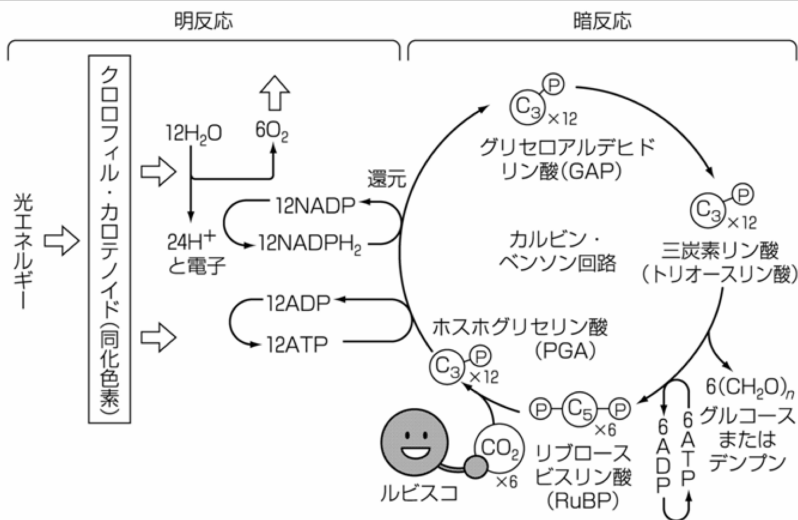
G3P 1分子が合成され (Cの固定)

RuBP 3分子が再生される

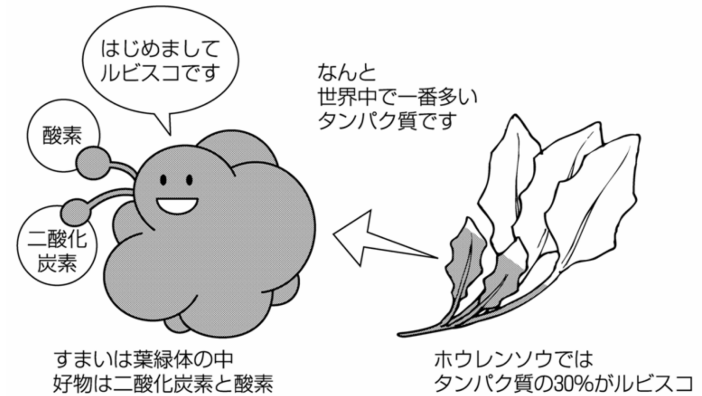
• C₃植物 → CO₂ fixed into 3-C



光合成のチラコイド反応 (明反応) とストロマ反応 (暗反応)



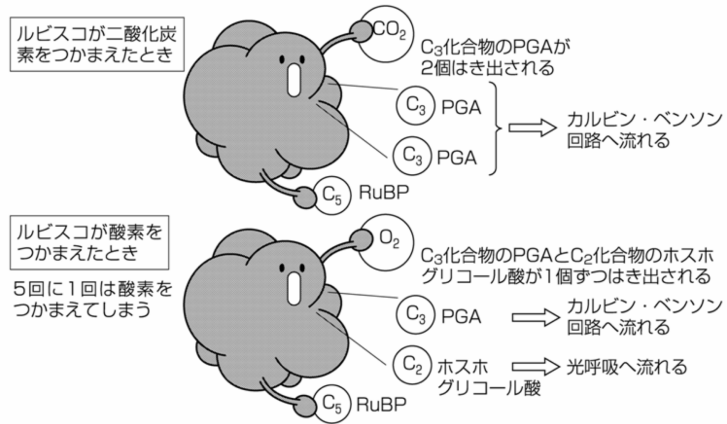
地球上に最もたくさん存在する酵素ルビスコ



ルビスコは地球上で最も効率の悪い酵素 → そのためにたくさん作る必要がある

→ 二酸化炭素だけでなく酸素も基質にしてしまう

ルビスコが二酸化炭素または酸素をつかまえると...



6.11 光呼吸

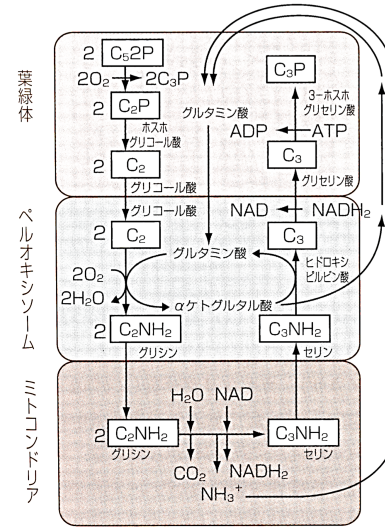


図 6.10 C₂ 回路

葉緑体ストロマで生じたホスホグリコール酸(C₂P)は脱リン酸化され、グリコール酸(C₂)となる。グリコール酸はペルオキシソームへ運ばれ、オキシダーゼにより酸化されてグリオキシル酸と過酸化水素を生じる。生じた過酸化水素はカタラーゼにより H₂O と O₂ になる。一方、グリオキシル酸はトランスアミラーゼにより、グルタミン酸からアミノ基を転移されて、グリシン(C₂NH₂)となり、ミトコンドリアへ運ばれる。ミトコンドリアでは2分子のグリシンと NAD⁺ から1分子のセリン(C₃NH₂)と CO₂、NADH₂、NH₃⁺が生ずる。生じたセリンは再びペルオキシソームへ戻り、トランスアミラーゼによりアミノ基が転移され、ヒドロキシビリン酸が生じ、さらに、NADH₂により還元されてグリセリン酸(C₃)が生じる。グリセリン酸は葉緑体へ運ばれてリン酸化され3-ホスホグリセリン酸(C₃P)となり、再びストロマ反応で利用される。

