

**IMAGINE  
THE  
FUTURE.**



# **藻類エネルギー**

**～CO<sub>2</sub>排出50%削減を目指すフロンティア～**

平成23年11月12日  
筑波大学 渡邊信

# 現状と課題 1 我が国のエネルギー政策

- エネルギーには、総合的な安全保障、地球温暖化対策、経済成長、安全性の両立が不可欠。
- 再生可能エネルギーは2020年までに一次エネルギー供給の10%を目指す 新成長戦略(2010.6)

## エネルギー源のベストミックス

ゼロ・エミッション電源(原子力+再生可能エネルギー)の比率

34%(2010) → 50%以上(2020) → 70%以上(2030) エネルギー基本計画(2010.6)

### 太陽光発電



2050年に国内需要の5~10%を賄う

太陽光発電ロードマップ(NEDO 2009.6)

### 風力発電



2020年に10GW、2030年に

20GWを導入 風力発電ロー

ドマップ検討結果報告書(NEDO 2005.3)

### バイオマス

2020年に全国のガソリンの3%以上

2030年までにセルロース、藻類等の技術確立で

最大限の導入 エネルギー基本計画

### 原子力発電

2020年までに9基、2030年ま

でに14基以上の新增設

エネルギー基本計画



今般の震災を受けて、エネルギー基本計画を白紙に  
(5月10日 菅首相会見)

国家戦略により、食料・木材の安定確保を担保しつつ、ロードマップの明確化が必要

# 藻類バイオマス技術開発プロジェクト

## <各種作物・微細藻類のオイル生産能の比較（Chisti 2007を改変）>

作物・藻類	オイル生産量 L/ha/年	世界の石油需要を満たすのに必要な面積 (100万ha)	地球上の耕作面積に対する割合(%)
とうもろこし	172	28,343	1430.0
綿花	325	15,002	756.9
大豆	446	10,932	551.6
カノーラ	1,190	4,097	206.7
ヤトロファ	1,892	2,577	130.0
ココナッツ	2,689	1,813	91.4
パーム	5,950	819	41.3
微細藻類(1)	136,900	36	1.8
微細藻類(2)	58,700	83	4.2

注意：微細藻類(1)はバイオマス\*1（乾燥重量）の70%がオイルの種培養株  
 微細藻類(2)はバイオマス\*1（乾燥重量）の30%がオイルの種あるいは培養株

**藻類のオイル生産効率は植物よりも10倍～数百倍高い**

## 現状と課題3 微細藻類バイオ燃料の開発動向

- 国内外において、急激な油価上昇や、気候変動リスクの高まりから、2000年代になって、食糧と競合しない微細藻類燃料開発が急進展している。
- 特に米国は、微細藻類ベンチャー企業とエネルギー関連企業が組む等して、政府から多額の資金援助を受けながら実証レベルの開発段階に至っている。

### 海外の動向

- 米国では、国家事業としての位置づけによる政策支援・事業支援策が実施されている。
  - 米エネルギー省 (DOE) は2009年より大学、企業で構成する「藻コンソーシアム」に5000万ドル (約45億円) を拠出。2010年には「National Algal Biofuels Technology Roadmap」を作成・発表
  - 2009年より世界最大手の石油会社、米エクソンモービルが、藻に関する研究開発に6億ドル (約540億円) を超える投資を実施。
  - 2011年8月にエネルギー省、海軍、農業省はDrop-in fuel (そのまま燃料として使えるオイル) の開発に今後3年間で5億1千ドル (約400億円) を投資すると発表
- このほか、オーストラリア、イスラエル、中国、インド、インドネシア、韓国など世界各地で微細藻類の研究開発・実証が行われている。

