

バイオ燃料は世界を救う？

静岡大学

若手グローバル研究リーダー育成拠点

栗井 光一郎

バイオ燃料とは？

生物の持つエネルギーを利用した燃料



小麦



トウモロコシ



テンサイ



ナタネ

植物の光合成によって得られたエネルギーを利用した燃料

バイオ燃料とは？

バイオアルコール

エタノール、ブタノール

バイオディーゼル

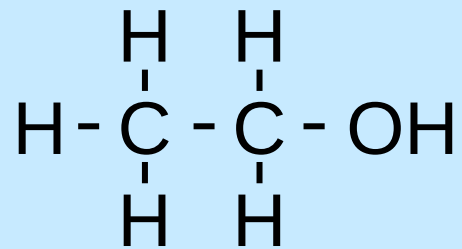
トリアシルグリセロール、ワックス

バイオガス

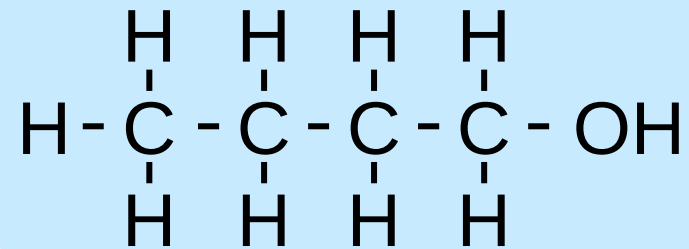
メタンガス、水素

バイオアルコール

エタノール、ブタノールなどのアルコール類



エタノール



ブタノール

穀物などのデンプン、糖を利用してアルコール発酵により合成

バイオアルコール

メリット

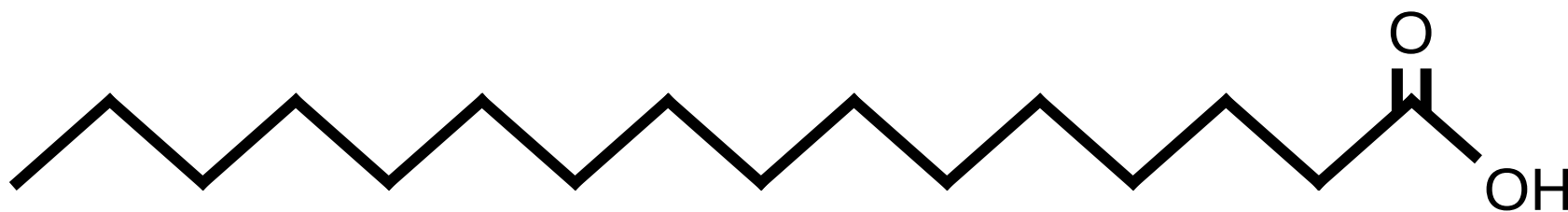
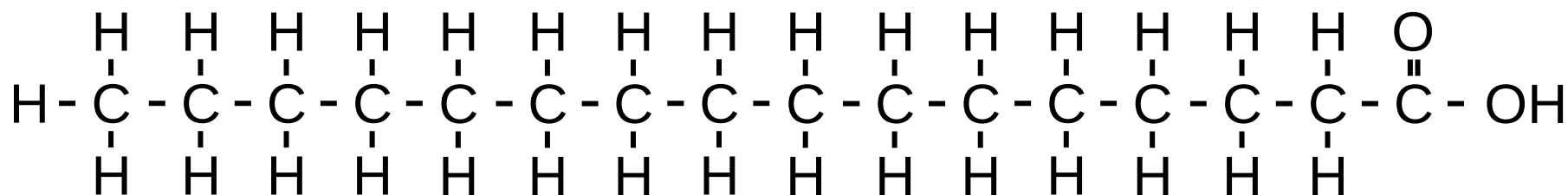
- ・技術、インフラが整っている

デメリット

- ・食用作物との直接的競合
- ・吸湿性が高い
- ・体積当たりのエネルギーが低い

バイオディーゼル

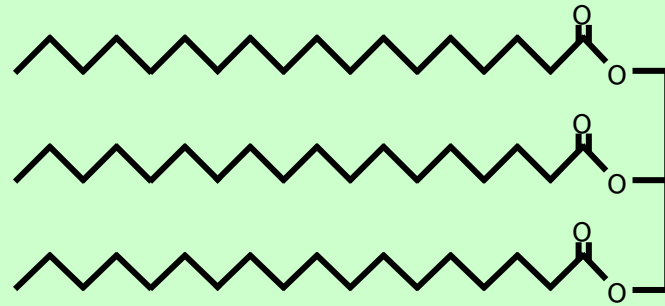
植物油、ワックスなどの長鎖炭素化合物



パルミチン酸(炭素数16)

バイオディーゼルに用いられる代表的油脂類

トリアシルグリセロール (TAG)



脂肪酸 + グリセロール

ワックスエステル (WE)



