

講義の内容 (Contents)

1. ストレス環境の生起 (Occurrence of stress)
2. 植物の水分生理 (Plant water relations)
3. 水分動態 (Water Dynamics)
4. 活性酸素 (Reactive oxygen)
5. 乾燥 (Drought)
6. 高温・低温 (Heat, Chilling)
7. 塩類集積・栄養ストレス (Salinity, nutrition)
8. 湛水 (Waterlogging)
9. 環境ストレスの相互作用 (Interaction)

4. 活性酸素

- ・「活性酸素」： 老化促進？ 発ガン性？？？

植物にも活性酸素があるか？！

環境ストレス： 植物では
水・光・熱・塩……
↓ ↓ ↓ ↓

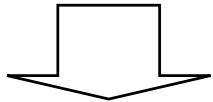
活性酸素(酸化ストレス)

⇒植物体内の生理的な変化・害作用・枯死
(強光・高温・除草剤・大気汚染……)

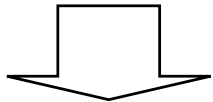
4. 活性酸素

酸素は毒か？ 役には立つが危険な物質

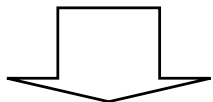
原始地球には酸素はほとんどなかった
酸素を利用しないでエネルギーを取り出す生物
酸素があると生きられない生物＝嫌気性細菌 の世界
(破傷風菌など)



藍藻などによる酸素の大量発生



障害を回避するシステムを持つ生物だけが
酸素利用(効率よくエネルギーを取り出す)能力を獲得



多細胞生物の爆発的増加

4. 活性酸素

酸化ストレスを回避するメカニズム

抗酸化酵素 スーパーオキシドジスムターゼ(SOD)

抗酸化物質 グルタチオン (GSH)

活性酸素とは？

どのようにして生じるのか？

なんのために生じるのか？

4. 活性酸素

活性酸素 (Reactive oxygen)

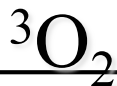
定義：著しく化学反応をおこしやすい酸素

活性酸素の種類

1. スーパーオキシドアニオンラジカル (Super oxide anion radical) O_2^-
2. ヒドロキシルラジカル (Hydroxyl radical) $\cdot OH$
3. 過酸化水素 (Hydrogen peroxide) H_2O_2
4. 一重項酸素 (Singlet oxygen) 1O_2