世界的にも、次世代バイオ燃料の原料として「藻類」が注目されている

# 微細藻類のオイル生産量

Chisti 2007

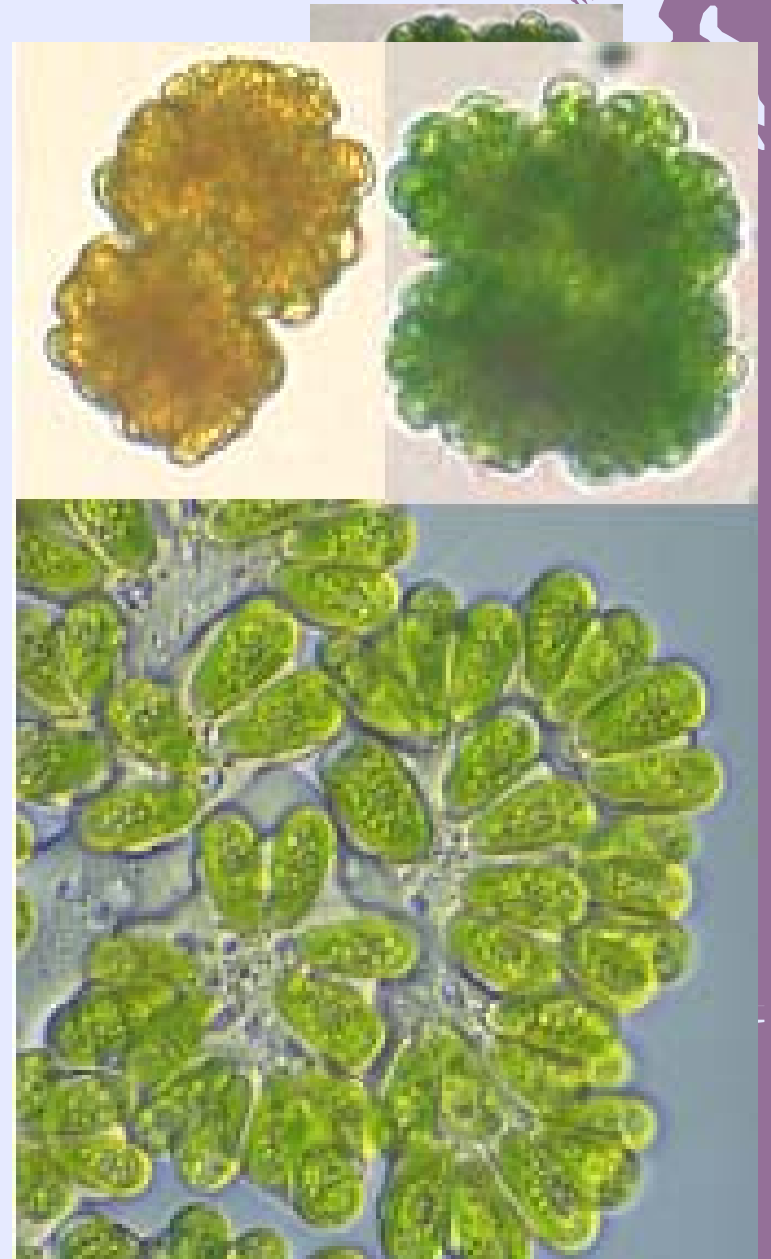
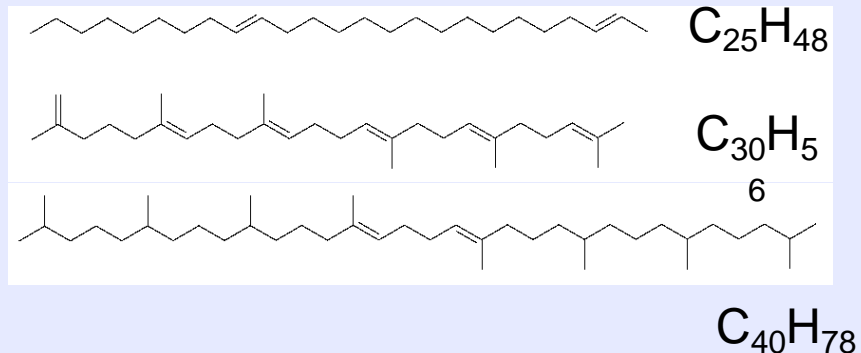
微細藻類の種	オイル含量 (% dry wt)
<i>Botryococcus braunii</i>	25-75
<i>Chlorella</i> sp.	28-32
<i>Cryptothecodinium cohnii</i>	20
<i>Cylindrotheca</i> sp.	16-37
<i>Dunaliella primolecta</i>	23
<i>Isochrysis</i> sp.	25-33
<i>Monallanthus salina</i>	>20
<i>Nannochloris</i> sp.	20-35
<i>Nannochloropsis</i> sp.	31-68
<i>Neochloris oleoabundans</i>	35-54
<i>Nitzschia</i> sp.	45-47
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20-30
<i>Schizochytrium</i> sp.	50-77
<i>Tetraselmis sueia</i>	15-23

