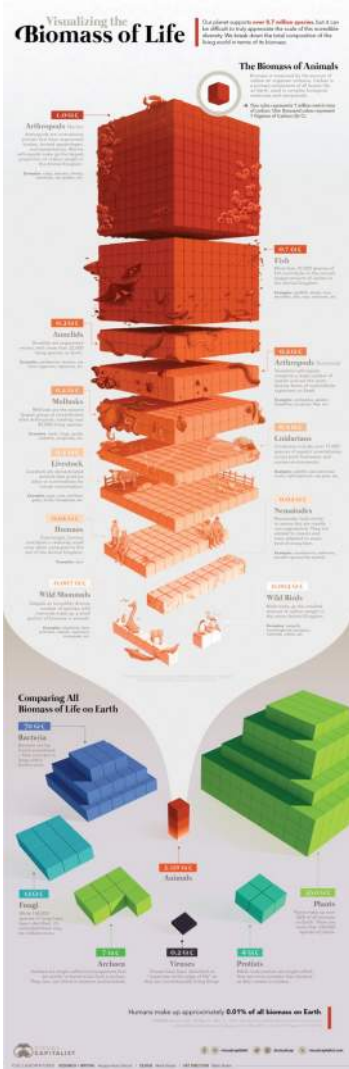


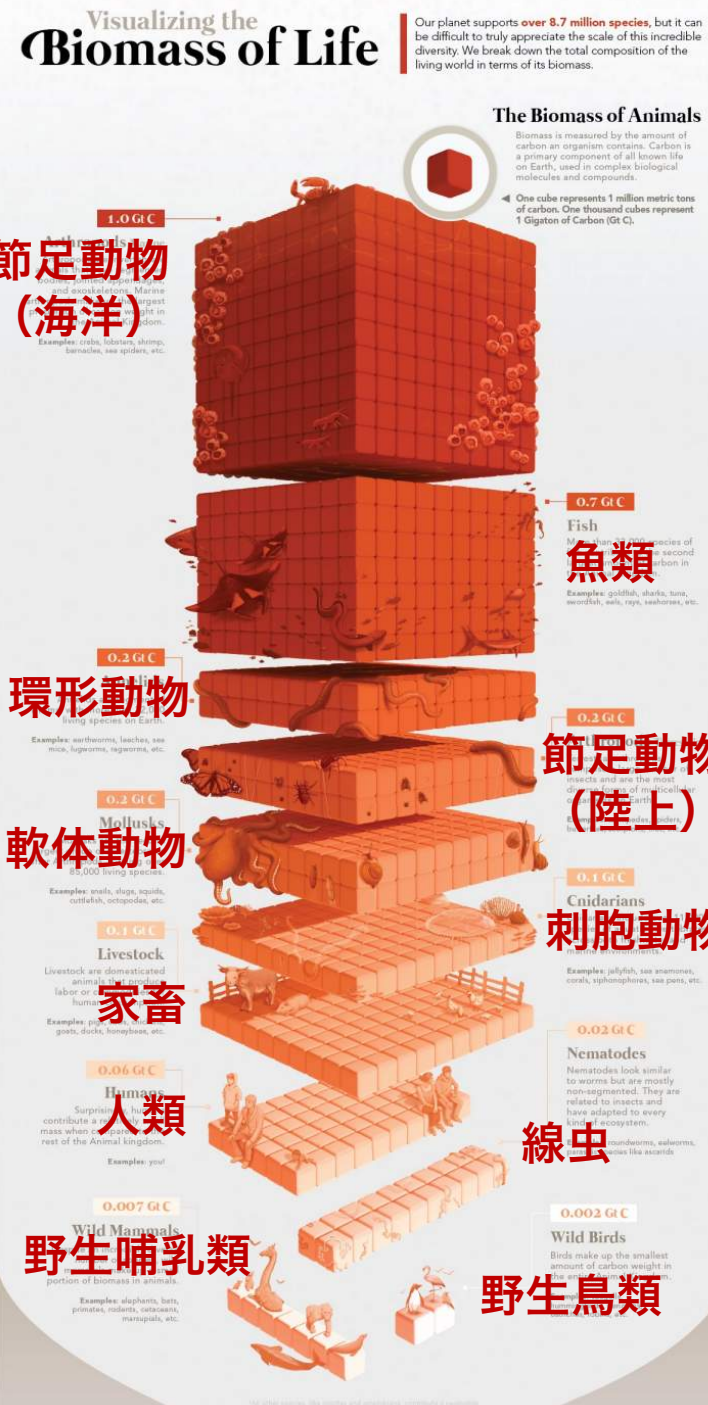
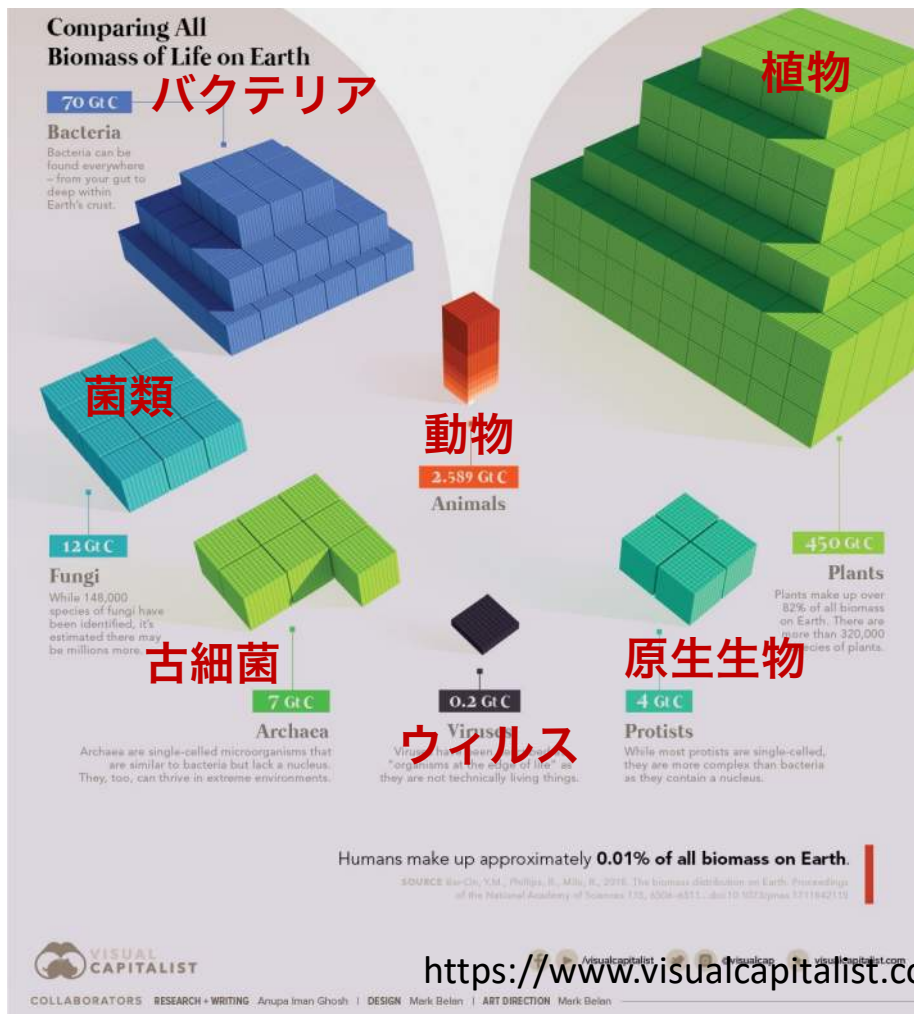
学問の面白さを知る

植物のしなやかな生き方を支える情報分子たち

**生命農学研究科
教授・榊原 均**



Biomass: バイオマス, 生物量



Taxon	Mass (Gt C)	% of total
Plants 植物	450	82.4%
Bacteria バクテリア	70	12.8%
Fungi 菌類	12	2.2%
Archaea 古細菌	7	1.3%
Protists 原生動物	4	0.70%
Animals 動物	2.589	0.47%
Viruses ウィルス	0.2	0.04%
Total	545.8	100.0%

Plants make up the overwhelming majority of biomass on Earth. There are **320,000 species** of plants, and their vital **photosynthetic processes** keep entire ecosystems from falling apart.

Fungi is the third most abundant type of life—and although **148,000 species** of fungi have been identified by scientists, it's estimated there may be millions more.

地球上の生命は植物の同化生産能に依存している

- 穀物・食糧生産
 - セルロースなどの材料・素材
 - 二次代謝による有用物質・医薬品原料
 - 再生可能エネルギー源
 - 酸素生産・地球環境維持
-

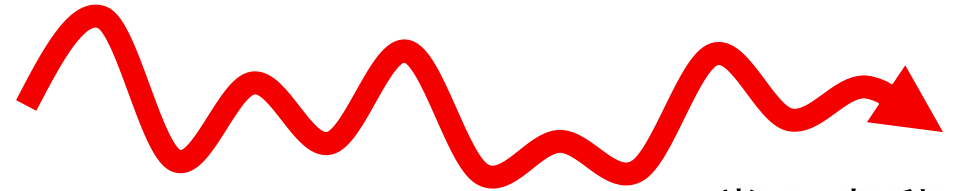
- 不均一・不十分な栄養環境 (eg 窒素、リン)
- 肥料過剰投与による環境汚染 (eg 中国)
- 肥料不足による慢性的食糧不足 (eg アフリカ)
- 低インプット型農業への転換

植物は置かれた環境に対し自身の代謝と成長様式を最適化する



<https://publicdomainq.net/tree-wind-0018519/>

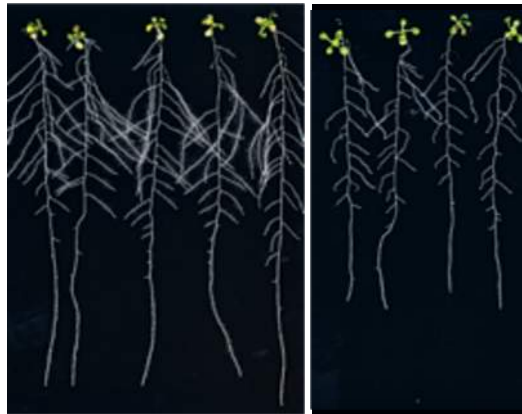
環境因子（光、栄養、温度 etc）



常に変動

低窒素

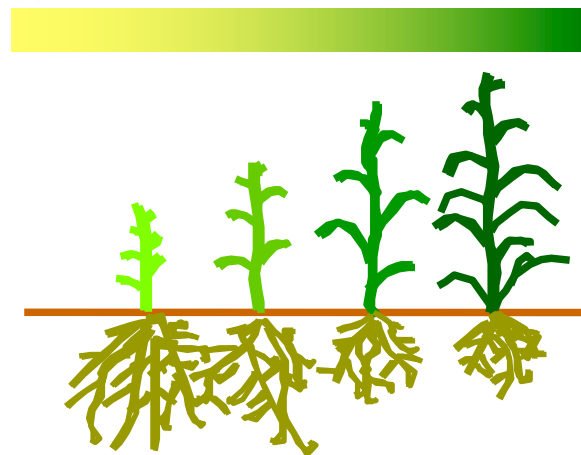
高窒素



(木羽博士提供)