1・2はフリーラジカル

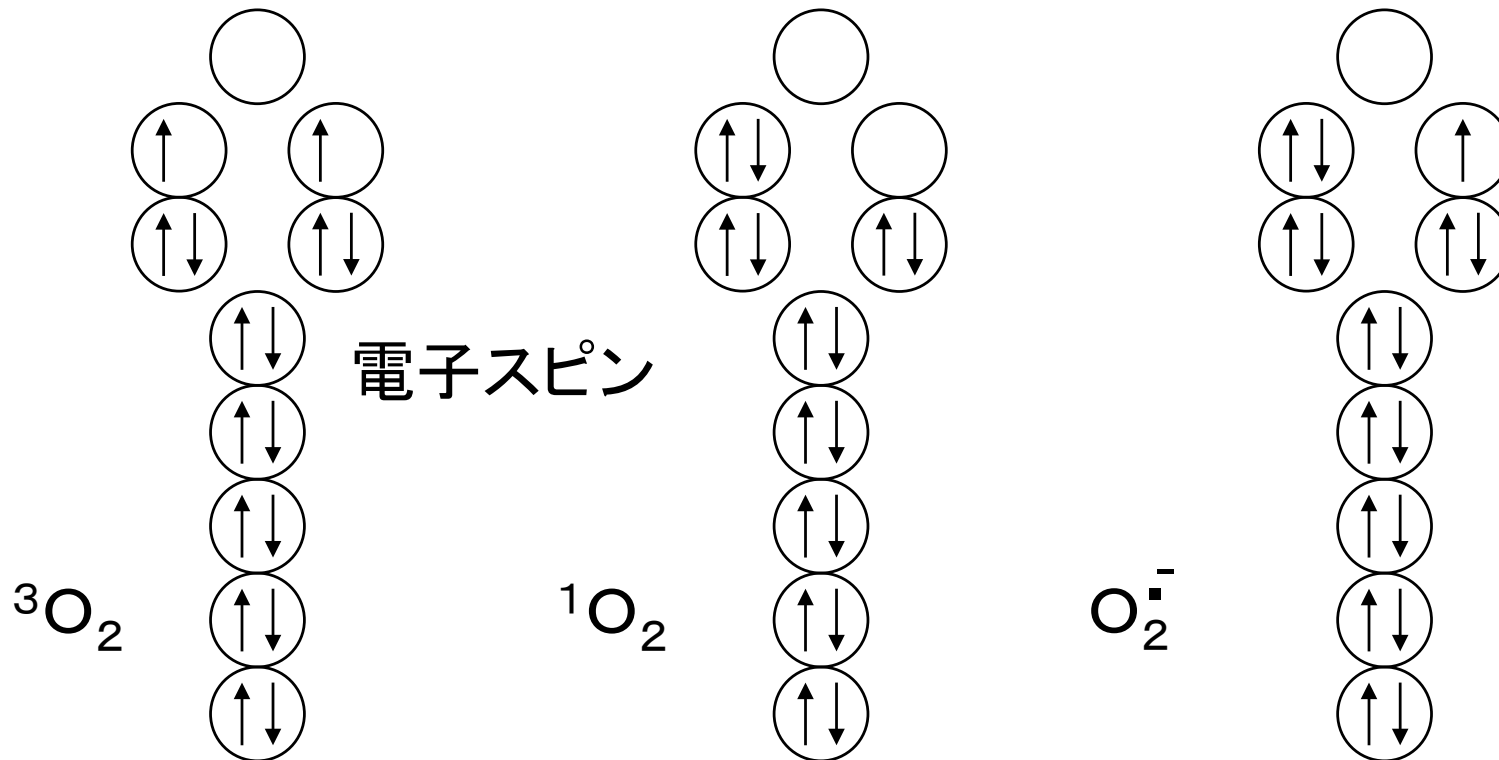
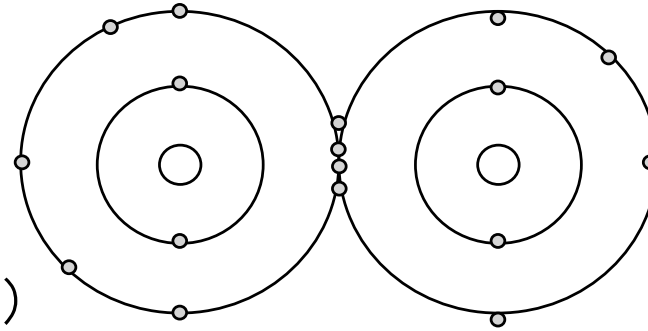
通常の酸素分子は三重項酸素 (Triplet oxygen)



4. 活性酸素

酸素 O_2

酸素はフリーラジカル
(不対電子が2つあるのでビラジカル)



