

■本資料のご利用にあたって(詳細は「利用条件」をご覧ください)

本資料には、著作権の制限に応じて次のようなマークを付しています。
本資料をご利用する際には、その定めるところに従ってください。

*****: 著作権が第三者に帰属する著作物であり、利用にあたっては、この第三者より直接承諾を得る必要があります。

CC: 著作権が第三者に帰属する第三者の著作物であるが、クリエイティブ・コモンズのライセンスのもとで利用できます。

Ⓒ: パブリックドメインであり、著作権の制限なく利用できます。

なし: 上記のマークが付されていない場合は、著作権が東京大学及び東京大学の教員等に帰属します。
無償で、非営利的かつ教育的な目的に限って、次の形で利用することを許諾します。

- I 複製及び複製物の頒布、譲渡、貸与
- II 上映
- III インターネット配信等の公衆送信
- IV 翻訳、編集、その他の変更
- V 本資料をもとに作成された二次的著作物についての I からIV

ご利用にあたっては、次のどちらかのクレジットを明記してください。

東京大学 Todai OCW 学術俯瞰講義
Copyright 2013, 福田 裕穂

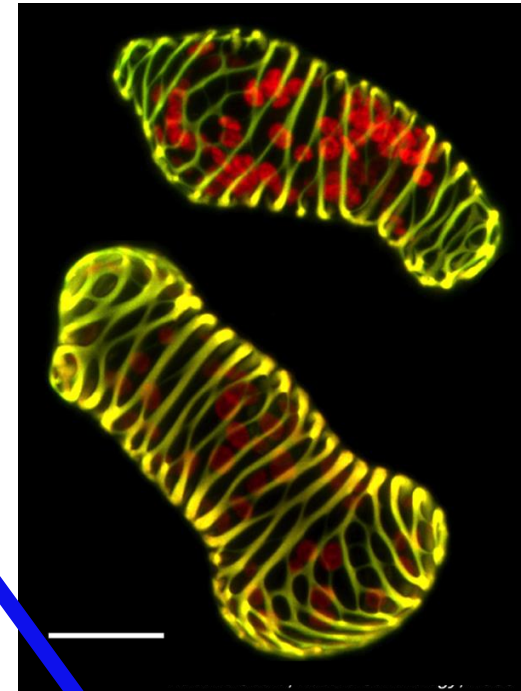
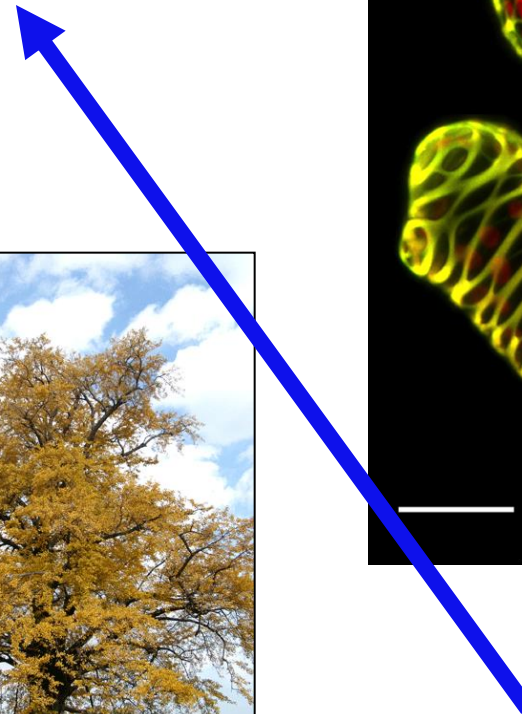
The University of Tokyo / Todai OCW The Global Focus on Knowledge Lecture Series
Copyright 2013, Hiroo Fukuda

樹の太るしくみ

Photo by Allie_Caulfield, from
flickr (2015/01/16) CC BY 2.0
<https://www.flickr.com/photos/28577026@N02/6845297455>



樹木



*

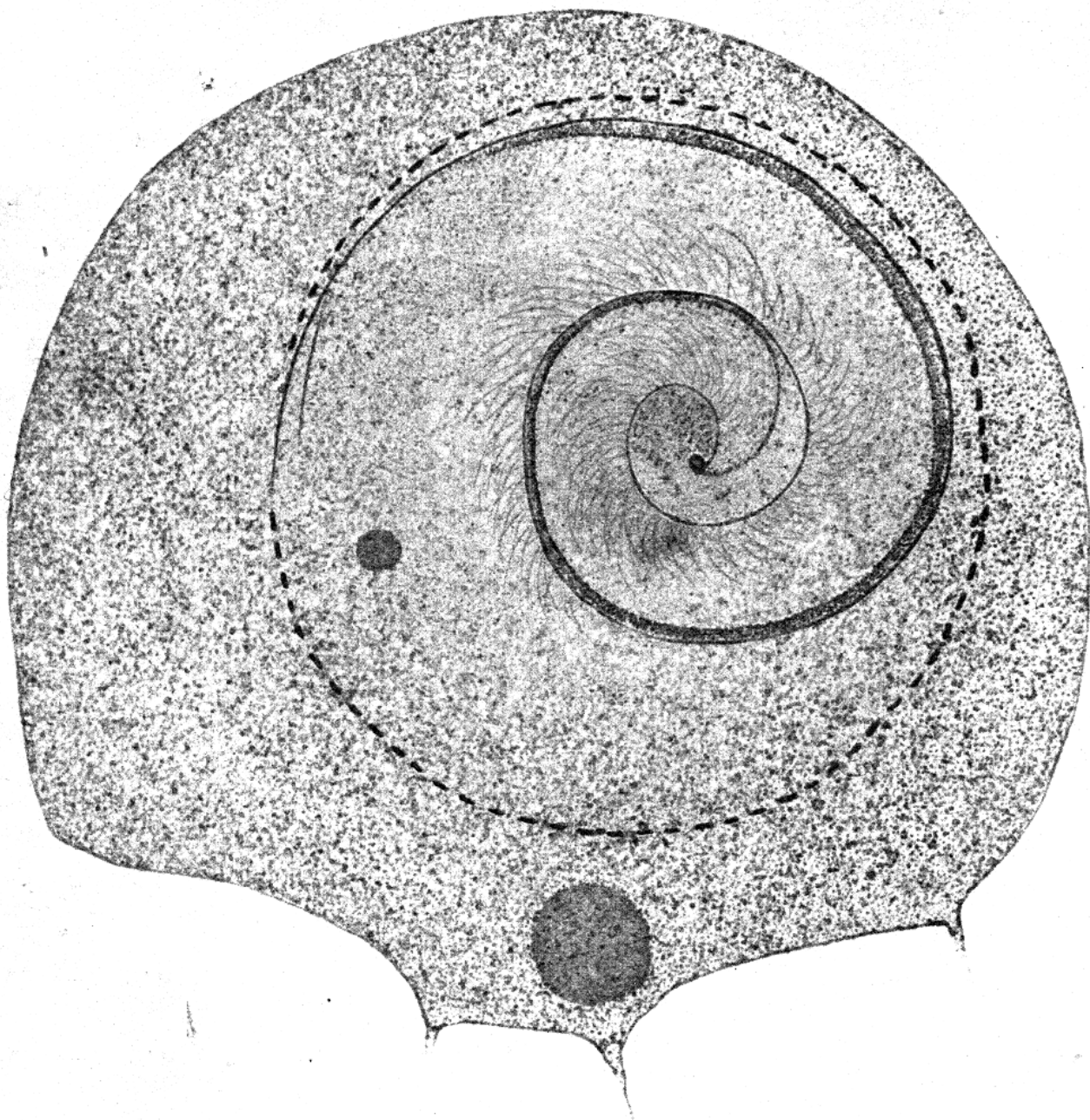
Reprinted by permission from
Macmillan Publishers Ltd:
Nature Cell Biology 5(15), 2003.

細胞

Photo by Tim Bekaert,
from Wikimedia Commons
(2015/01/16)
CC BY-SA 3.0
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sequoia_sempervirens.JPG

* 画像提供: 大学院理学系研究科附属植物園

福田裕穂・東京大学理学系研究科生物科学専攻





* 画像提供: 大学院理学系研究科附属植物園

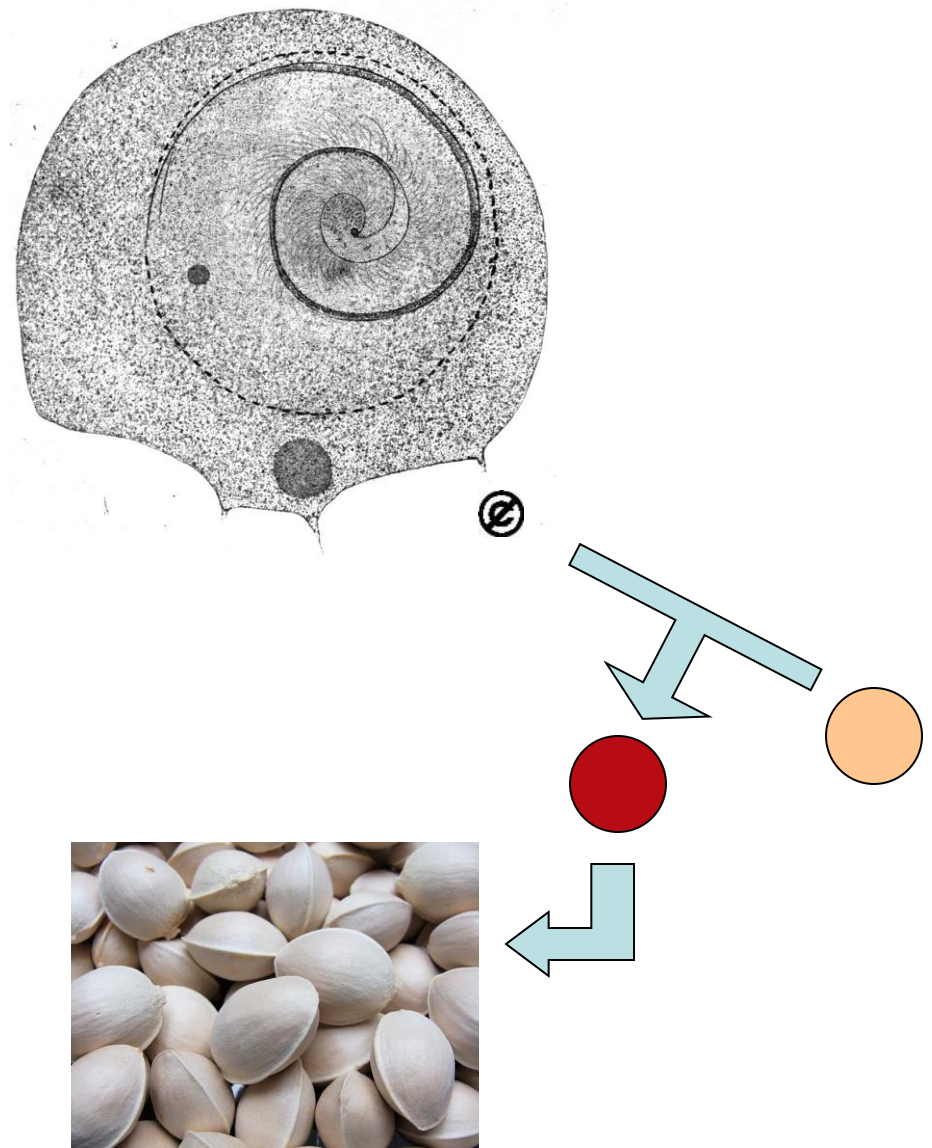
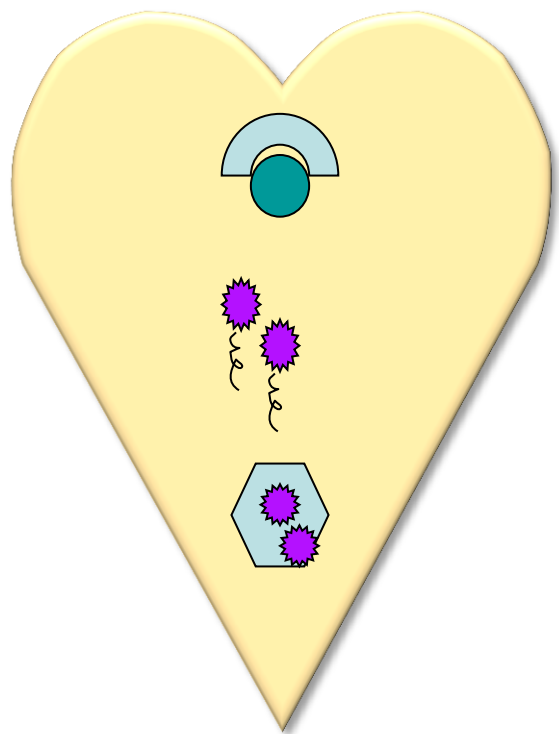


Image by Aomorikuma, from Wikimedia Commons
(2015/01/16)

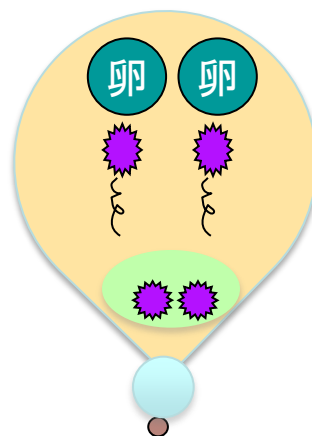
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ginkgo_Seed.JPG

CC BY-SA 3.0

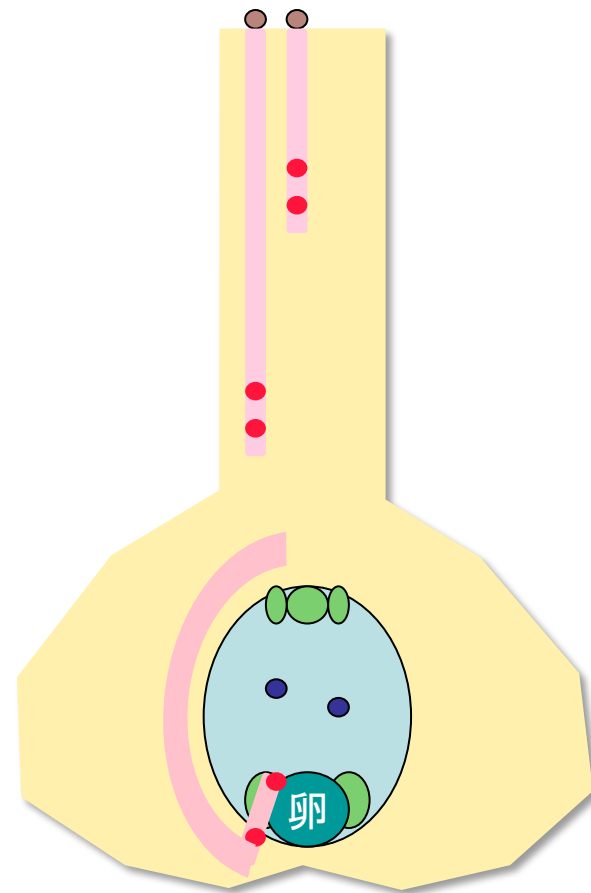
シダ



イチョウ



被子植物



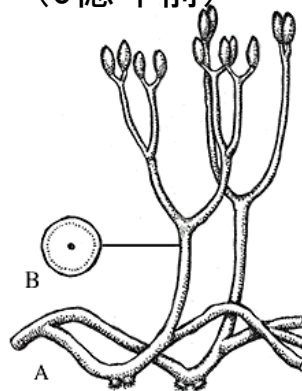
植物は動けないのではない。

動かないという生き方を選択してきたのだ

その選択には、

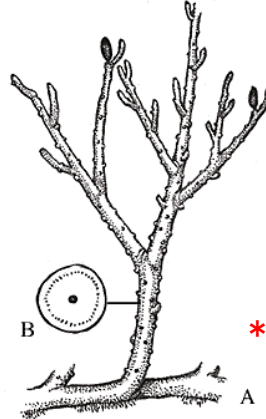
- 1) 様々な環境に対応できる柔軟性の獲得、
- 2) 新たな環境に進出する冒険心、
- 3) 環境を創成していく能力、
を必要とした。

