

# 施肥の原理・原則

肥料とミネラル・微量元素・アミノ酸等を  
再考する

2018 九州地区ゴルフ場用品・コース管理機材展示会  
JGIAミニセミナー  
2018年11月29日

担当： 東洋グリーン(株) 木村

# 肥料は、芝草の「ごはん」か？

今回は、施肥の各論を学ぶ前に知っておいて頂きたい、とても基本的なお話を……。

- 芝に「肥料」をやると、良く伸びる。
  - 人間に「ご飯」をやると、良く育つ。
- では、「肥料＝ご飯」か？

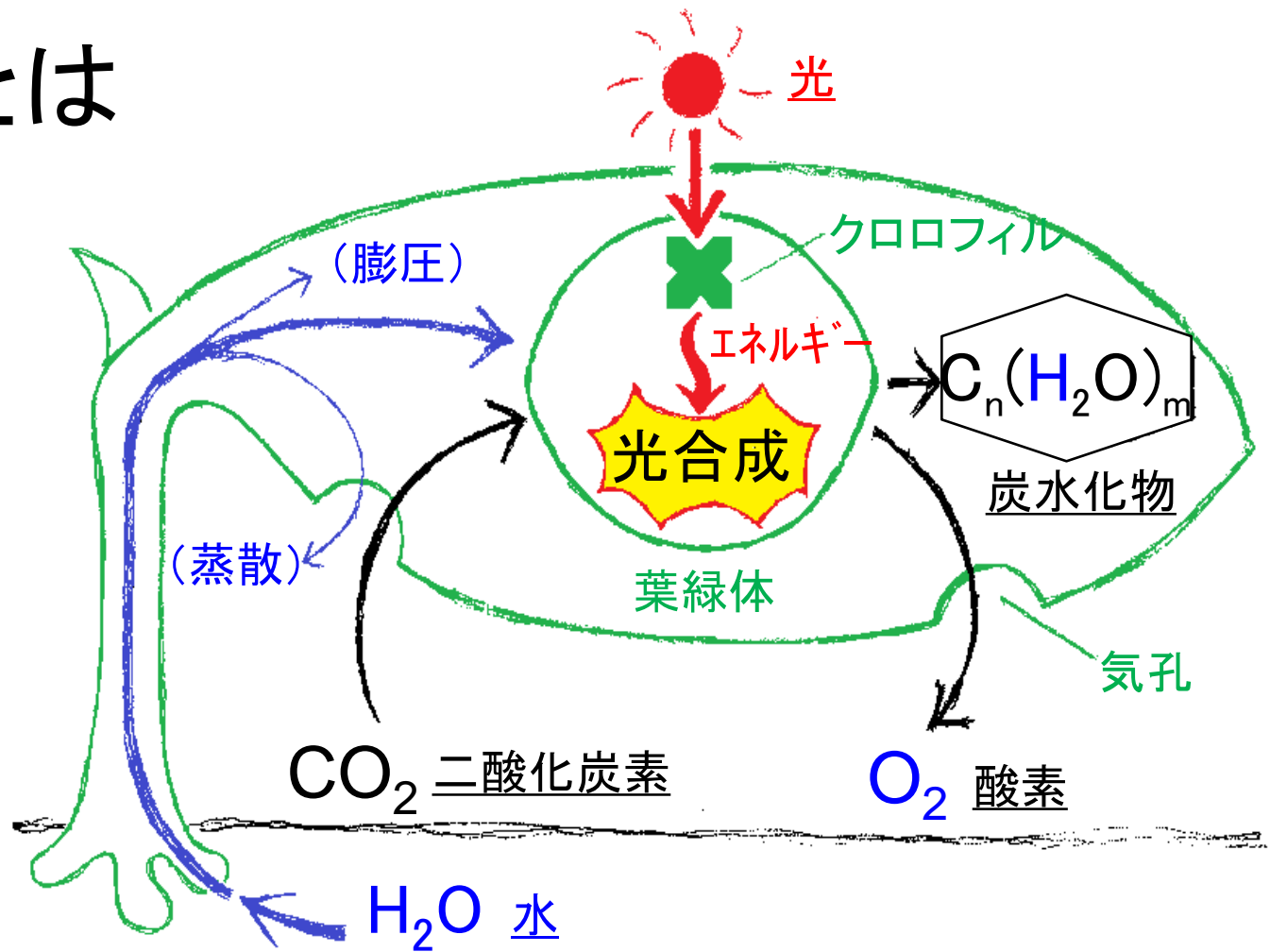


芝草も植物。  
では、植物とは？



- 緑色で光合成を行なう生き物
  - 光合成器官＝葉緑体
  - 光合成色素＝クロロフィル(葉緑素)
  - 光合成による独立栄養

# 光合成とは



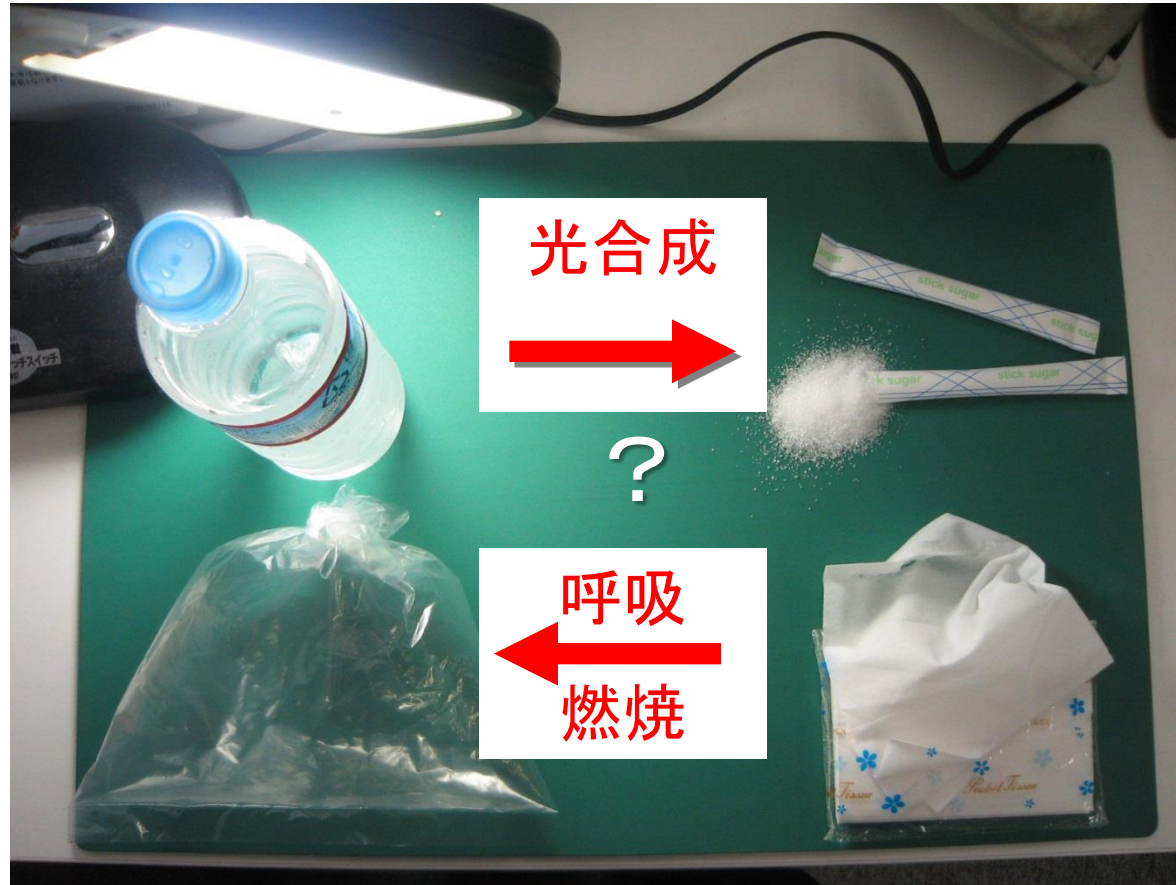
- 気孔から取り込んだ二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>)と
- 根から吸い上げた水 (H<sub>2</sub>O)から、
- 光のエネルギーにより、
- 植物のエネルギーや体のもととなる「炭水化物」(糖・デンプン・セルロースなど C<sub>n</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>m</sub>)を作り出す作用