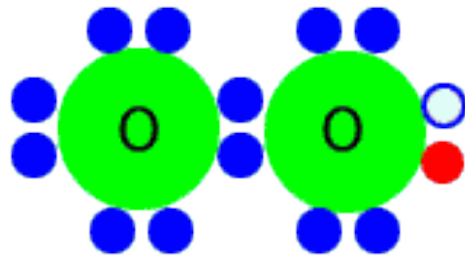
三重項酸素

一重項酸素

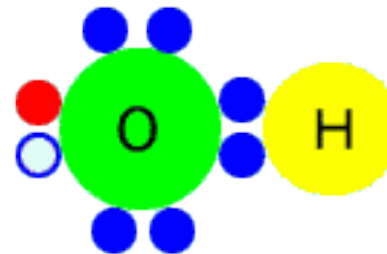
スーパーオキソアニオンラジカル

4. 活性酸素

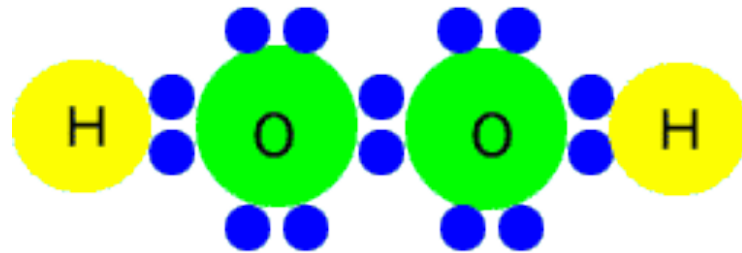
スーパーオキシド



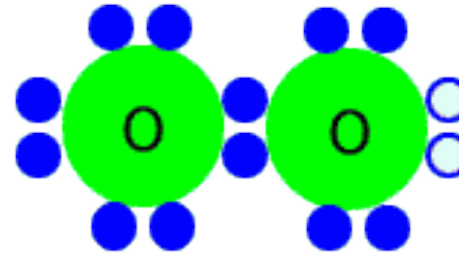
ヒドロキシルラジカル



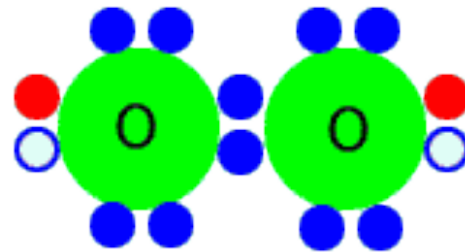
過酸化水素



一重項酸素



酸素分子



酸素原子核

● 電子

● 不対電子



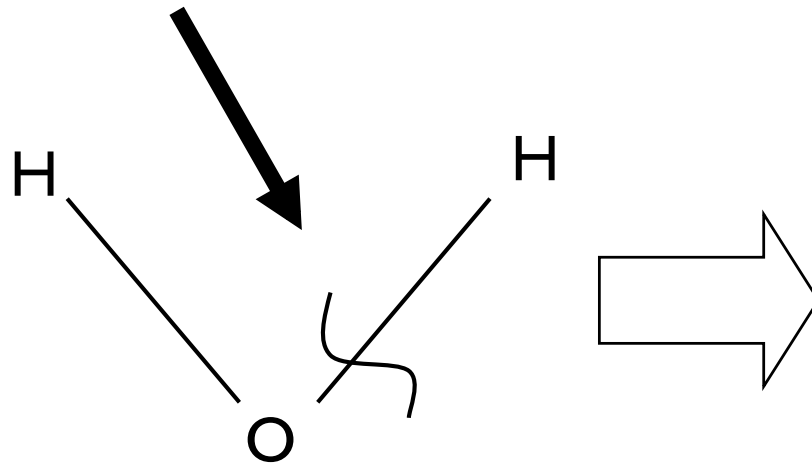
水素原子核

○ 空の軌道

4. 活性酸素

活性酸素はどうすれば発生するか

光(放射線)



H· プロトン(=水素原子)

OH· 活性酸素
ヒドロキシラジカル

加熱したくらいでは切断できない

不対電子

フリーラジカル(=遊離基)