植物、陸に上がる
(5億年前)



リニア状植物

維管束植物の誕生
(4.2億年前)

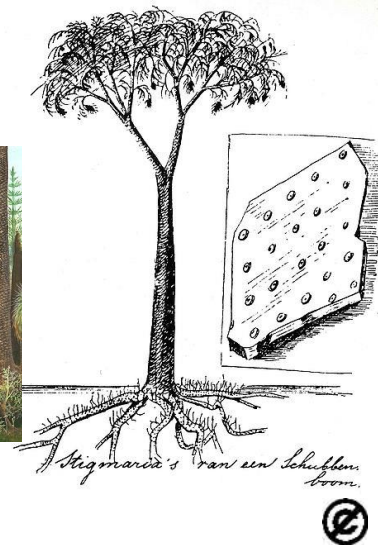


リニア植物

シダ植物の誕生



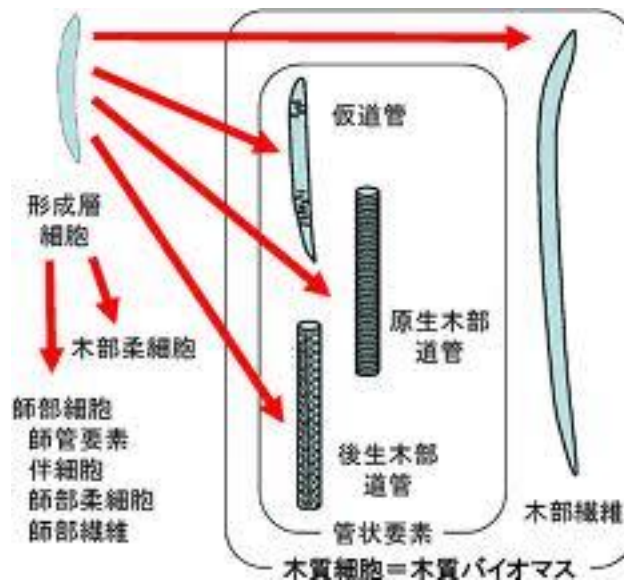
* Illustration by Mary Parrish
© Smithsonian Institution
<http://www.si.edu>



木本トクサ類の沼 リンボクなどの森
(3-3.5億年前)

裸子植物の誕生
(2.9億年前)

被子植物の誕生
(1.4億年前)



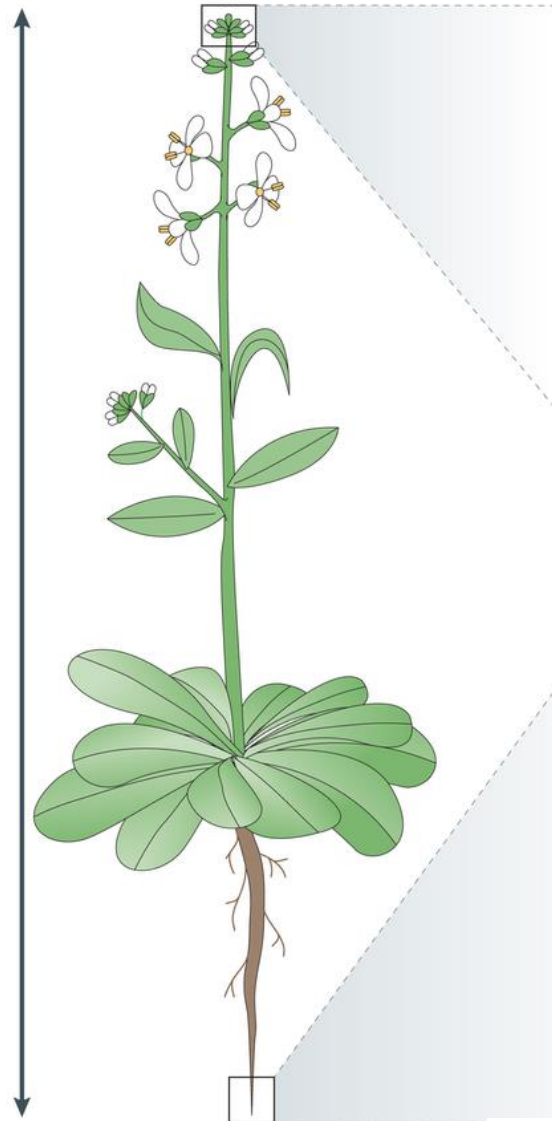
* 提供：理化学研究所

Image Credits [リニア状植物
& リニア植物]: Virtual
Paleobotany Lab, Laboratory
IV: Early Land Plants
<http://www.ucmp.berkeley.edu/IB181/VPL/Elp/Elp2.html>
© The Museum of
Paleontology of The
University of California at
Berkeley and the Regents of
the University of California.

植物の形作りはメリステムでおこなわれる

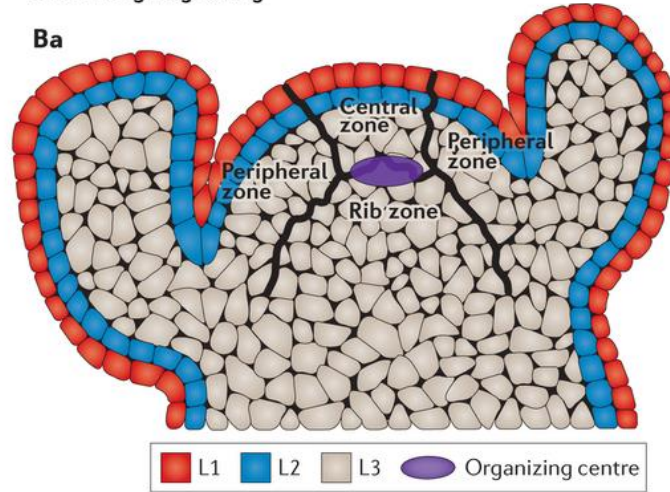
莖頂分裂組織

A Long-range signalling

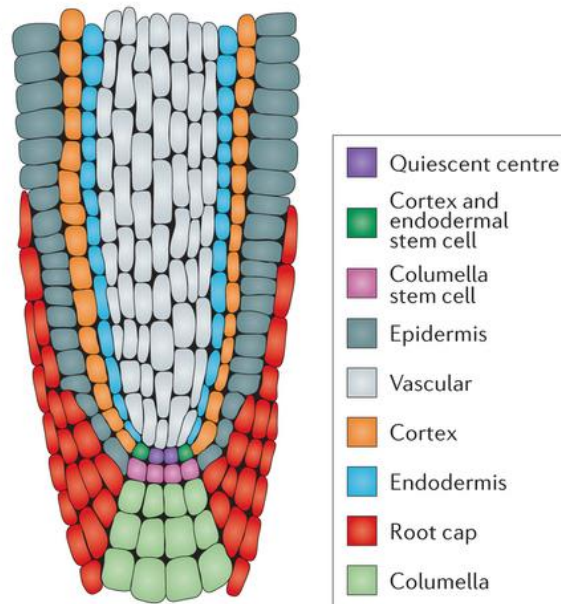


Short-range signalling

Ba



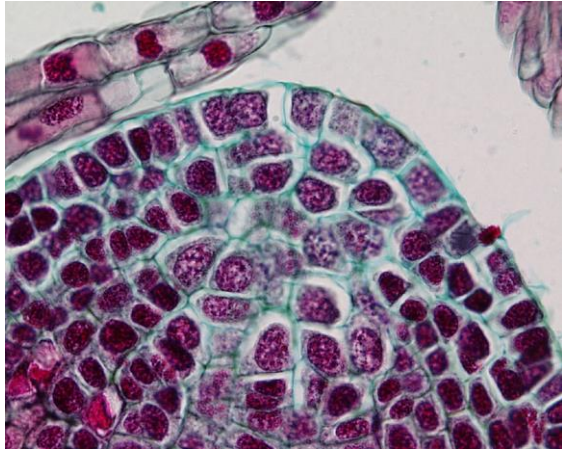
Bb



根端分裂組織

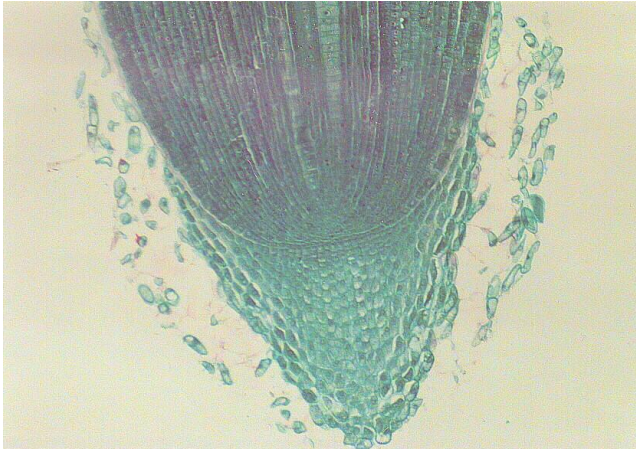
メリステム（分裂組織）

シュート頂



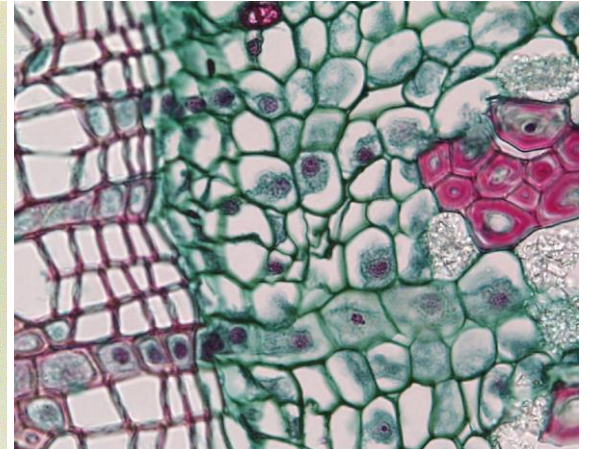
*

根端



*

維管束



*

Photos courtesy of Paul J Schulte, University of Nevada, Las Vegas

植物が太るのは維管束メリステムが分裂
と分化を繰り返すからである

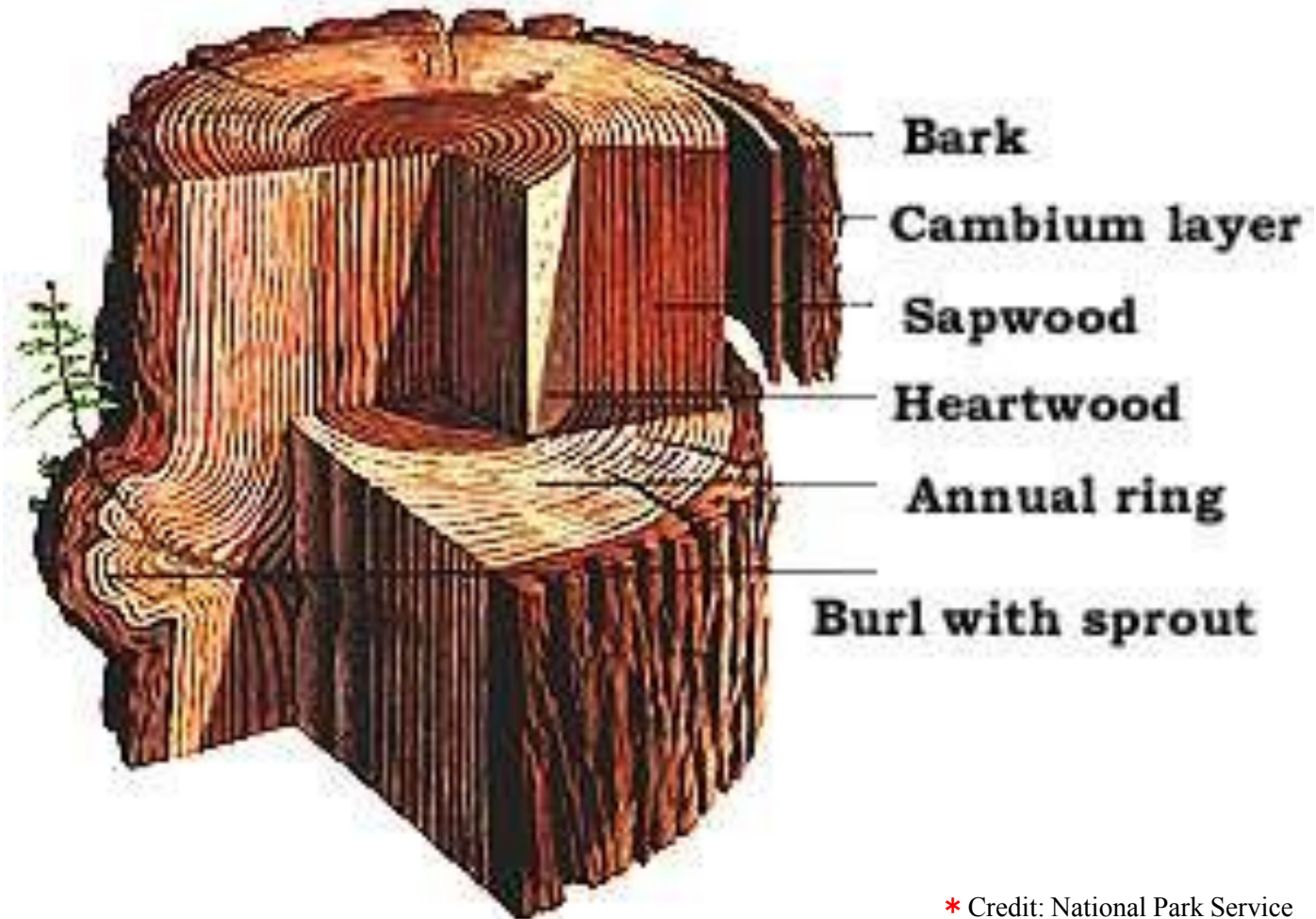
→メリステム維持のためのシグナル伝達



Photo by Allie_Caulfield, from
flickr (2015/01/16) **CC BY 2.0**
<https://www.flickr.com/photos/28577026@N02/6845297455>