脂肪酸 + 脂肪酸アルコール

バイオディーゼル

メリット

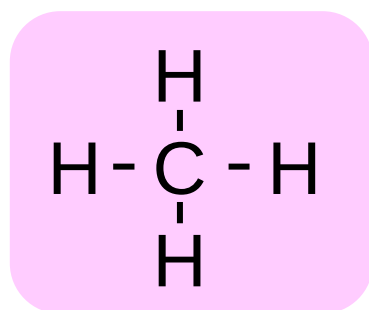
- ・インフラが整っている
- ・体積当たりのエネルギーが高い

デメリット

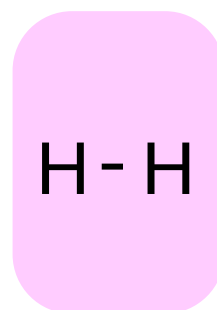
- ・食用作物との間接的に競合（耕作地）
- ・副産物が出る

バイオガス

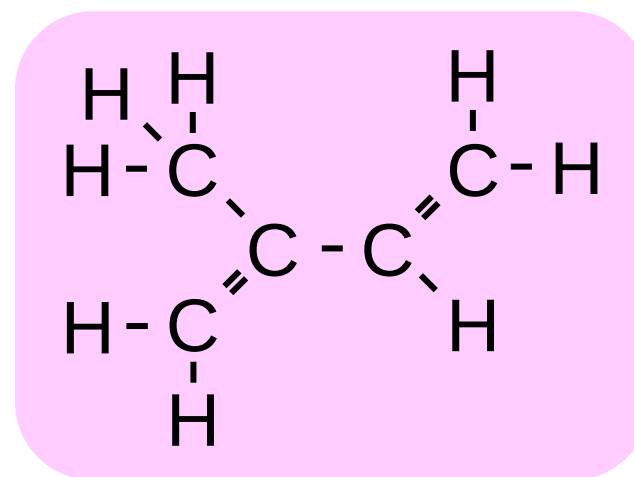
メタン、水素などのガス成分



メタン

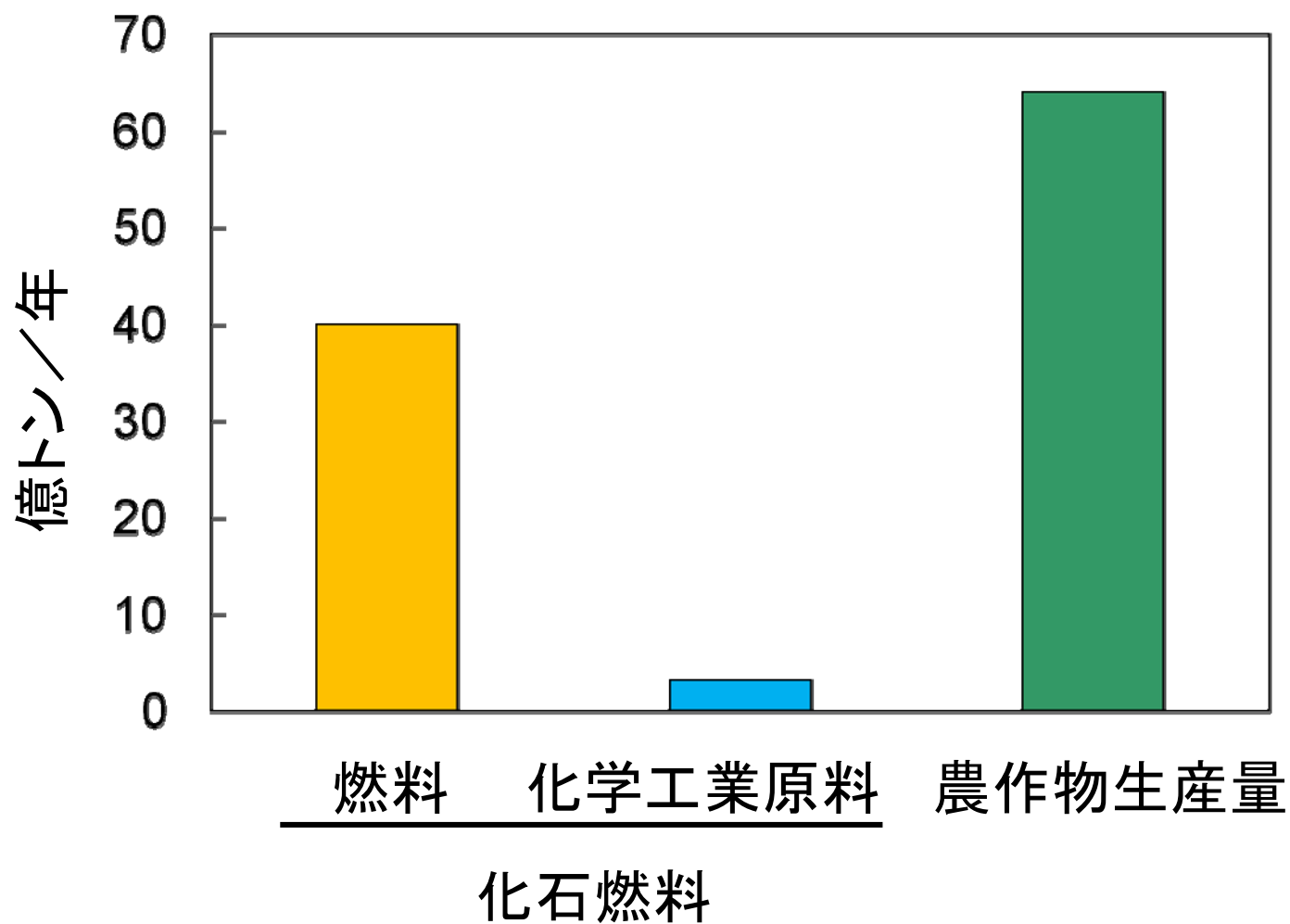


水素

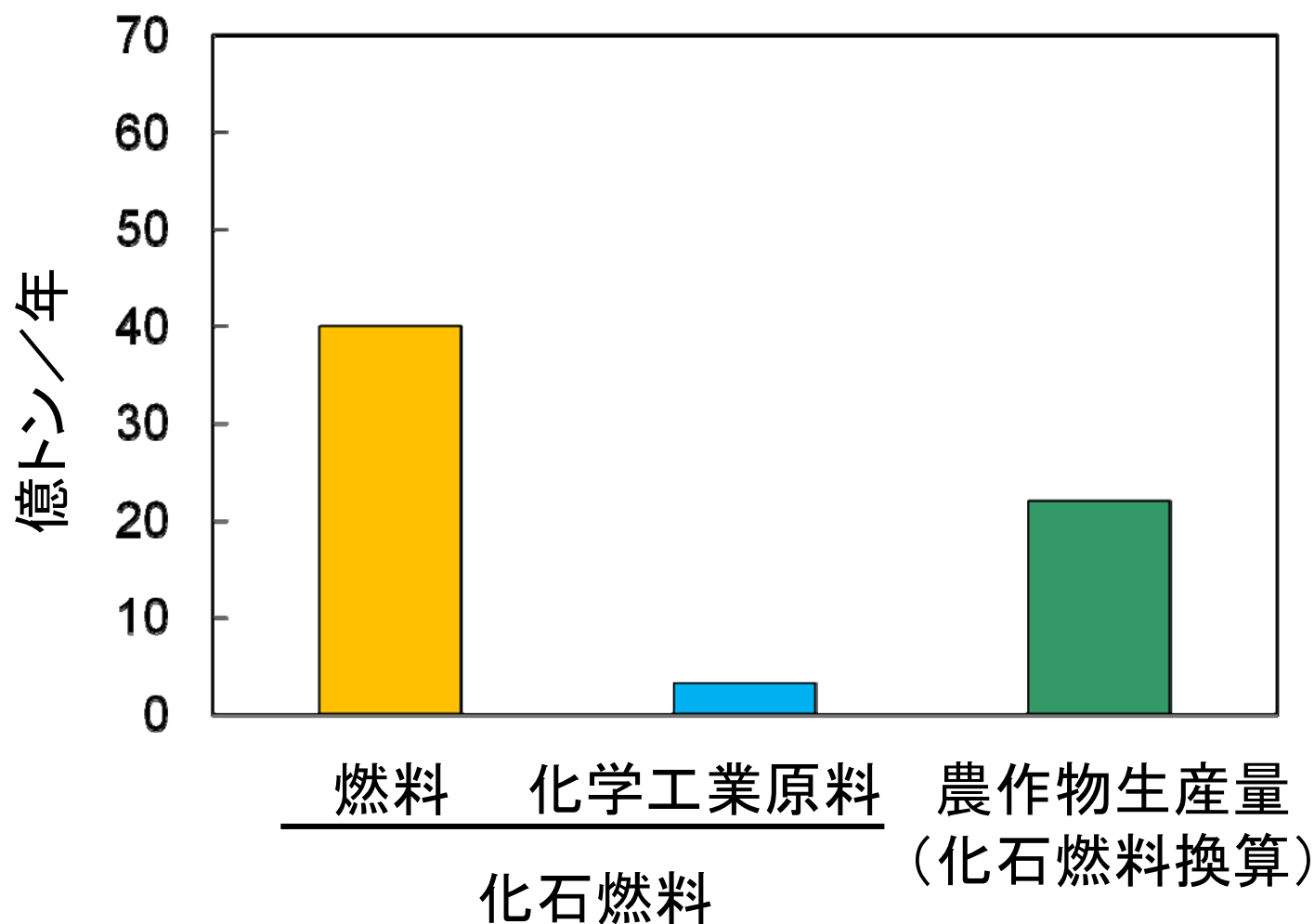


イソプレノイド

バイオ燃料で化石燃料を代替できるか



バイオ燃料で化石燃料を代替できるか



バイオ燃料を作るのはエネルギー効率が悪い？

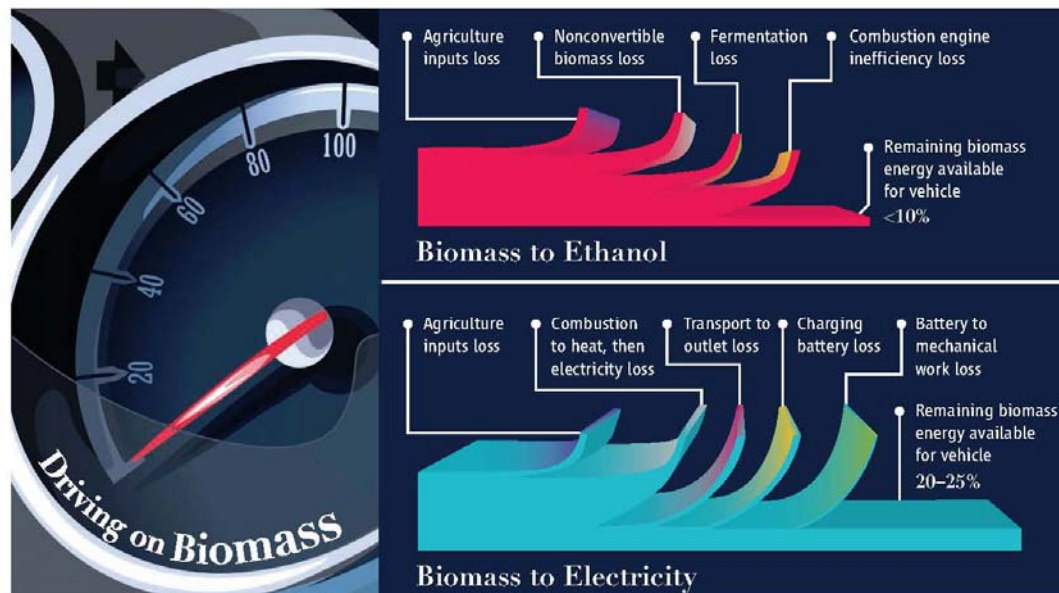
POLICYFORUM

ENERGY

Driving on Biomass

John Ohlrogge,^{1*} Doug Allen,¹ Bill Berguson,² Dean DellaPenna,³ Yair Shachar-Hill,¹ Sten Stymne⁴

Burning biomass to produce electricity for battery-driven vehicles can power more travel and displace more petroleum than converting it to ethanol or other fermentation products.



Driving on biomass. Energy losses in conversion of biomass to electricity or to ethanol for automobile propulsion.