# 光合成の不思議

光  
(エネルギー)

水

二酸化炭素



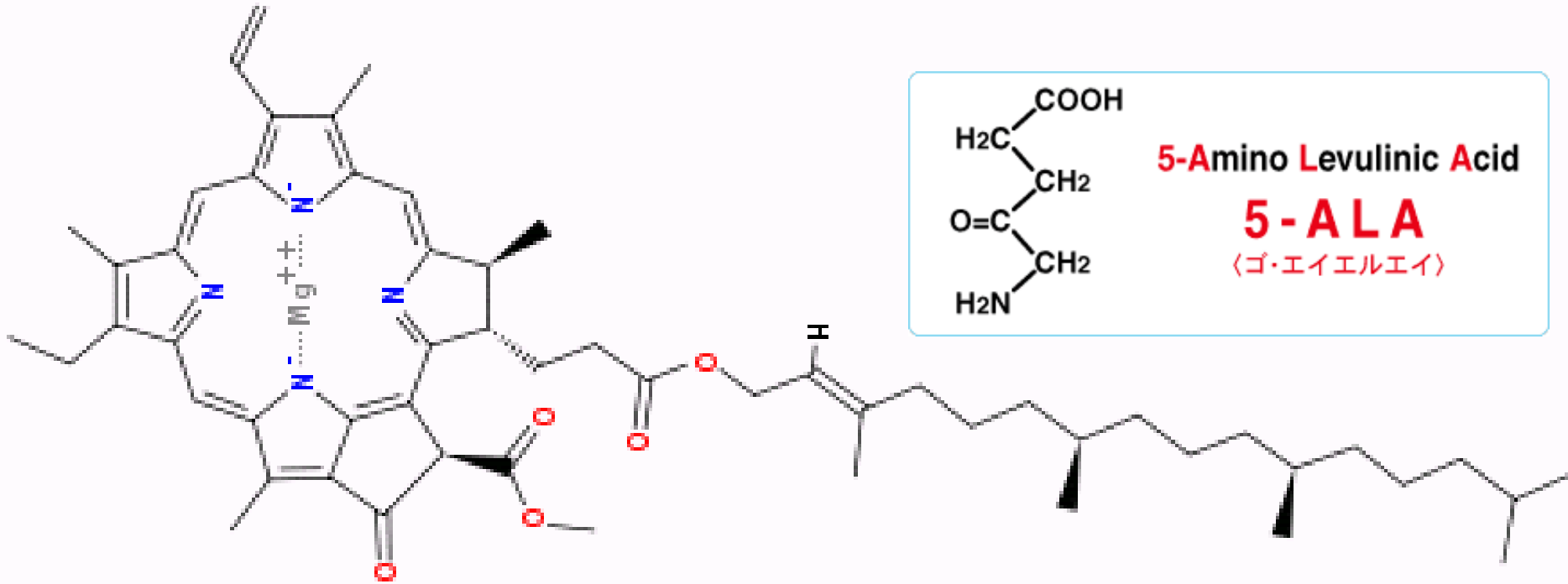
(炭水化物)

糖

セルロース

- 光合成 = 光 + 水 + 二酸化炭素 → 炭水化物 (糖・セルロースなど)
- 生体外でこの反応を起こすのは難しい (高温・高圧など必要)
- なぜ植物は、常温常圧で、ごく弱い光エネルギーでこの反応を起こせるのか？  
= **葉緑素**が光エネルギーを集め、**酵素**が触媒しているから

# 光合成の秘密① クロロフィル(葉緑素)



- 光合成の中心物質
- マグネシウム1個、窒素4個と、大量の炭素・水素・酸素原子から出来ている
- 炭水化物と、アミノ酸の1種(アミノレブリン酸、5-ALA)から合成される
- 光のエネルギーを受け止め、電子の流れに変える
- クロロフィルだけで光合成が出来るわけではない。(クロロフィル水溶液に光を当てると、貯まったエネルギーの過剰で壊れてしまう)
- エネルギーの受け渡しをする物質や、光合成反応を触媒する酵素が必要

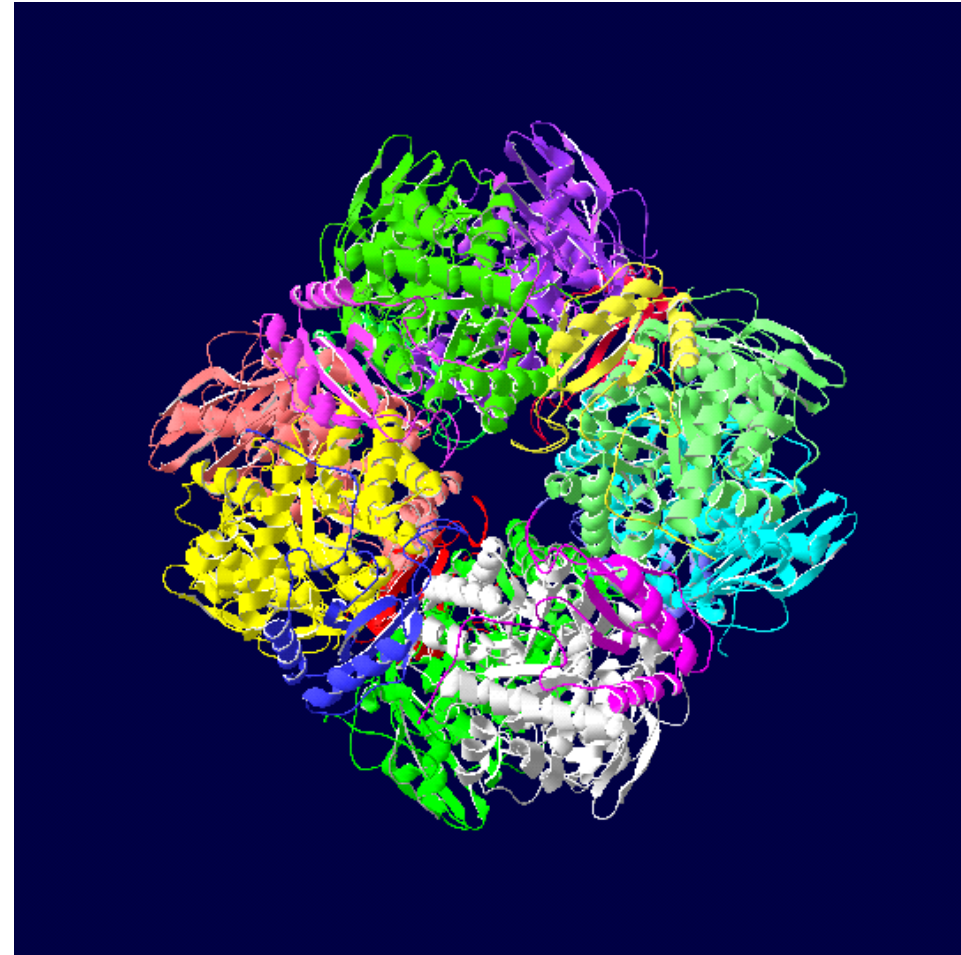


# 光合成の秘密② 酵素・タンパク質・アミノ酸

## ・タンパク質

＝アミノ酸が長くつながったもの

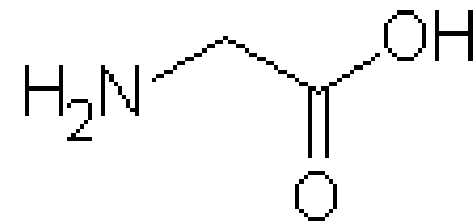
- － 化学反応を触媒する『酵素』＝光合成に必須
- － アミノ酸の鎖が複雑に折りたたまれた立体構造  
(右：二酸化炭素を取り込む酵素『ルビスコ』)