樹木

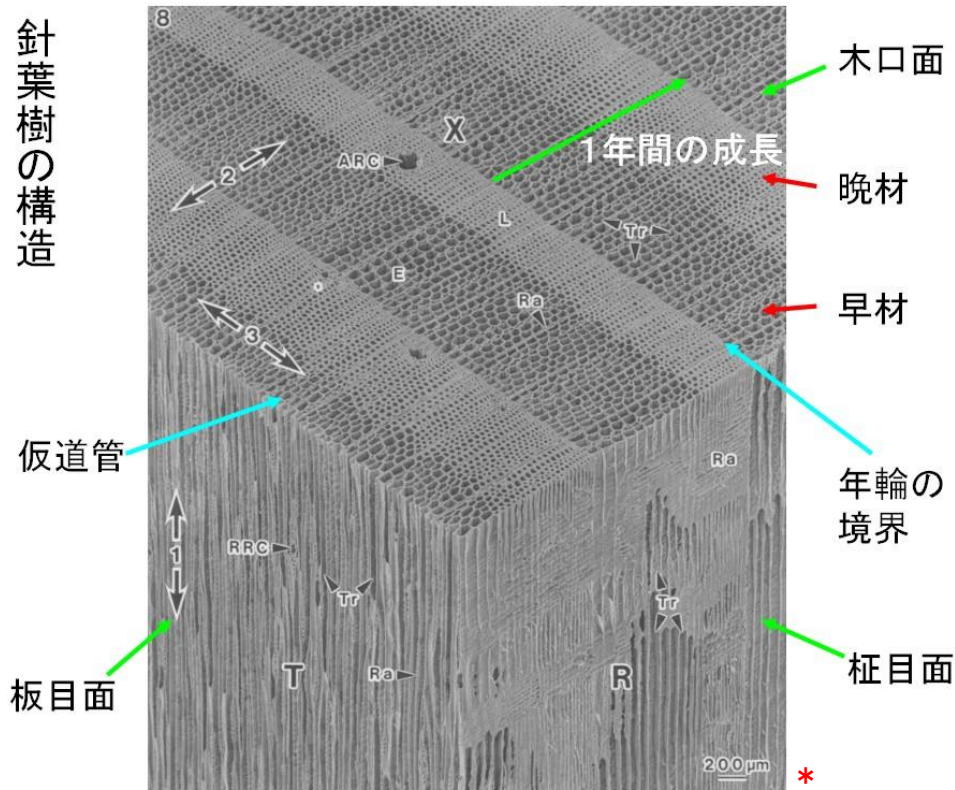
The Redwood Tree



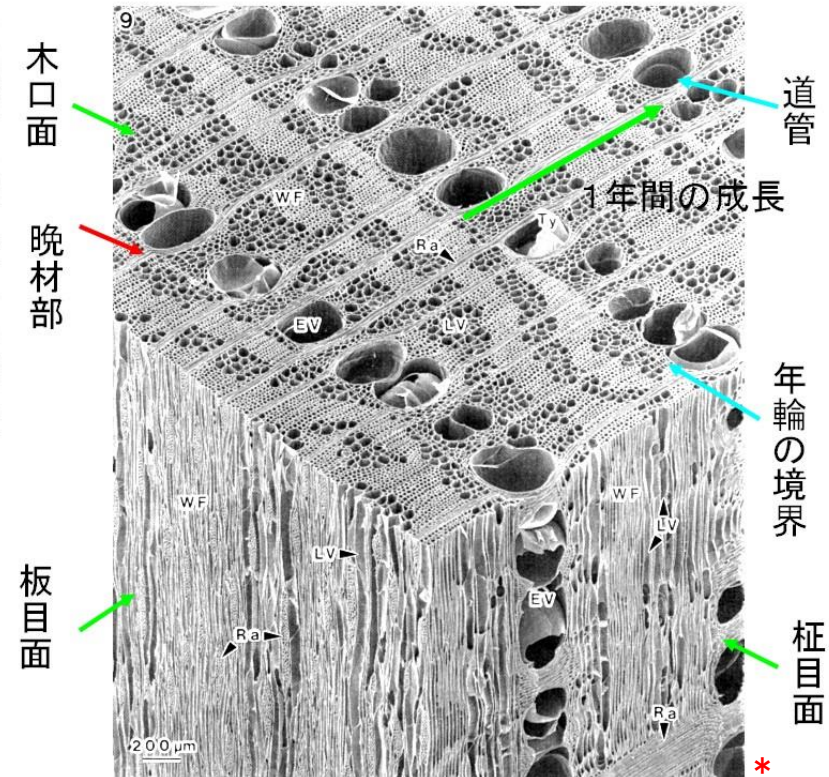
* Credit: National Park Service

年輪

針葉樹の構造



広葉樹(環孔材)の構造



画像出典：Jun Ohtani, *Wood Micromorphology: an Atlas of Scanning Electron Micrographs*, Sapporo: Hokkaido University Press, 2000, [左] p.55 Fig.55; [右] p.165 Fig.236. (c)Jun Otani

ワダンノキ

小笠原固有のキク科木本

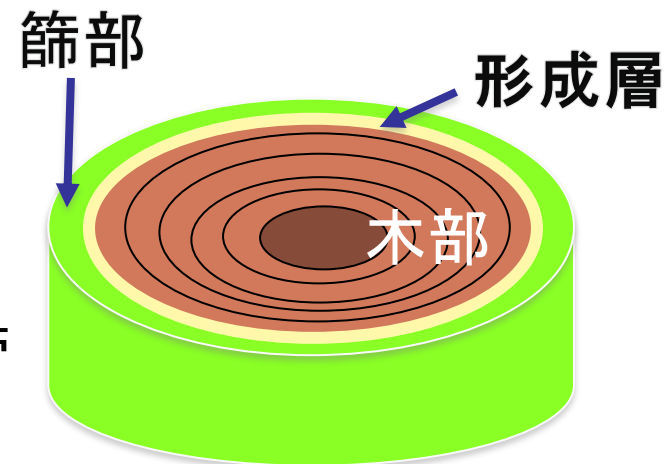
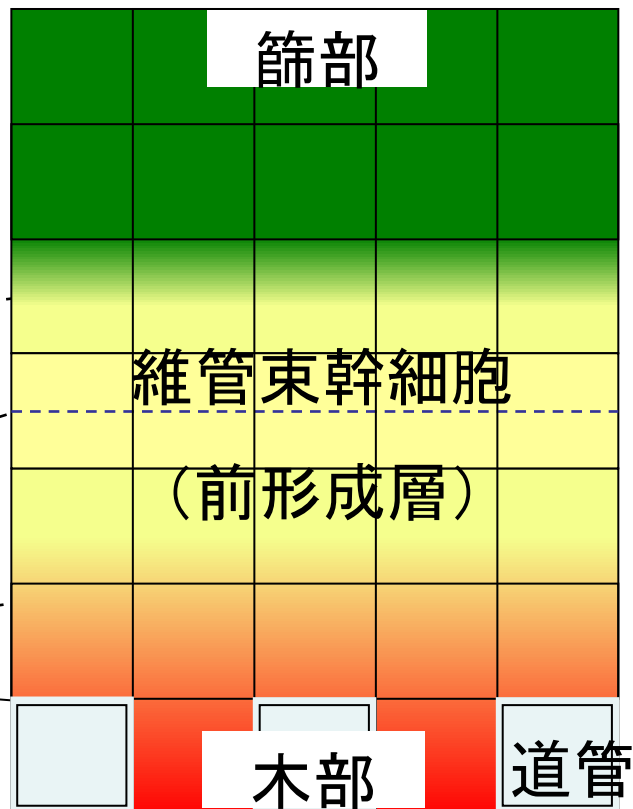
雄の木



雌の花



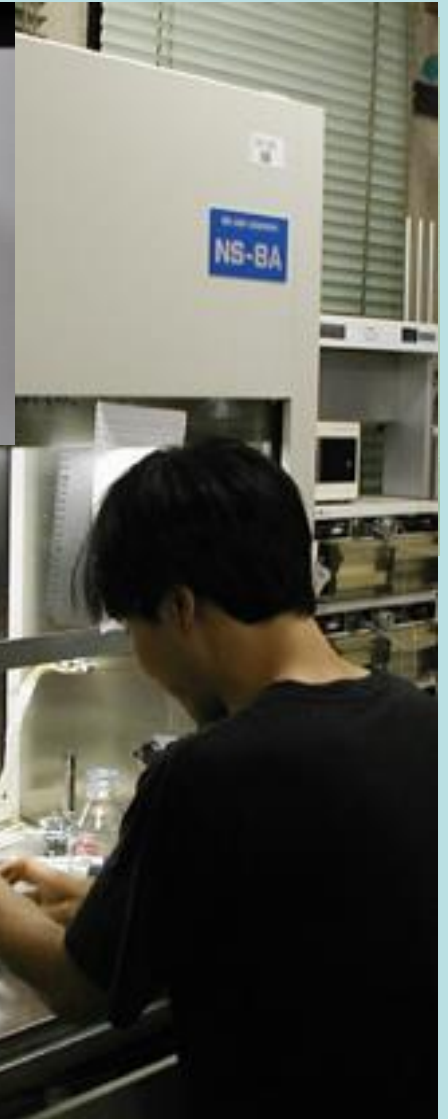
維管束メリステム



* Adapted from: T. E. Weier, C. R. Stocking, M. G. Barbour and T. L. Rost, *Botany: An Introduction to Plant Biology*, 6th ed., New Jersey: John Wiley & Sons, 1982, p.118 Fig.7.9A.



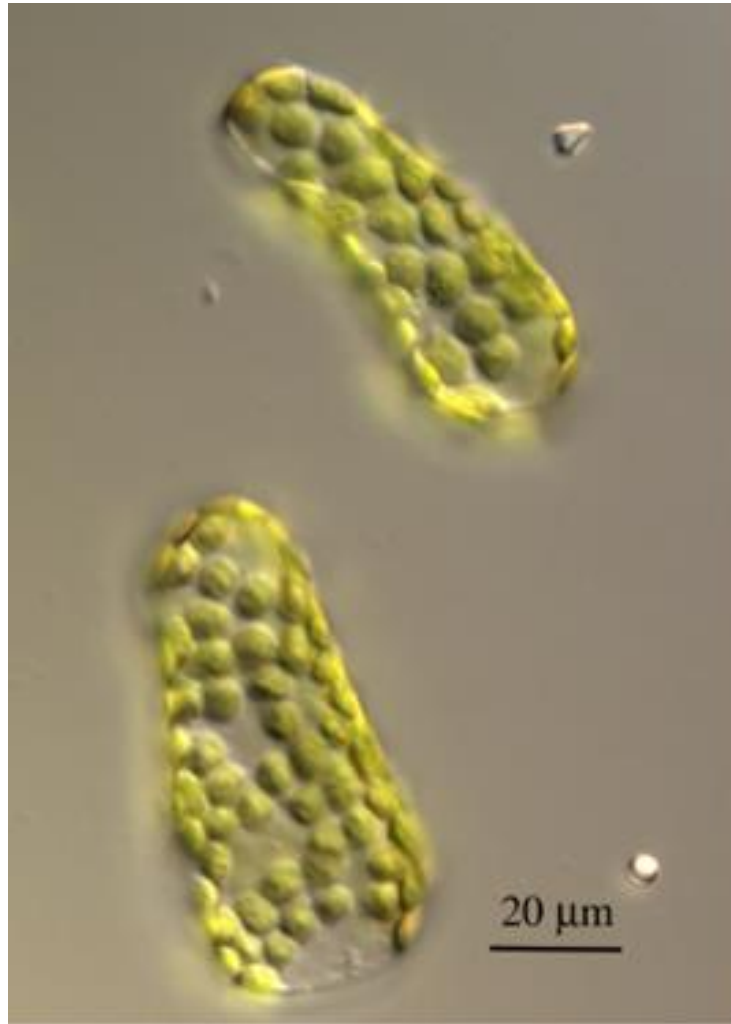
ヒャクニチソウ葉肉細胞からの道管細胞の分化



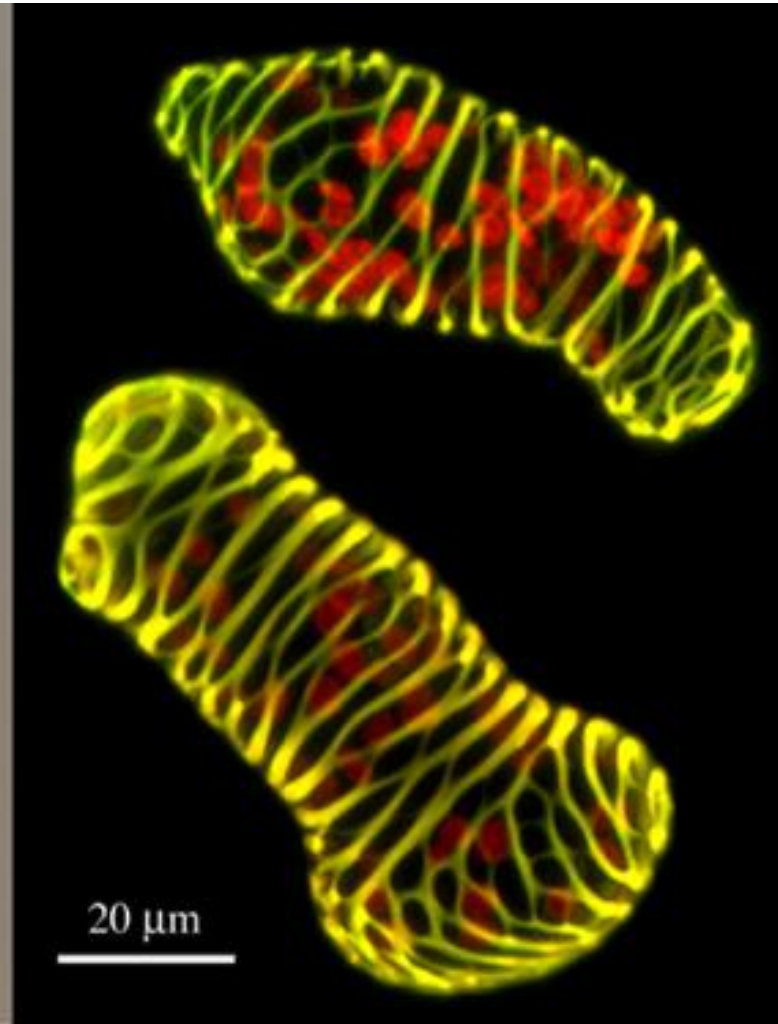
芽生え

光合成細胞が直接道管細胞に分化する

*



*

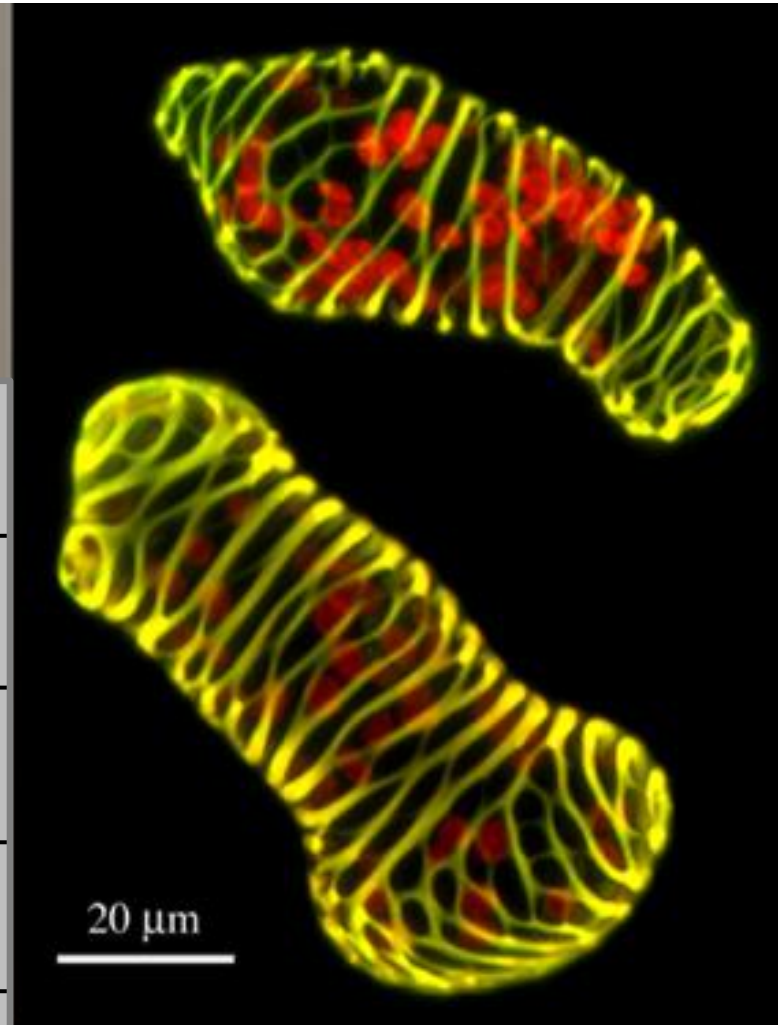


葉肉細胞→前形成層・形成層→道管細胞

Reprinted by
permission from
Macmillan
Publishers Ltd:
*Nature Reviews
Molecular Cell
Biology* 5(5),
379-391, Box
1(a), copyright
2004.