低-窒素

高-窒素



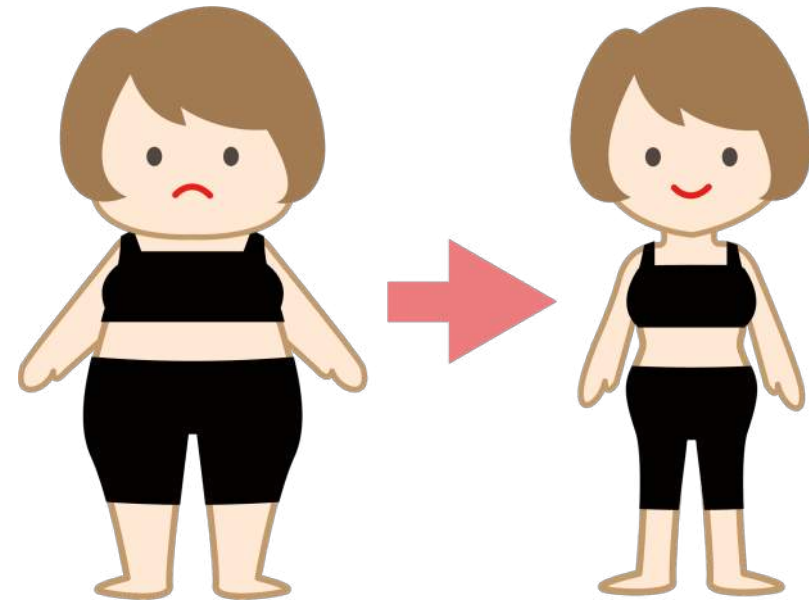
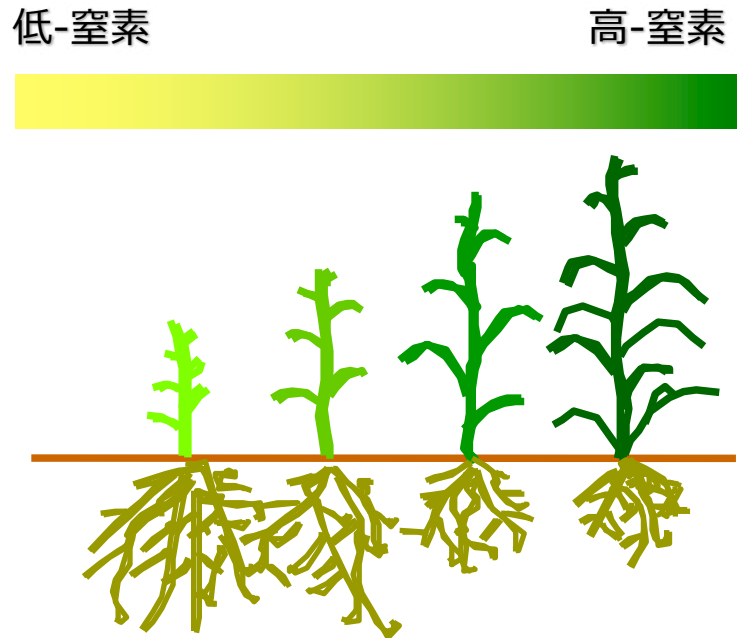
<https://imageslabo.com/photo/2008>

栄養環境に応答してボディープランを常に変化させ最適化

植物の環境応答の最適化機構が植物生産を規定している

動物と植物のボディープランの比較

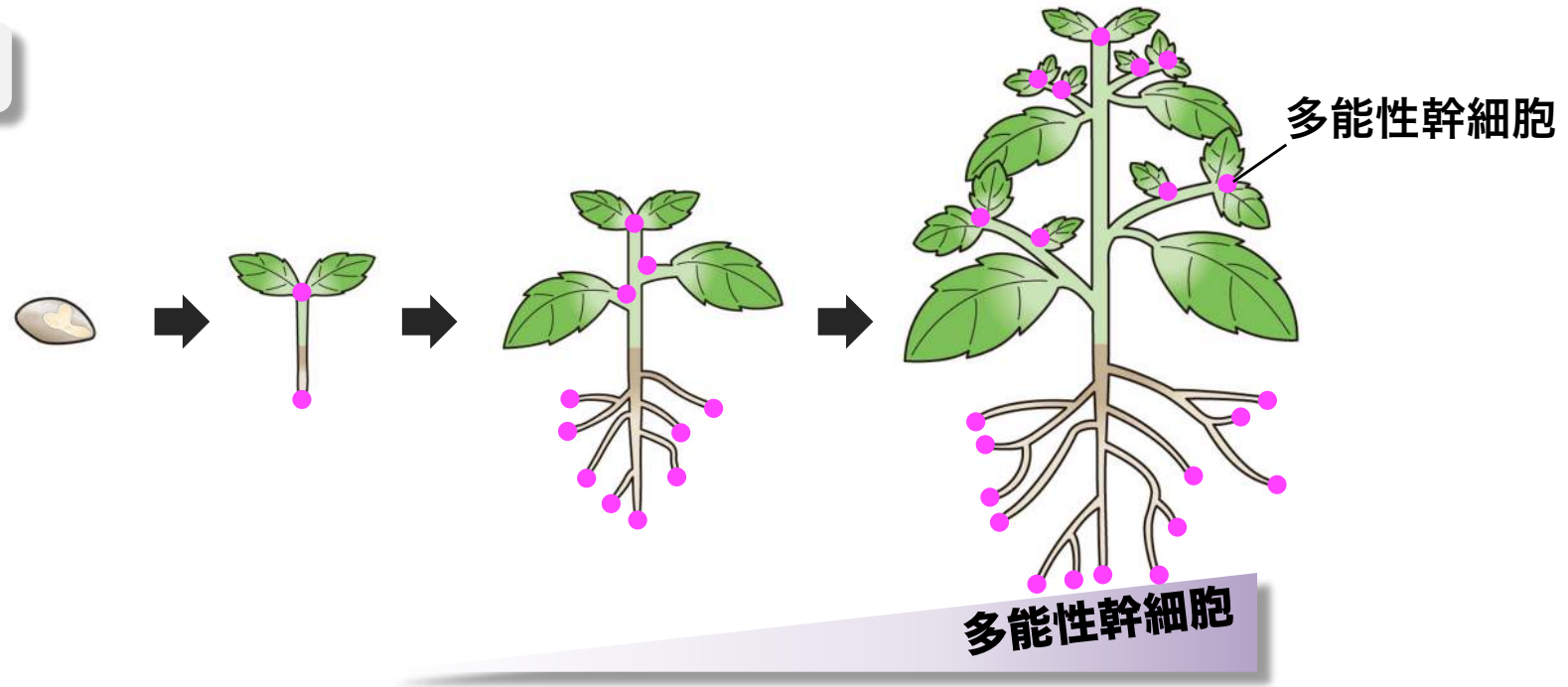
動物は外環境や栄養状態によって基本構造は変化しないが、植物は器官（葉、根、花など）の数を柔軟に変えることができる



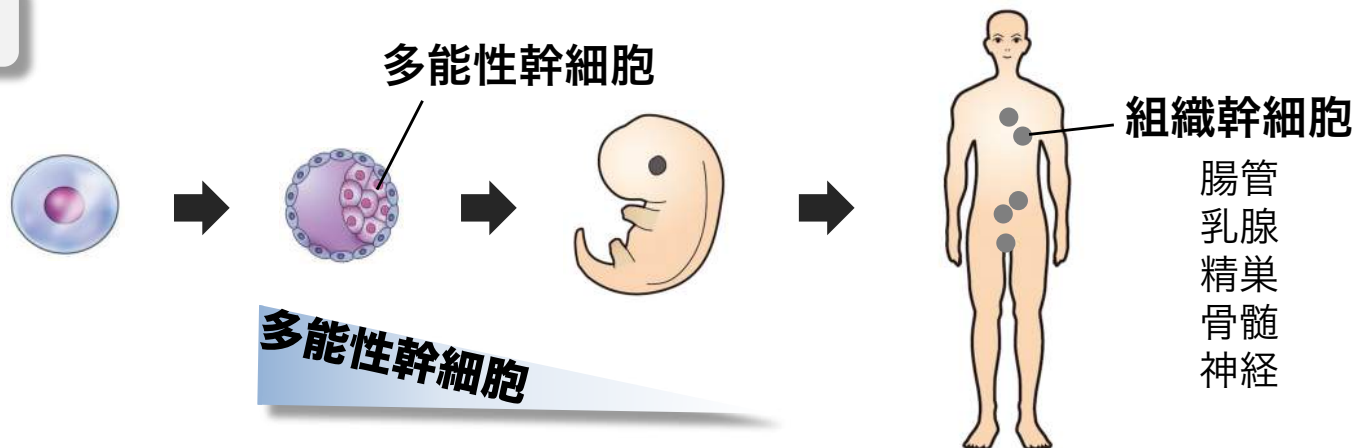
<https://publicdomainq.net/dieting-woman-0001028/>