4. 活性酸素

活性酸素 (Reactive oxygen) の発生

水への放射線 (Radioactive ray) 照射

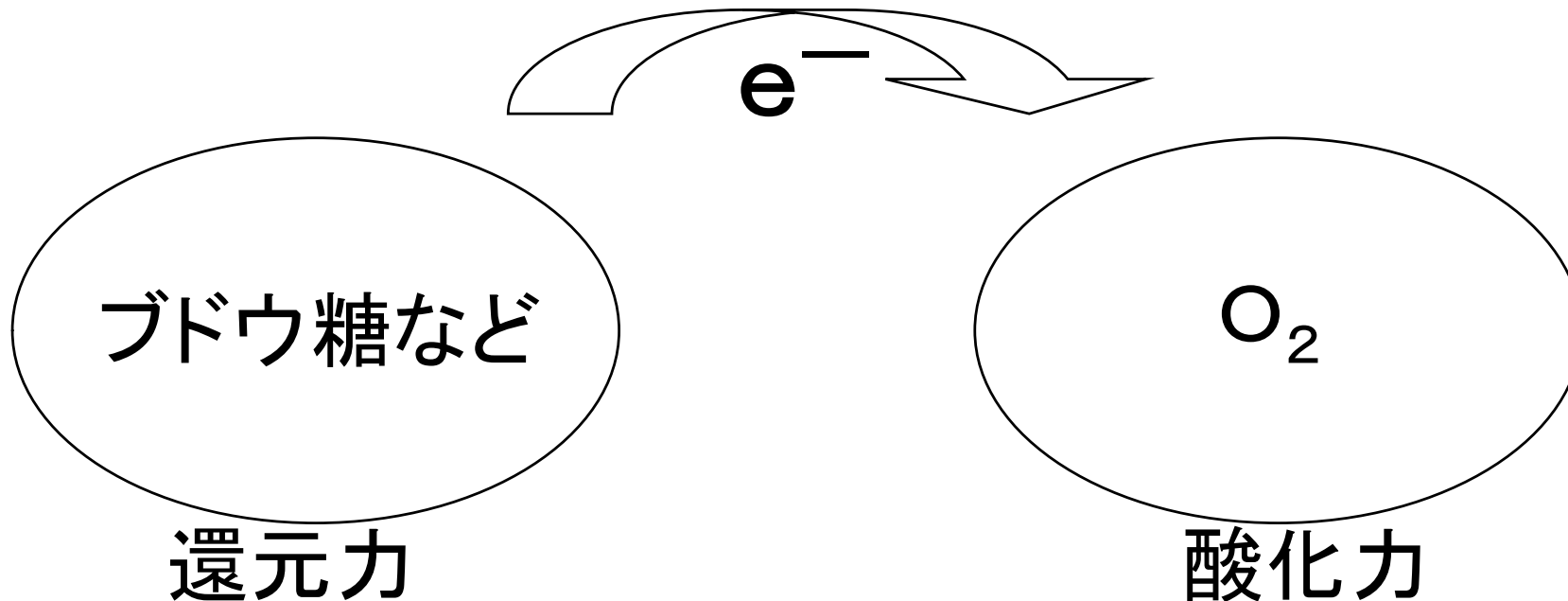
- 水分子の分解 $\text{OH}\cdot$
ヒドロキシルラディカル + 水素原子
- 電子の放出
酸素分子 + 電子 → スーパーオキシド
 $\text{O}_2^{\cdot-}$
- スーパーオキシド同士の反応
過酸化水素の生成 H_2O_2