Ohlrogge et al 2009 Science

バイオ燃料は次世代エネルギーに向かない？

太陽光からエネルギーを効率よく生産

太陽光パネル、太陽熱発電の方が効率よく発電できる？



バイオ燃料にしかできないことはあるのか？

バイオ燃料にしかできないこと

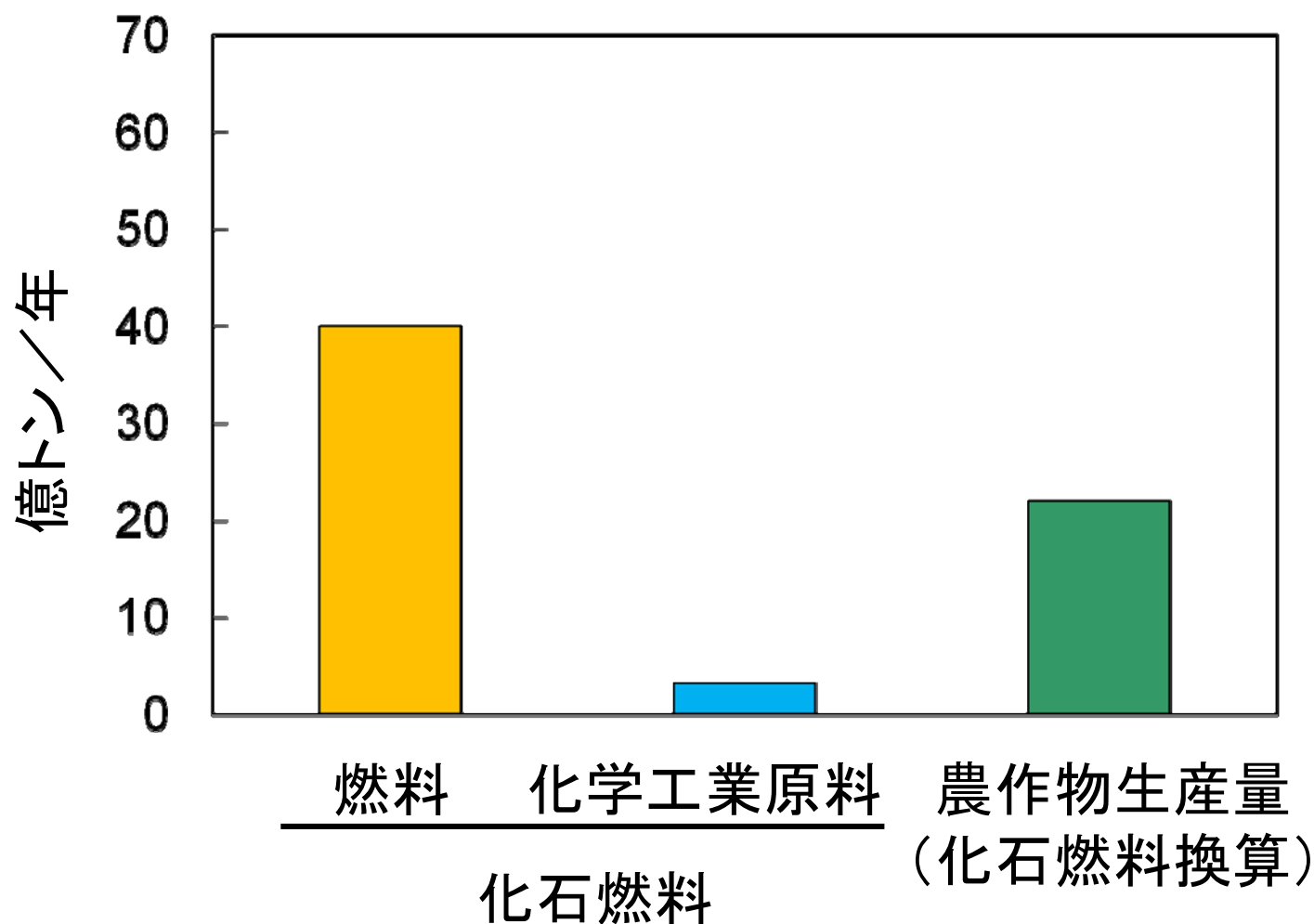
化合物の生産

石油を原料とする製品の材料となる物質
を生産



より目的物質に近い原料(もしくはそのもの)を生産することも可能

バイオ燃料で化石燃料を代替できるか



バイオ燃料にしかできないこと

燃料が必要な局面への供給

電気を使用するインフラの整っていない
国・地域

飛行機、船舶など、長時間の航行が必要な場合

バイオ燃料にしかできないこと

二酸化炭素の再固定

すでに大気中に放出された二酸化炭素を
再固定し、貯蔵する

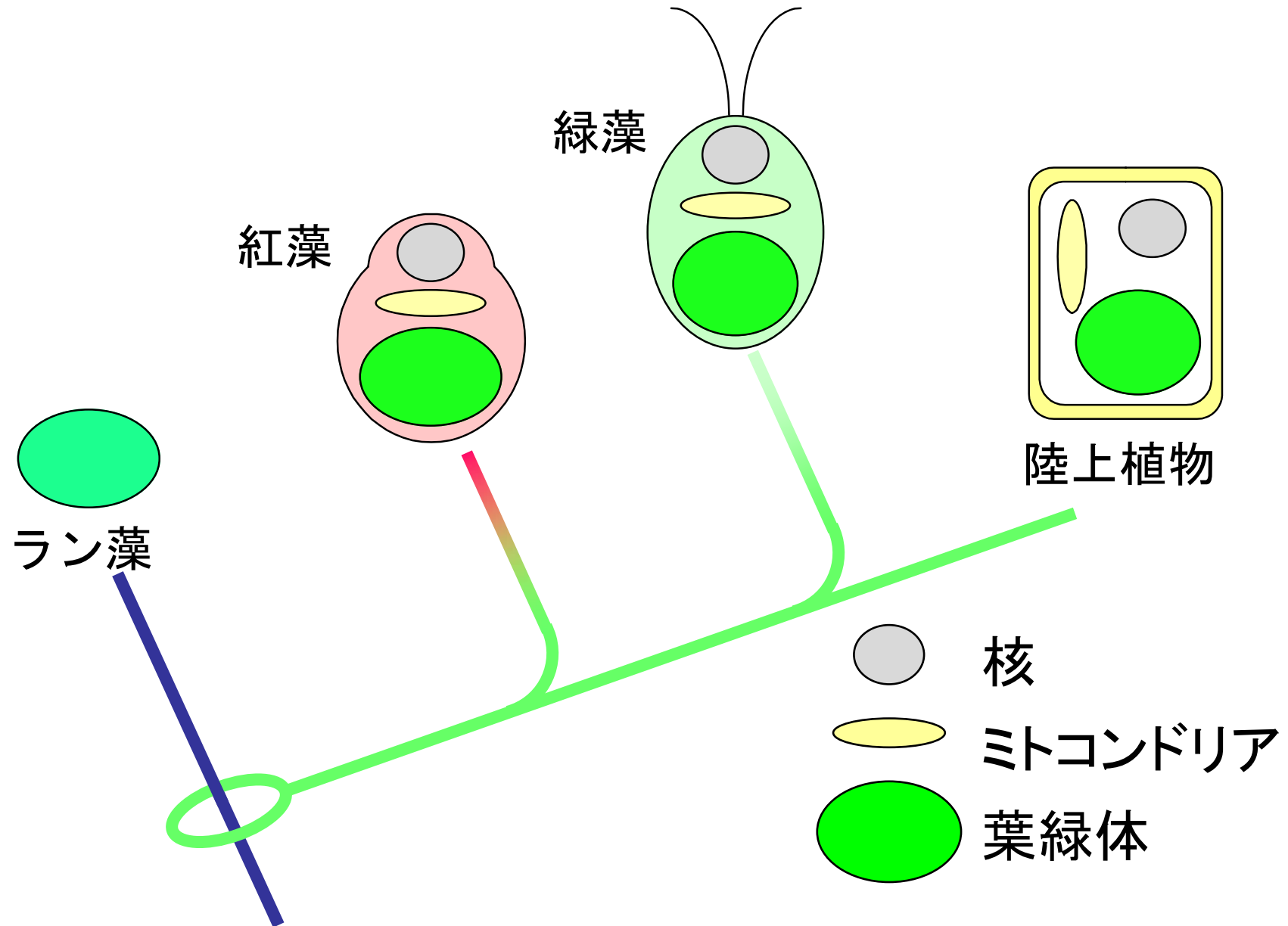
体積当たりのエネルギー価の高い物質で
の貯蔵が有利

一つのやり方に固執せず、様々な方法を組み
合わせて、それぞれの長所を活かす

バイオ燃料も世界を救う!

どのような生物がバイオ燃料生産に適しているのか？

光合成生物の進化



光合成生物:それぞれのメリット

植物

C/N比(炭素と窒素の比率)が高い
栄養生産と貯蔵組織が分かれている

藻類

単位面積当たりの生産量が高い
窒素固定能を持つ種が利用可能

小俣達男 教授(名古屋大)

光合成研究 (2010) 20 (2): 65-71

植物のメリット



エネルギー生産と貯蔵の場が分かれている

光合成生物:それぞれのメリット

植物

C/N比(炭素と窒素の比率)が高い
栄養生産と貯蔵組織が分かれている

藻類

単位面積当たりの生産量が高い
窒素固定能を持つ種が利用可能

小俣達男 教授(名古屋大)

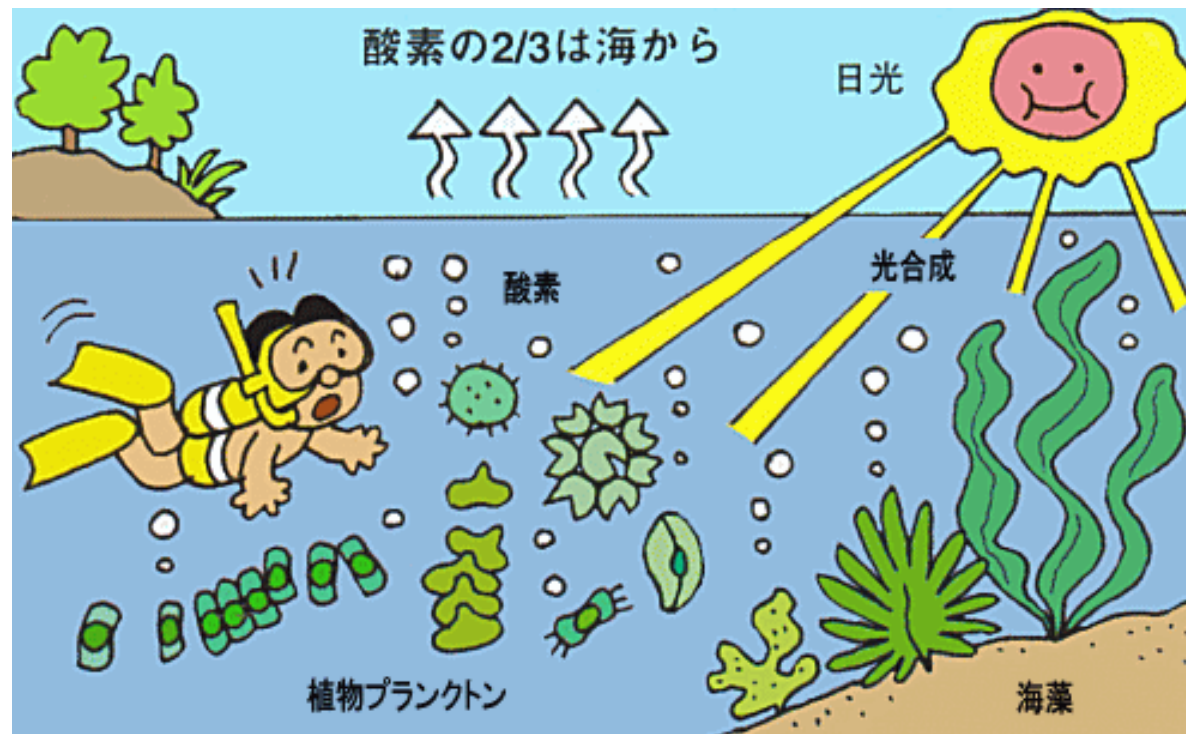
光合成研究 (2010) 20 (2): 65-71

藻類の利点：バイオディーゼル生産能

作物	オイル生産量 (L/ha/年)	石油需要を満たすのに必要な 耕作地面積の割合(%)
とうもろこし	172	846
ダイズ	446	326
ナタネ	1,190	122
パーム	5,950	24
微細藻類	58,700	2.5

各種作物と微細藻類のオイル生産能の比較 (Chisti 2007 一部改変)