動物と植物のボディープランの比較（幹細胞システムの違い）

植物

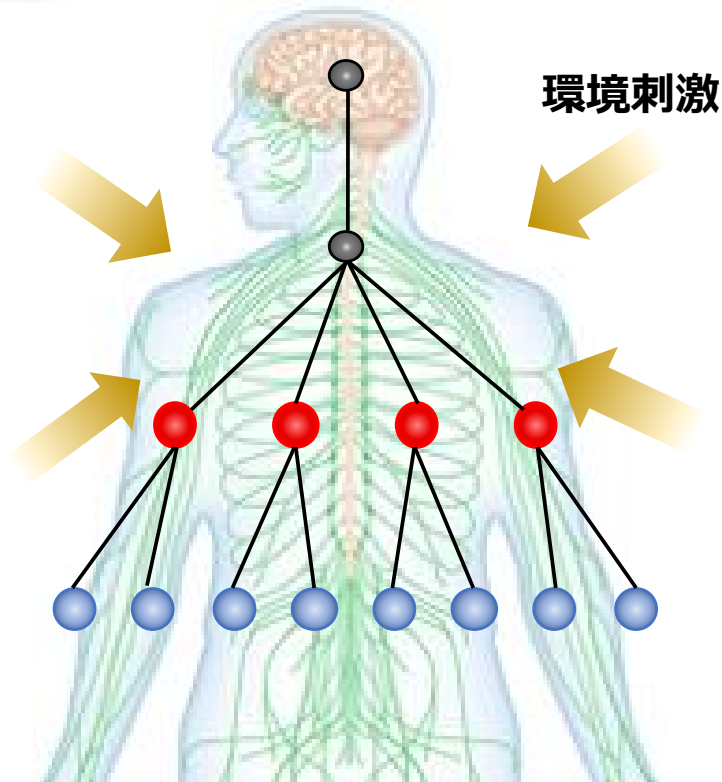


動物



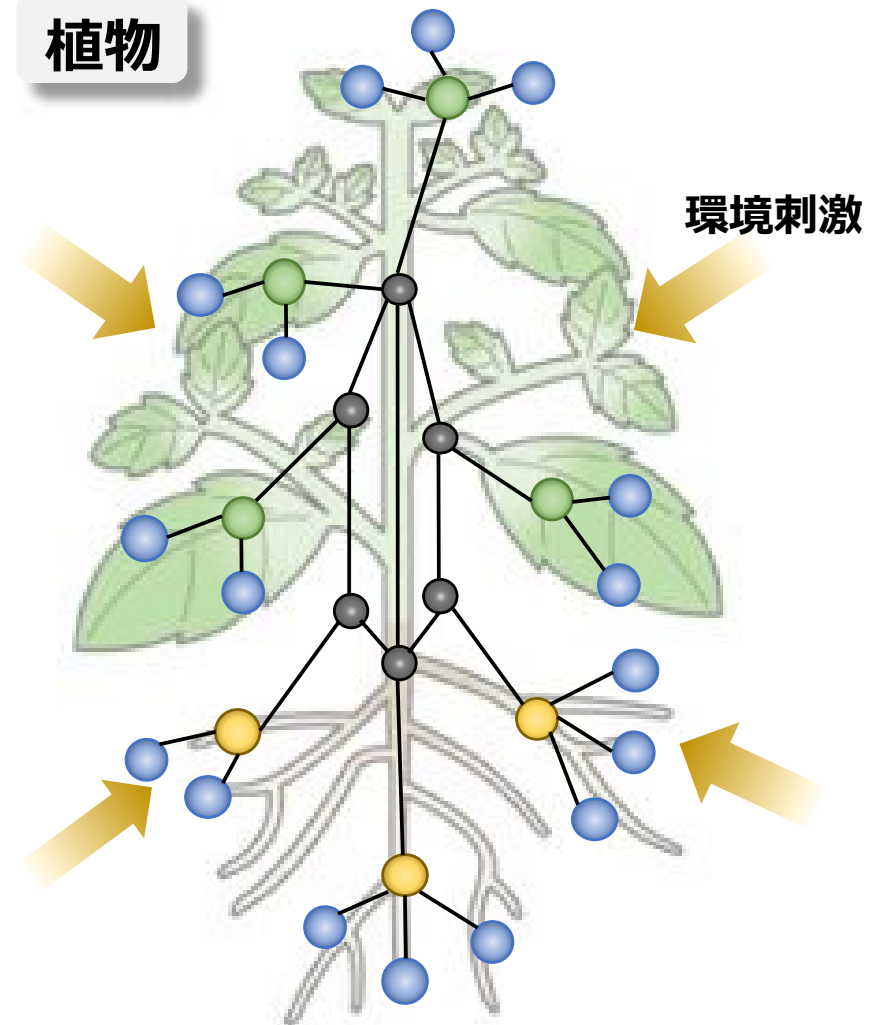
動物と植物の環境情報統御システムの比較

動物



<https://livedoor.blogimg.jp/illustration2018/imgs/9/0/90a82205.jpg>

植物



脳や神経を持たない植物は独自の環境情報統御システム
(対話と応答決定方法) を獲得している

植物の形態や代謝は変動する環境に対し 個体レベルで最適化されるよう調節されている

炭素

[CO₂]
280 ppm



780 ppm



Kiba et al. Sci Rep 2019

窒素

高窒素 低窒素



高窒素

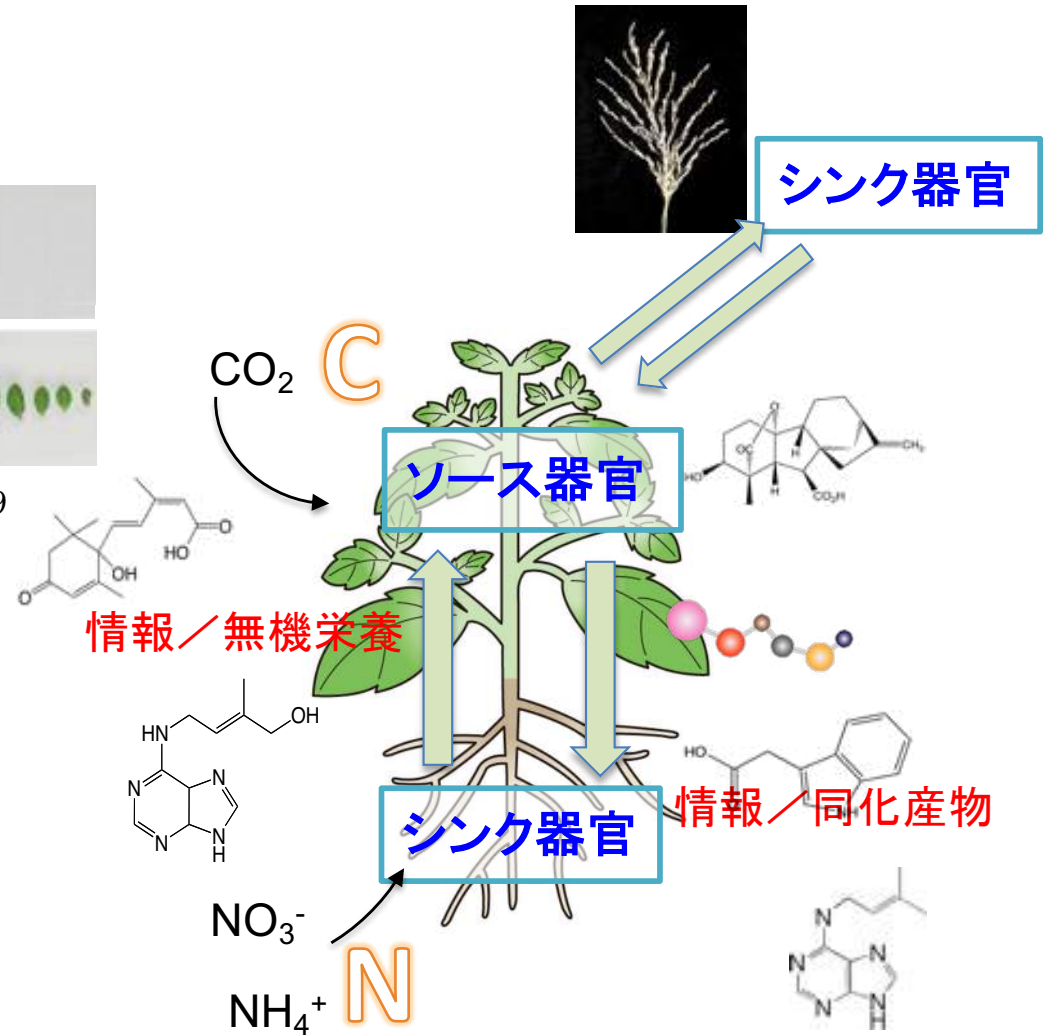


低窒素



Hermans et al. (2006) Trends
Plant Sci. 11, 610-617

(木羽博士提供)



細胞間、器官間での情報分子を介したコミュニケーションを通じて
個体レベルでの最適化を実現している

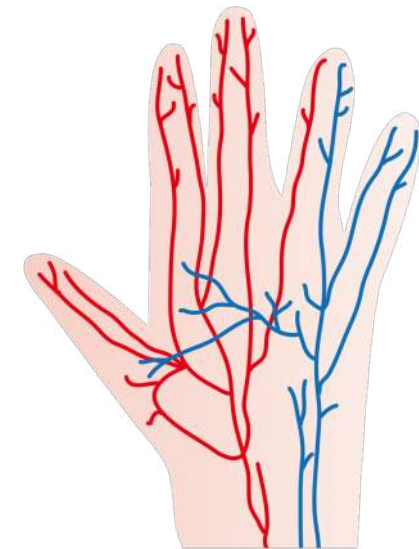
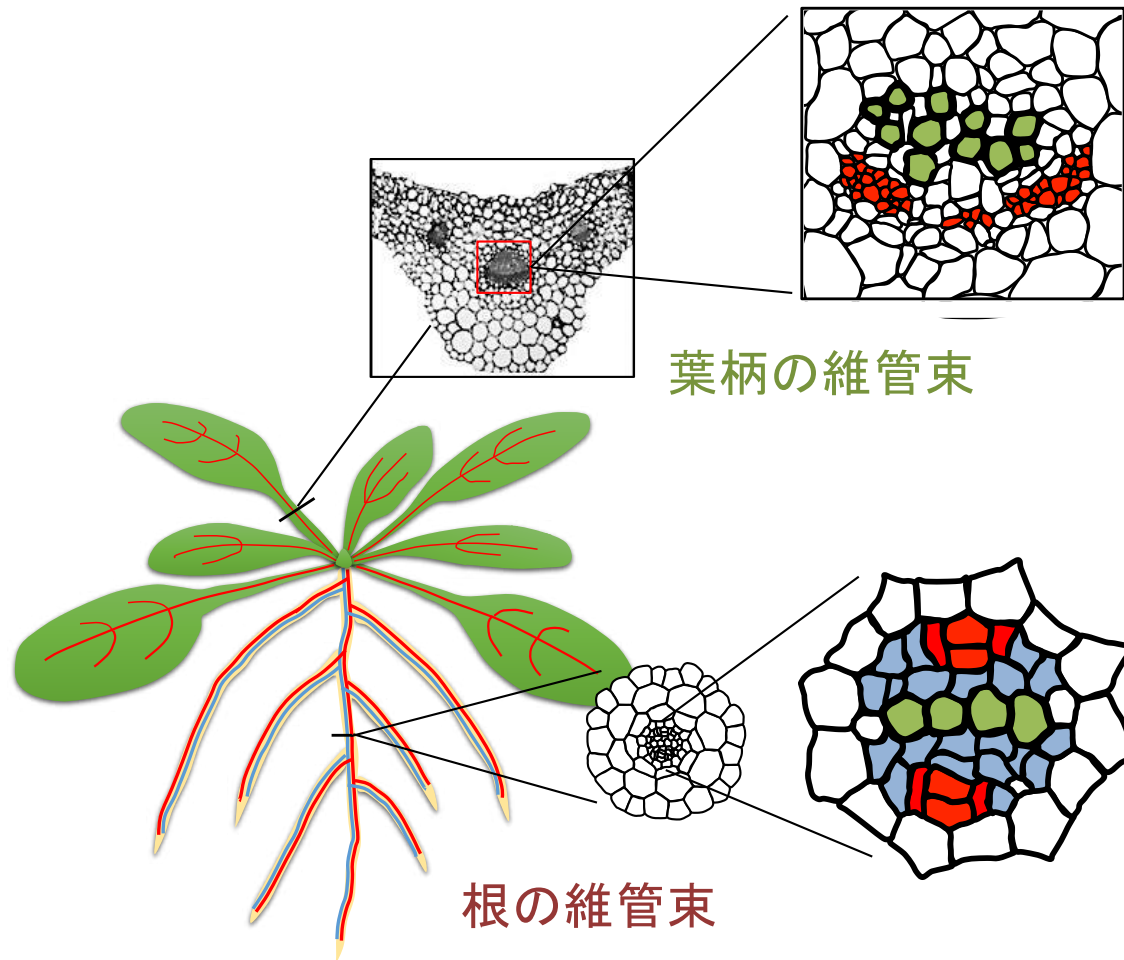
どのような情報分子が使われているか？