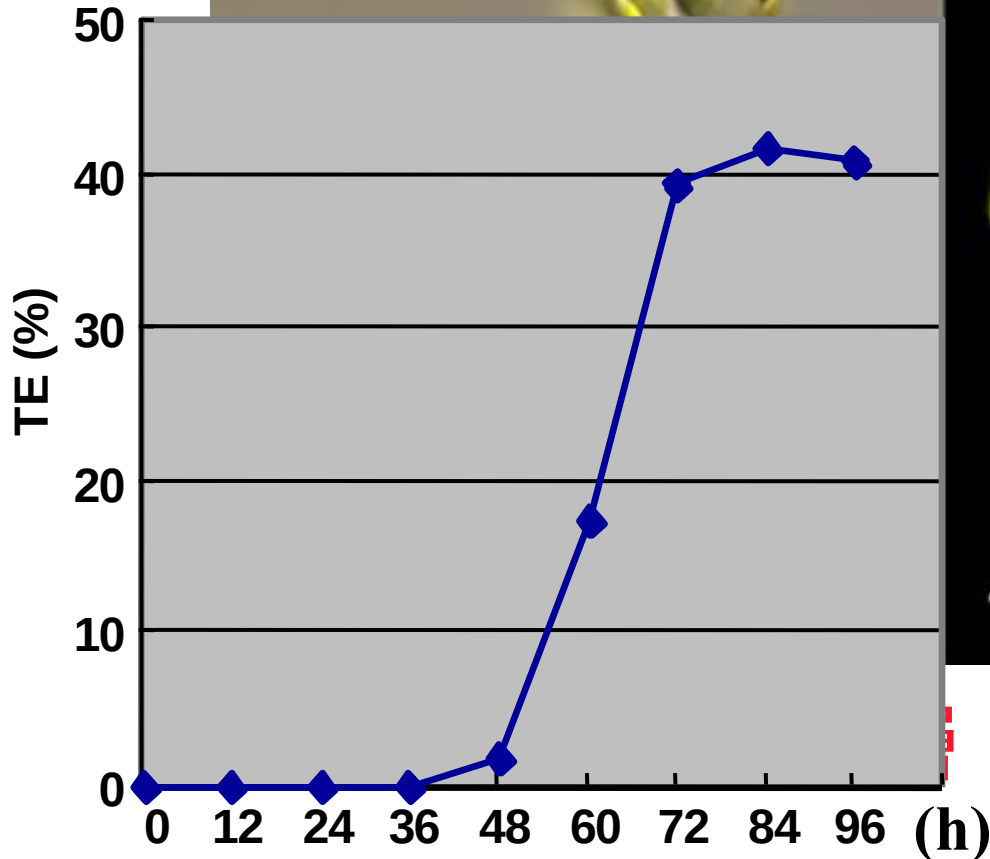
Reprinted by
permission
from
Macmillan
Publishers
Ltd: *Nature
Cell Biology*
5(15),
copyright
2003.

光合成細胞が直接道管細胞に分化する



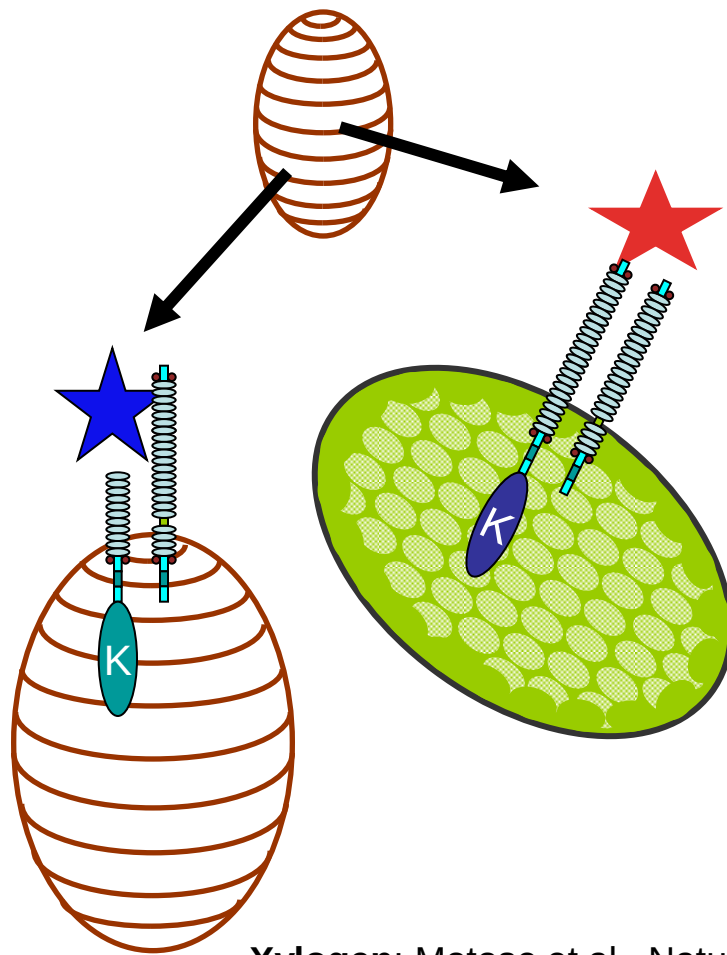
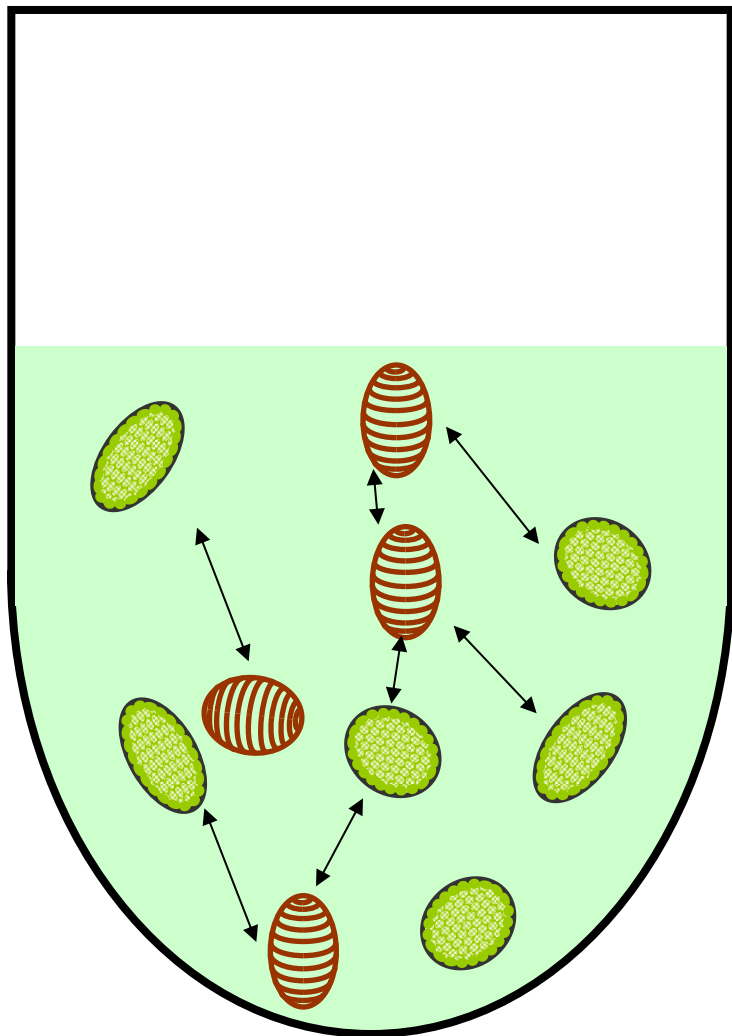
Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd: *Nature Reviews Molecular Cell Biology* 5(5), 379-391, Box 1(a), copyright 2004.

Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd: *Nature Cell Biology* 5(15), copyright 2003.



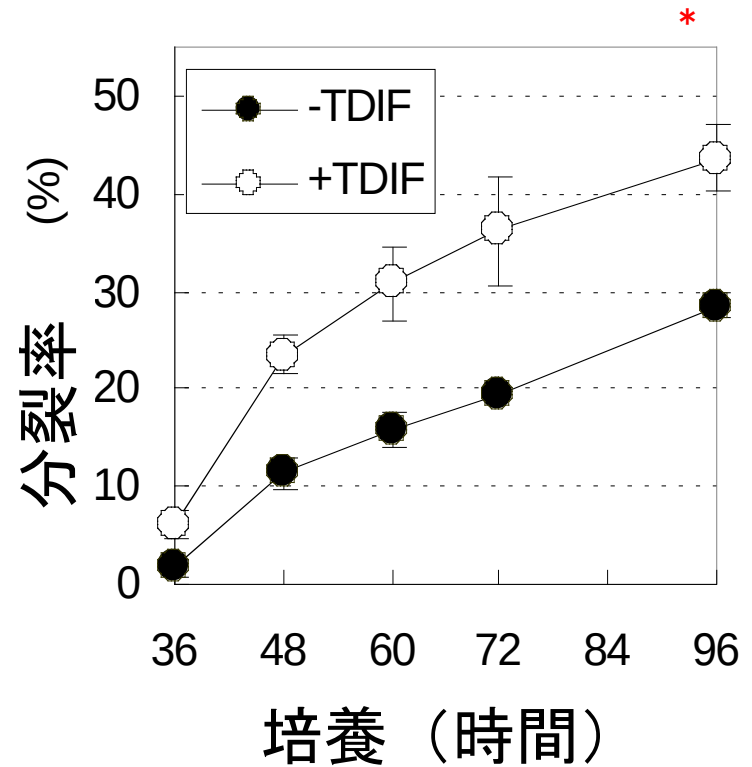
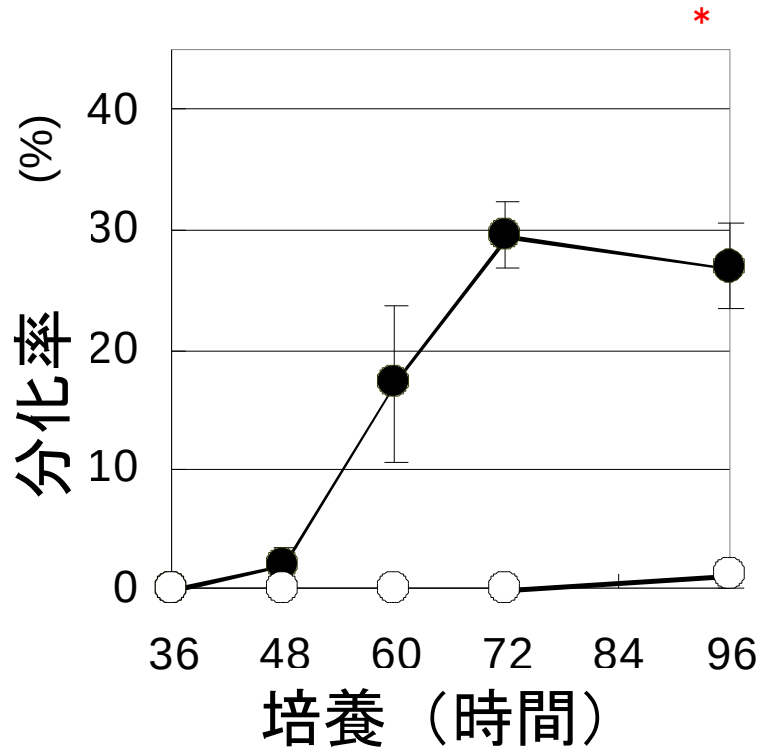
形成層→道管細胞

細胞培養を用いた細胞間シグナルの単離



Xylogen: Motosue et al., Nature 2004
TDIF peptide: Ito et al., Science 2006

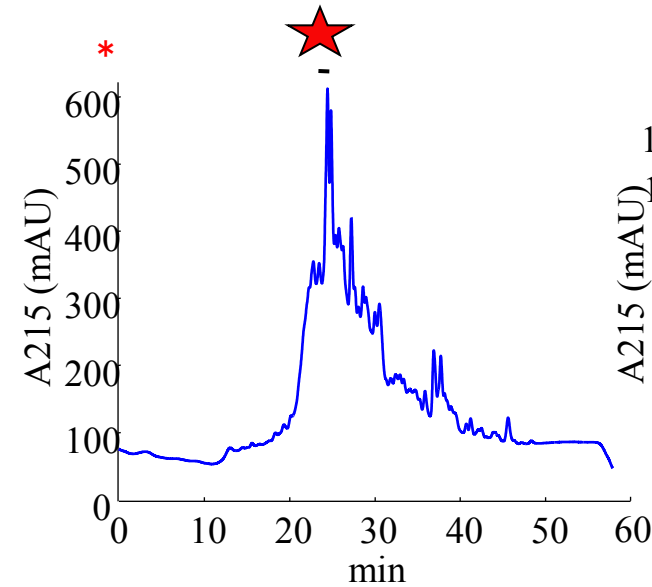
TDIF は道管分化を阻害し、細胞分裂を促進する



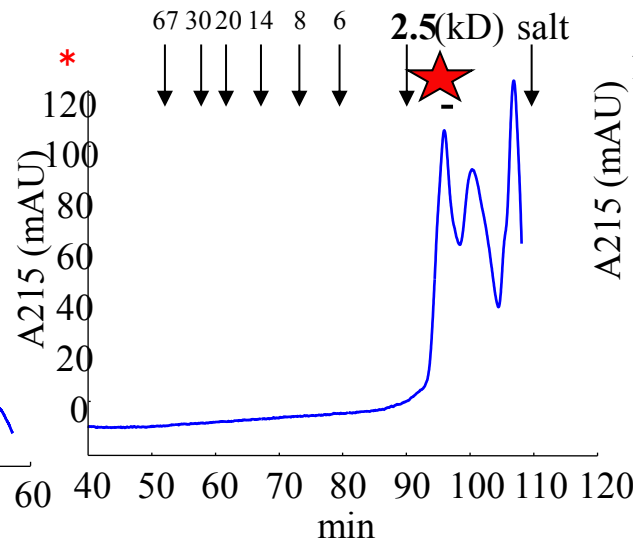
Graphs from: Y. Ito, H. Fukuda et al. (2006) Dodeca-CLE Peptides as Suppressors of Plant Stem Cell Differentiation, *Science*, vol.313 (no. 5788):842-845, p.843 Fig.1C, 1D

TDIFの単離と同定

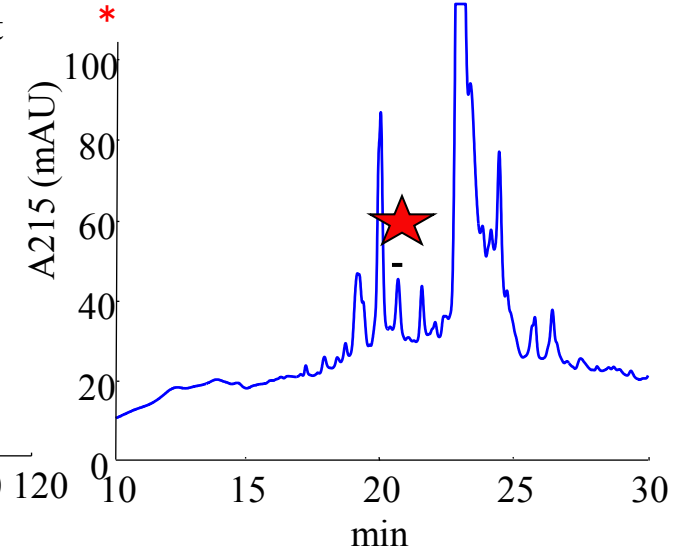
イオン交換カラム



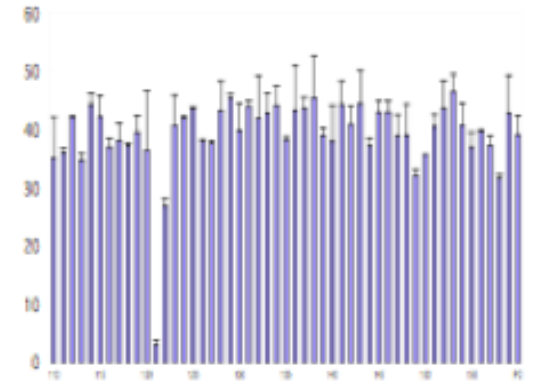
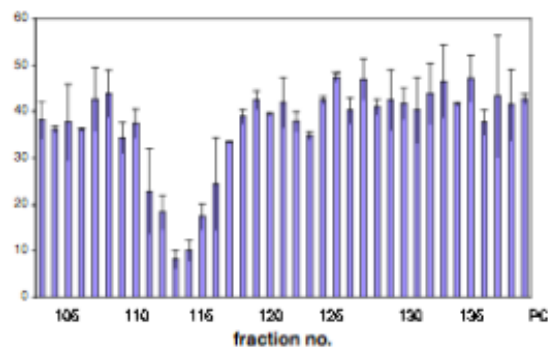
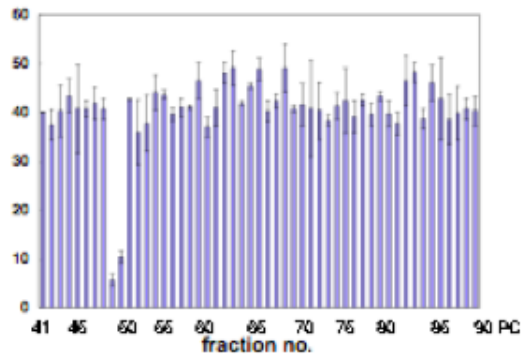
ゲル濾過カラム