色素の存在下での光の照射

- 一重項酸素の生成 $^1\text{O}_2$

4. 活性酸素

動植物共通の活性酸素発生機構



ブドウ糖を順次酸化してエネルギーを引き出す
ミトコンドリアの電子伝達系

強い酸化力を持つ「活性酸素」が電子の受け渡し

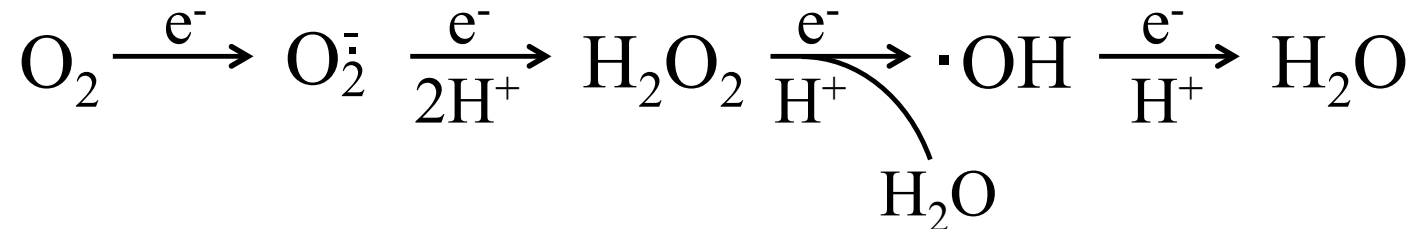
4. 活性酸素

活性酸素 (Reactive oxygen) 発生の場合

ミトコンドリア (好気呼吸、Aerobic respiration)

電子伝達の最終段階

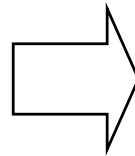
チトクローム酸化酵素による酸素へ電子の
伝達



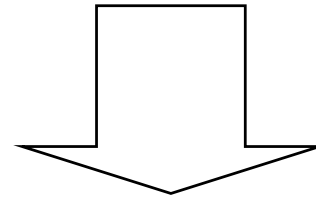
4つの電子を受容する過程で、スーパーオキシド・過酸化水素・ヒドロキシルラディカルが順に生成

4. 活性酸素

激しい運動
暴食・暴飲
…
高温・強光
…

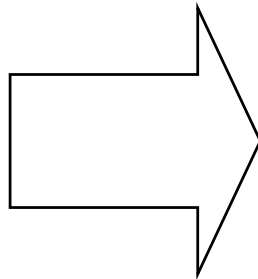


盛んな呼吸
活性酸素発生



酸化ストレス

激しい酸化力で細胞膜や酵素タンパクを損傷する
(白血球が細菌を殺すのにも活性酸素が関わる)



疲労
老化
…枯死

4. 活性酸素

植物体内における

活性酸素 (Reactive oxygen) 発生の場合

クロロプラスト (Chloroplast、光合成)