現在でも藻類は酸素発生に貢献



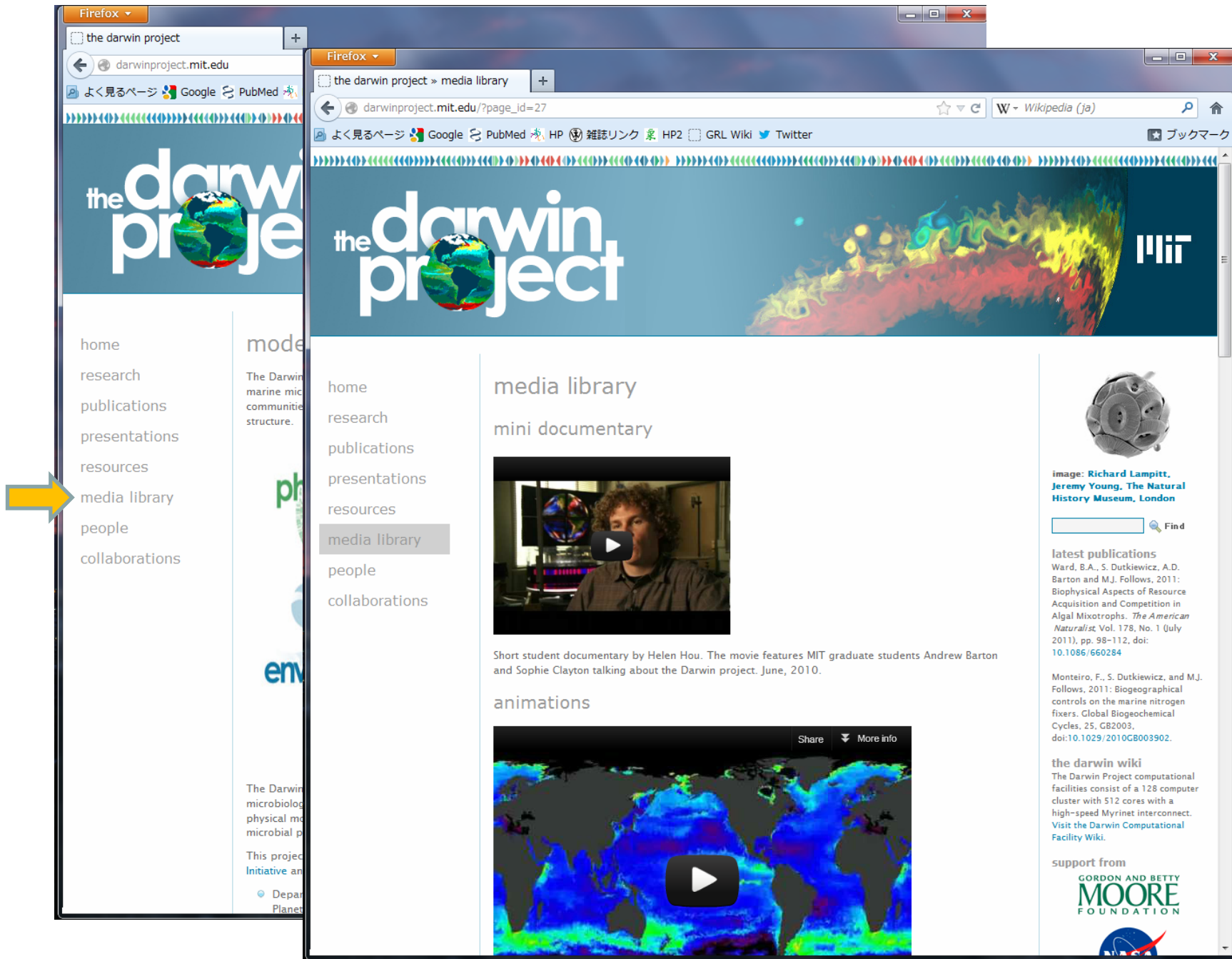
日本海事広報協会HPより

人工衛星から見た海洋のクロロフィルの分布

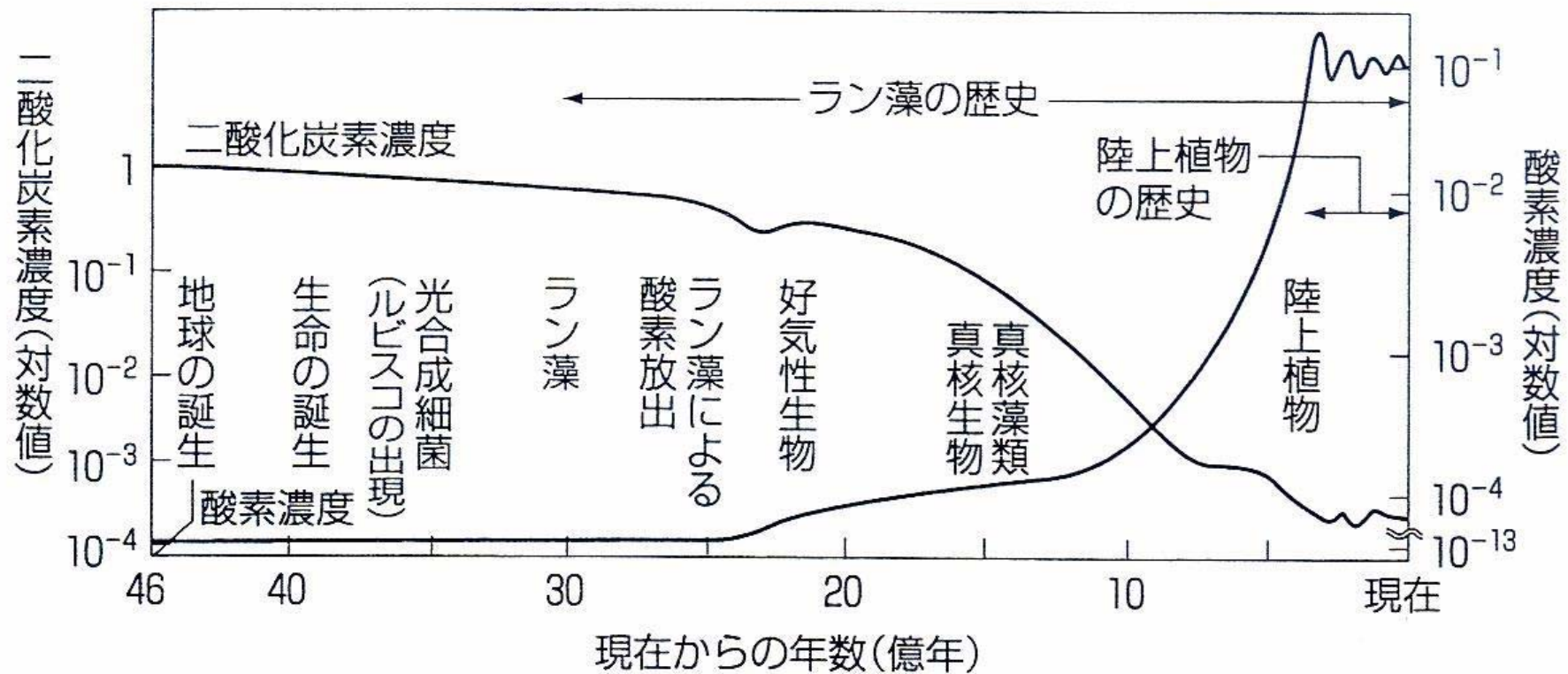
<http://darwinproject.mit.edu/>

http://darwinproject.mit.edu/?page_id=27

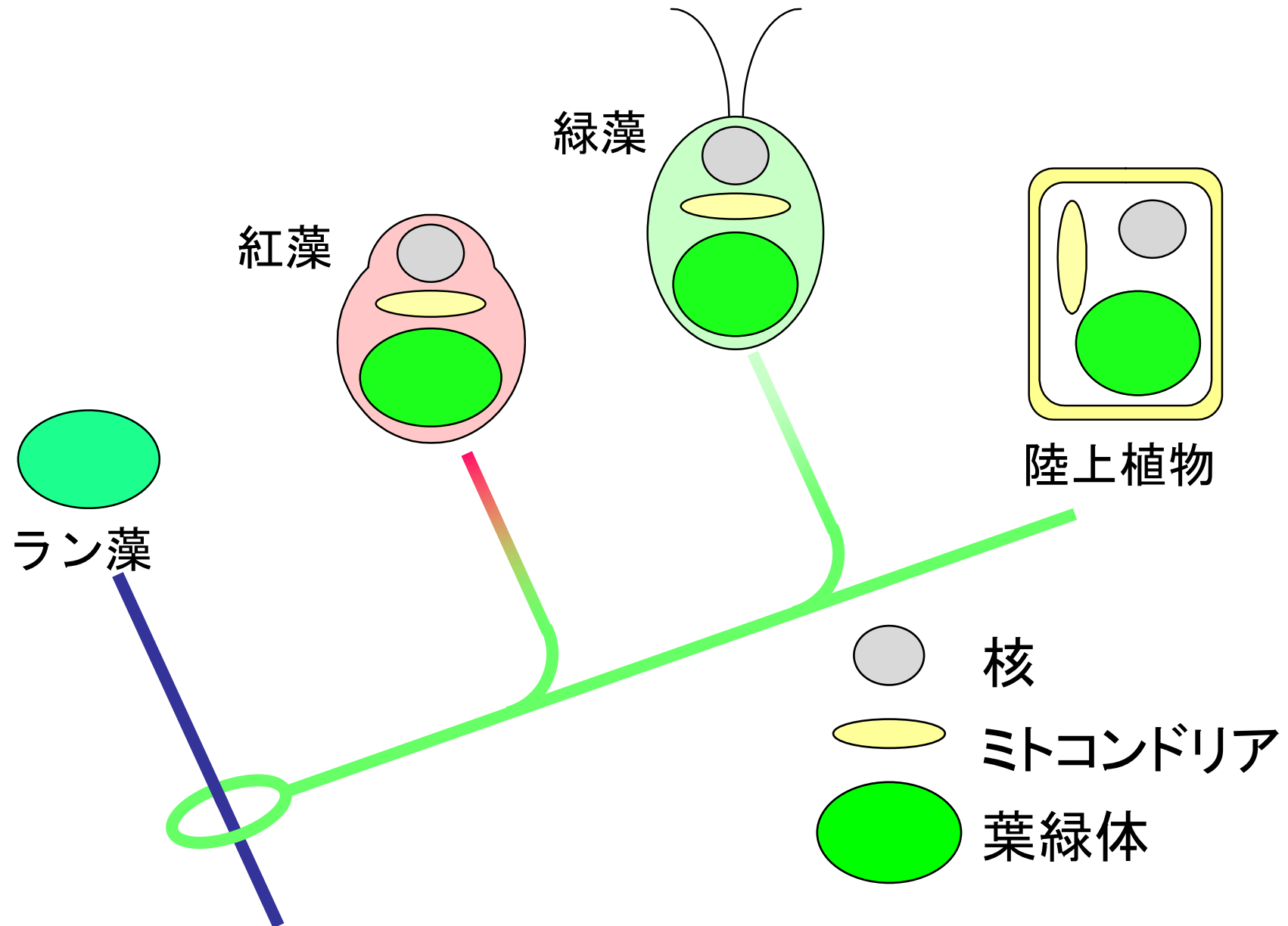
マサチューセッツ工科大
ダーウィンプロジェクト



地球の歴史と光合成生物の誕生



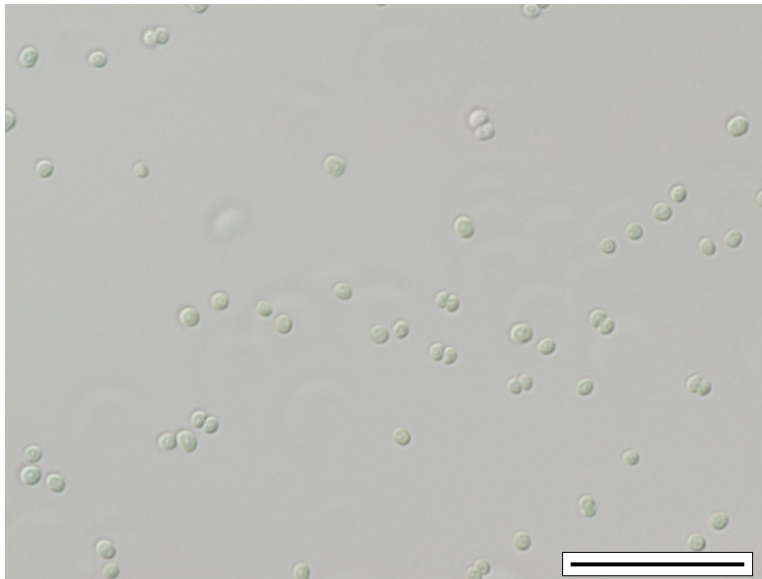
光合成生物の進化



ラン藻(シアノバクテリア)

単細胞性

Synechocystis sp. PCC 6803



糸状性

Anabaena sp. PCC 7120



Bar = 20
 μ m

ラン藻の生息地

海・川・湖・沼・温泉・地面

コケ（地衣類）・ウキクサ・ソテツなど

豪州西部シャーク湾のストロマトライト



ラン藻の生息地



アオコ
印旛沼(茨城県)