逆層クロマトカラム



Graphs from: Y. Ito, H. Fukuda et al. (2006) Dodeca-CLE Peptides as Suppressors of Plant Stem Cell Differentiation, *Science*, vol.313 (no. 5788):842-845, p.844 Fig.2A, 2B, 2C



TDIF構造と働き

- ・ 12個のアミノ酸からなるペプチド

His/Glu/Val/Hyp/Ser/Gly/Hyp/Asn/Pro/Ile/Ser/Asn

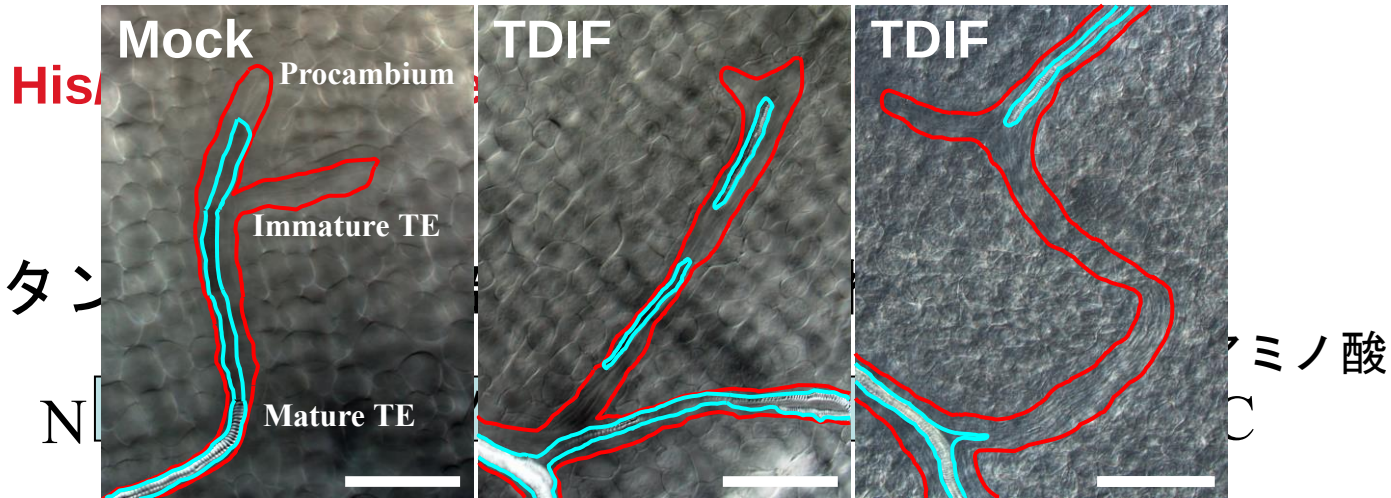
- ・ タンパク質の一部が切り出されて作られる



- ・ TDIFは
 - 1) 維管束幹細胞からの道管分化を阻害する
 - 2) 維管束幹細胞の分裂を促進する

TDIF構造と働き

- ・ 12個のアミノ酸からなるペプチド



- ・ TDIFは
 - 1) 維管束幹細胞からの道管分化を阻害する
 - 2) 維管束幹細胞の分裂を促進する

TDIFの受容体—TDRの同定

228 種のLRR-RLK遺伝子のT-DNA変異ラインの収集



DNAチップを用いた絞り込み



In situ 維管束形成系を用いてTDIF非感受性変異体の選抜

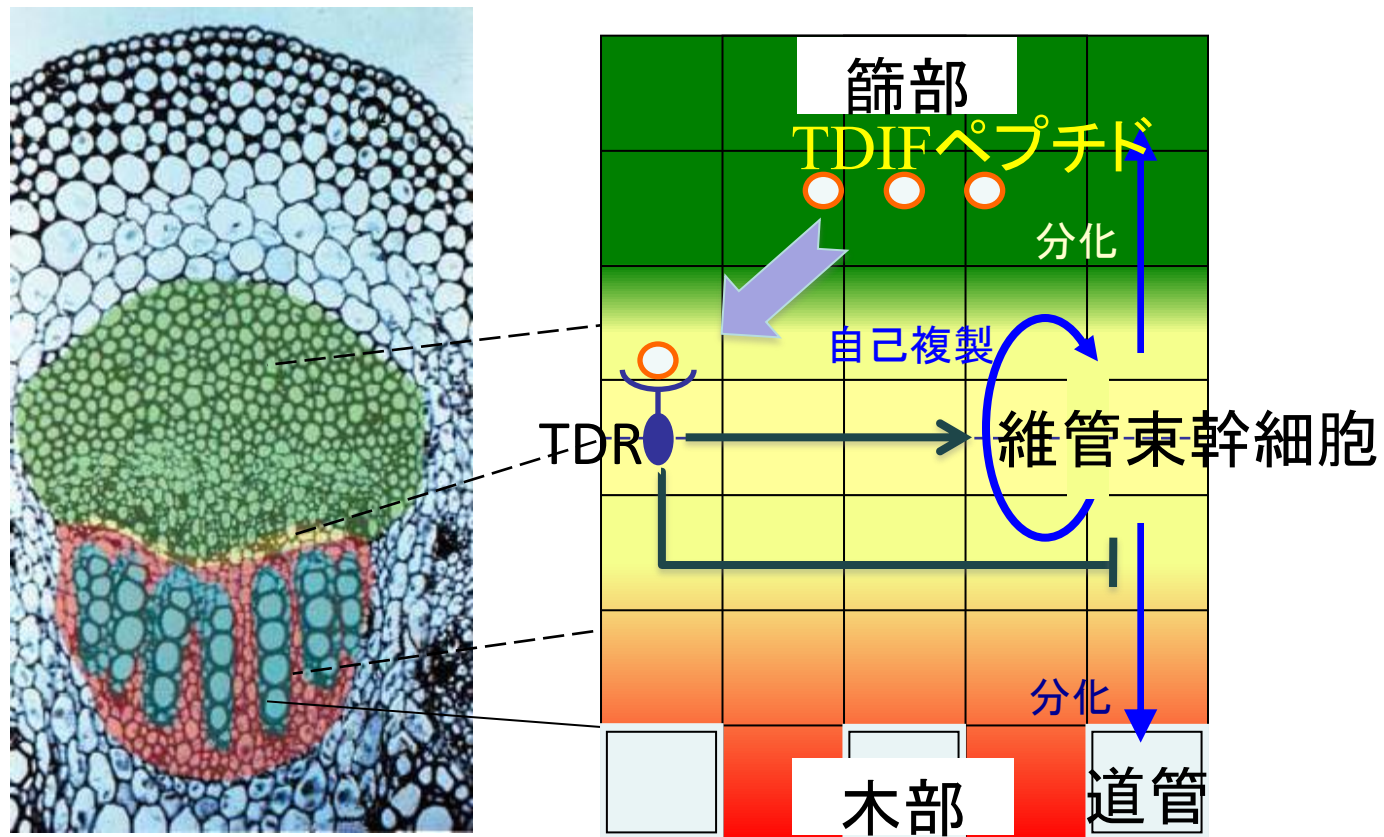


TDIFの受容体-TDRの同定

TDR

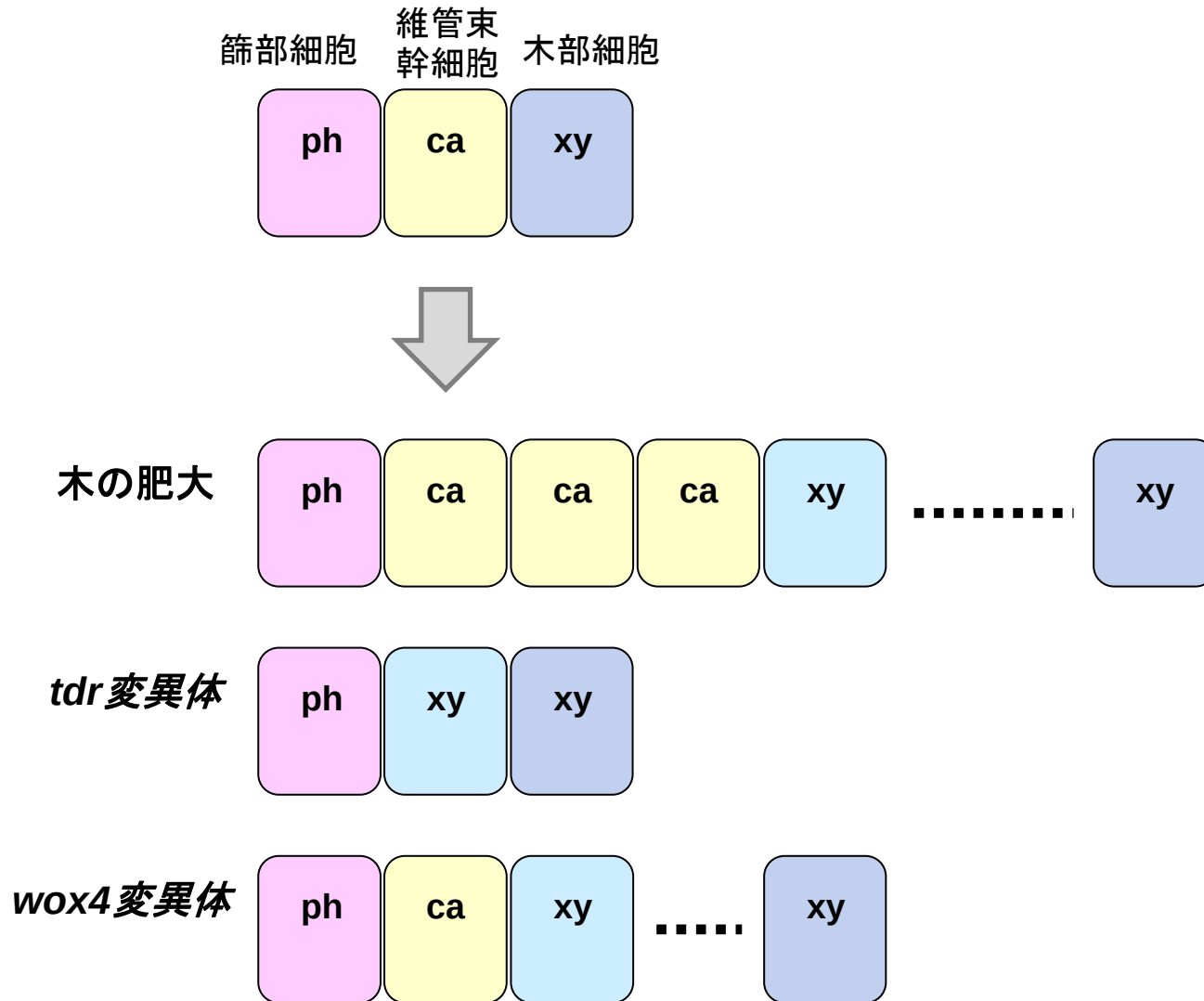


TDIF-TDRの働きのまとめ



* Adapted from: T. E. Weier, C. R. Stocking, M. G. Barbour and T. L. Rost, *Botany: An Introduction to Plant Biology*, 6th ed., New Jersey: John Wiley & Sons, 1982, p.118 Fig.7.9A

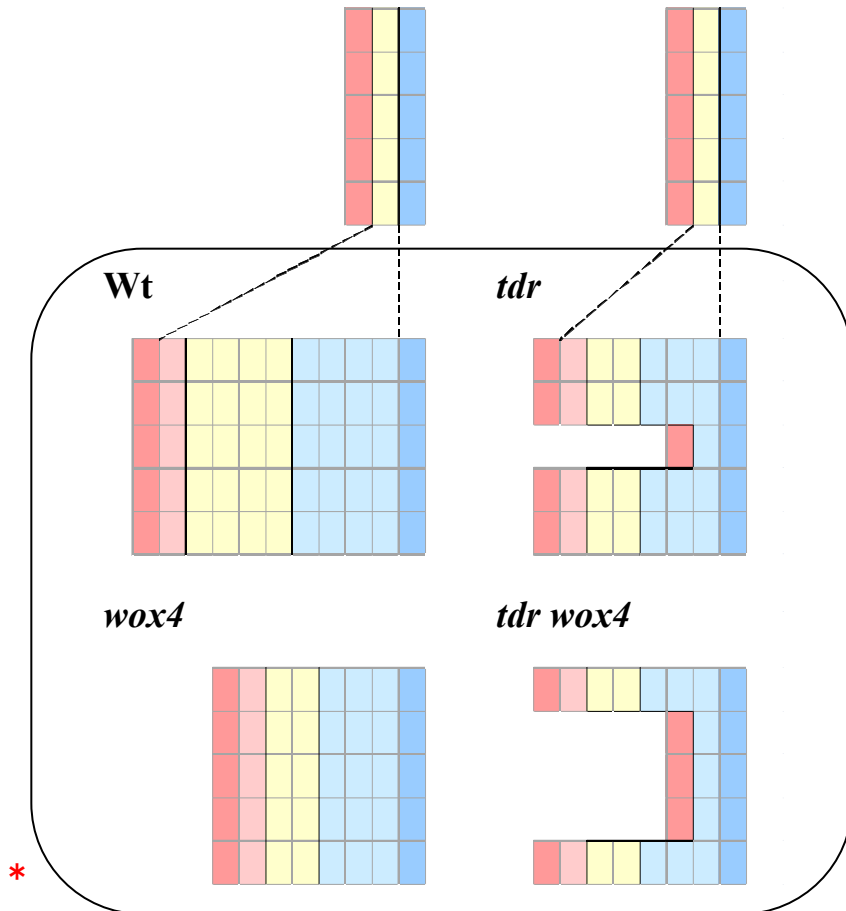
肥大の仕組み 1



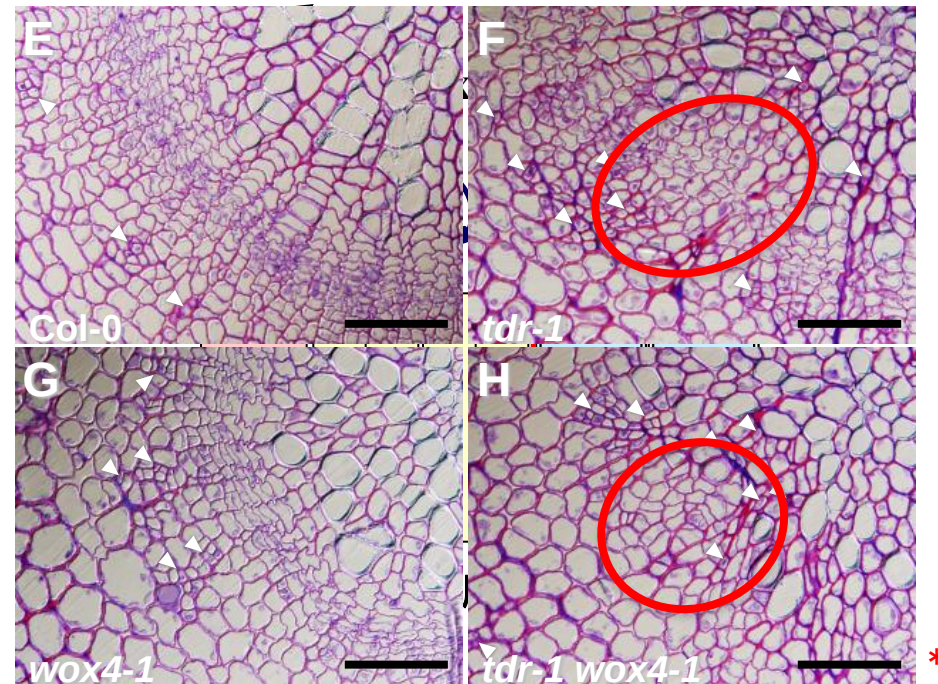
TDR の機能が駄目になると部分的に前形成層が欠失し、環状の形成層が形成されない

A

B



TDIF/CLE41-TDR



Credit: Yuki Hirakawa, Yuki Kondo and Hiroo Fukuda (2010) TDIF Peptide Signaling Regulates Vascular Stem Cell Proliferation via the WOX4 Homeobox Gene in Arabidopsis, *The Plant Cell*, vol.22 (no.8):2618-2629, [left] Supplementary Fig.6A; [right] p.2826 Fig.7E-7H. www.plantcell.org Copyright American Society of Plant Biologists.