## ・アミノ酸

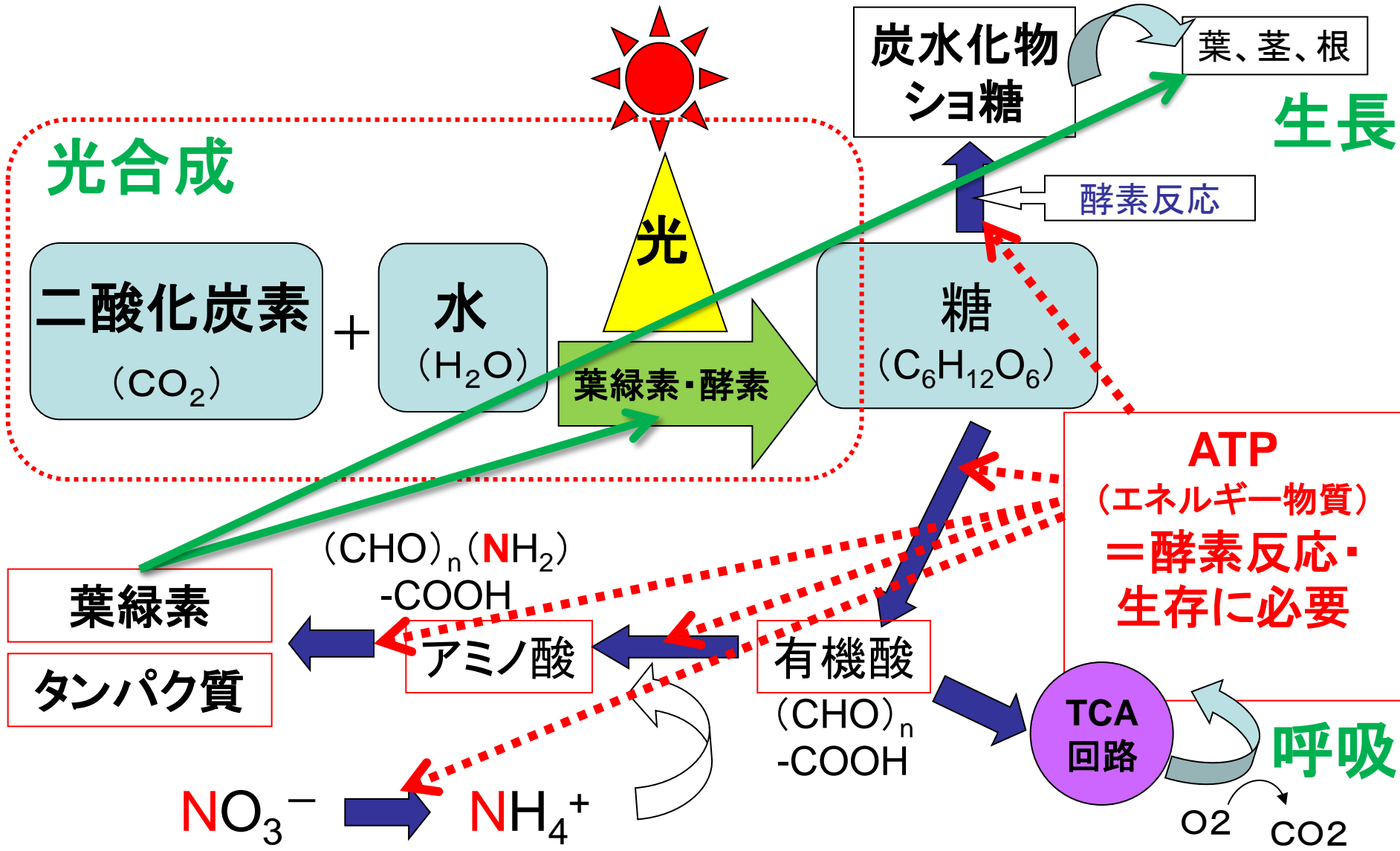
＝有機酸(CH)<sub>n</sub>COOHにアミノ基NH<sub>2</sub>が付いたもの

- － (右)アミノ酸の例；  
グリシンH<sub>2</sub>NCH<sub>2</sub>COOH



# 光合成産物の同化（模式図）

光合成は、エネルギー物質・炭水化物・酵素タンパク質・葉緑素の源  
（窒素だけではタンパク質・酵素・葉緑素は作れない）





# 光合成と肥料の意味

人間

芝草

ごはん

(エネルギー源・  
身体の主材料)

光合成

(糖・炭水化物)

おかず

(ミネラル・ビタミンなど)

肥料

(N・P・Kなど無機栄養)

光と水と空気が、芝草の「ごはん」

「肥料があれば生きていける」のではない！

# 施肥の意味

- 無機養分、主に多量要素(N,P,K)の補給
- 基本的には、芝草のエネルギー源や体を作るために最も大量に必要となる炭水化物(C,H,O=光合成産物)の補給をするわけではない
- 芝草の光合成や酵素代謝を保つためには必須



# 植物の必須元素

必須元素・・・16元素（下線＝施肥対象）

多量要素・・・C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S

微量元素・・・Cl, Fe, B, Mn, Zn, Cu, Mo

（有用元素・・・Si, Na, Ni, Co, Al）

※C(炭素)・H(水素)・O(酸素)：炭水化物＝光合成でまかなわれる

※肥料の三大要素： N(窒素)・P(リン酸)・K(カリウム)

・N： アミノ酸・タンパク質・クロロフィルの材料

・P： 細胞膜やDNAやATPの材料

・K： 気孔制御や酵素代謝に不可欠

※Ca(カルシウム)： 細胞壁の材料

※Mg(マグネシウム)： クロロフィルの中心元素

※Si(ケイ素)： イネ科植物では特に重要

（植物体が硬く丈夫になる・病虫害抵抗性の向上・光合成の向上）

# 芝草と他の栽培植物（作物）との違い



- ① 刈込を行う
  - ② 永年作物（耕せない）
  - ③ 保肥力の低い土壌を使う
  - ④ 季節的に根の生育が変わる
  - ⑤ 収量が目的ではない
  - ⑥ 様々な場所に植える（「適地適作」とは限らない）
- これらを意識して栽培管理を行う必要がある

# 芝草と刈込

- 「芝草」は、定期的な刈込をして、はじめて「芝生」となる
- 刈込は、密で丈夫な芝生を作り、他の植物の侵入を防ぐために、不可欠な作業である
- ただし、刈込に伴い、養分の収奪が起こる。
- また、刈込まない場合に比べ、根や根茎の生育は劣る。