- ◆ ほとんどの藻類: トリグリセリドを蓄積
- ◆ トリグリセリド はメチルエステル化され、脂肪酸メチルエステル(**FAMEs**)として燃料に利用
- ◆ **FAMEs**: 酸化されやすい, **NO<sub>x</sub>**の放出、低温凝固、の問題を克服することが必要
- ◆ ターゲット: 炭化水素産生藻類. 石油成分は炭化水素で、既存のインフラが活用 (**Drop-in-fuel**)
- ◆ 炭化水素産生藻類: *Botryococcus* and *Aurantiochytrium*

# ボトリオコッカス (*Botryococcus*)

- 淡水に生息する藻類
- 緑～赤色で30-500  $\mu\text{m}$ のコロニーを形成
- 二酸化炭素を固定し、**炭化水素**を生産
- 炭化水素は石油の代替となり得る
- 細胞内及び、コロニー内部に炭化水素を蓄積  
(乾燥重量の20-75%)

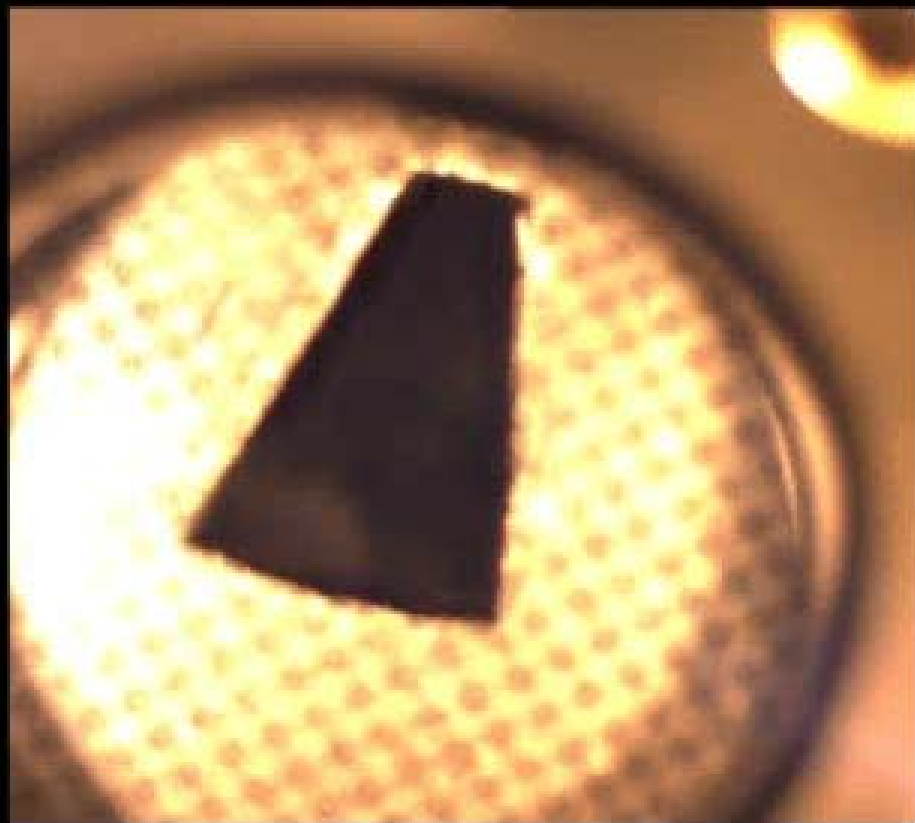
*Botryococcus*の生産する炭化水素の  
例(重油の一種)