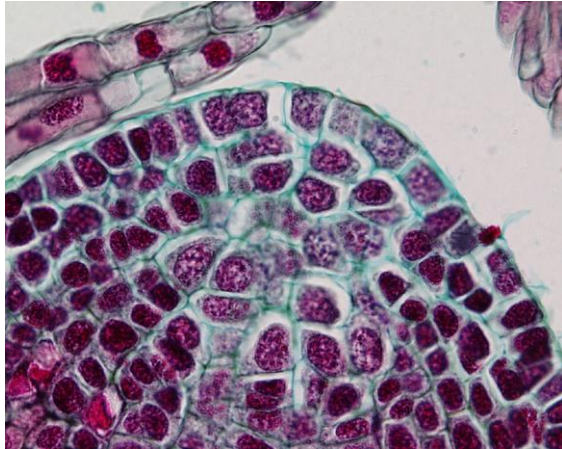
花形成における堅牢性と可塑性

FLOWER



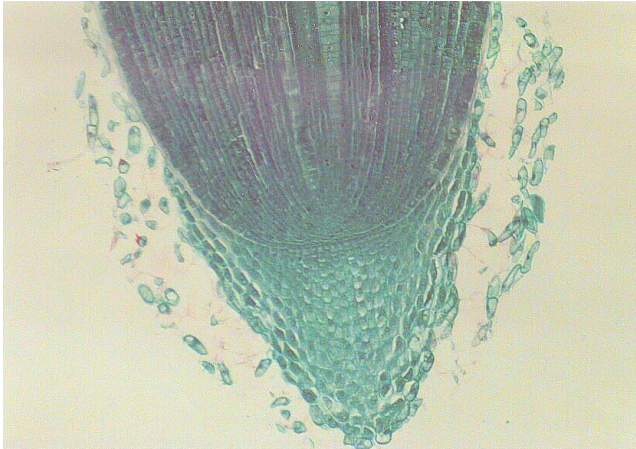
メリステム（分裂組織）

シュート頂



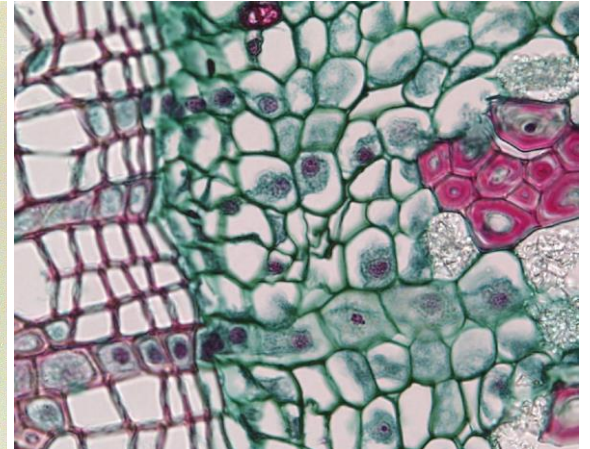
*

根端



*

維管束



*

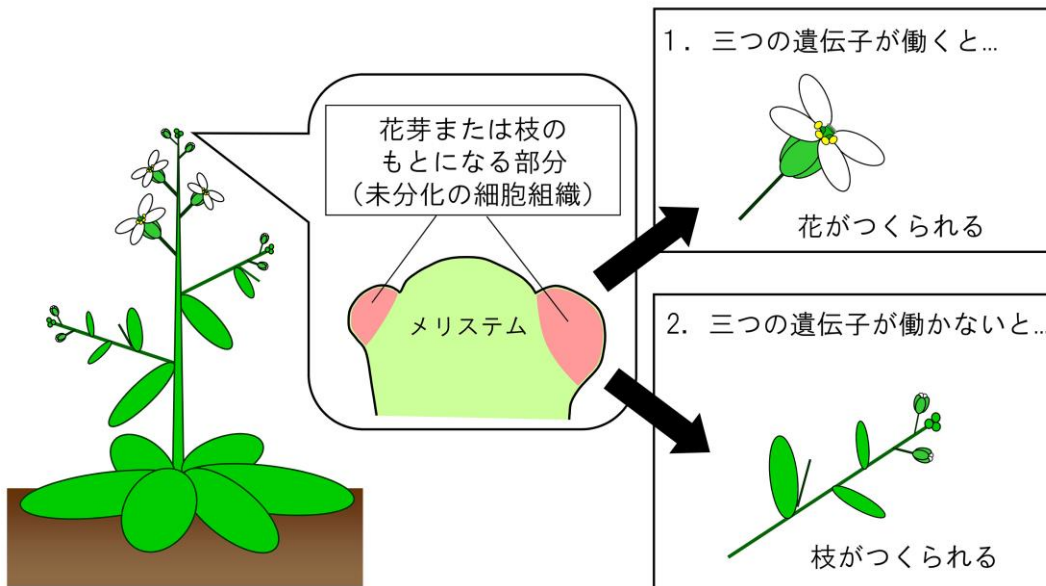
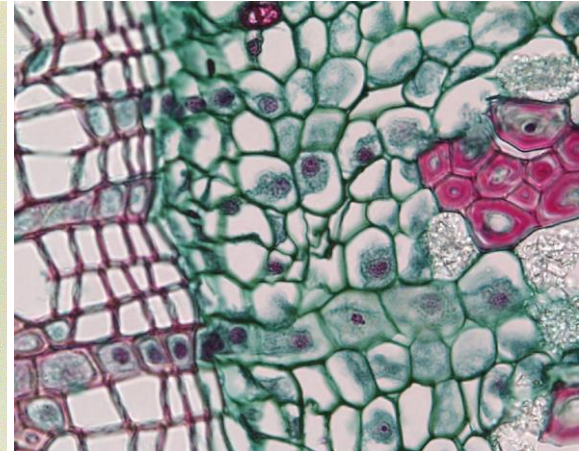
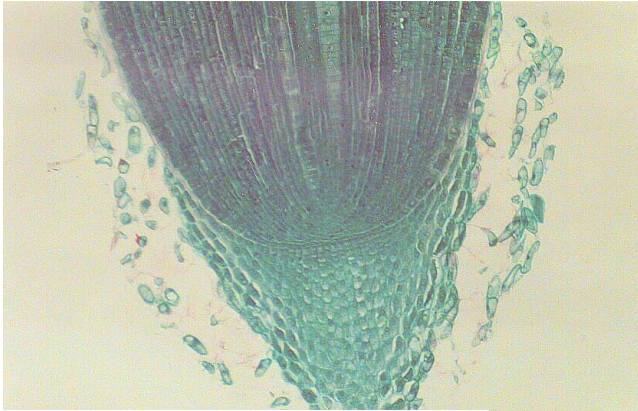
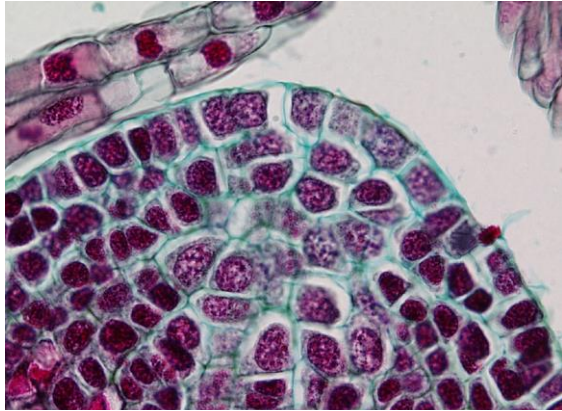
Photos courtesy of Paul J Schulte, University of Nevada, Las Vegas

メリステム（分裂組織）

シュート頂

根端

維管束



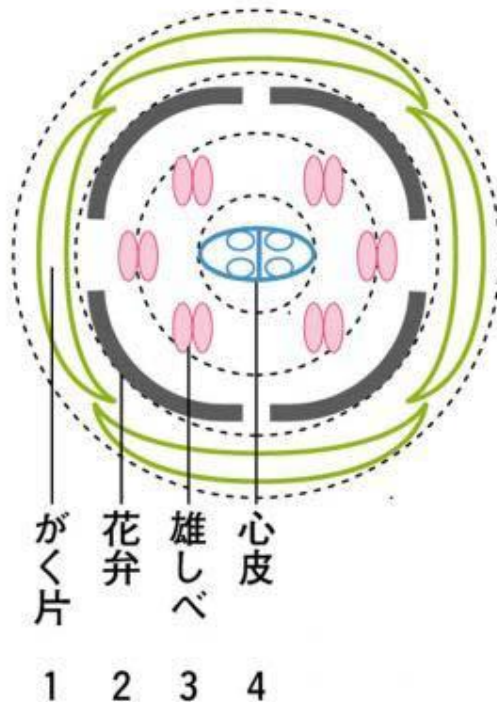
*

*

Photos courtesy of Paul J Schulte, University of Nevada, Las Vegas

* 提供：相田光宏氏（奈良先端科学技術大学院大学）

野生型の花とABCモデル

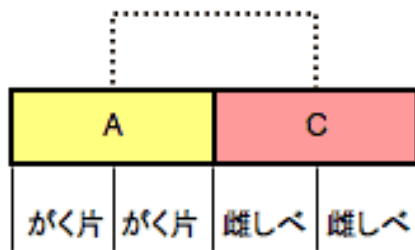
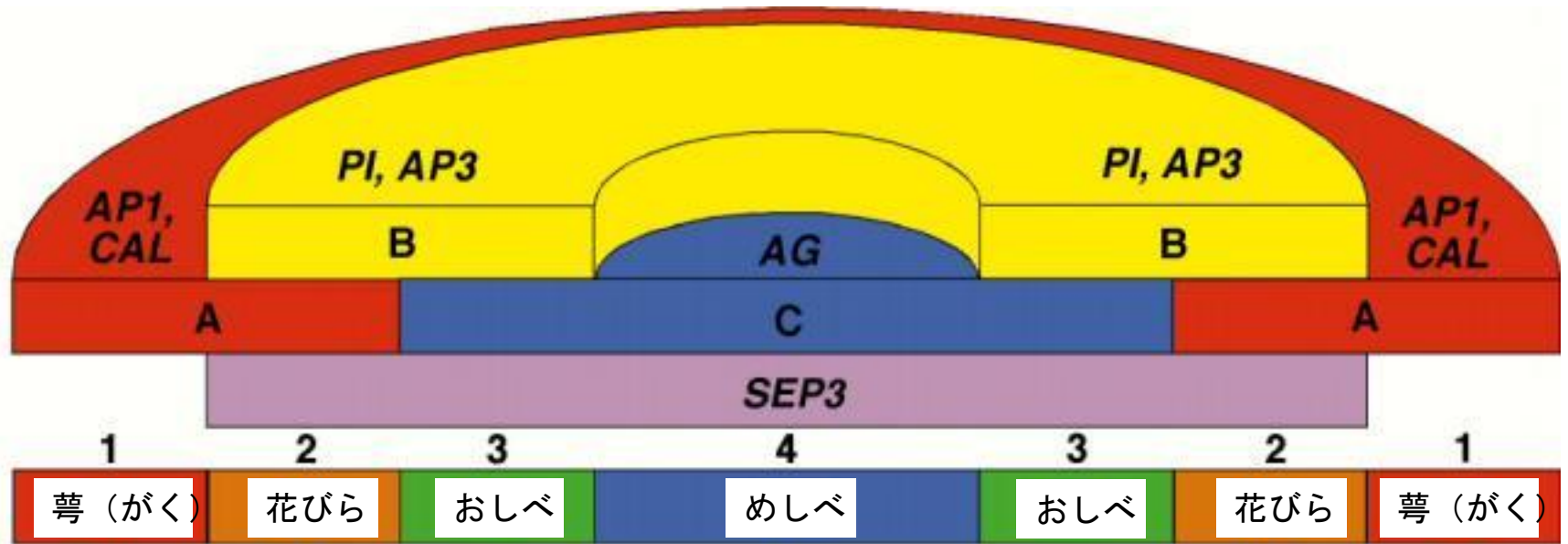


* 出典：日本植物生理学会
URL：
http://www.jspp.org/17hiroba/photo_gallery/11_goto/11_goto.html
資料提供：岡山県生物科学総合研究所 後藤 弘爾氏

* 出典 [上半分] : 日本植物生理学会

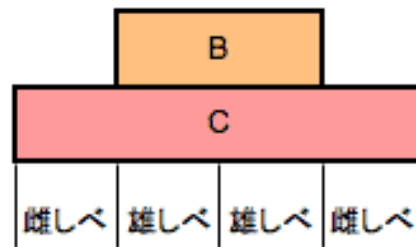
URL : http://www.jspp.org/17hiroba/photo_gallery/11_goto/11_goto.html

資料提供 : 岡山県生物科学総合研究所 後藤 弘爾氏



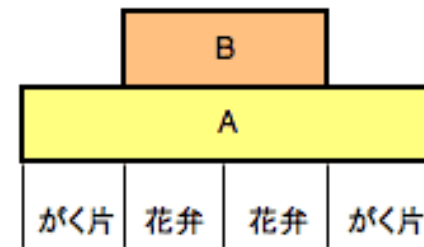
whorl 1 2 3 4

図2. クラスB遺伝子が欠失した場合



whorl 1 2 3 4

図3. クラスA遺伝子が欠失した場合



whorl 1 2 3 4

図4. クラスC遺伝子が欠失した場合

* 出典 [下半分] : 「花のトピックス : ABCモデル」 花きCRES-Tプロジェクト

<http://www.cres-t.org/fiore/topics/abcmodel.html>



Photo by Ryan Somma, from flickr (2015/01/16) **CC BY 2.0**
<https://www.flickr.com/photos/ideonex/6086950086>



Photo by hayflick_limit, from flickr (2015/01/16)
CC BY-NC-ND 2.0
<https://www.flickr.com/photos/65868036@N02/6952298096>



Photo by Leonieke Aalders, from flickr (2015/01/16)
CC BY-NC-ND 2.0
<https://www.flickr.com/photos/mokblog/2542479008>