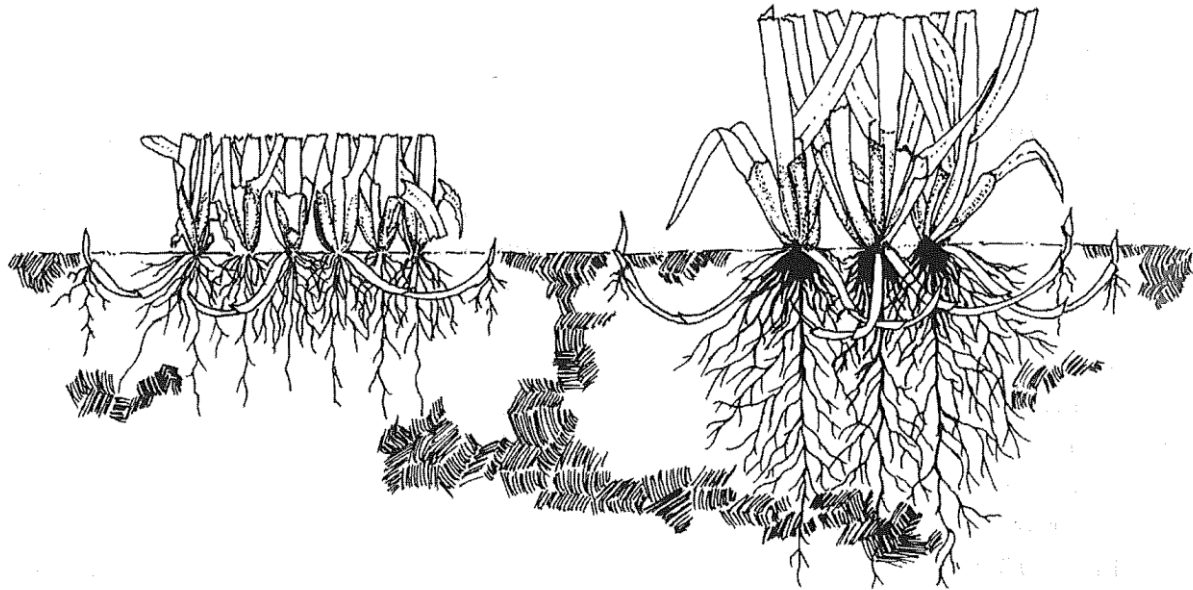


図5 / 5 刈高の違いによる芝草の比較；刈高が低い芝草はきめがより細かく密度がより高くなるが根や根茎の生長が悪くなる (Turgeon 2009 Turfgrass Management)





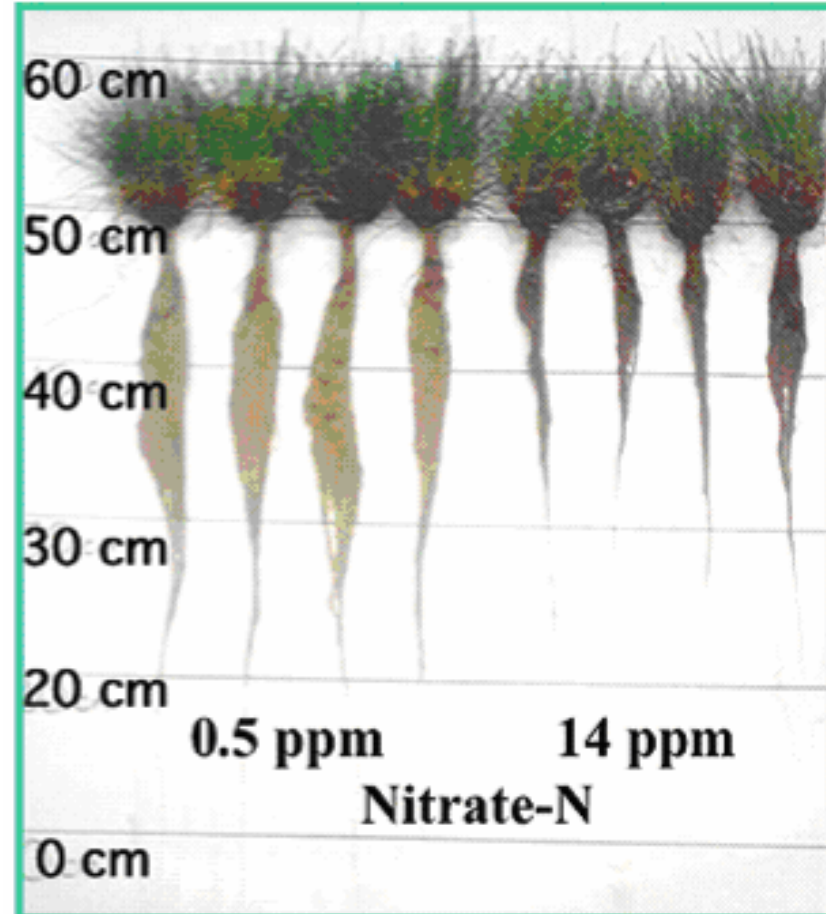
# 刈込みに伴う無機養分の収奪と施肥

- 刈草が土に戻される
  - ＝刈草の中の無機養分も土に返り、リサイクル
- 刈草が集草・除去される
  - ＝刈草の中の無機養分が芝地から持ち出される
  - 刈草を集草している芝地では、十分な施肥により、無機養分を補ってやる必要がある
- また、グリーンなど低刈をしている場合には、根が特に短くなりやすいので、根の状態に合わせた施肥が必要となる。

# 窒素過剰と、根・地上部の生育

Hull & Bushoven 2007. TurfGrass Trends. Jul 1 & Aug 1, 2007.