1. 無機栄養 (eg. 硝酸イオン etc)
2. 植物ホルモン (eg. オーキシシン、サイトカイニン etc)
3. ペプチドホルモン (CEP, CLE etc)
4. タンパク質 (eg. フロリゲン)
5. RNA (miRNA)
6. 同化産物 (糖、アミノ酸 etc)

情報分子はどこを通過して運ばれるか？

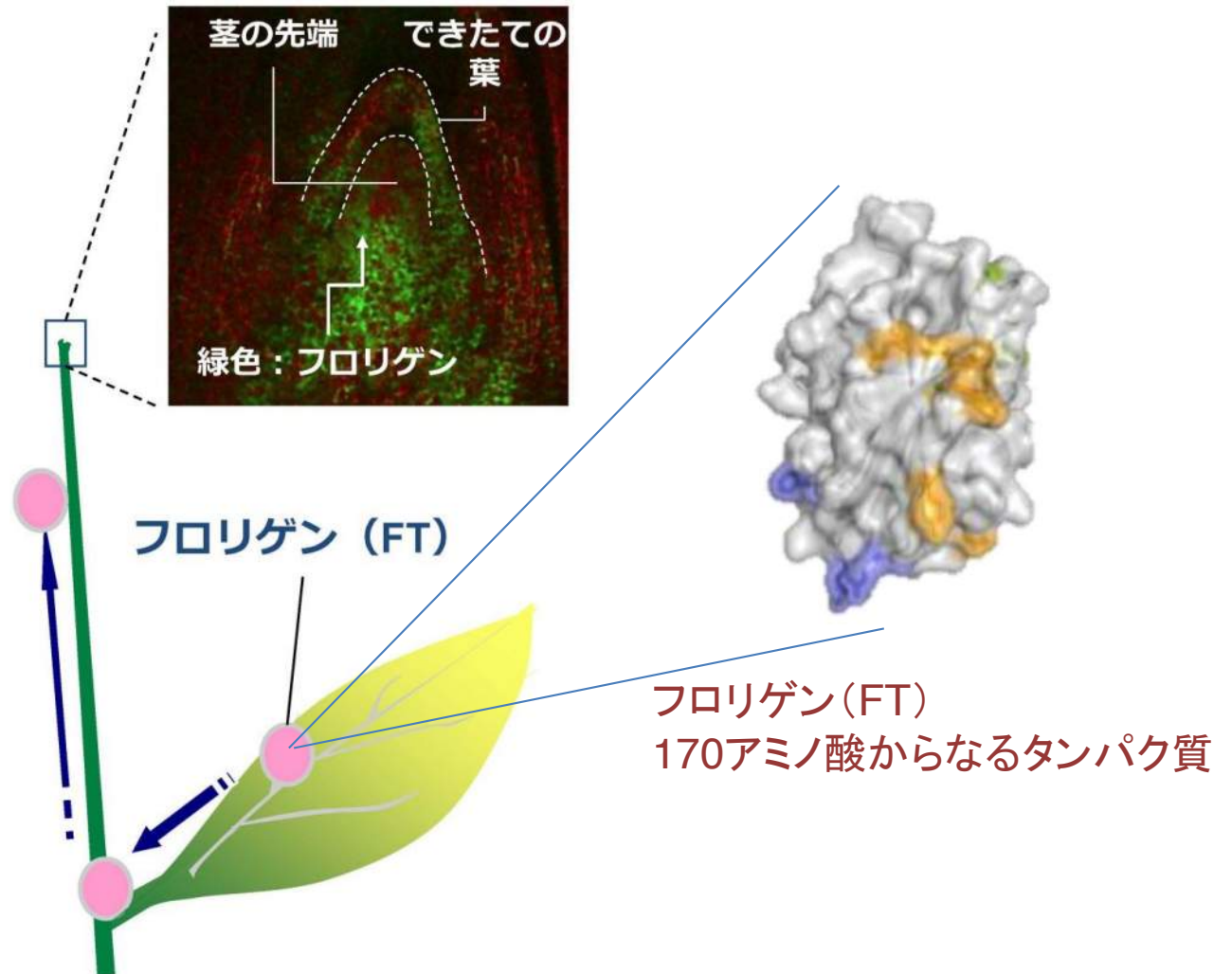
維管束

主に道管（根から地上部）と師管（地上部から根、葉から葉）

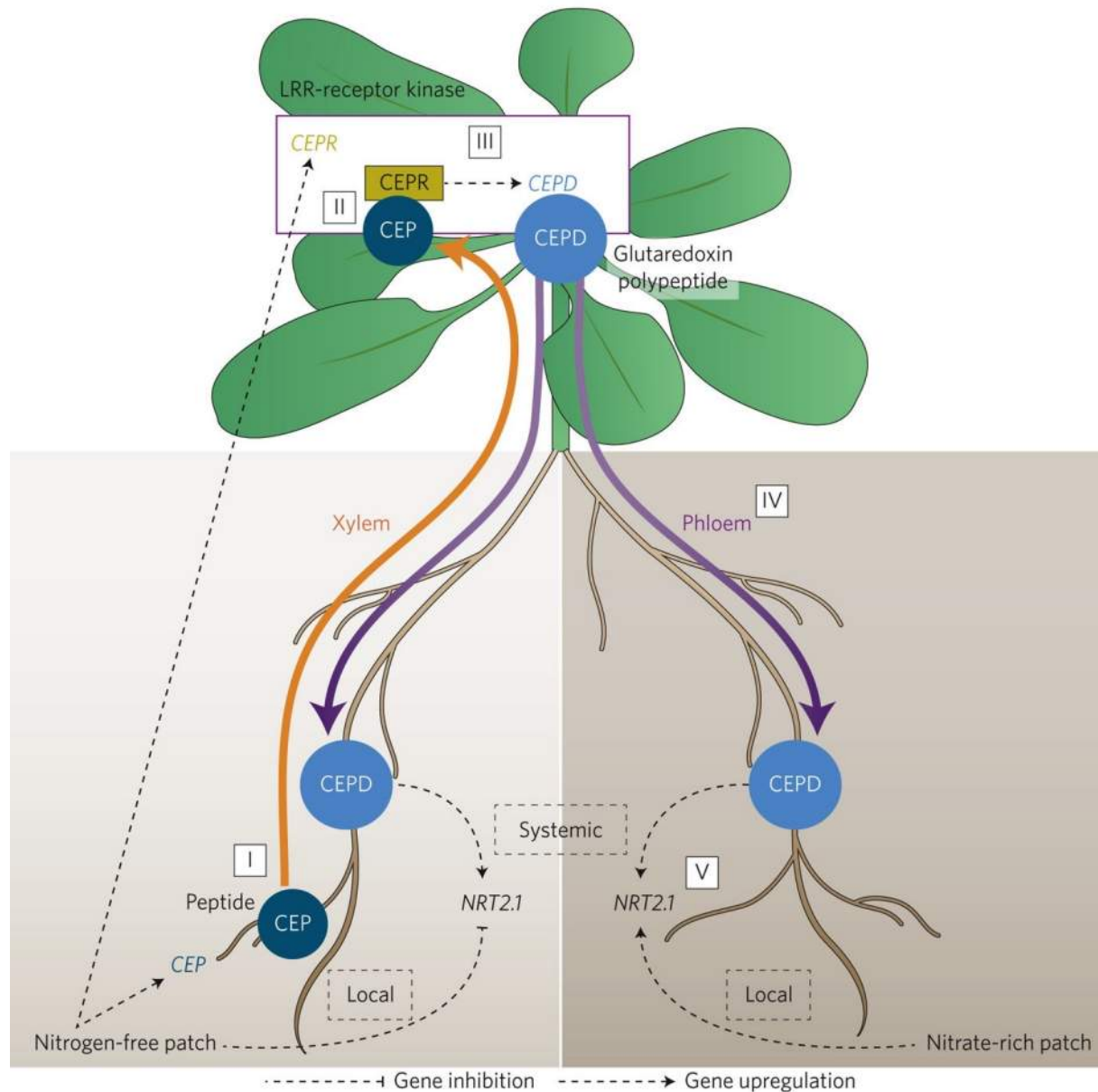


花成ホルモン フロリゲン (FTタンパク質)

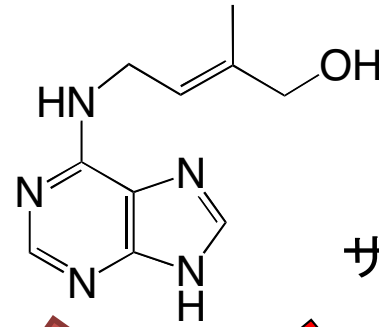
葉から茎頂へ師管を介して輸送され、日長の情報を伝達するタンパク質情報分子



CEPペプチドを介した不均一栄養環境への全身応答



適切なホルモン作用調節は有用形質をもたらすが 過剰作用は負の現象を引き起こす（薬と毒？）



サイトカイニン(トランスゼアチン)



バラにアグロバクテリウムが感染し、
形成されたクラウンゴール

ホルモンは極微量で作用する

ホルモン受容体のリガンドに対する解離定数 (K_d) :
nM \sim μ M ($10^{-9}\sim 10^{-6}$)

組織中のホルモン濃度 : 0.1 nM \sim 1 μ M
Cf. アミノ酸、糖濃度: \sim mM

1 nM (10^{-9} M)ってどれくらい?