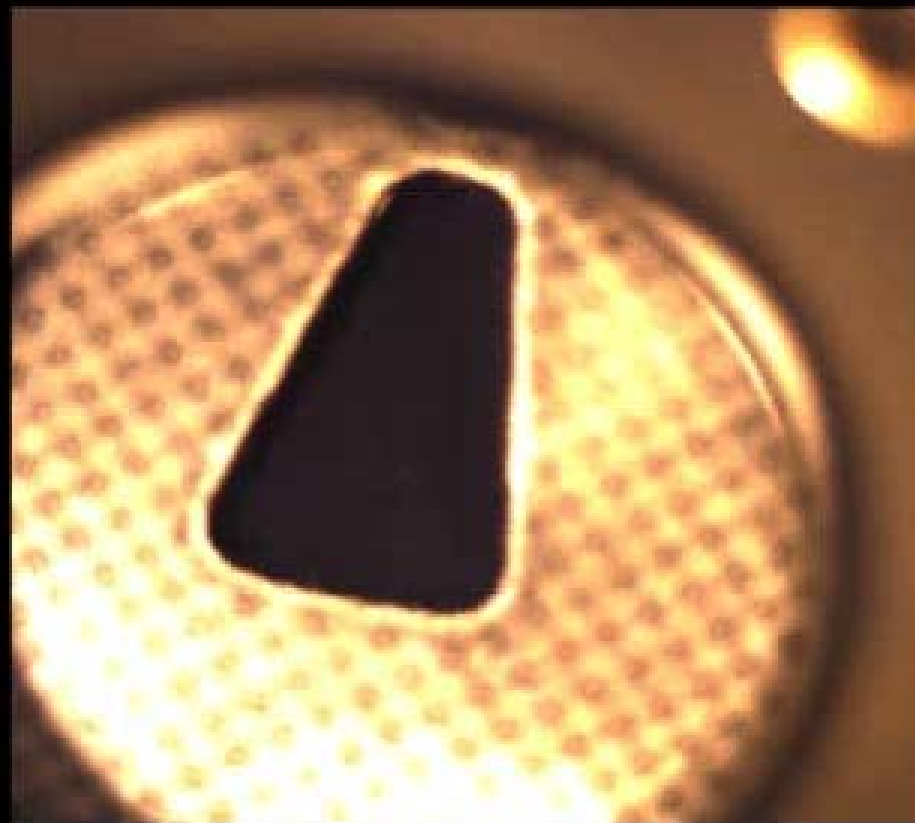




ボトリオ



軽油



# 藻類バイオマスファーム構想（大量培養への道）

## 技術開発のための取組み

### 野外大量培養技術の確立

- \* 休耕田・耕作放棄地を利用した試験プラント実験による課題の抽出と解決策の提示
- \* 水処理プロセスへ組み入れ

## ボトリオコッカスの屋外大量培養システムの構築

培地作成経費を1/30へ

種培養の容器コストを1/10へ



10L培養



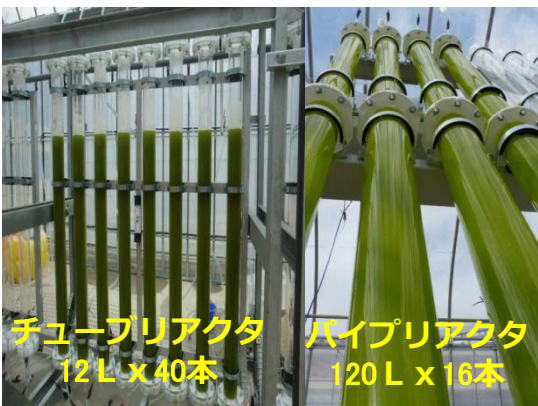
ソフトタンク培養



30L培養



300Lドーム培養



チューブリアクタ  
12L x 40本

パイプリアクタ  
120L x 16本

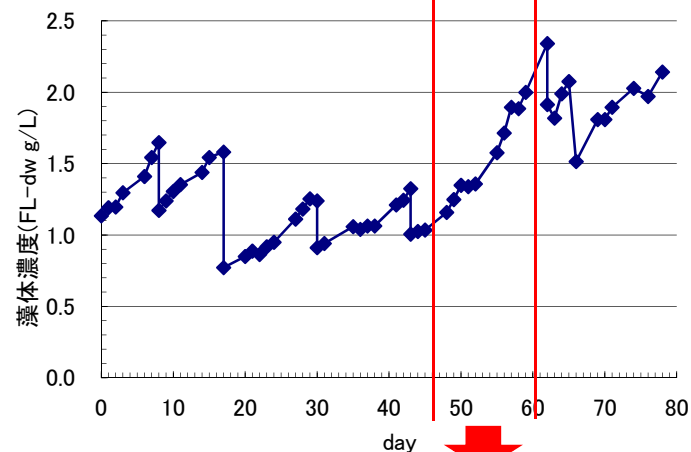


プールでのプラスチックバック大規模培養システム

0.5トンスケール

2トンスケール

100トンスケール



20g/m<sup>2</sup>/日 バイオマス  
10g/m<sup>2</sup>/日 炭化水素

米国における実用化のメド

さらなる大規模な実証を総合戦略特区によって実施予定

0.5トン リアクター



2トンリアクター

さらにスケールアップした実験が必要!

2011.4~ 100トンスケールへ展開

藻類大規模培養プラント (25m プール) 竣工 (2011年3月)

現在の炭化水素生産効率・・・100トン/ha/年

目標：生産効率の一桁増進 (1,000トン/ha/年)