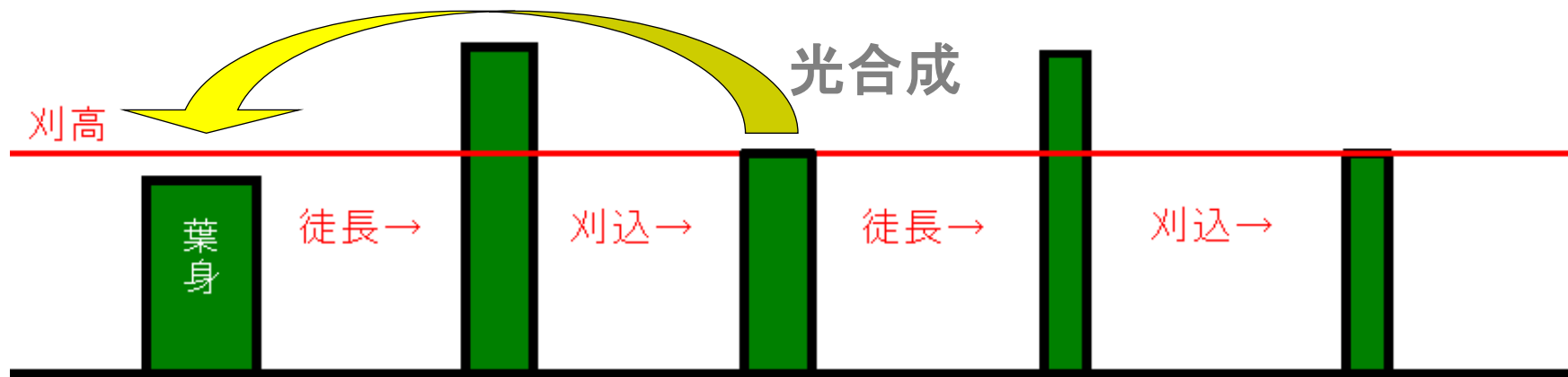
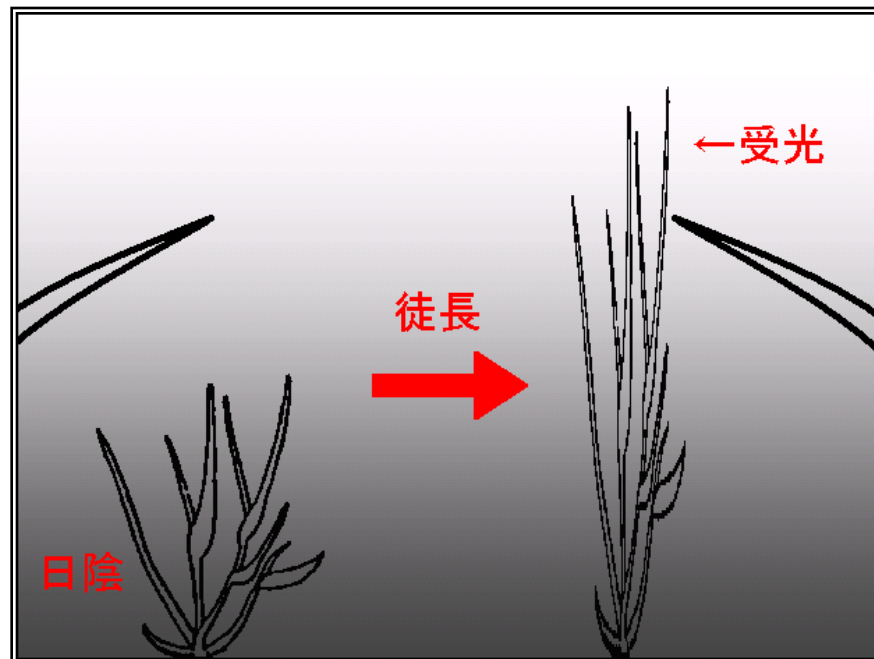
- 水耕液中の窒素（硝酸）の濃度を変えて栽培（ペレニアライグラス）
- 左側が通常の窒素濃度
- 右側は過剰な窒素濃度
- 窒素過剰だと、茎葉は良く伸びるが、根は抑制
- 窒素は、芝草体内の炭水化物を、根よりも葉に多く分配させる「シグナル」





# 徒長（ヒョロヒョロと伸びること）・刈込・収奪

- 徒長＝日陰や窒素過剰で発生
- 本来は芝草が葉の面積を増やし、日陰から「逃げ出す」ための適応反応
- しかし、光合成が不十分な状態で刈込が伴うと、炭水化物が収奪され、芝が痩せてしまう

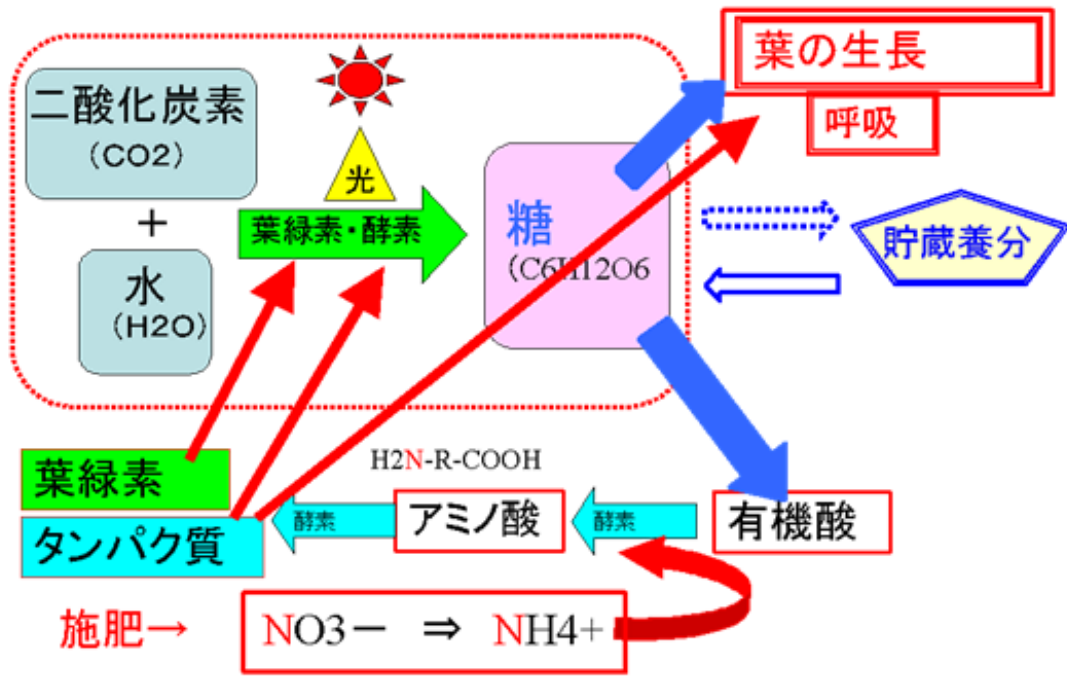


徒長と刈込による炭水化物の収奪

# 窒素コントロールと光合成・炭水化物

- 窒素: タンパク質や葉緑素の材料 = 光合成には必須
- 窒素施肥は葉の生長を促進 = 炭水化物消費
- 窒素の二面性

- 窒素不足
  - = 光合成低下
  - = 炭水化物収支悪化
- 窒素過剰
  - = 葉の伸びと刈込
  - = 炭水化物収支悪化



- 体内の最適範囲がある  
(ベントグラス葉身では通常4~5%、生長促進時で~5.5%?)

# 微量元素

## Fe・Mn・Cu・Zn・B・Mo・Cl

- 多量要素ほどには大量に必要ではなく、ごく微量だが、絶対に必要な無機養分を微量元素と呼ぶ
- 微量元素： 鉄(Fe)・マンガン(Mn)・銅(Cu)・亜鉛(Zn)・ホウ素(B)・モリブデン(Mo)・塩素(Cl)
- 炭水化物を構成するC・H・Oや、タンパク質を構成するN、細胞膜やDNAやATPを構成するP、気孔制御に不可欠なK、細胞壁を構成するCa、クロロフィルを構成するMgほどには大量に必要ではないが、
- 光合成を行なう上で、重要なパートを担当しているので、これらの微量元素が無ければ、光合成は成り立たない
- ごく微量なので、葉面散布・葉面吸収による補給も可能