25 m プール

$$(25 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 1 \text{ m}) = 2.5 \times 10^5 \text{ L}$$

+

分子量200のホルモン 50 mg (2.5×10^{-4} mol)

→米粒 2 つくらい



サイトカイニン (CKs)

サイトカイニンは植物成長の様々なプロセスを制御する植物ホルモン

カルス増殖



Kiba et al. (2004)

シュート成長



AtCKX-ox: Werner et al. (2001)

根成長



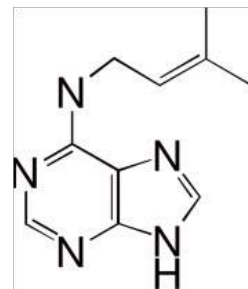
穀粒収量制御



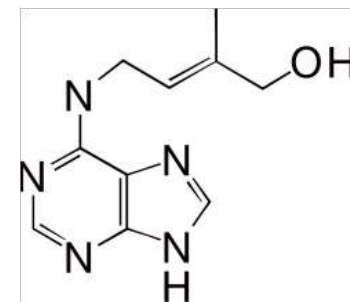
Gn1: Ashikari et al. (2005)

サイトカイニンは道管や師管を介して輸送される(長距離情報分子)

サイトカイニンの構造多様性



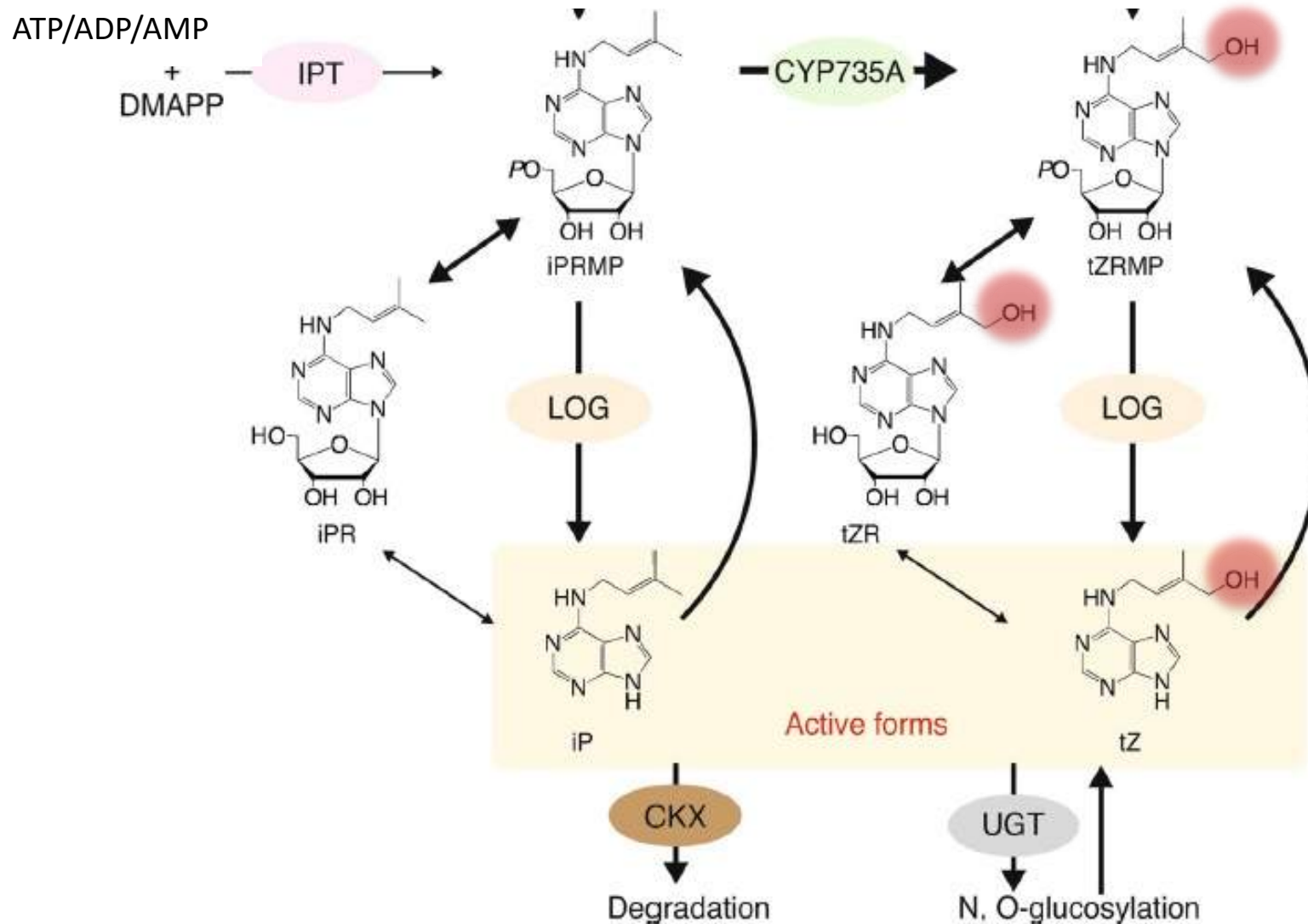
イソペンテニルアデニン (iP)



トランスゼアチン (tZ)

サイトカニン合成経路

iP型とtZ型の構造多様性はIPTとCYP735Aの作用関係によって生み出される



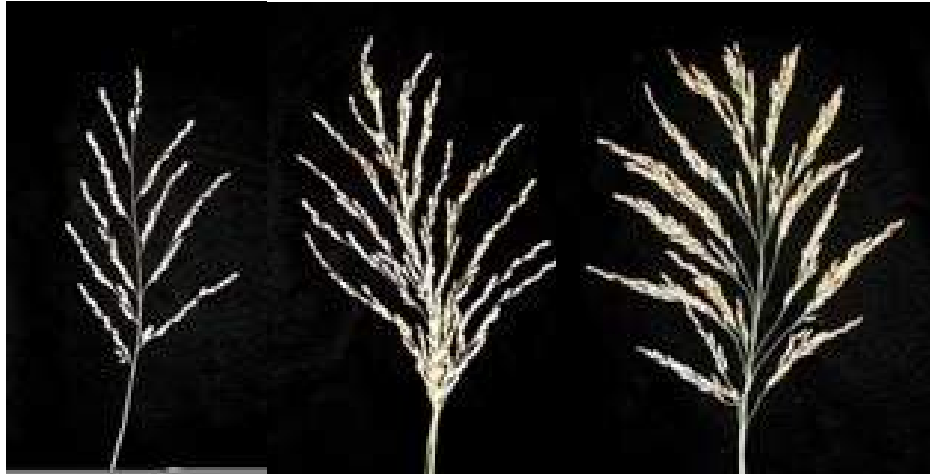
Takei et al. JBC (2001), Takei et al. JBC (2004), Kasahara et al. JBC (2004), Sakakibara et al. PNAS (2005), Kurakawa et al. Nature (2007), Wang et al. PCP (2011), Kudo et al. Plant Physiol (2012)

イネの収量性を左右する遺伝的 주요 要因の1つは サイトカイニン分解に関わる遺伝子 (CKX) への自然変異

コシヒカリ

ハバタキ

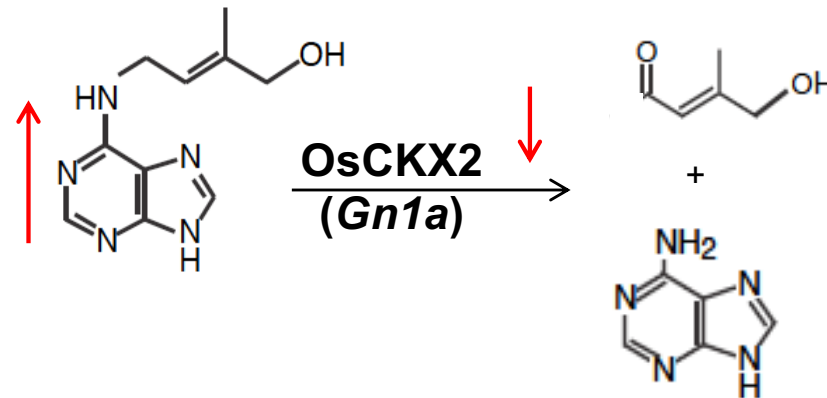
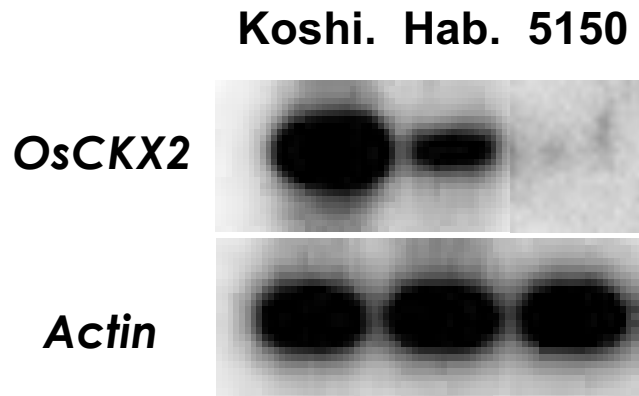
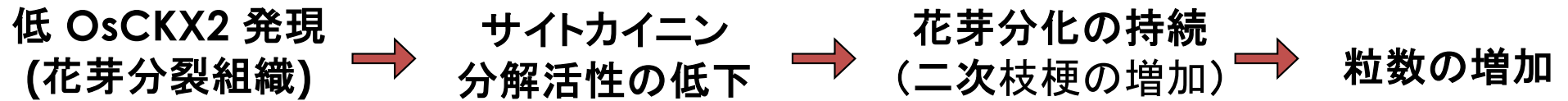
5150