現在の石油とほぼ同じ価格での供給が可能に

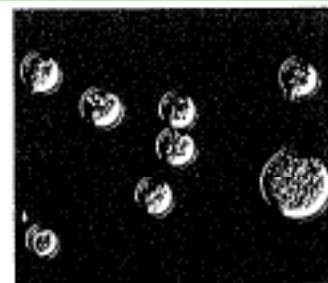
# オーランチオキトリウム (*Aurantiochytrium*)

## 技術開発のための取組み

優れたオイル産生能をもつ微細藻類の探索及び潜在力を強化する技術

- \* 炭化水素を産生し、ポトリオコッカスと補完的な機能をもつ藻類培養株の確保
- \* 突然変異や遺伝子組み換えによる品種改良技術

## 優れたオイル産生能をもつ微細藻類の発見



藻類に「石油」を作らせる  
研究で、筑波大のチームが従

石油つくる藻類  
沖縄に「有望株」  
生産能力、従来の10倍超

来より10倍以上も油の生産能力が高いタイプを沖縄の海で発見した。チームは工業利用に向けて特許を申請している。将来は燃料油としての利用が期待され、資源小国の日本にとって朗報となりそうだ。茨城県で開かれた国際会議で14日に発表された。

藻類「オーランチオキトリウム」の沖縄株＝筑波大提供

筑波大の渡邊信教授、徳谷邦光特任教授らの研究チーム。海水や泥の中などにすむ「オーランチオキトリウム」という単細胞の藻類に注目し、東台湾やベトナムの海などで計150株を採った。これらの性質を調べたところ、沖縄の海で採れた株が極めて高い油の生産能力を持つことが分かった。

球形で直径は5〜15マイクロメートル（マイクロは100万分の1）。水中の有機物をもとに、化石燃料の重油に相当する炭化水素を作り、細胞内のため込む性質がある。同じ温度条件下で培養すると、これまで有菌だとされていた藻類のポトリオコッカスに比べて、10〜12倍の量の炭化水素を作