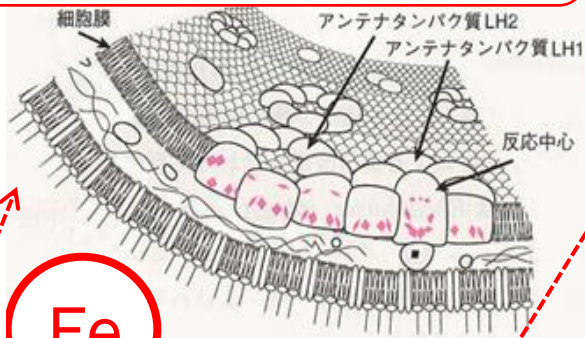
# 植物体内でのMg・Fe・Mn・Clの位置

光化学系の反応中心で、Mg・Fe・Mn・Cl原子が、少数ながら、決定的な役割を果たしている

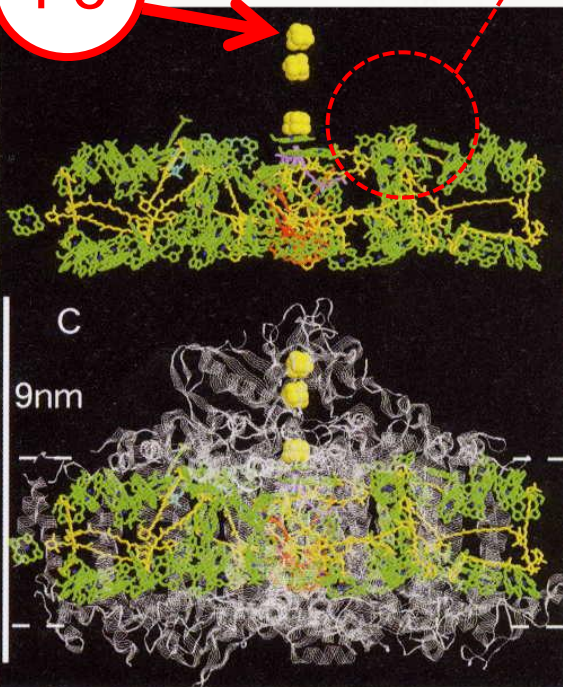
植物細胞



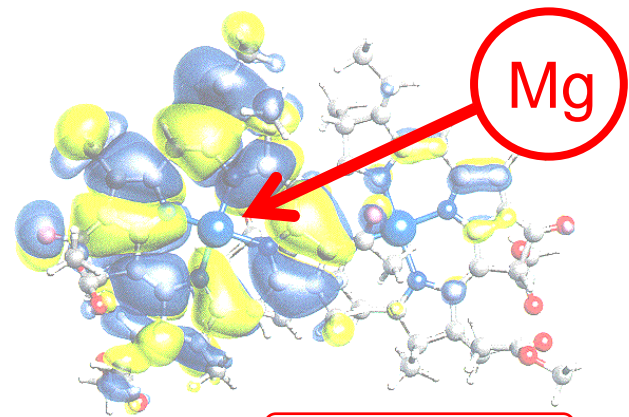
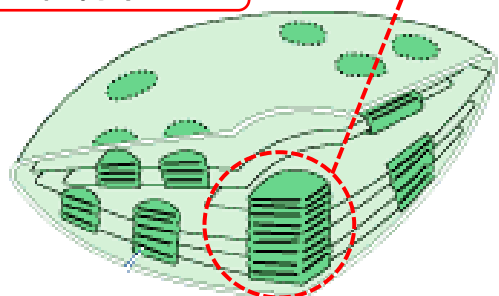
チラコイド膜上の  
光化学系 I 反応中心



Fe



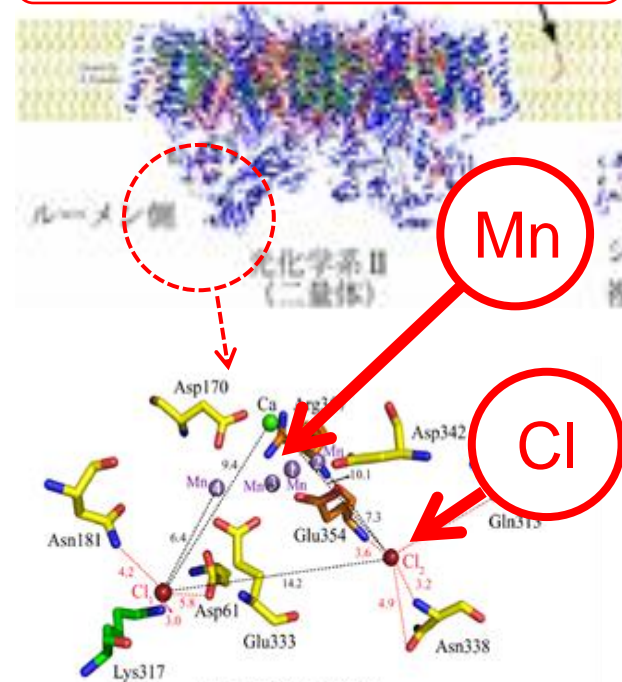
葉緑体



Mg

クロロフィル

光化学系 II 水分解中心



Mn

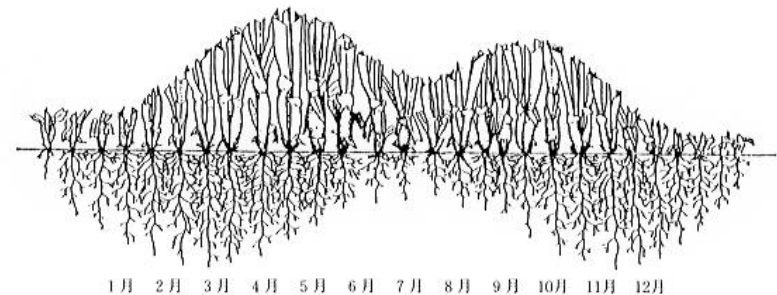
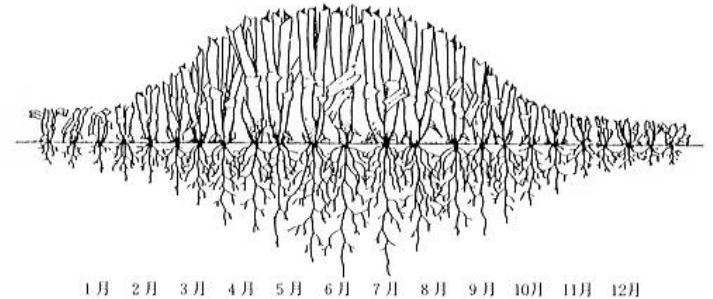
Cl

図2 酸素発生中心と酸素の結合部位  
酸素発生反応中心は4つのマンガン原子と1つのカルシウム原子によって構成されているが、その近隣に2つの塩素イオンが結合し、反応中心の構造を維持している。

# 芝草施肥管理の留意点

## ☆ 季節的に根の生育・活性が変わる

- なぜ根の生育が変わるのかを理解し、
- 根の活性を最大に引き出し、
- 根が短くなっている時や機能が落ちている時に、それに合わせた管理を行う



# 芝草の生育適温(°C)

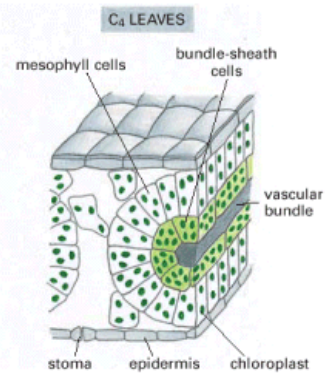
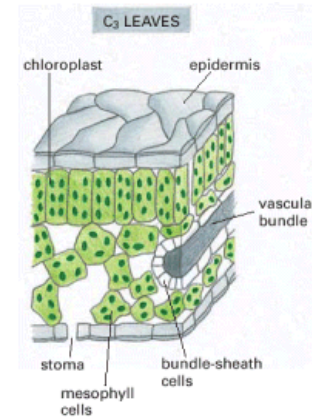
	寒地型芝草(C3) (ベントグラス、 ペレニアルライグラス など)	暖地型芝草(C4) (ノシバ、コウライシ バ、バーミューダグラ スなど)
地上部	18~24	27~32
地下部	10~18	24~29