ラン藻の生息地



温泉湧出口

ラン藻の生息地



ラン藻の生息地



ラン藻の生息地



ラン藻の生息地



ラン藻を用いる利点：他の光合成生物との比較

植物



ラン藻



ゲノムサイズ： 150 Mb

遺伝子数： 約30,000

ライフサイクル： 1~2か月

3 Mb

約3,000

12~24時間

代謝経路の
デザインが
容易

光合成生物:それぞれのメリット

植物

C/N比(炭素と窒素の比率)が高い
栄養生産と貯蔵組織が分かれている

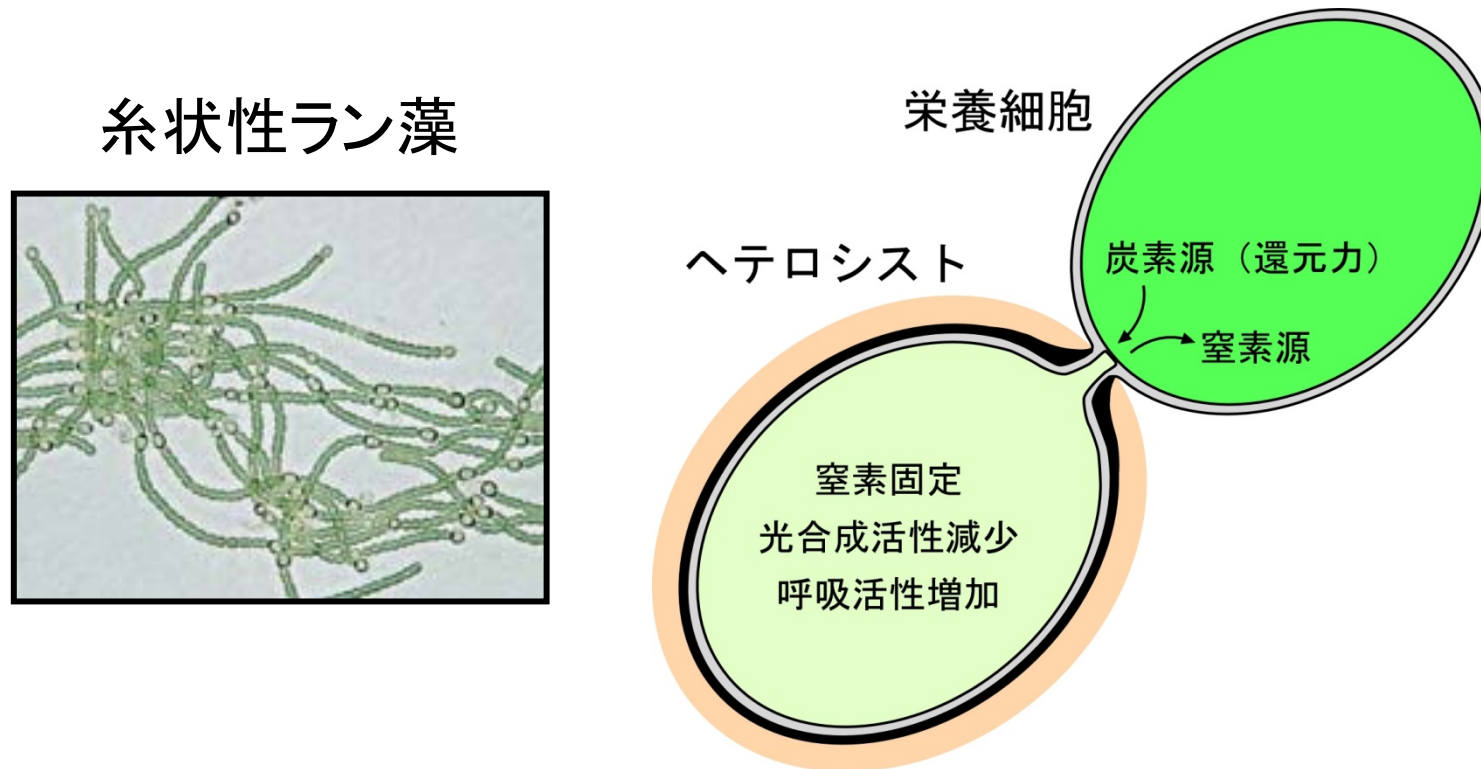
藻類

単位面積当たりの生産量が高い
窒素固定能を持つ種が利用可能

小俣達男 教授(名古屋大)