ることが分かった。研究チームの試算では、深さ1メートルのプールで培養すれば、面積1センチあたり年間約1万トンを産出させる。一国内の耕作放棄地などを利用して生産施設を約2万カ所にすれば、日本の石油輸入量に匹敵する生産量になる」としている。

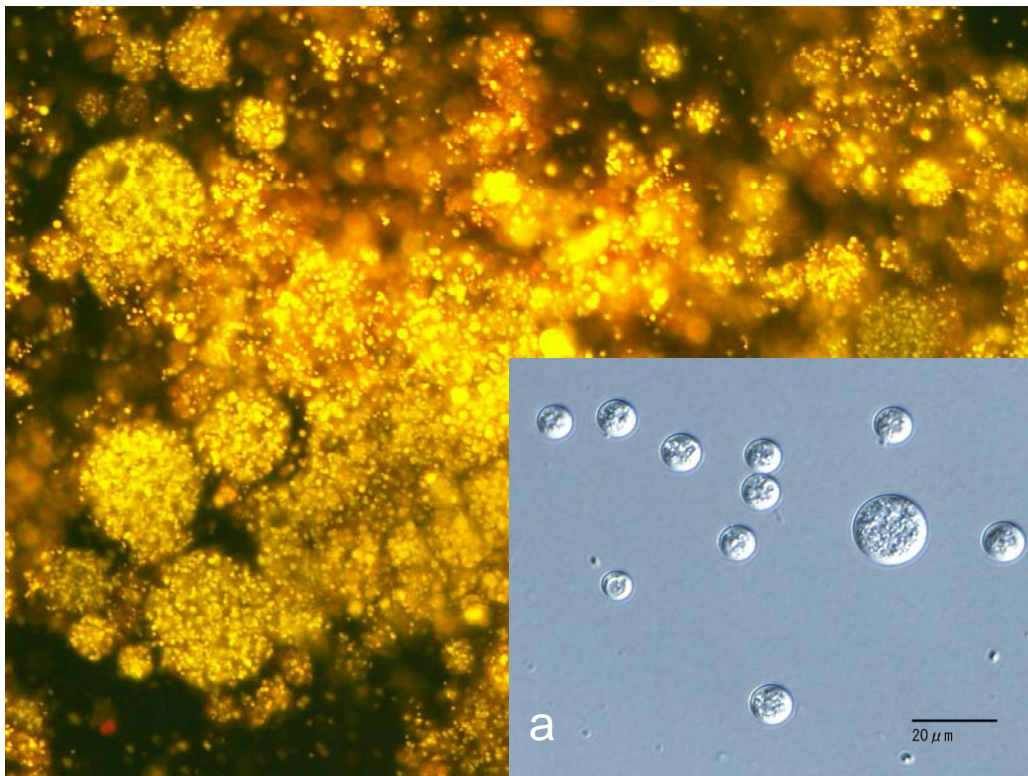
炭化水素をつくる藻類は複数の種類が知られているが生産効率の低さが課題だった。渡邊教授は「大規模なプラントで大規模培養すれば、自動車用の燃料用に1リットル以下で供給できるようにするだろう」と話している。また、この藻類は水中の有機物を吸収して増殖するため、生活排水などを浄化しながら油を生産するプラントをつくる「水産バイオ」の構想もある。（山本智之）

平成22年12月14日(火)朝日新聞(夕刊)

- オーランチオキトリウムは高価値炭化水素スクアレンを乾燥重量あたり約20%合成でポトリオコッカスの1/3
- オーランチオキトリウムの倍加時間は2時間でポトリオコッカス(倍加時間3日)の36倍