# 2つの光合成方式(C3とC4)

- C3型光合成

- 寒地型芝草(ベントグラスなど)
- 緑色植物の基本的な光合形式
- 高温・乾燥では、光合成が下がる



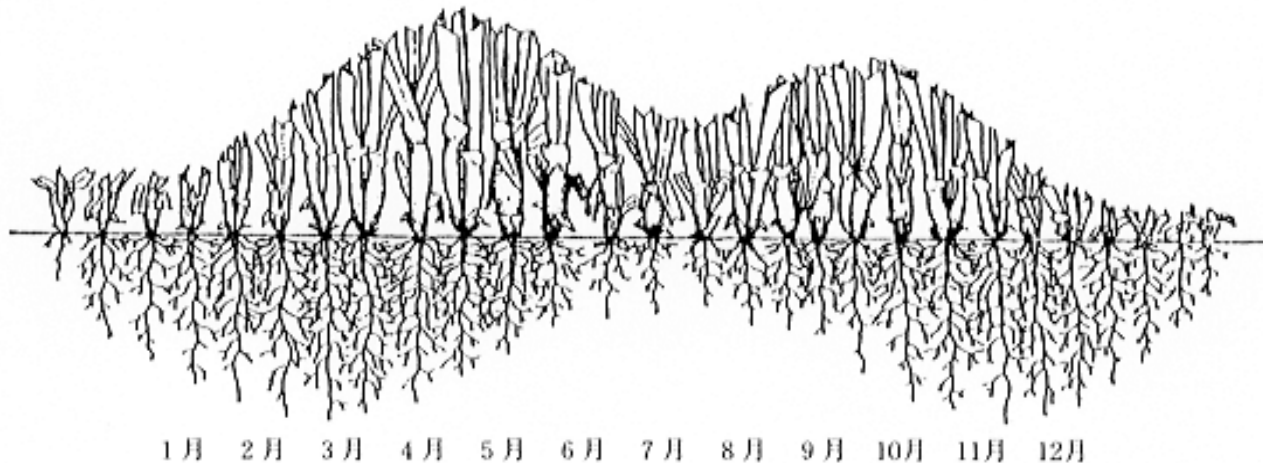
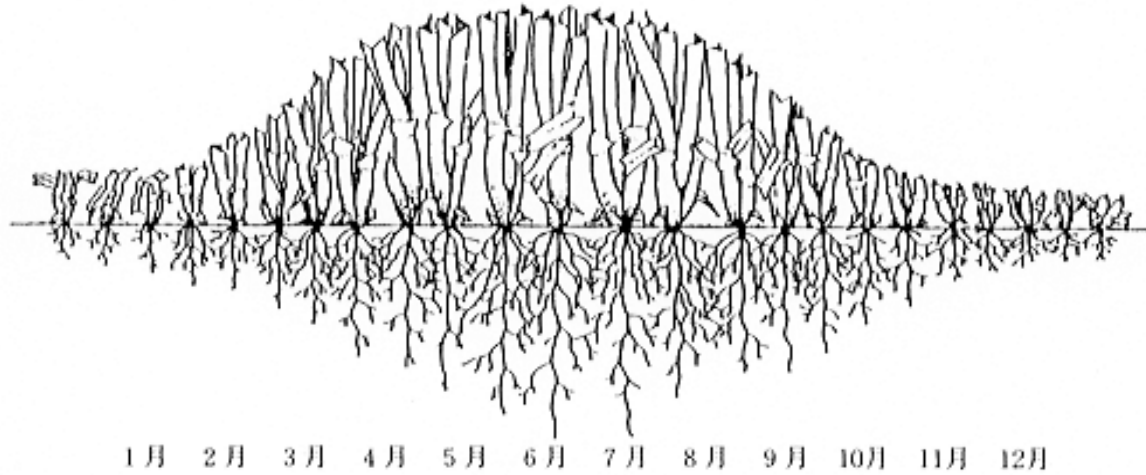
- C4型光合成

- 暖地型芝草(日本芝、バミューダグラスなど)
- C3型の前段にCO<sub>2</sub>濃縮システムがついたもの  
(エンジンで言えばターボやスーパーチャージャーに相当)
- より効率的な光合成が可能  
(高温や乾燥などが原因で、  
気孔が閉め気味になっても、  
CO<sub>2</sub>の供給が落ちず、  
光合成が落ちない)
- 低温や低日射は不得意、光合成が大きく下がる





# 暖地型(上)と寒地型(下)芝草の年間生長



炭水化物が不足する時期に、根は短く、活性が下がる  
→根の生育・活性の季節変化に合わせた施肥管理が必要

# 根の活性と、粒肥と液肥の長短

## • 粒肥

○土壌に養分を補給し、養分吸収器官である根から吸収させる = 大量の養分を供給できる

△流亡や芝の一時的な生育過剰の危険(即効性の場合)

△根の吸収能力に左右される

△モアによるピックアップの問題(特に密なグリーン)

## • 液肥

○根と葉面から吸収させる = 根の機能が落ちている時期にも吸収しやすい(特に尿素など)

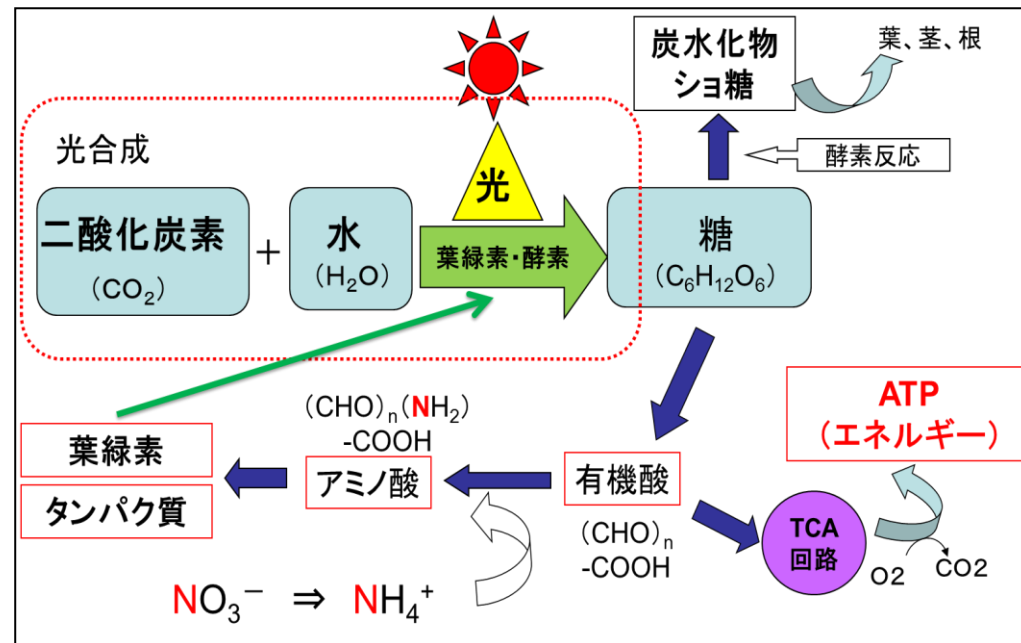
○特定成分のピンポイント施用に向く(微量元素など)

△一気に大量に与えると葉焼けを起こす = 大量の養分供給には向かない(少量反復散布 = スプーンフィーディングが必要)

△頻繁な反復散布が必要(即効性の場合)

# 光合成アップのための施肥

- 適度な葉身中の窒素レベルを維持
  - ✓ベントガラスの場合、葉身中に4~5%
- 光合成に特に必要な無機養分の確保
  - ✓マグネシウム Mg (葉緑素材料)
  - ✓マンガン Mn・Fe(光化学系中心)
  - ✓リン P (代謝維持)
- サプリメント類の施用
  - ✓サイトカイニン
  - ✓アミノ酸・有機酸・糖