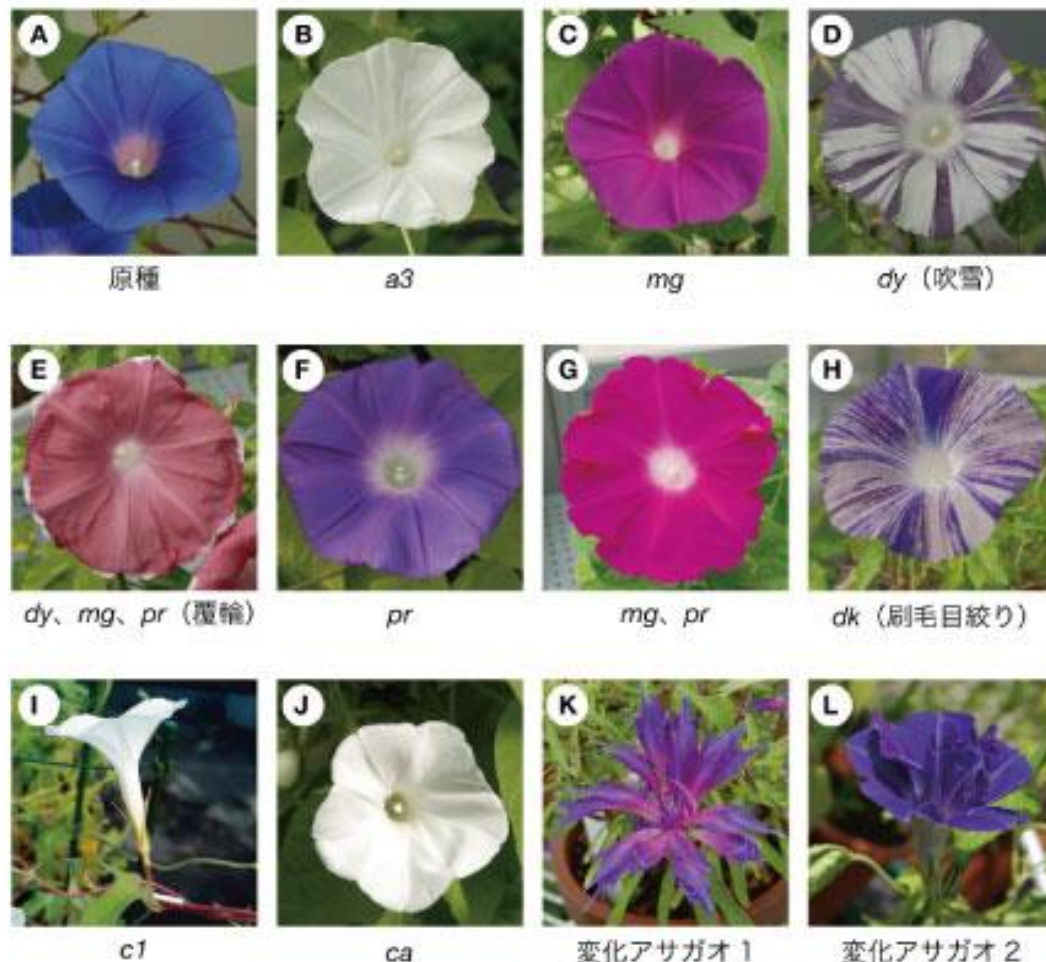


図1：さまざまなアサガオ。写真の下にあるアルファベットと数字の記号は、突然変異をおこした遺伝子（細かい話ですが、突然変異により劣性遺伝子となった場合、頭文字を小文字で書くことになっています）を示します。吹雪、覆輪、刷毛目絞りは模様の遺伝子です。Dの *dy* 変異体は灰色がかった青色で、吹雪遺伝子の作用で白い縞模様の花になります。Hの *dk* 変異体の花は、もとの色はくすんだ紫青色で、青い刷毛目模様ができます。Iの *c1* 変異体はガクや茎に赤いアントシアニンの着色が観察できます。

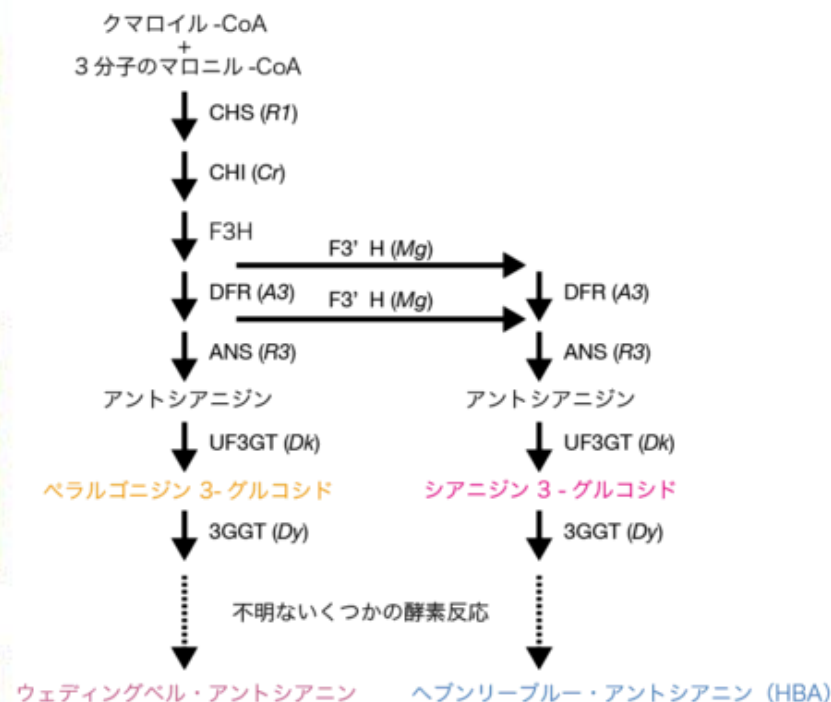


図3：ヘブンリーブルー・アントシアニンが作られる反応の流れ。それぞれの反応を一つの矢印で、その反応を行う酵素の名前を右側（あるいは上）にアルファベットと数字の記号で、化合物の名前をカタカナで示しています。（）の中に示した記号は、その酵素の遺伝子の名前です。UF3GTの反応のあとにできる化合物から、花の色として働きます。

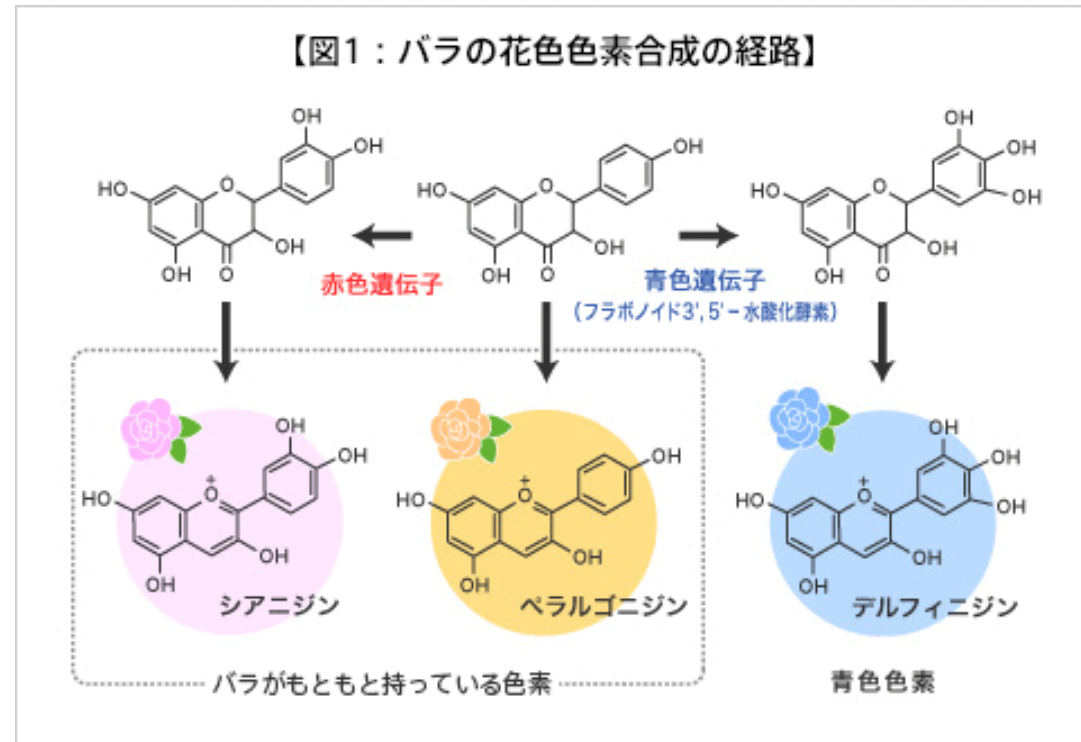
* 出典：星野敦「色違いの花はどうしてできる？：アサガオの多彩な花色を決める遺伝子」日本植物学会ウェブサイト、図1および図3

<http://bsj.or.jp/topics/03/asagao.html>

サントリーの青いバラ



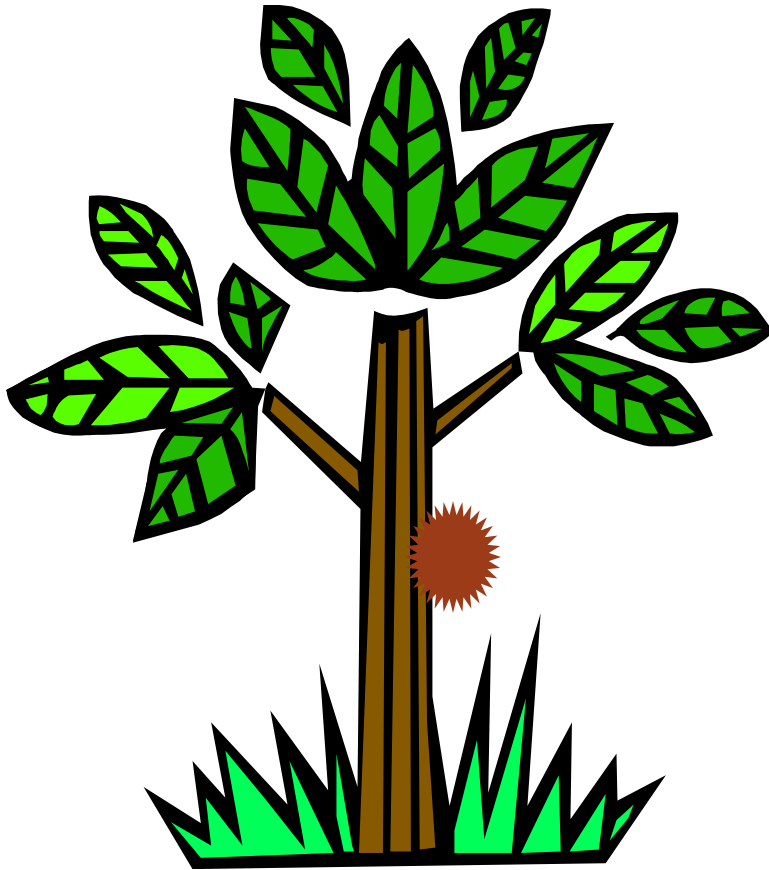
* 出典：「世界初！「青いバラ」への挑戦：開発ストーリー」サントリーグローバルイノベーションセンターウェブサイト
(2015/01/16閲覧)
http://www.suntory.co.jp/sic/research/s_blueroose/story/



* サントリーグローバルイノベーションセンター株式会社提供

クラウンゴール

一植物への遺伝子導入の先駆者アグロバクテリアー



- 異常増殖したこぶ
- 植物腫瘍
- 土壌細菌（アグロバクテリア）が感染して起こる

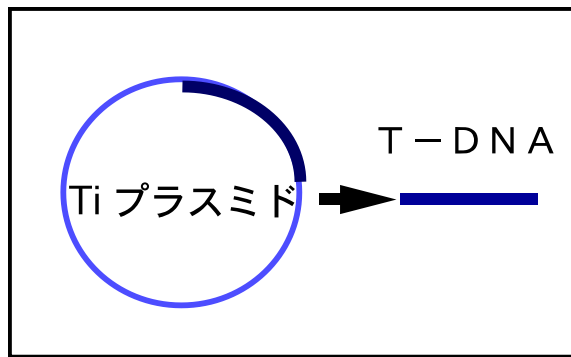
* 提供：理化学研究所



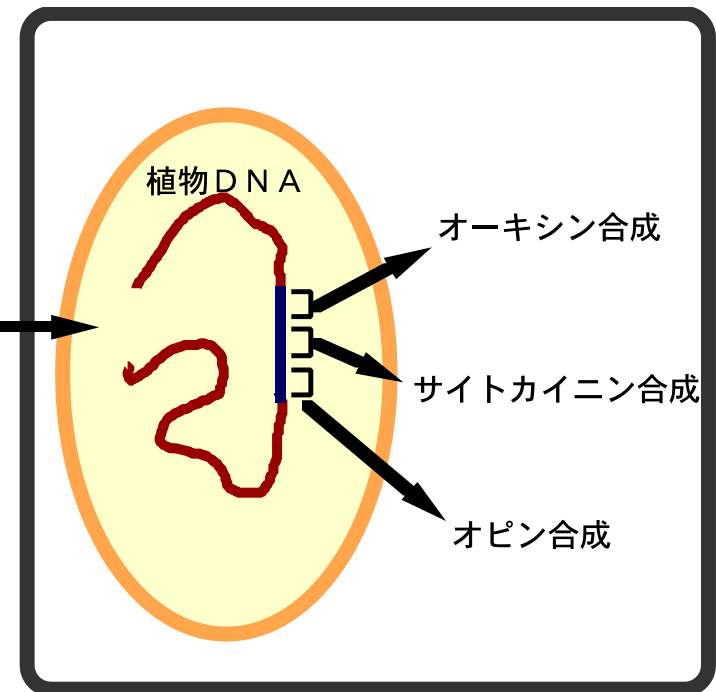
細胞増殖

植物細胞

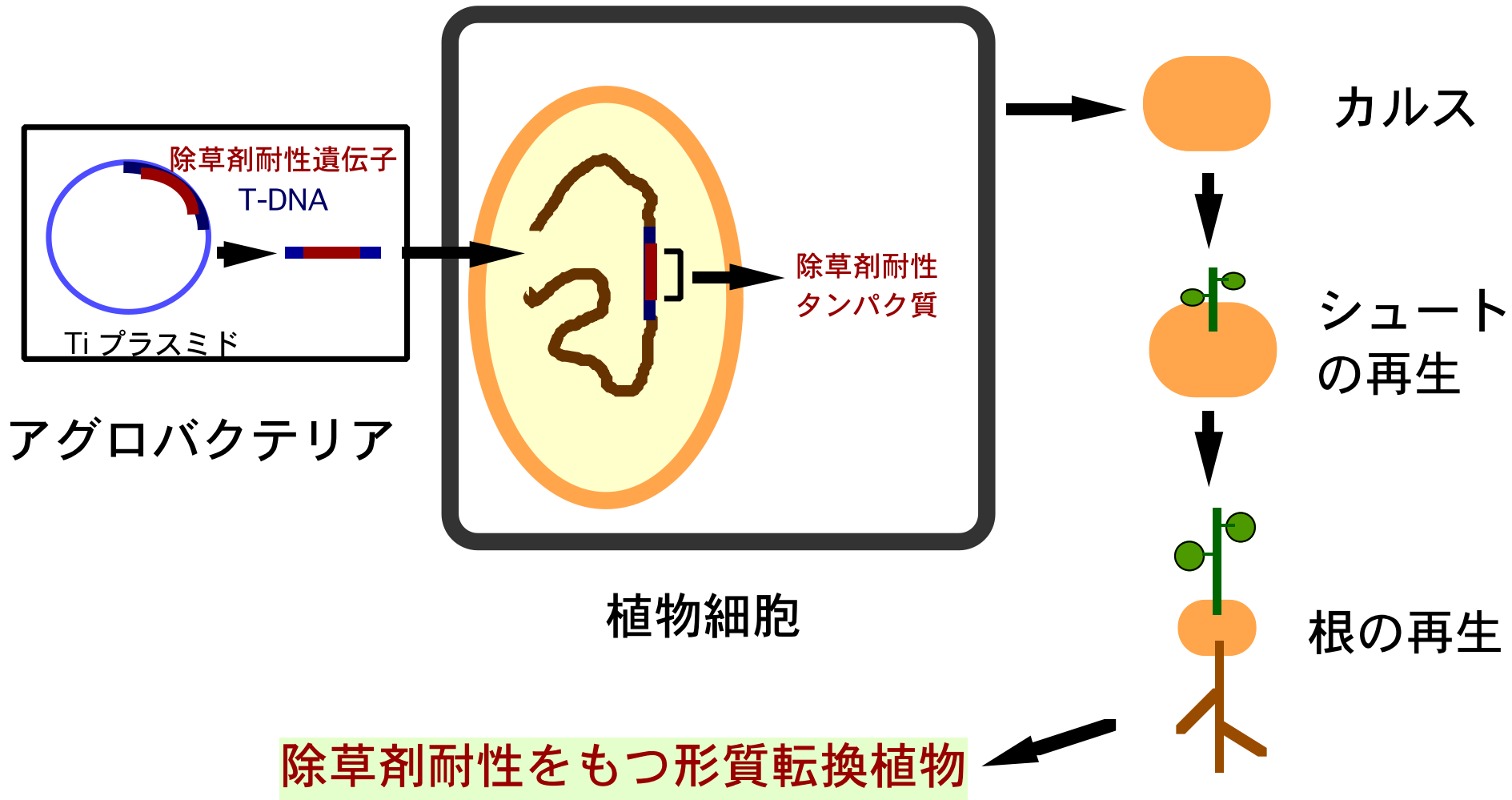
トマトのクラウン
ガール



アグロバクテリア
(土壌細菌)