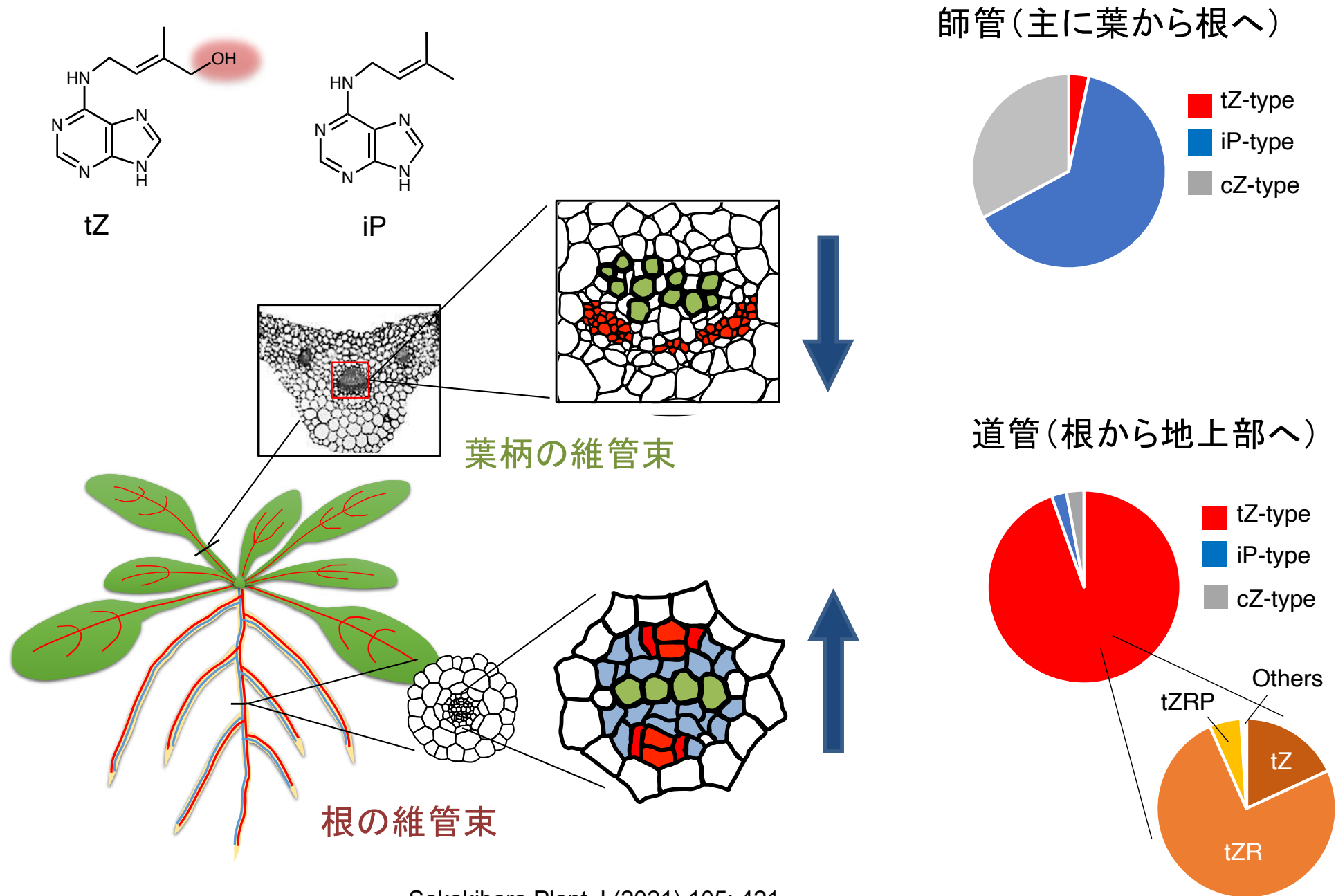
コシヒカリ



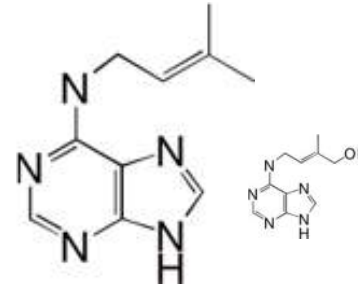
コシヒカリ + Gn1



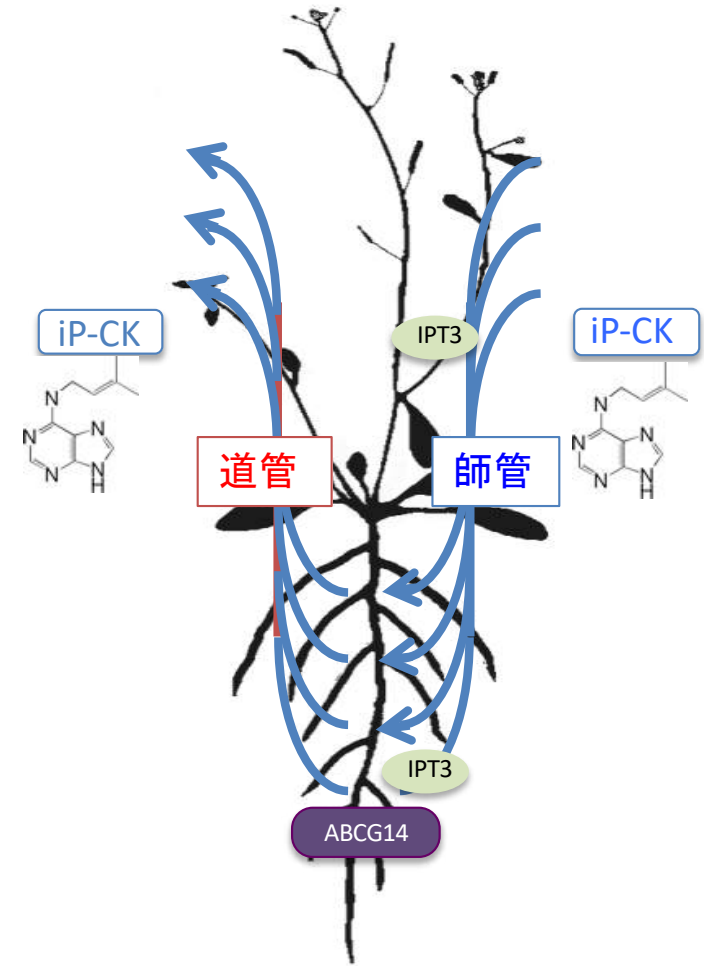
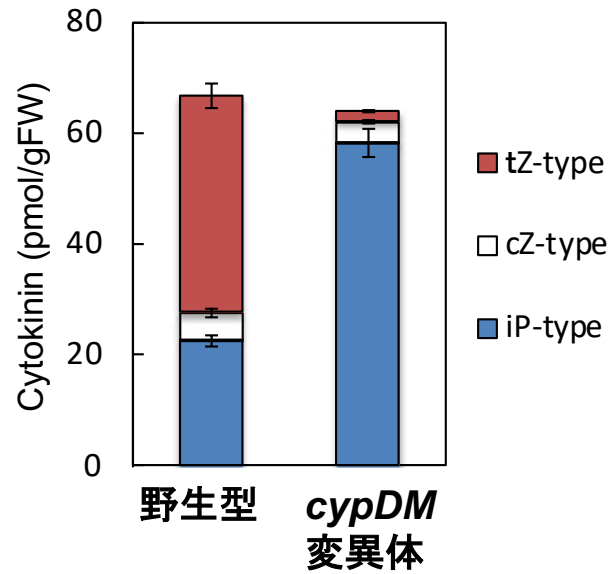
サイトカイニンには複数の分子種があり 輸送される経路が分子種によって異なる



tZ型のサイトカイニンがないと地上部の成長のみが不全になる (CK作用の質的制御)