光化学系Ⅱの光阻害

励起した活性本体 (P680) による一重項酸素生成

光化学系Ⅰにおける活性酸素発生

PSⅠ電子受容体 (Ferredoxin) によるスーパーオキシドの発生

過剰な光 → 過度の励起した電子
→ 活性酸素の生成

4. 活性酸素

光合成

明反応系

光エネルギーの吸収
化学エネルギーへの変換

ADP・NADP

暗反応系

CO₂固定
C₃・C₄・CAM

炭水化物

$h\nu$

H₂O

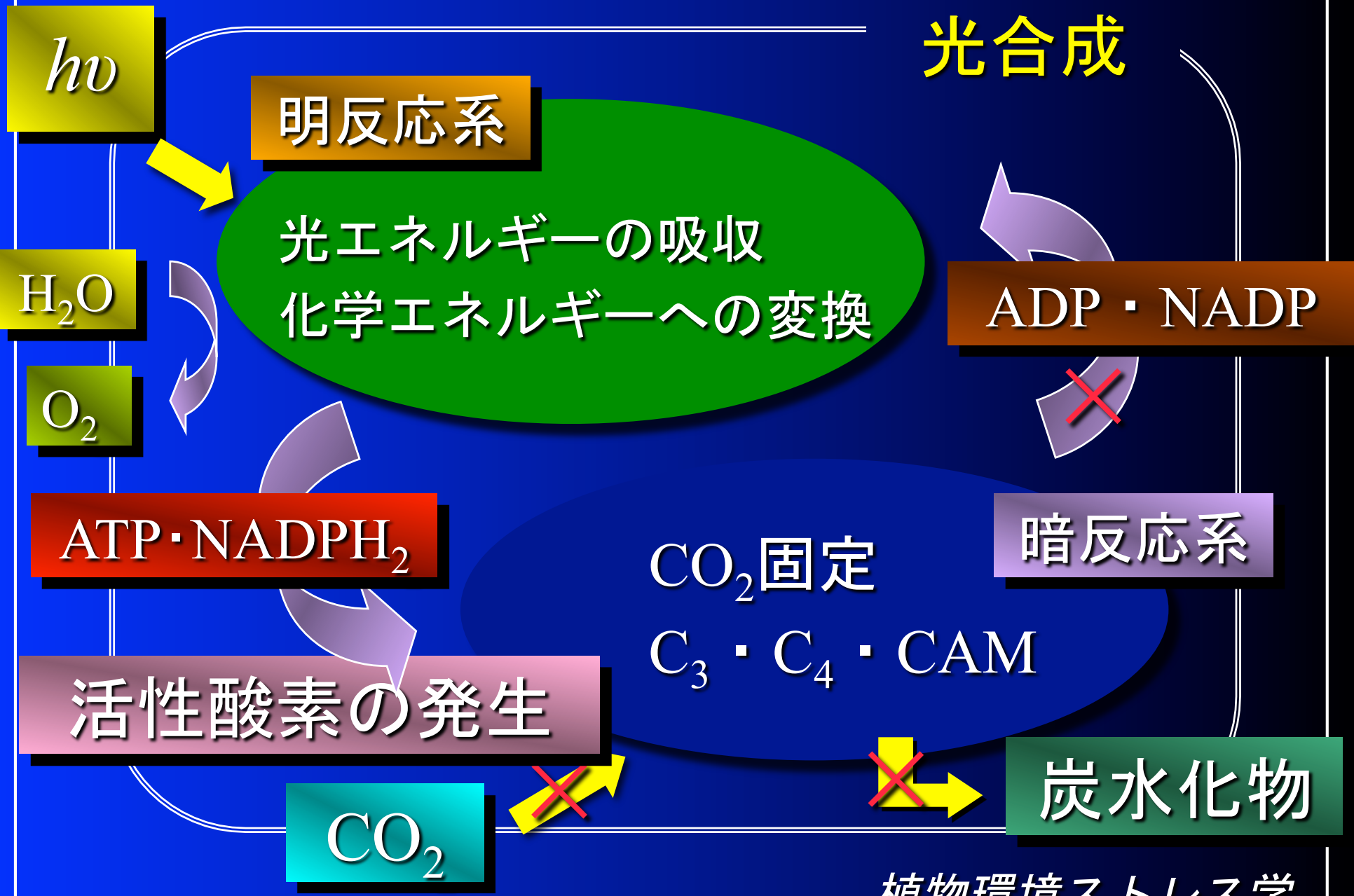
O₂

ATP・NADPH₂

活性酸素の発生

CO₂

植物環境ストレス学



4. Reactive Oxygen

Photosynthesis

Light Reaction

Absorption of Light Energy
Change to Chemical Energy

ADP · NADP

Dark Reaction

ATP · NADPH

CO₂ Fixation