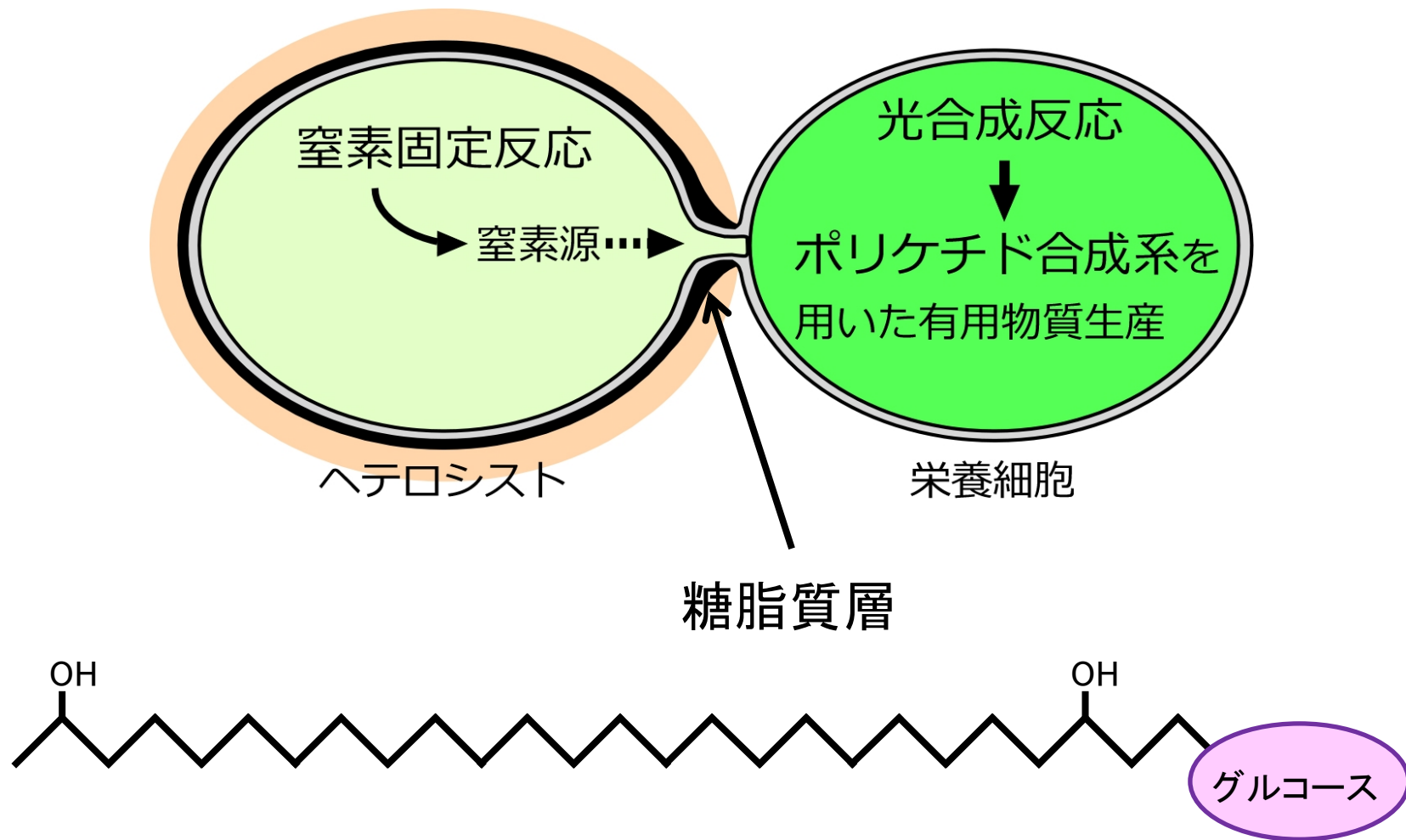
光合成研究 (2010) 20 (2): 65-71

糸状性ラン藻は細胞を分化し窒素固定を行う

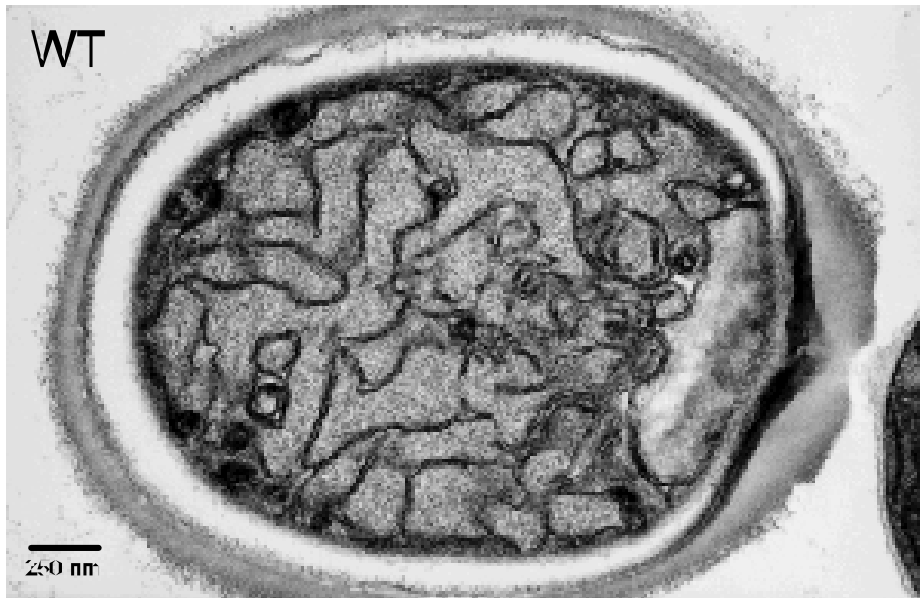


窒素固定を担う酵素（ニトロゲナーゼ）は酸素感受性
糖脂質のバリアーを作り、ニトロゲナーゼを保護

ヘテロシスト特異的糖脂質合成経路を利用する

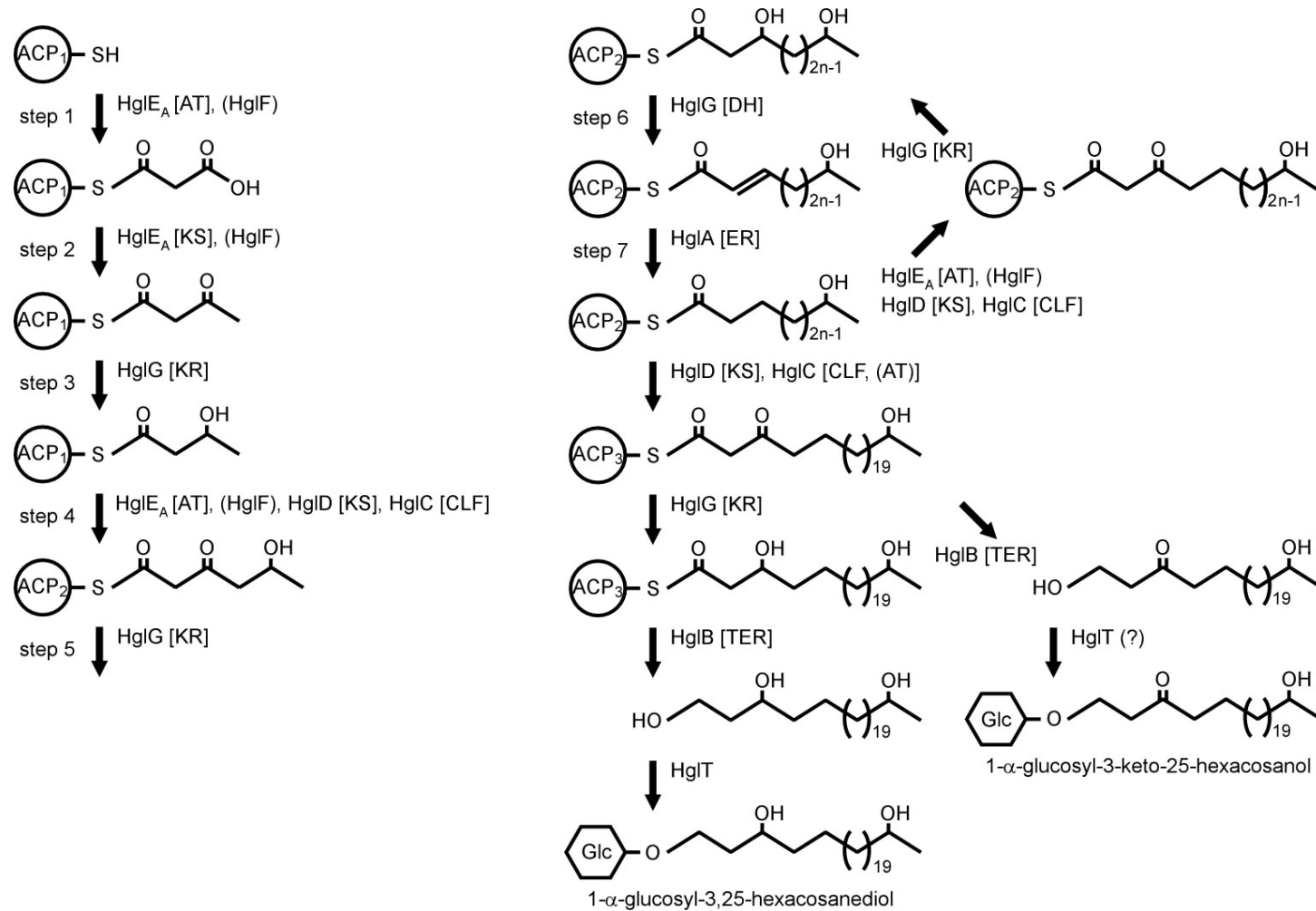


ヘテロシストの電子顕微鏡写真

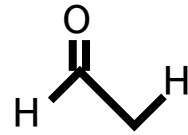


合成遺伝子破壊株では、ヘテロシスト特異的糖脂質の蓄積が見られなくなる。

予想されるヘテロシスト特異的糖脂質合成経路

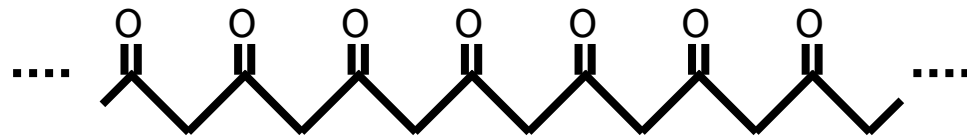
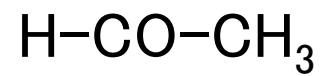


ポリケチドとは？



ケチド(ケタイド)

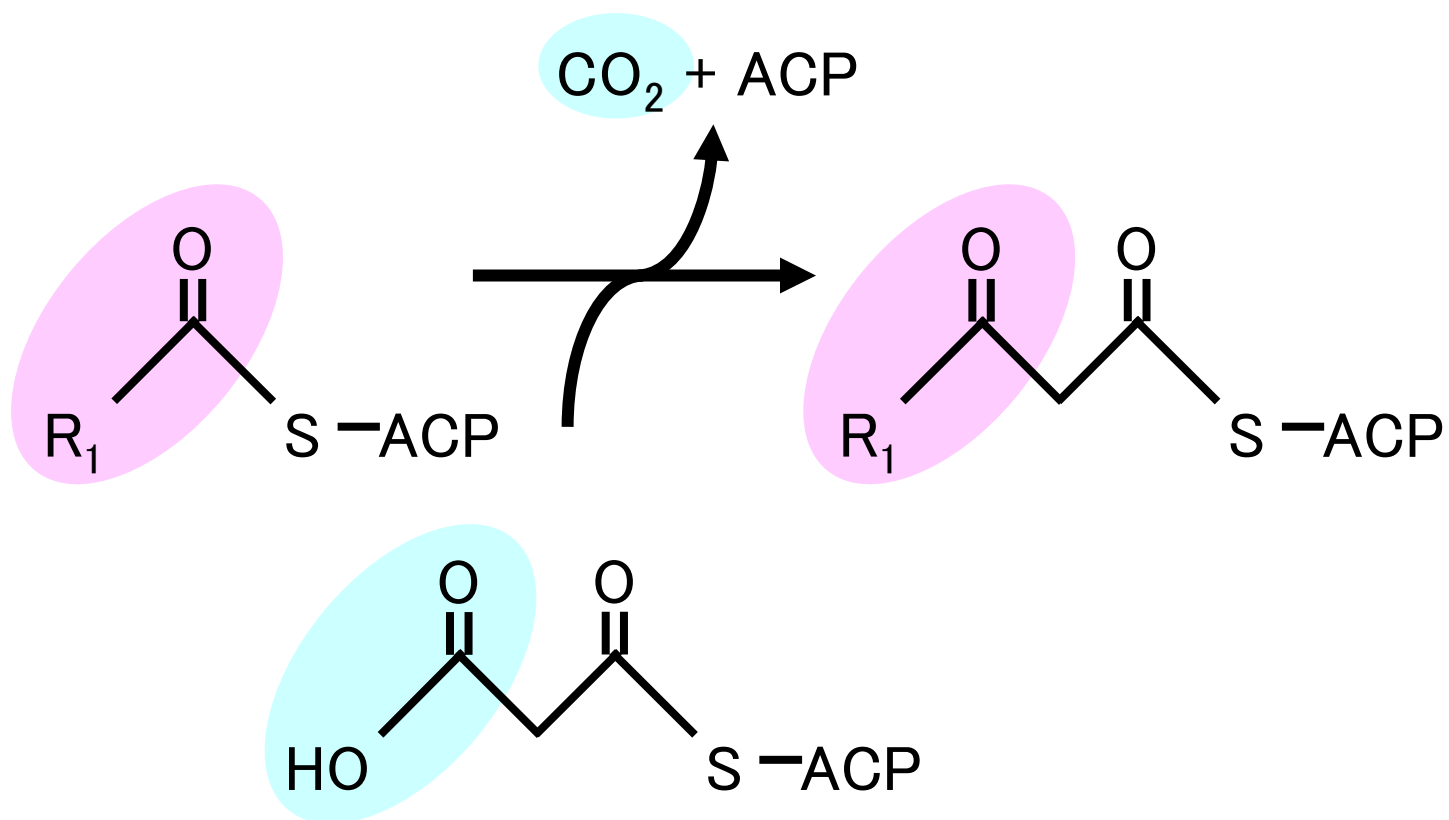
ketide



ポリケチド

polyketide

ポリケトメチレン鎖の伸長反応



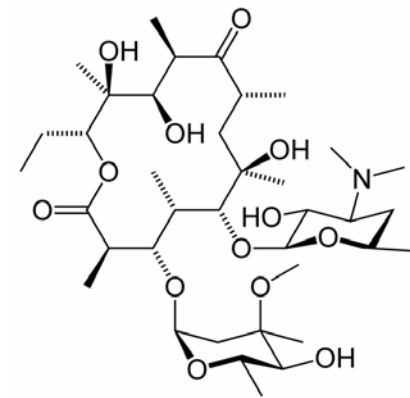
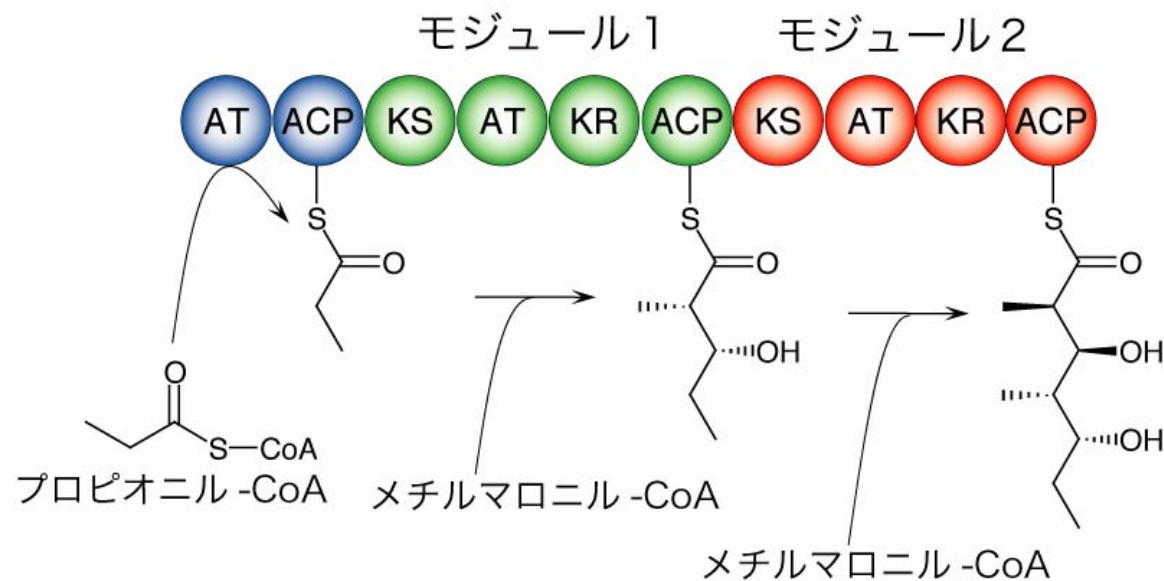
ポリケチド合成酵素

I型	モジュール型と反復型
II型	サブユニット型
III型	主に植物 ポリフェノール類

ポリケチド合成酵素

I型 モジュール型と反復型

I 型 PKS の反応例



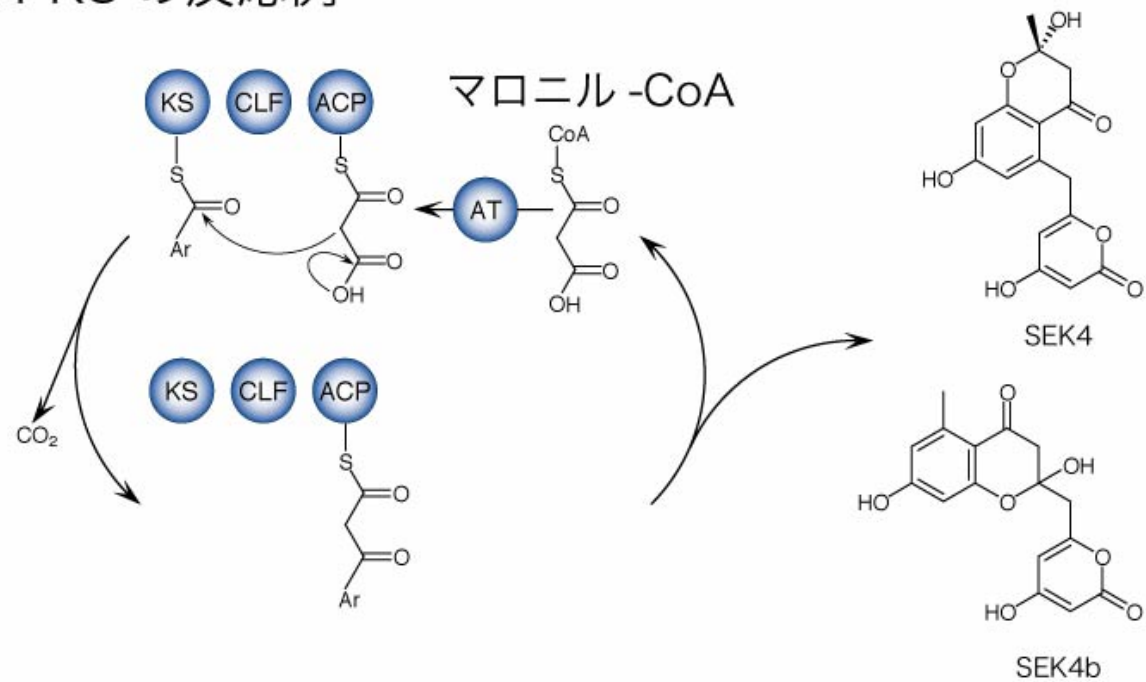
エリスロマイシン

ポリケチド合成酵素

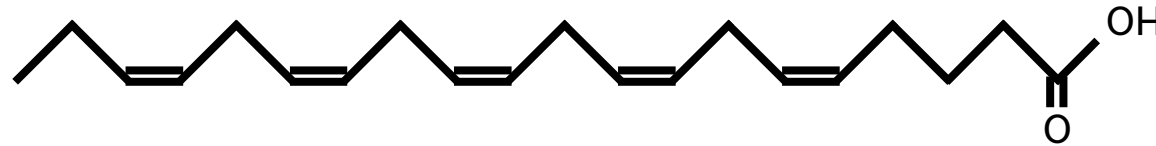
I型 モジュール型と反復型

II型 サブユニット型

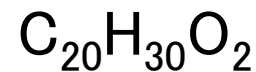
II 型 PKS の反応例



ポリケチド合成酵素による超長鎖脂肪酸合成



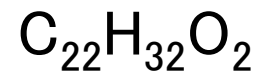
EPA (20:5)