6.12 C₄炭素回路

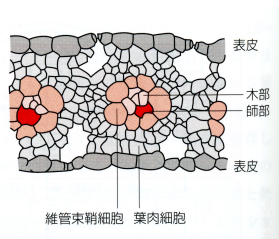


図 6.11 クランツ構造
 C₄ 植物の葉の構造(図 6.3)とは大きく異なる。

サトウキビやトウモロコシを調べてみると、最初にCO₂が取り込まれるのがカルビン回路ではなくリンゴ酸などのC₄化合物であることがわかった

クランツ構造を持った植物では、ルビスコの効率を上げるために、葉の中でCO₂を濃縮するC₄回路が働いている。

CO₂を濃縮できると、ガス交換の影響を抑えることができるので、強光に強く、乾燥にも強くなる。

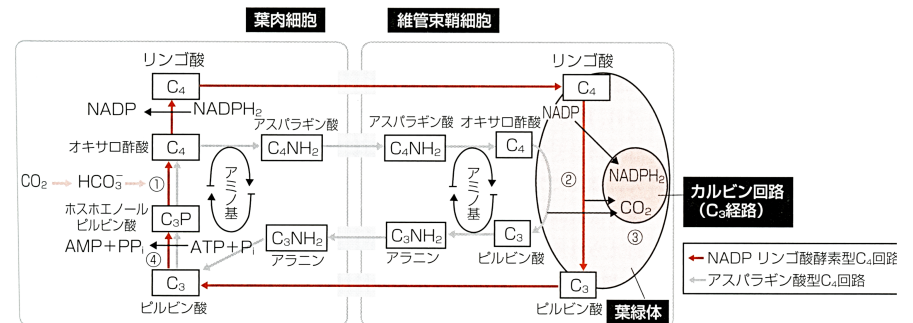
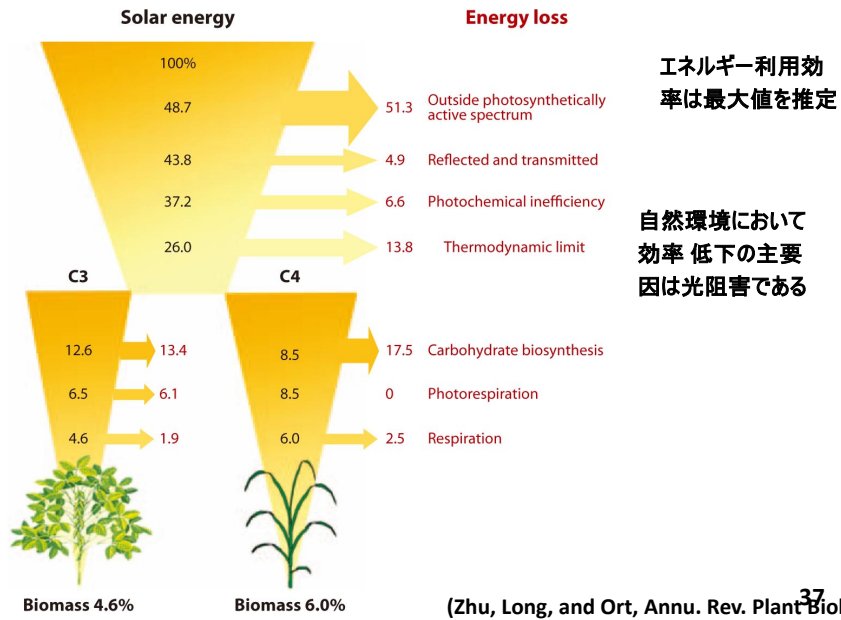


図 6.12 NADP リンゴ酸酵素型 C₄ 回路とアスパラギン酸型 C₄ 回路

カルビン回路 (C₃経路)

← NADP リンゴ酸酵素型 C₄ 回路
 → アスパラギン酸型 C₄ 回路

光合成における光エネルギーの利用効率(太陽光の全スペクトル)



6.13 CAM植物

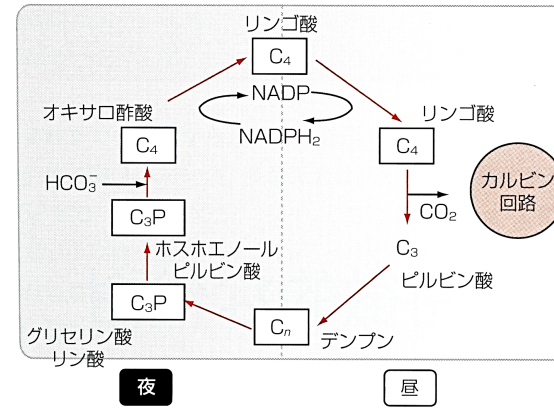


図 6.13 CAM 光合成

練習問題

- 1 高等植物の光合成では、2つの光化学系が直列に並んで反応することが知られている。それを明らかにした実験的根拠をまとめなさい。
- 2 光合成は、いまだ進化の途上にある反応系と考えられている。陸上植物の行う光合成系が、陸上環境に十分に適応できていない点はどのようなものかをまとめなさい。
- 3 ミトコンドリアでATPを合成する酸化的リン酸化の過程と、葉緑体でATPを合成する光リン酸化の過程とを比較して、共通する点と異なる点をまとめなさい。