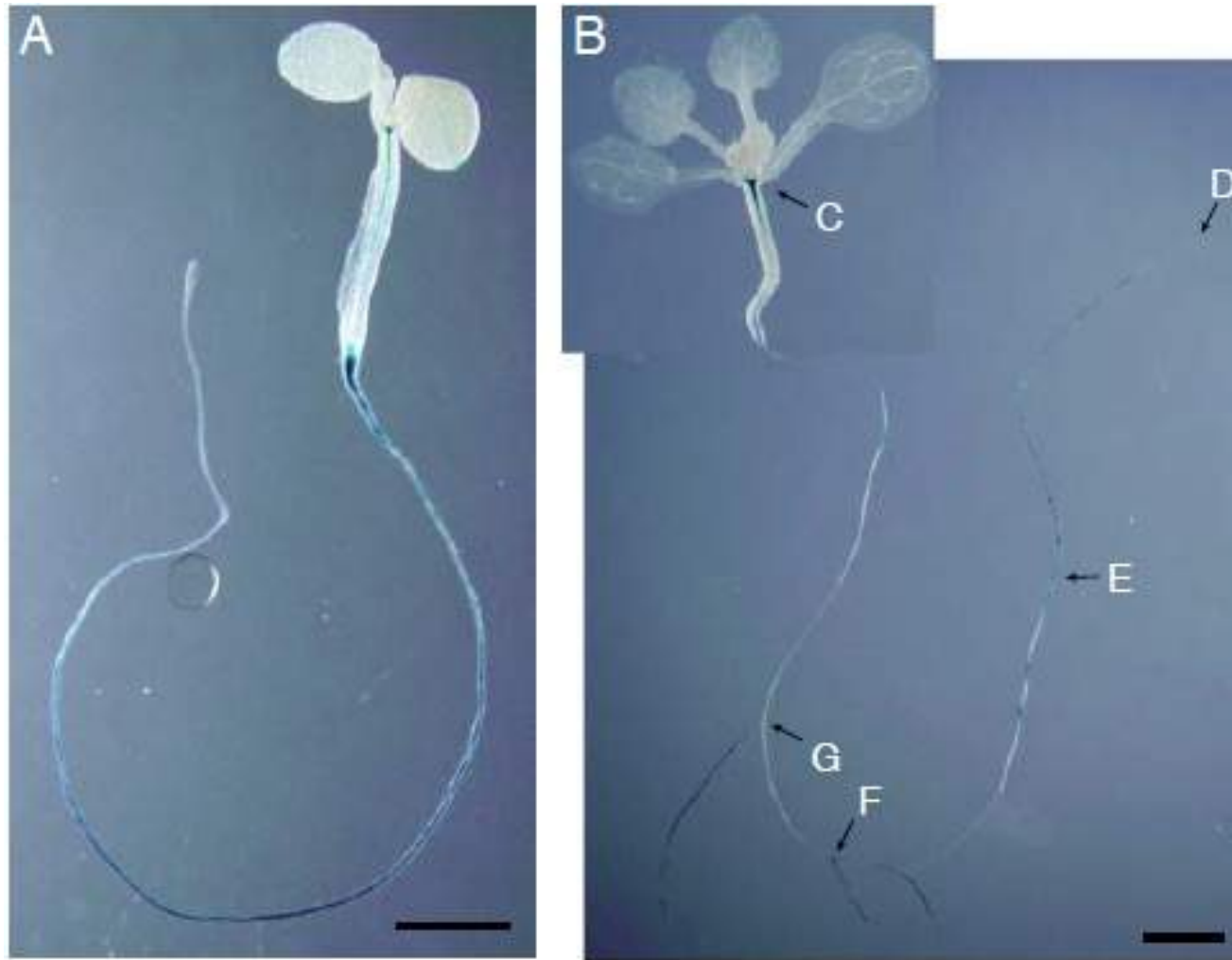
野生型 *cypDM*変異体



cypDM: CYP735A1, A2二重変異体

tZ型サイトカイニンはほぼ根で合成される

ただし、その遺伝子機能欠損の影響は根ではなく、地上部に現れる



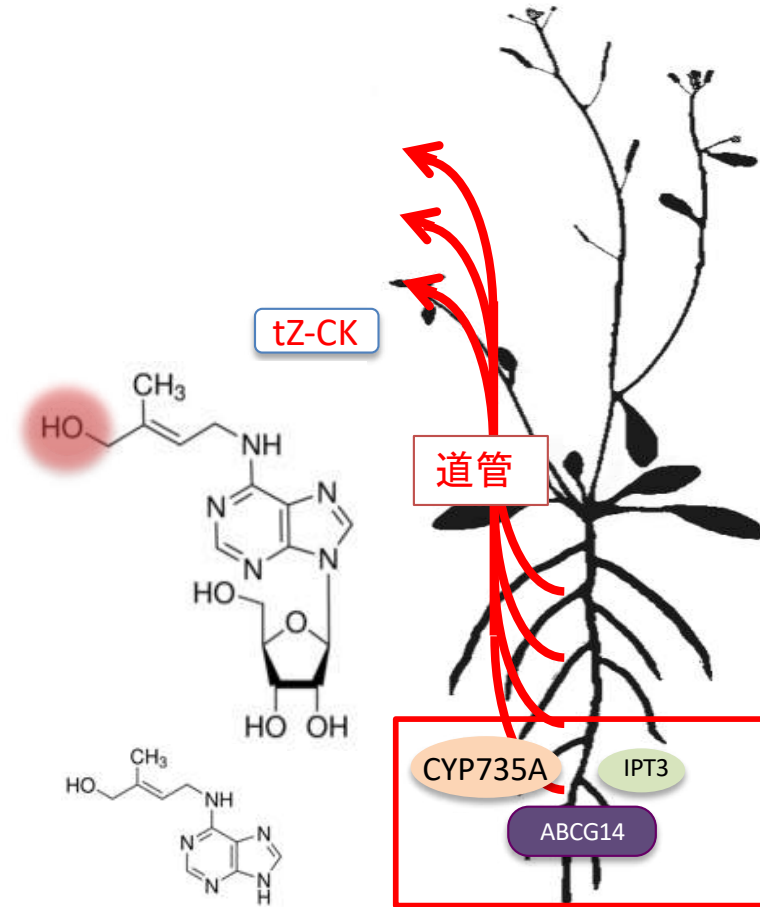
根から道管を介して輸送される tZ-サイトカイニンは地上部の成長を促進する (CK作用の質的制御)

野生型と変異体の接ぎ木実験



穂木	野生型	<i>cypDM</i>	<i>cypDM</i>
台木	野生型	<i>cypDM</i>	野生型

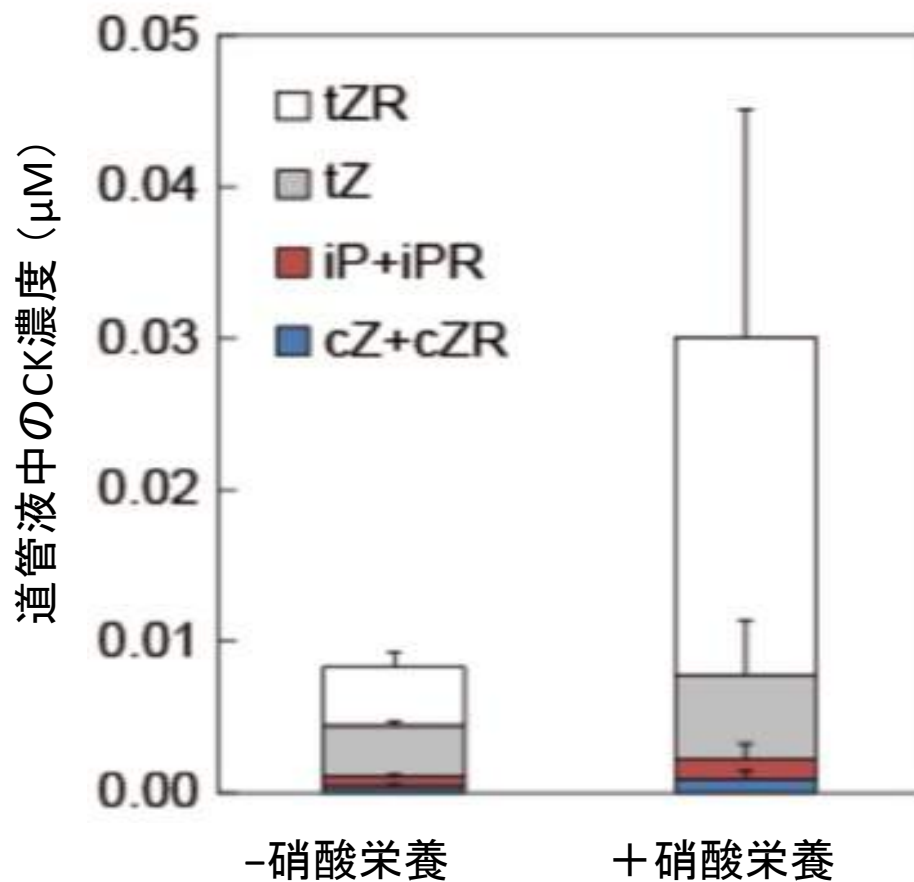
Kiba et al. Developmental Cell (2013)



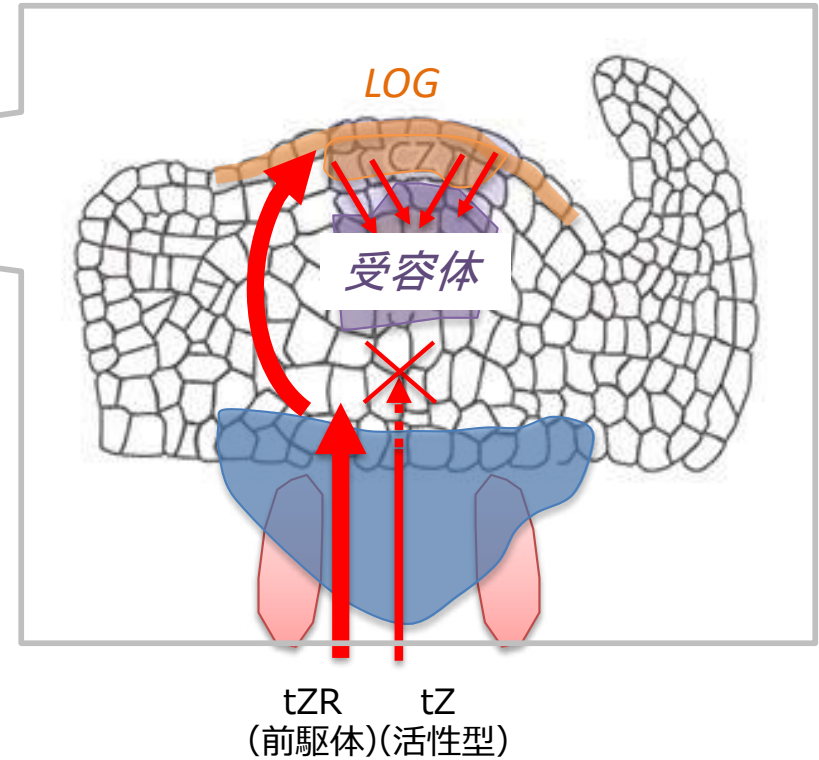
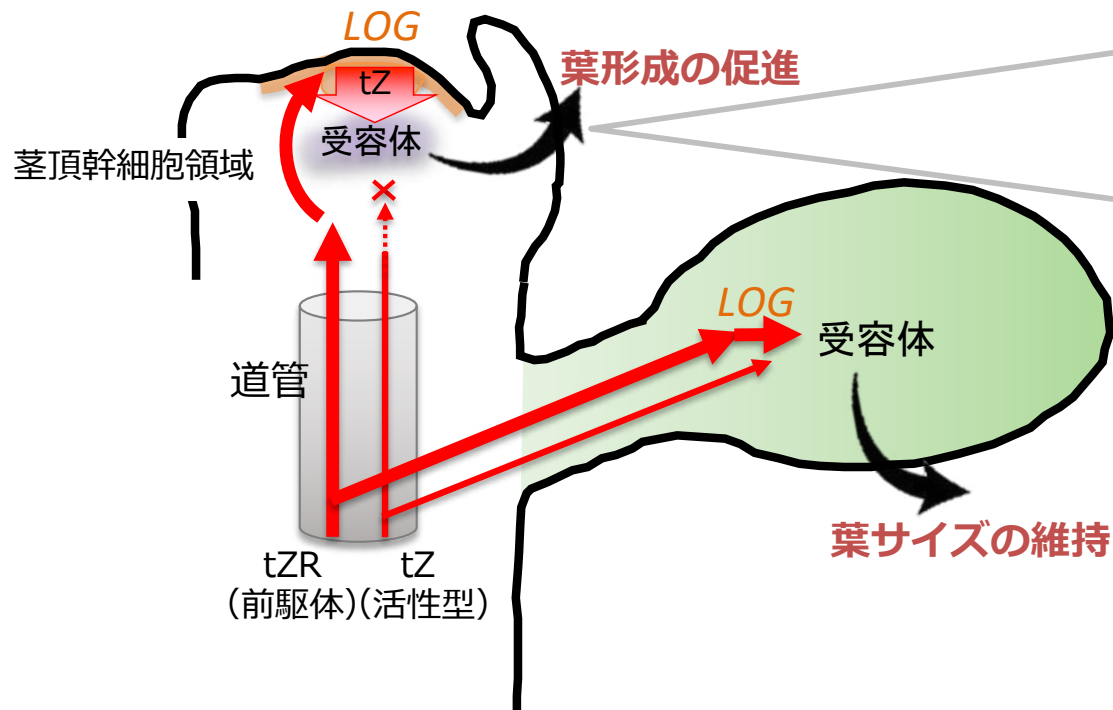
これらの遺伝子は窒素栄養で発現が上昇する

窒素栄養に応答した根から地上部への器官間成長促進シグナル

道管を輸送される tZ (活性型) と tZR (前駆体) の濃度比は硝酸イオン投与で変化する



茎頂分裂組織の幹細胞には 前駆体として輸送されたもののみ作用できる

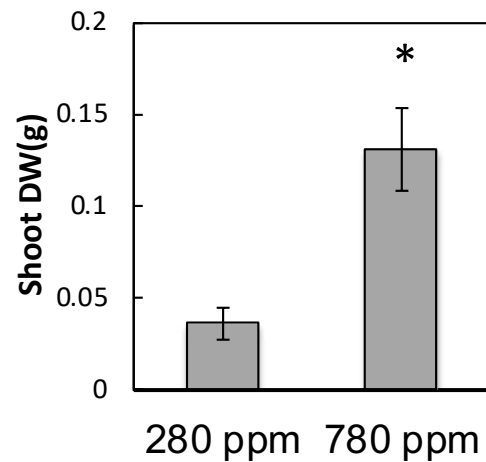


高CO₂条件は植物の成長と葉分化速度を促進する

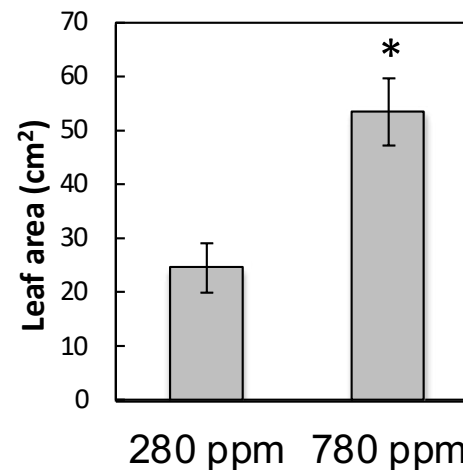


4 weeks at 22°C and 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (12L12D) on soil