エイコサペンタエン酸



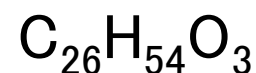
DHA (22:6)



ドコサヘキサエン酸

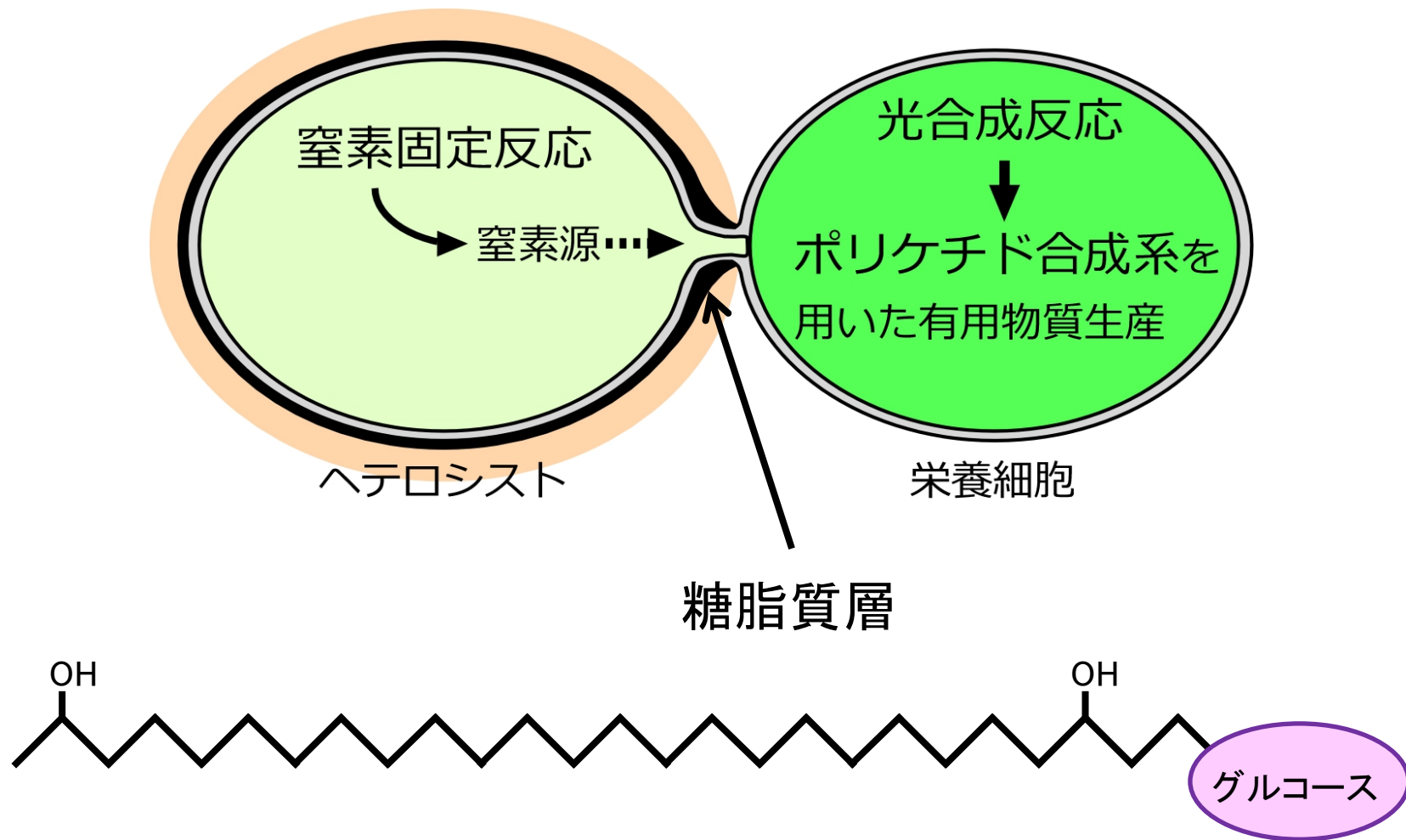


HGL (C26:0)