除草剤耐性植物の作成





a-3^{flecked} (じゃくはん 雀斑)

トランスポゾン(Tpn1)



DFR-B

あお はないろ いでんし
青い花色をつくる遺伝子



speckled (ふきかけしぼり 吹掛絞)

トランスポゾン(Tpn2)



CHI

あお はないろ いでんし
青い花色をつくる遺伝子



r-1 (しろ r-1白)

トランスポゾン(Tpn3)



CHS-D

あお はないろ いでんし
青い花色をつくる遺伝子



duplicated (ぼたん 牡丹)

トランスポゾン(Tpn109)



C-MADS-box

お 雄しべ・雌しべをつくる遺伝子

(*a-3^{flecked}*, *speckled*, *r-1*の写真および図は基礎生物学研究所・飯田滋先生のご厚意によるものです)

* 九州大学総合研究博物館展示パネル「トランスポゾンって何？」(監修: 仁田坂英二、資料提供: 飯田 滋・星野 敦)
http://www.museum.kyushu-u.ac.jp/publications/annual_exhibitions/PLANT2002/01/14.html より九州大学総合研究博物館の許可を得て転載



C遺伝子にトランスポ
ゾンが挿入されて機能
が破壊された

* 画像提供：仁田坂英二氏（九州大学）

ハチドリと蘭の共進化



Photo by Mdf, from Wikimedia Commons (2015/01/16) **CC BY-SA 3.0**
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colibri-thalassinus-002.jpg>



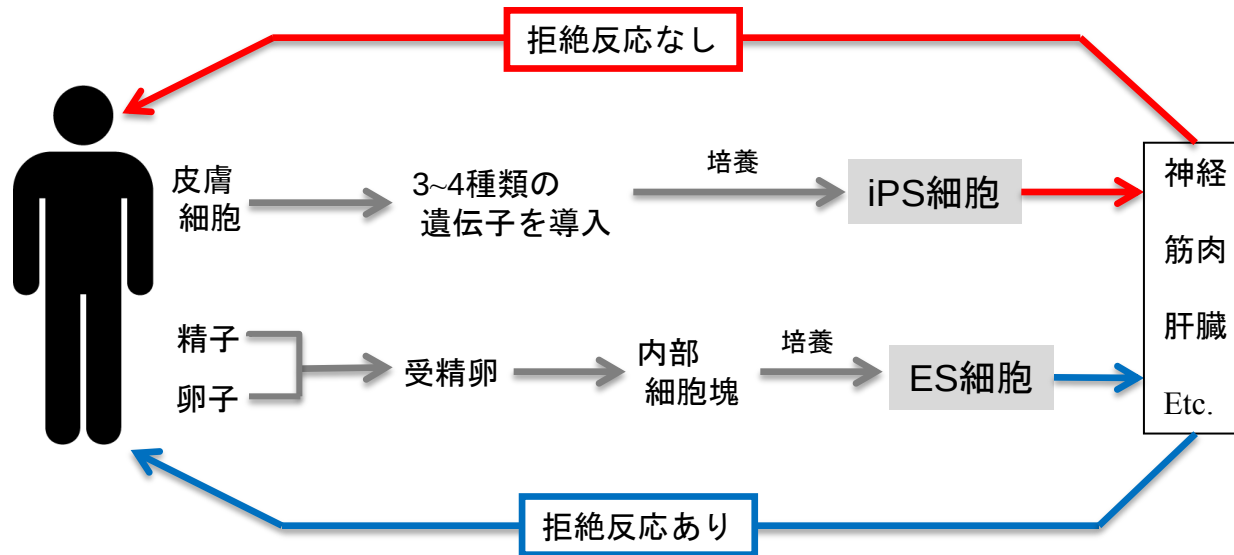
Photo by Mdf, from Wikimedia Commons (2015/01/16) **CC BY-SA 3.0**
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colibri-thalassinus-001.jpg>

蘭は蜜を花の深いところに作り、それに合わせてハチドリの口吻が伸びる



環境により植物の形態が変化する

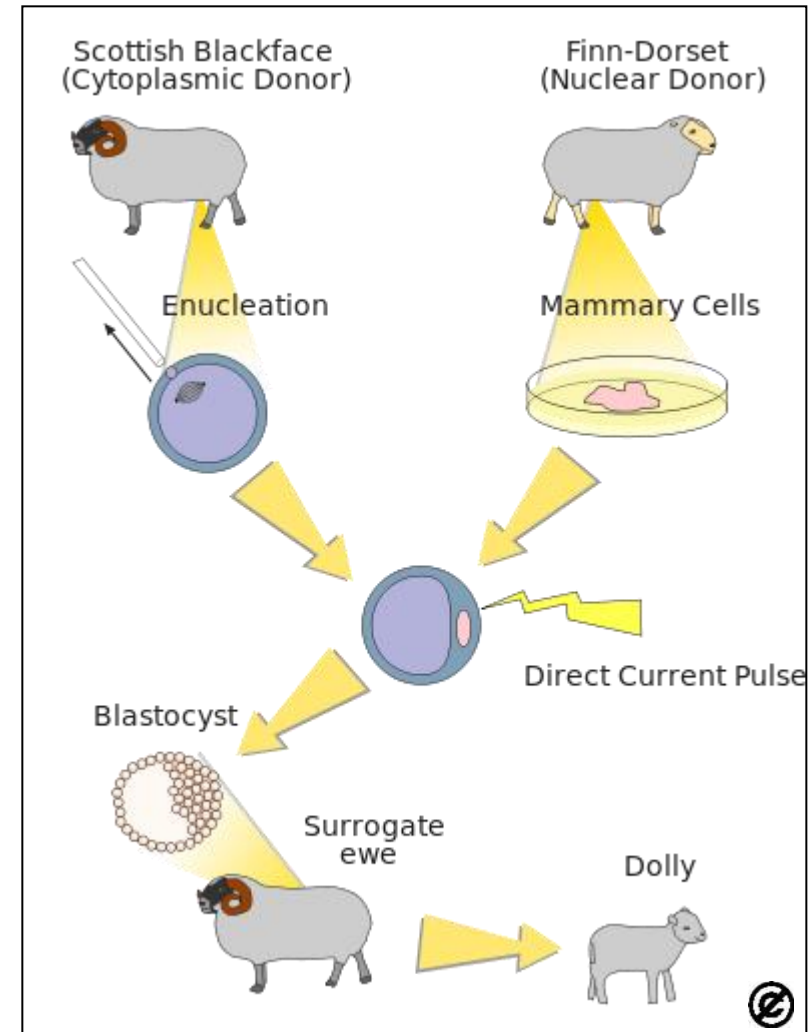
iPS細胞とは



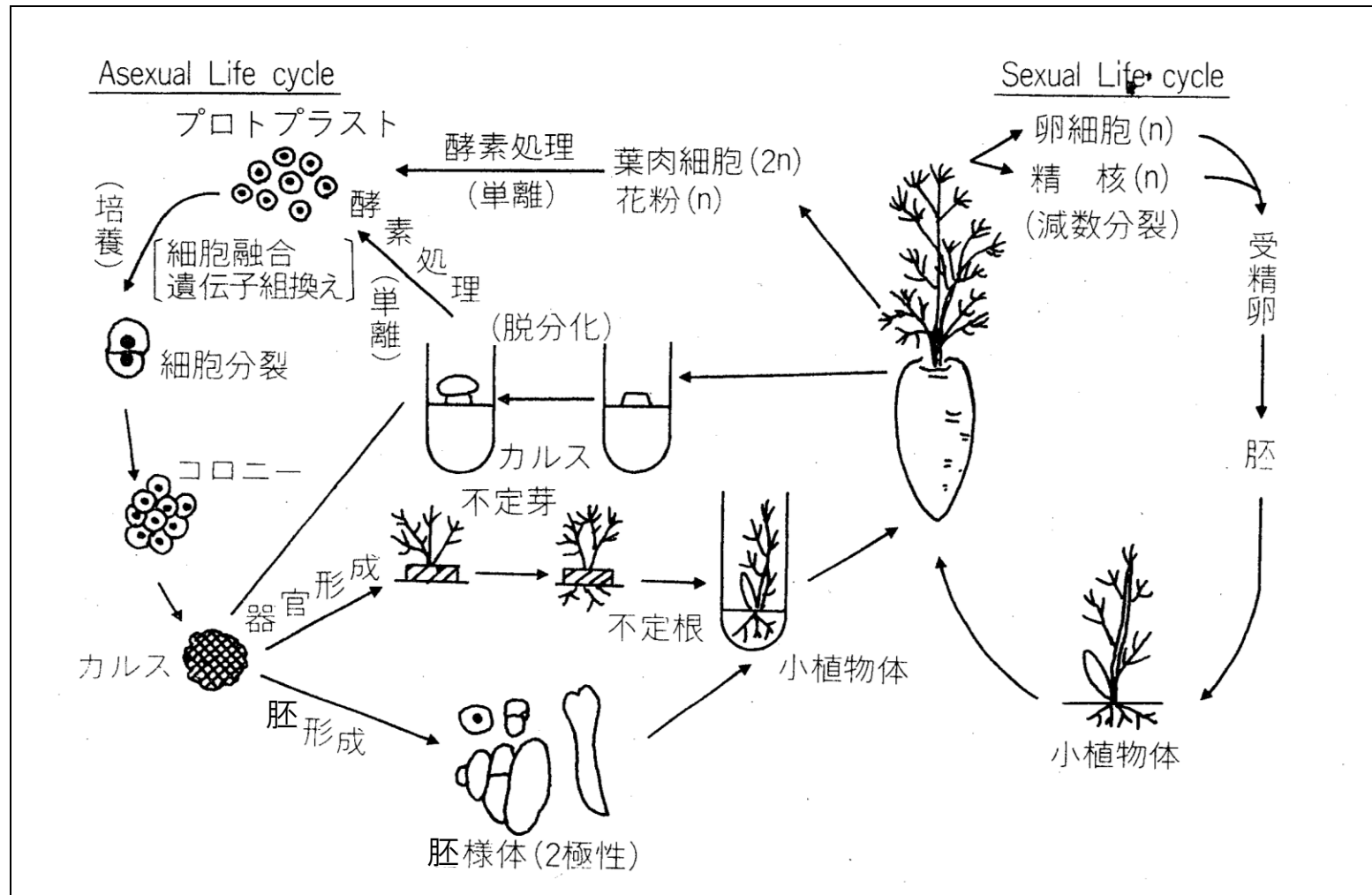
ES細胞（Embryonic Stem Cell, ES Cell）

iPS細胞（Induced Pluripotent, Stem Cell, iPS Cell）

ドリー



分化全能性： 体細胞から植物体を作ることができる



次世代への遺伝子の伝搬—栄養繁殖

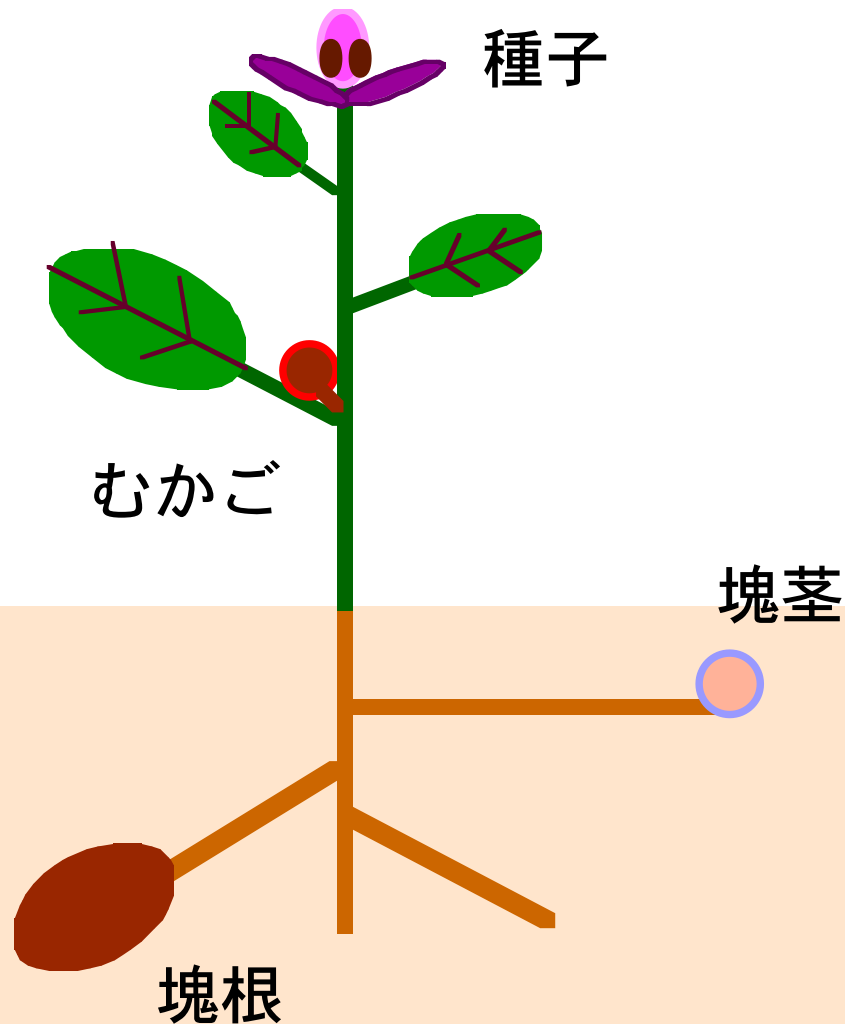
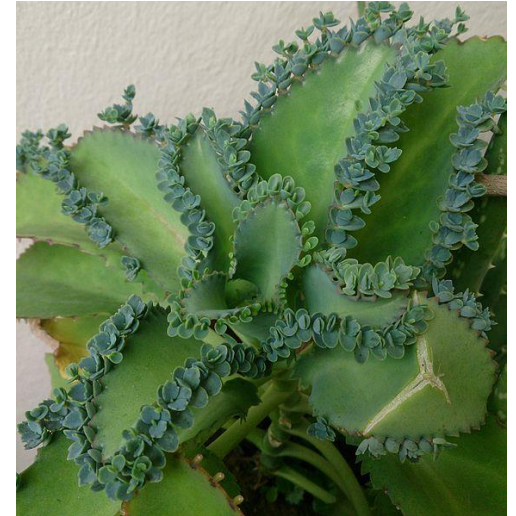


Photo by Mokkie, from
Wikimedia Commons
(2015/01/16)
CC BY-SA 3.0
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bryophyllum.JPG>



TAKE-HOME メッセージ

- 植物は動けないのではない。動かないことを選択して地球に大繁栄している生き物なのである
- 樹木が太るのは植物の形成層という幹細胞が、自己増殖と木部細胞分化とのバランスを取っているためである。これは種を越え、維管束植物の堅牢な原理である
- 植物は環境に応じて、形作りを柔軟に変化させる（各個体ごとのものと世代を変えて獲得するものが存在）
- 生物は他の生物・非生物DNAの攻撃に曝されている。この過程で、堅牢性が崩壊することがある。