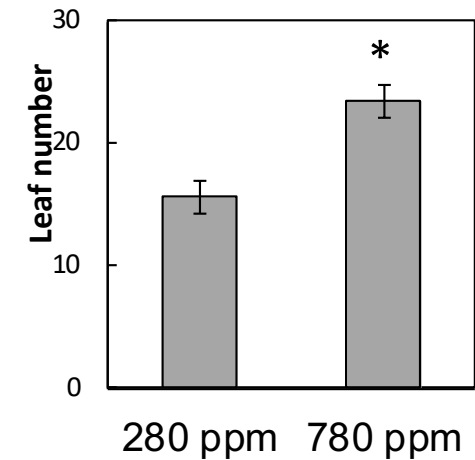
地上部の乾物重量



葉のサイズ

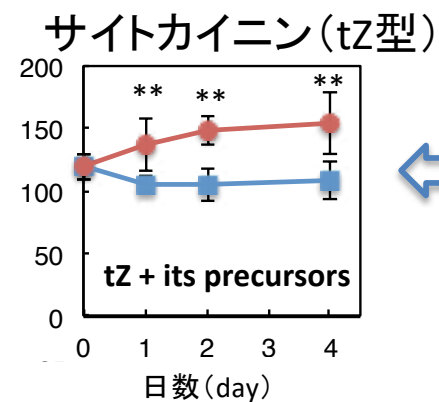
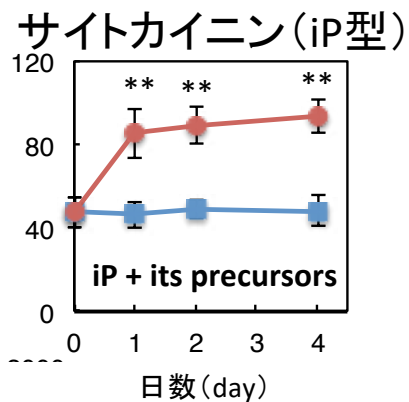
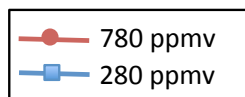
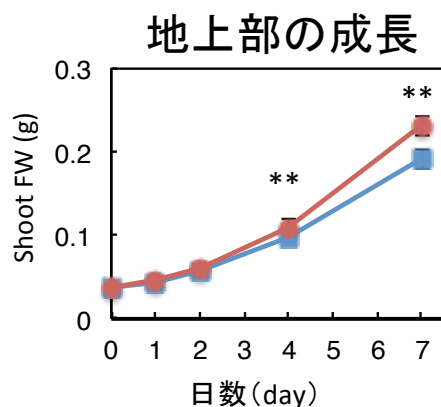


葉の枚数

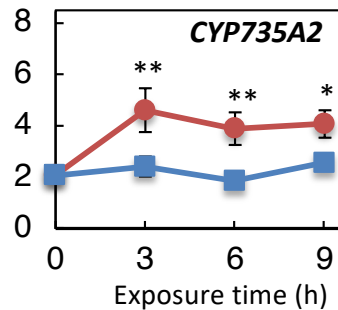
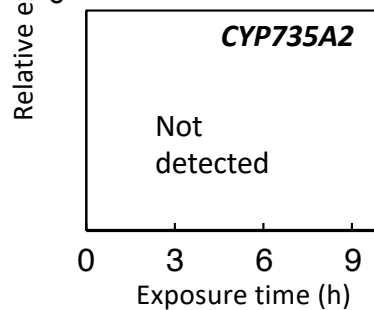
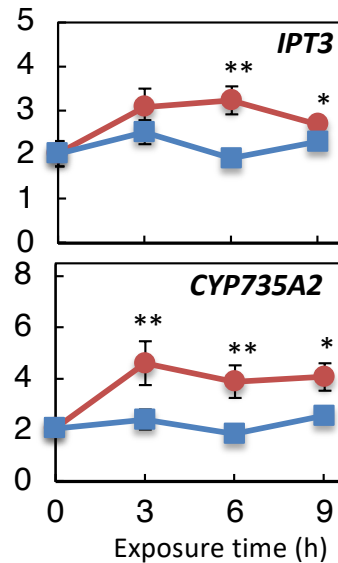
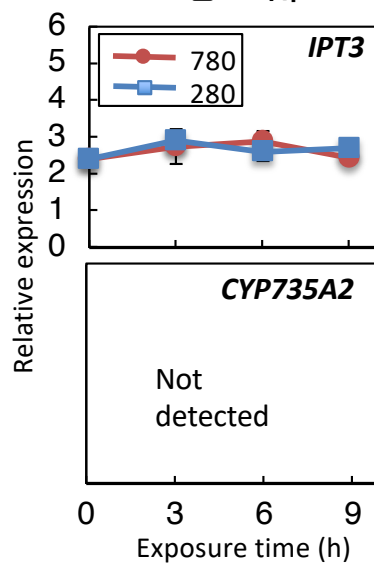


N = 10 mean \pm SD; *, p < 0.01

高CO2に应答したサイトカイニン合成の誘導は根で起こる



← 増加



高CO₂環境下での成長促進にはたらくサイトカイニンは 光合成由来の糖によって根で合成誘導され地上部に作用する

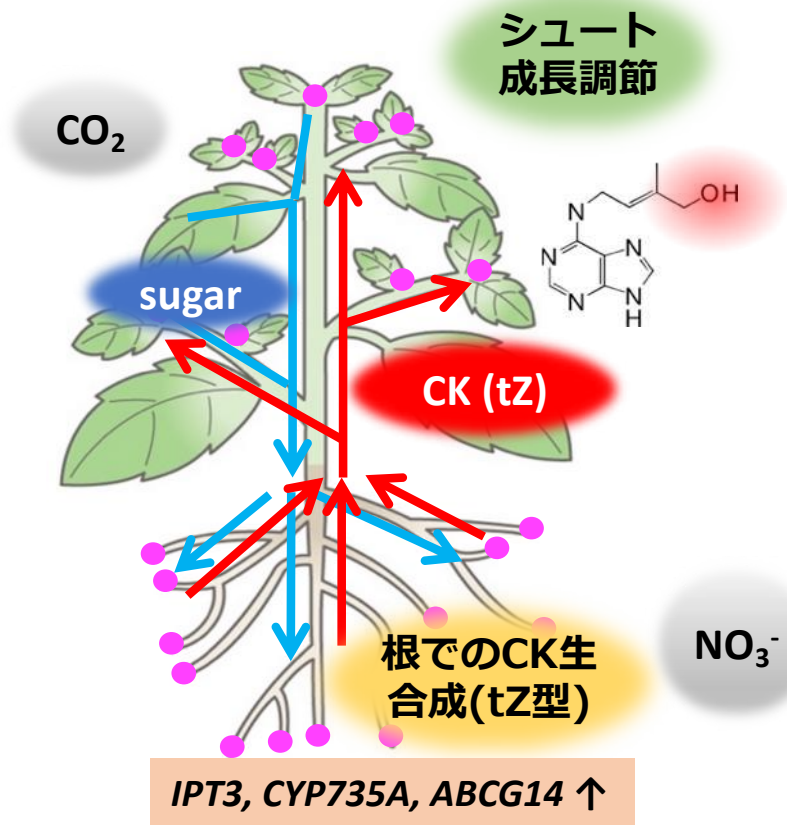
280 ppm



780 ppm



Kiba et al. Sci Rep 2019



窒素と炭素栄養による成長促進制御はサイトカイニンを介した器官間の情報
コミュニケーションにより調和的に行われる

サイトカイニン分解酵素遺伝子 (*CKX*) への自然変異 (*Gn1*) はイネの粒数増加をもたらす

コシヒカリ ハバタキ 5150

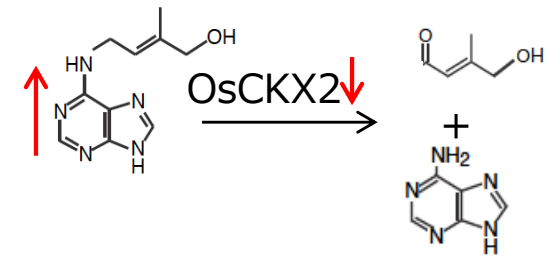
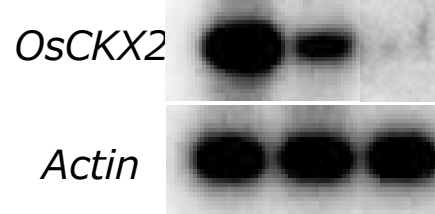


OsCKX2 (*Gn1*)
発現減少
(花芽分裂組織)



サイトカイニン分解活性の低下による花芽分化組織活性の持続

Koshi. Hab. 5150



コシヒカリへの*Gn1*, *sd1*ピラミディングによる多収性形質の導入



コシヒカリ

NIL-sd1

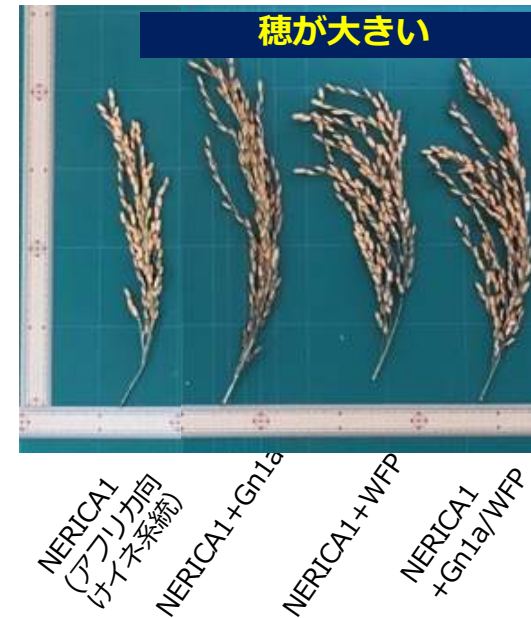
NIL-Gn1

NIL-sd1+Gn1

Gn1(CKX2)を用いたイネの増収の研究成果をアフリカへ！ (WISHプロジェクト)

Gn1a, WFPを導入したアフリカ向けイネ育種系統の栽培試験を行い、ケニアでの増収を実証

✓ Gn1a (籾数増加遺伝子) 及びWFP (一次枝梗増加遺伝子) を導入したアフリカ向けイネ系統 (NERICA1等) を用いた栽培試験を行い、ケニアの栽培環境下では増収可能であることを実証。



籾数増加遺伝子を利用した収量増加は可能