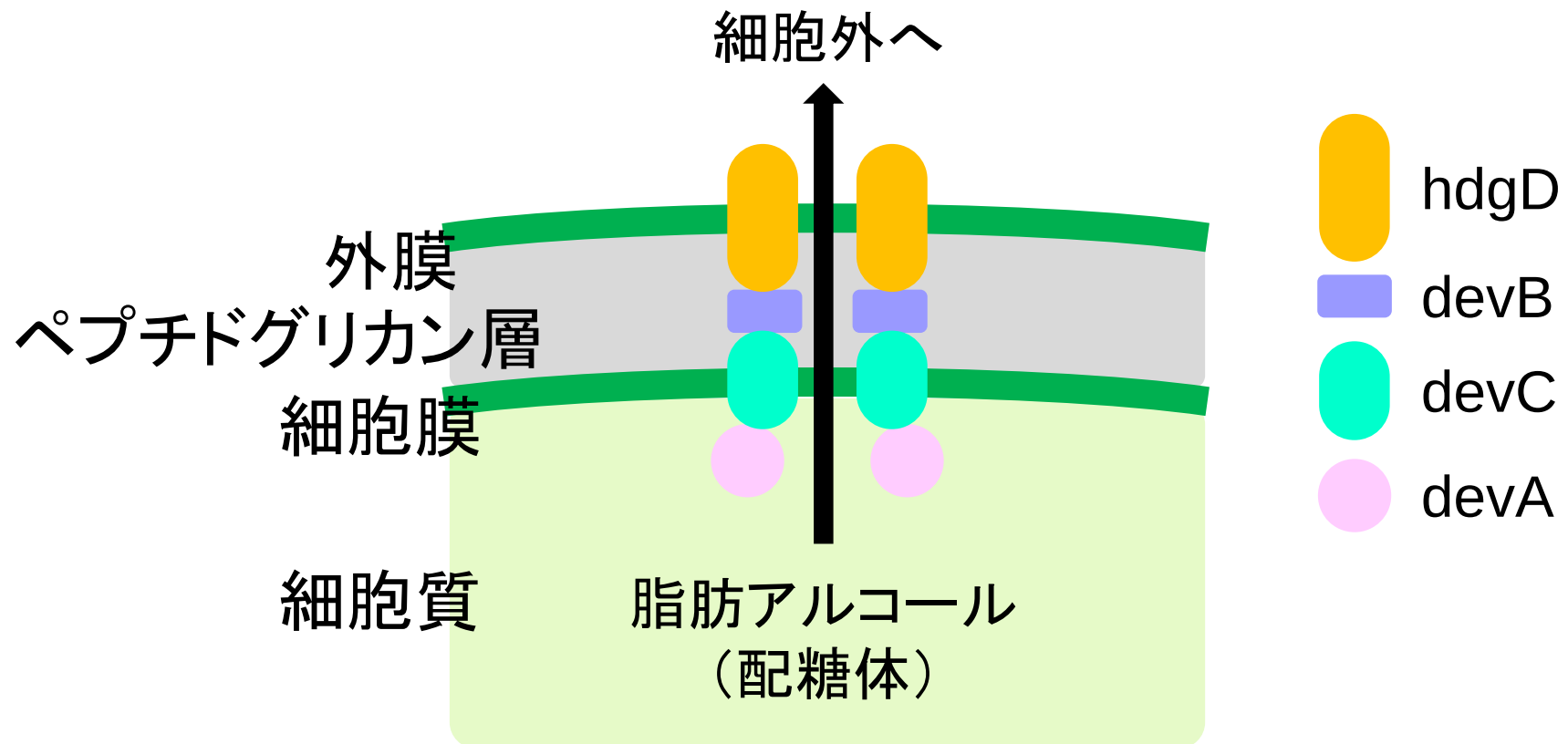


ヘテロシスト特異的
脂肪酸アルコール

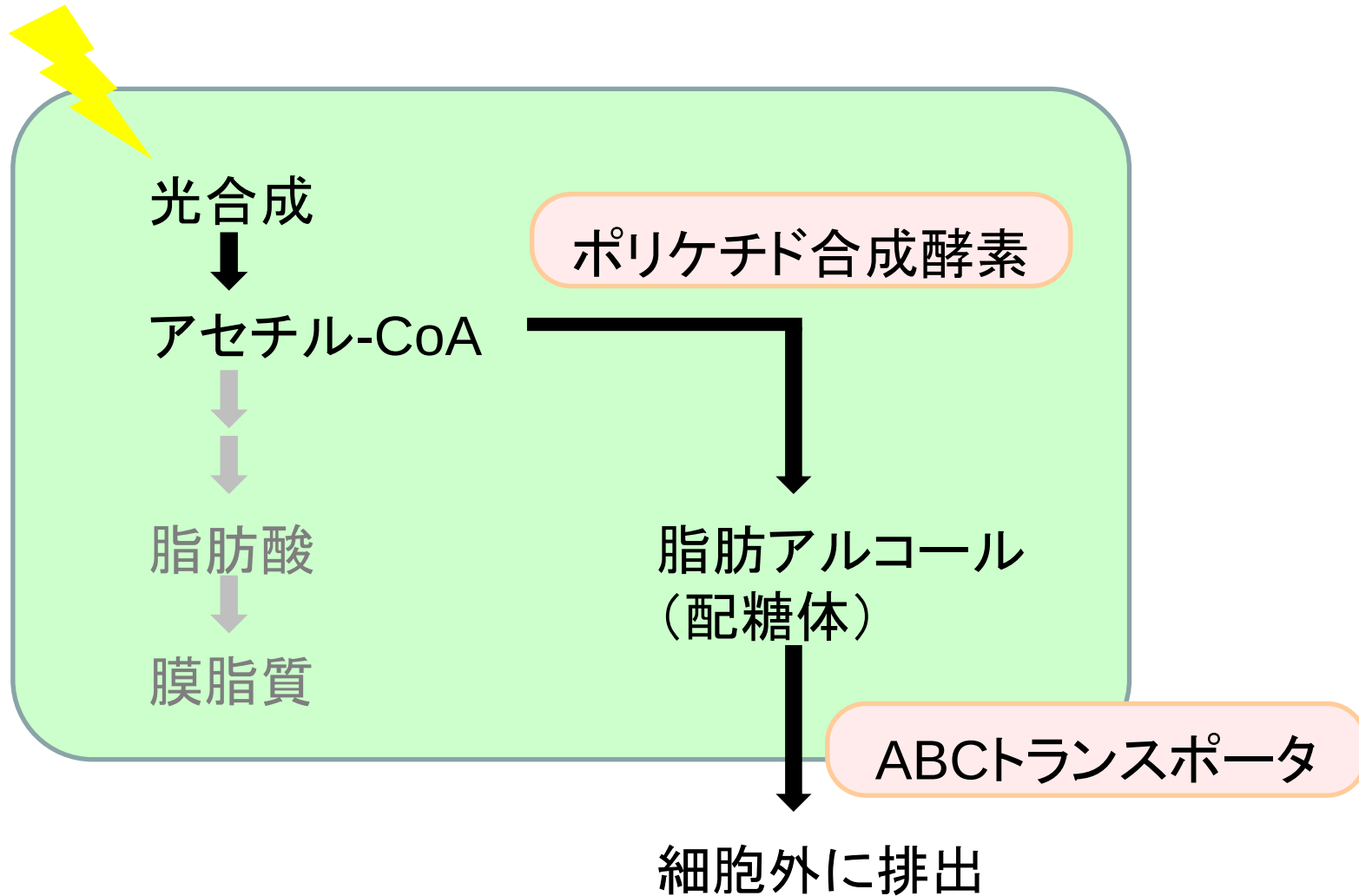
ヘテロシスト特異的糖脂質合成経路を利用する



細胞内で合成された脂肪アルコール配糖体を
ABCトランスポータによって細胞外に放出する



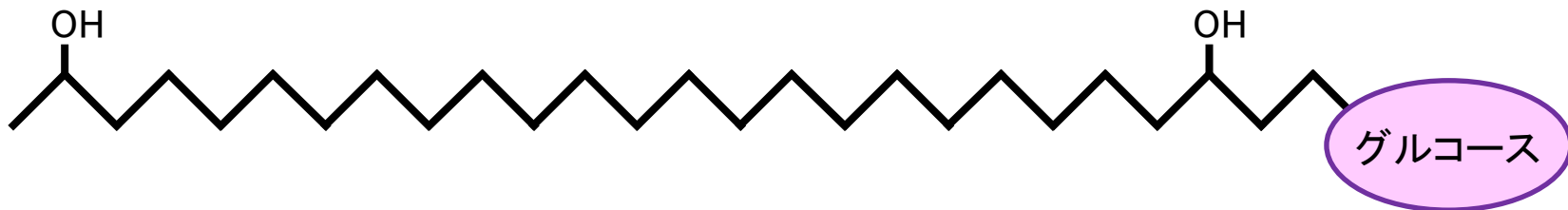
ラン藻をバイオディーゼル生産工場にする



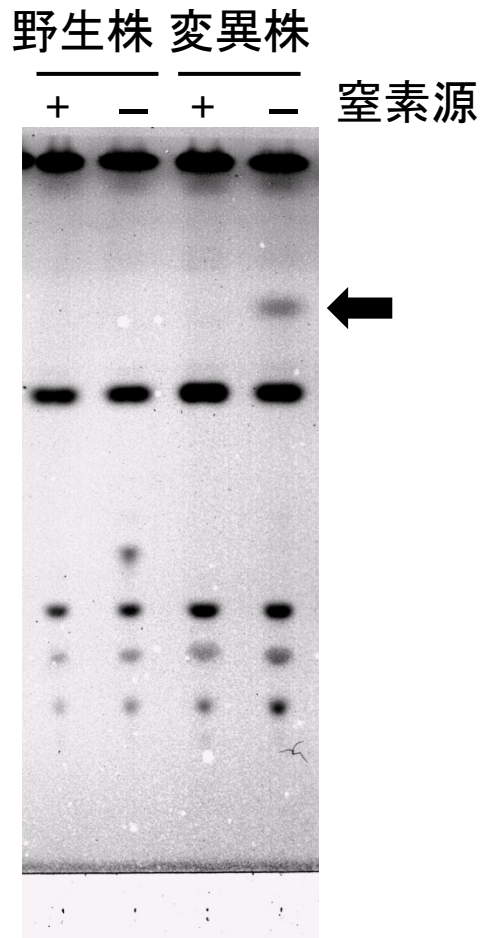
ラン藻ヘテロシストに蓄積する糖脂質



All5341 = HglT ↓ 炭素数26の超長鎖
脂肪酸アルコール



超長鎖脂肪酸アルコールを蓄積するラン藻株



硫酸染色

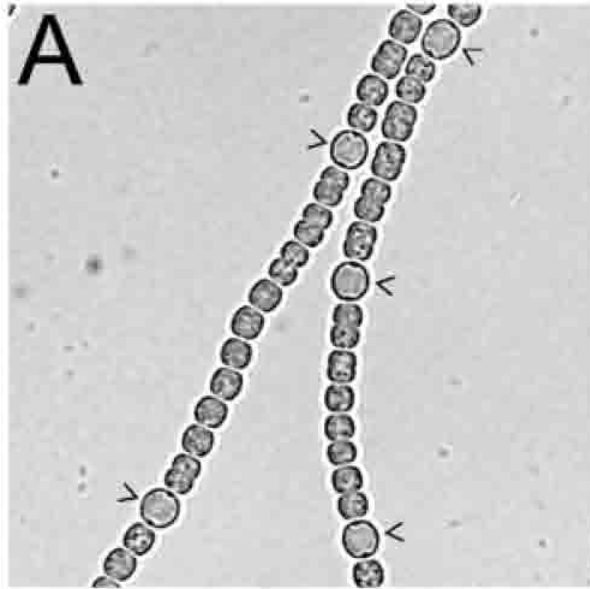
ヘテロシスト特異的糖脂質合成の最後の反応を担う糖転移酵素遺伝子を破壊すると、前駆体である超長鎖脂肪酸アルコールが蓄積する



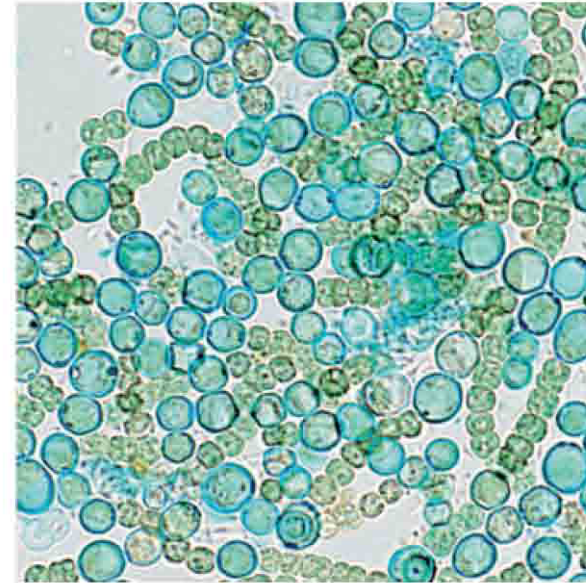
窒素固定能をもつラン藻の 栄養細胞での高効率生産



ヘテロシスト分化が促進された変異株の利用



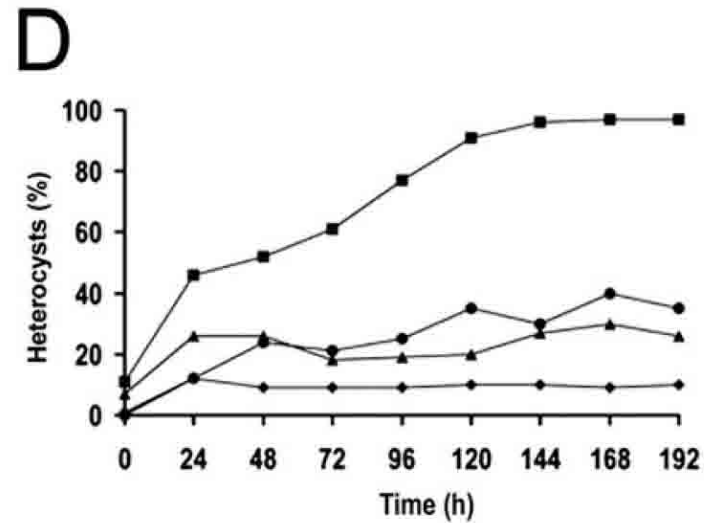
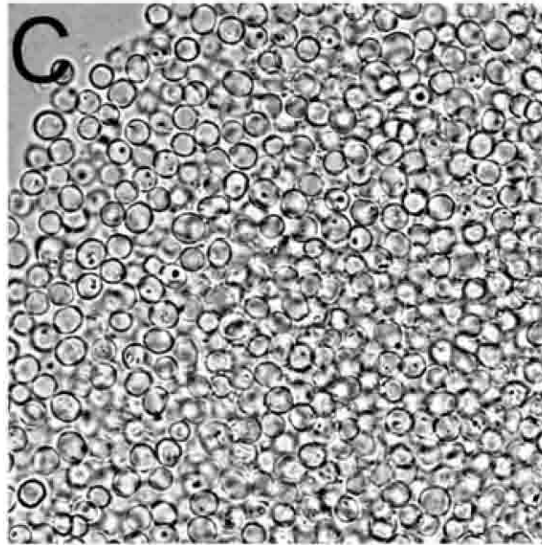
通常10~15細胞に1つの割合でヘテロシストへの分化が起こる



*patS*遺伝子、*hetN*遺伝子の二重破壊株では、ヘテロシストの異常分化が起こる

Borthakur et al 2005 Mol Microbiol

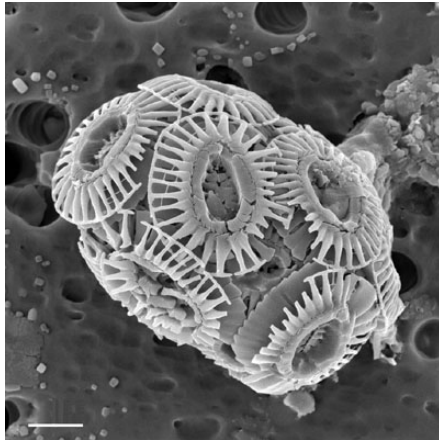
ほぼ100%の細胞がヘテロシストへ分化



3種の遺伝子を破壊するだけで、
超長鎖脂肪酸アルコールの高効率生産可能

Borthakur et al 2005 Mol Microbiol

利用可能な有用遺伝資源候補



円石藻: *Emiliana huxleyi*

超長鎖アルケン



ヒマ: *Ricinus communis*

ヒドロキシ脂肪酸



エダコモンサンゴ



褐虫藻

多価不飽和脂肪酸

科学技術振興機構：戦略的創造研究推進事業

二酸化炭素排出抑制に資する革新的技術
の創出（平成20年度～）

藻類・水圏微生物の機能解明と制御による
バイオエネルギー創成のための基盤技術
の創出（平成22年度～）

二酸化炭素資源化を目指した植物の物質
生産力強化と生産物活用のための基盤技
術の創出（平成23年度～）

http://www.jst.go.jp/kisoken/crest/research_area/index.html

<http://genodive.org>

GenoDive pro: 原核生物用

GenoDive eu: 真核生物用