C₃ · C₄ · CAM

Generation of Reactive O₂

Carbohydrate

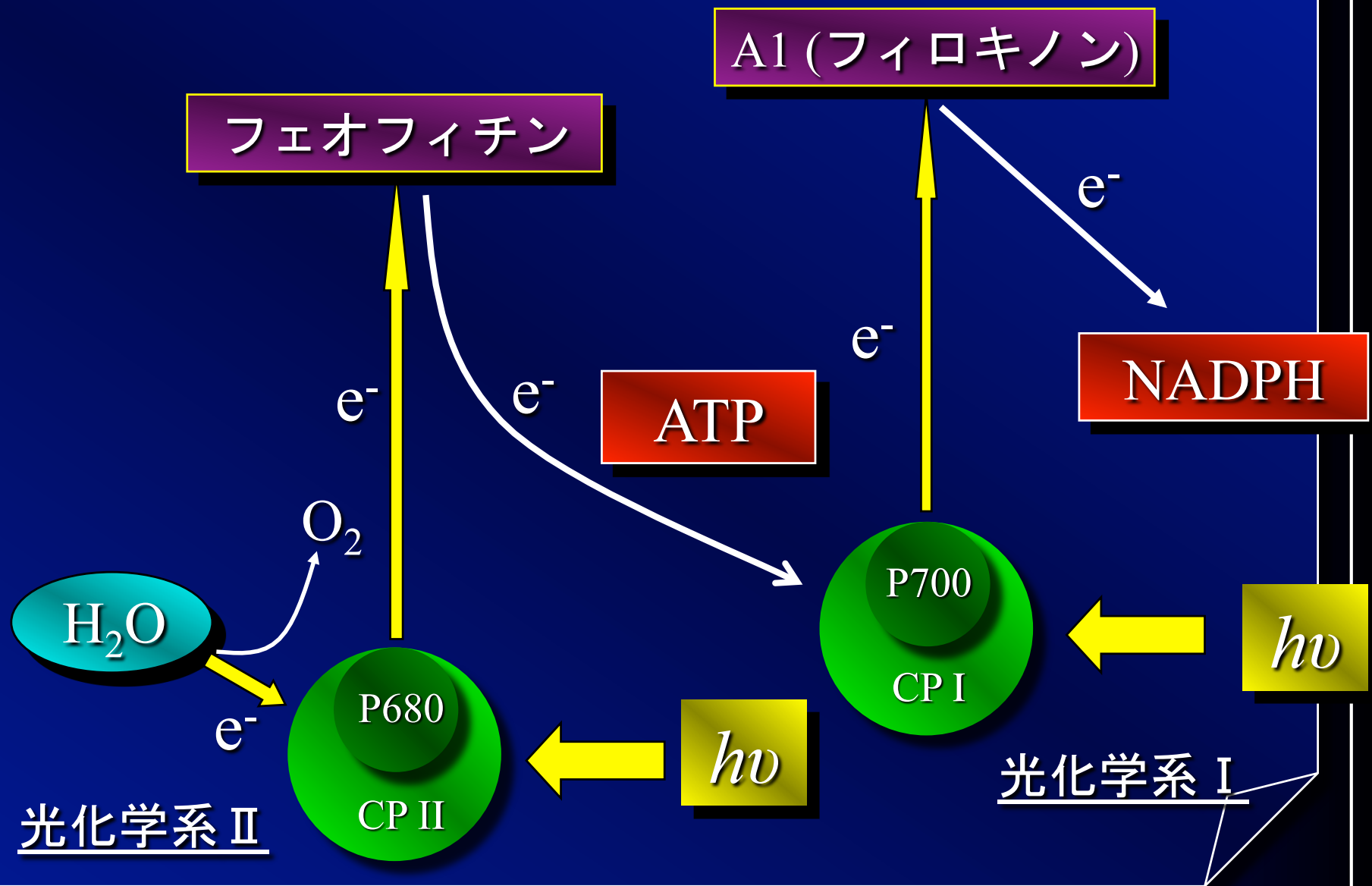
$h\nu$

H₂O

O₂

CO₂

4. 活性酸素



4. 活性酸素

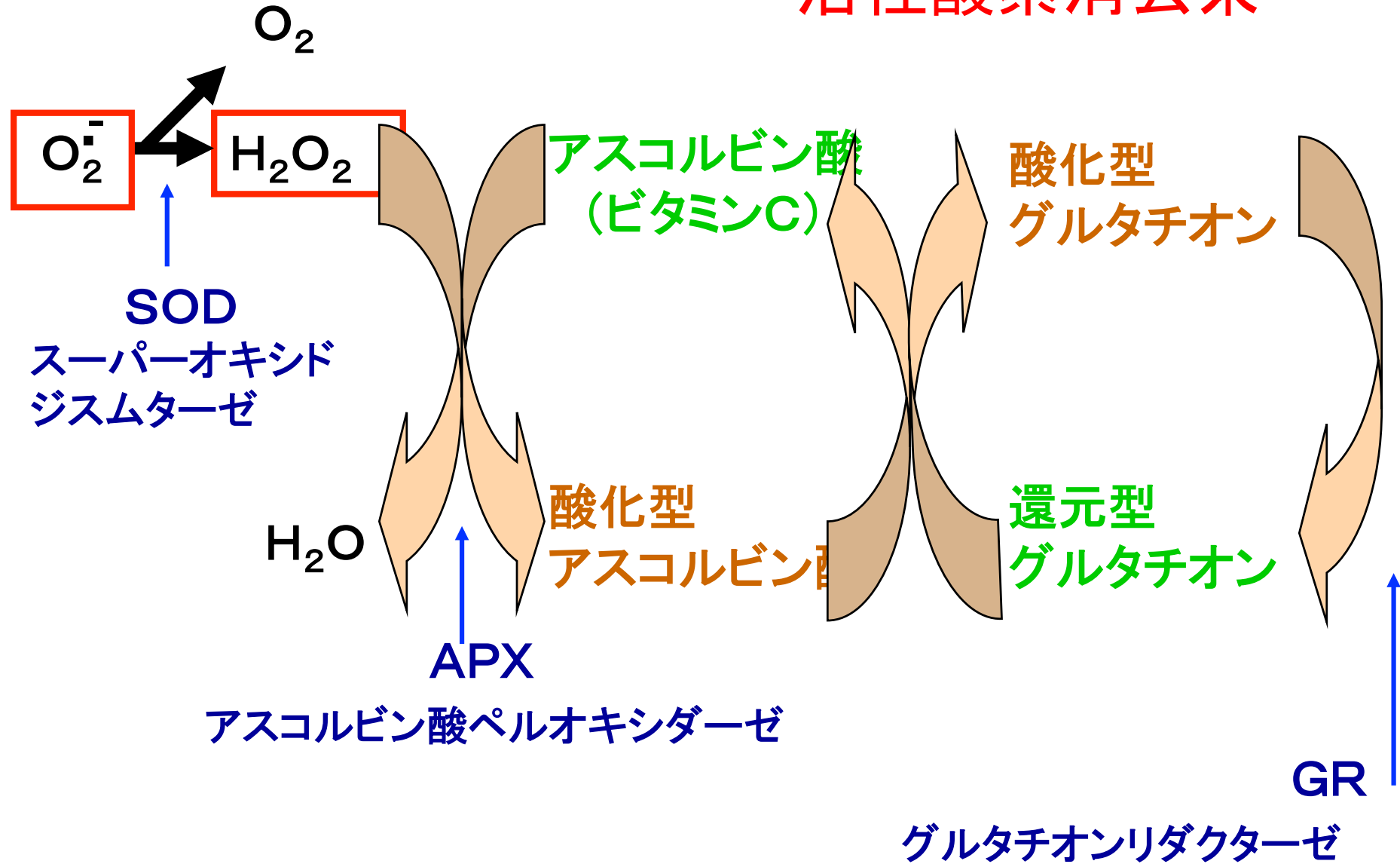
植物の活性酸素は
光と酸素のあるところで発生
特にストレスなく光合成・呼吸をおこなっていても
少しは発生している

高濃度の酸素・強い光環境を利用
or 環境ストレス耐性機構

活性酸素消去系

4. 活性酸素

活性酸素消去系



植物の活性酸素除去機構

Water-water cycle

1. $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 [\text{e}^-] + 4\text{H}^+ + \text{O}_2$
(PS II での水の光酸化による O_2 発生)
2. $2\text{O}_2 + 2 [\text{e}^-] \rightarrow 2 \text{O}_2^-$
(PS I でのスーパーオキシドの発生)
3. $2\text{O}_2^- + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$ (SOD触媒)
4. $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{AsA} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{MDA}$ (APX触媒)
5. $2\text{MDA} + 2 [\text{e}^-] + 2\text{H}^+ \rightarrow 2\text{AsA}$
(酸化型AsAのAsAへの還元)
6. $2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ (1~5の合計)