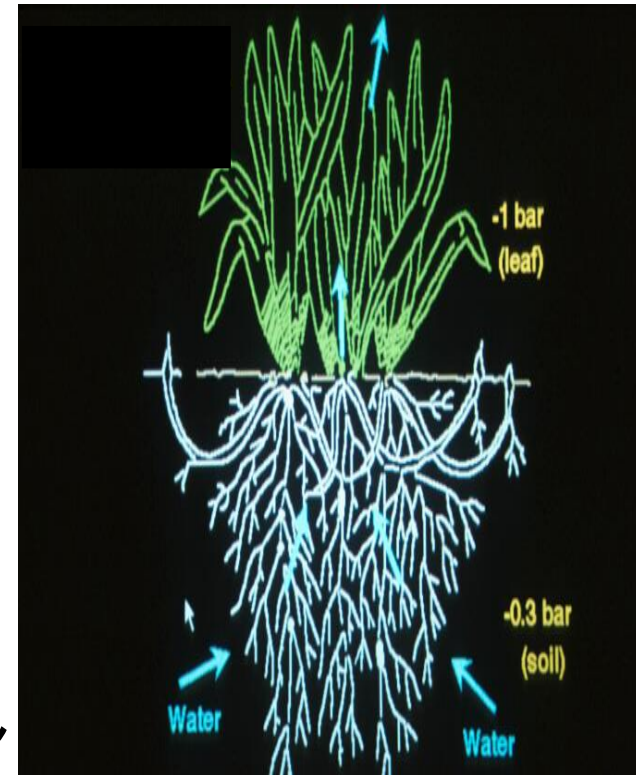


# サイトカイニン

植物ホルモンの一種、根で生産

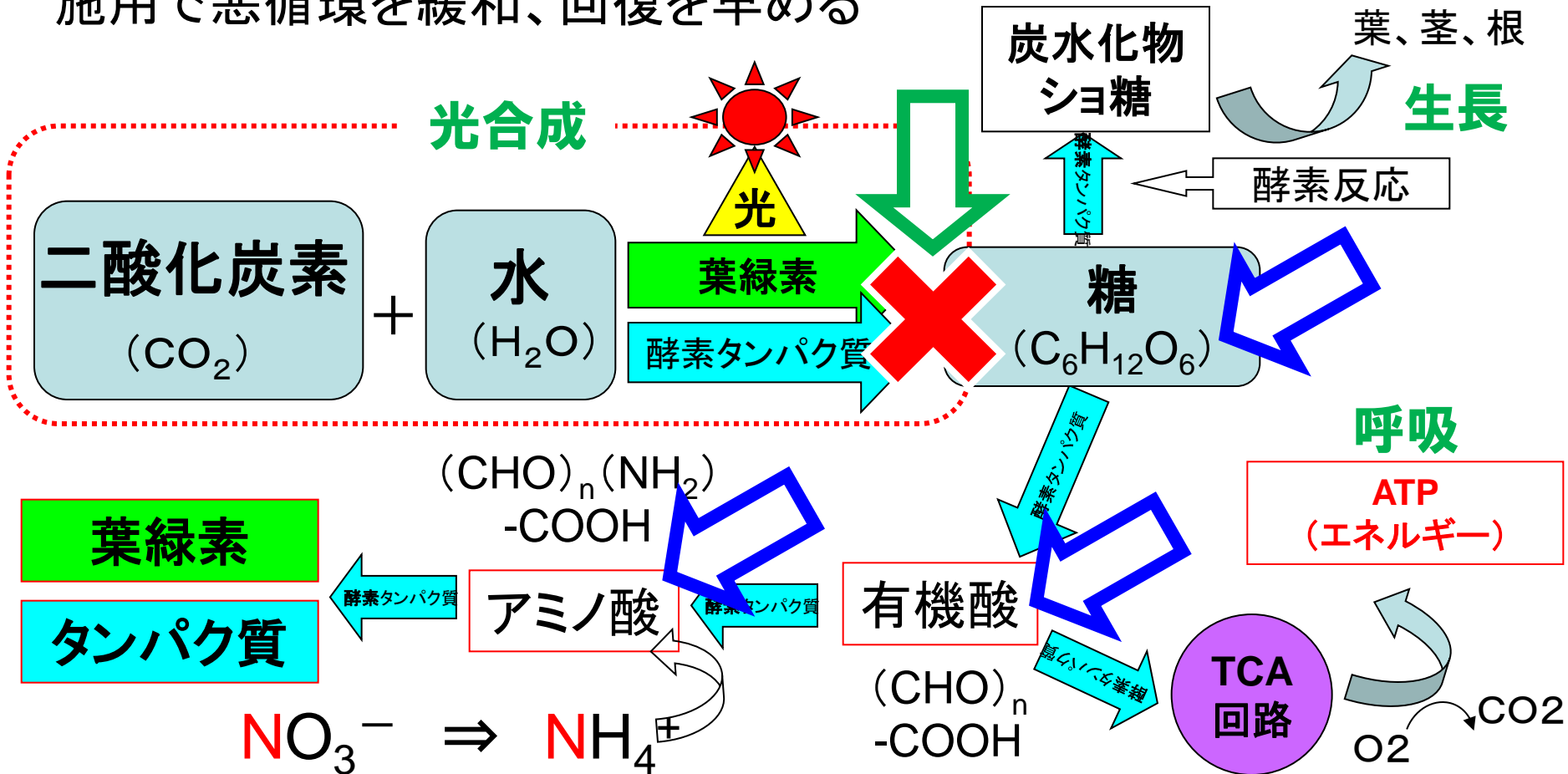
→地上部に送られて葉の活性を維持する

- 根の活性化・葉の老化抑制
- 分げつ・ストロン分化・葉身分化の促進
- 光合成・炭水化物生産促進
- 葉面積拡大
- 根伸長
- ベントグラスの葉と根の中のサイトカイニンは地温が高いと低下する。
- 高温にさらされた根圏土壤にサイトカイニンを外与すると、葉と根のサイトカイニン濃度は増大し、根の状態は大きく改善される。
- 海藻抽出物資材などにも含まれる



# 糖・有機酸・アミノ酸・サイトカイニン の補給(点滴)

- 光合成が下がって炭水化物が欠乏すると、有機酸・アミノ酸の合成ができず、葉や根の活性が下がり、光合成が下がる悪循環が発生
- 糖・有機酸・アミノ酸、サイトカイニン資材(光合成維持ホルモン)の施用で悪循環を緩和、回復を早める



# 芝草施肥の留意点(今日のまとめ)

- 芝草の光合成・根の活性・健康は確保
- 葉の過剰生長は避ける
  - 窒素を最適範囲に保つ
- 根の吸収能力を考慮する
  - 粒肥と液肥(葉面施肥)の使い分け
  - スプーンフィーディング・緩効性肥料
- Mg・P・Kや微量元素の補給で、光合成を保つ
- 根が弱る時期にはサイトカイニンで光合成を保つ
- 光合成が落ちる時期は有機酸・糖・アミノ酸の補給で光合成や代謝を保つ

# 芝草施肥の留意点(その他)

- 根の活性・吸収力の最大化

→ 土壌透水性の確保による、根への酸素供給維持

- 砂など保肥力が小さい土壌をどう補うか

→ 保肥力・吸収力に合わせた施肥法

- 土壌化学性の把握(無機養分・CEC・pH・・・)
- 芝草の状態把握(根の長さ・活性・体内の養分・・・)
- 芝草独特の栽培環境の考慮(刈込・踏圧・環境)  
・・・など

※ 「光合成の確保」の重要性は、変わらぬ原則  
『光と水と空気が、芝草のご飯』