# 藻類バイオマスファーム構想（オーランチオキトリウム 筑波大学 University of Tsukuba

高価値の炭化水素（スクアレン）生産能を有する従属栄養藻類  
オーランチオキトリウムをマングローブ林より150株単離

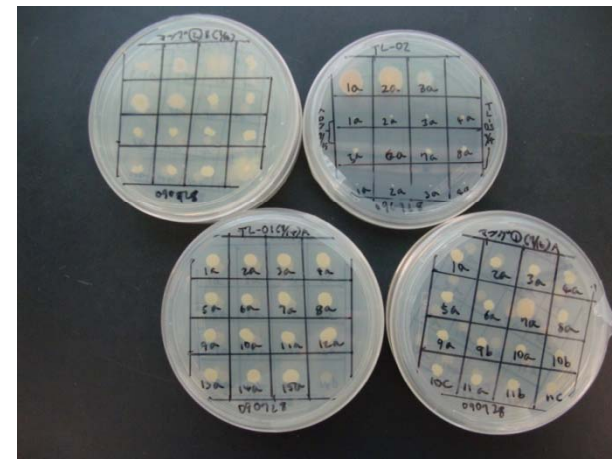


Nile Red染色

黄色が中性脂質、赤色がリン脂質などの極性脂質とされる



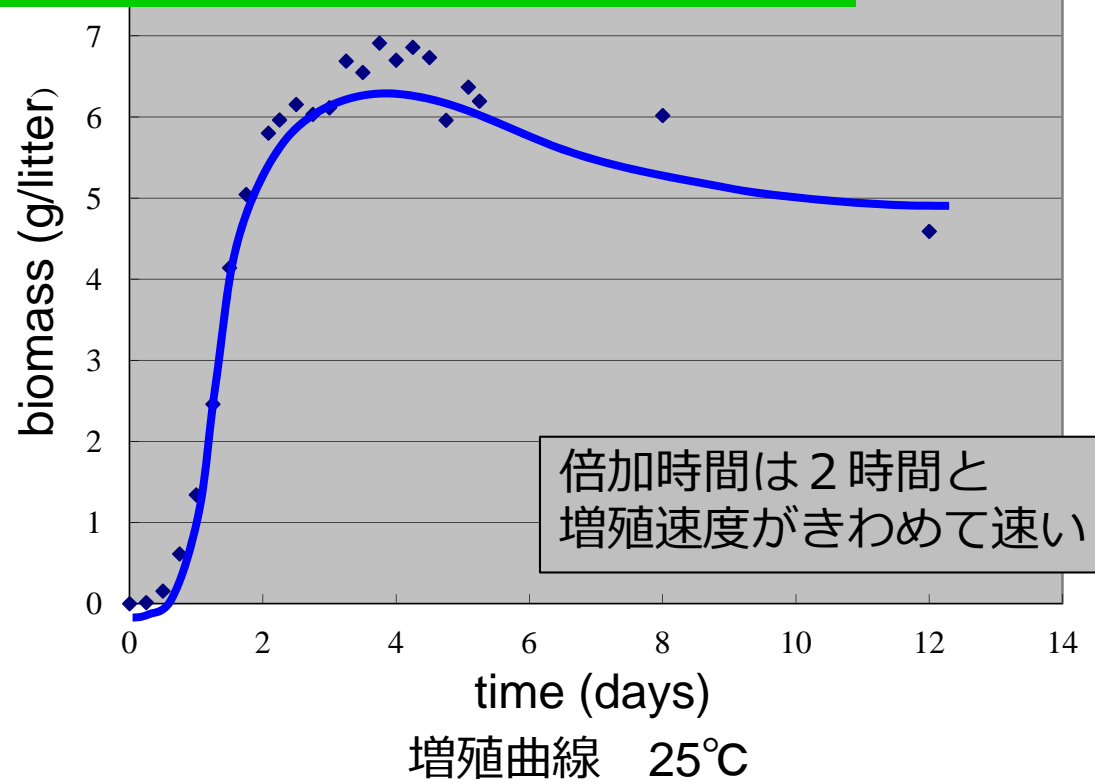
採集地：マングローブ林



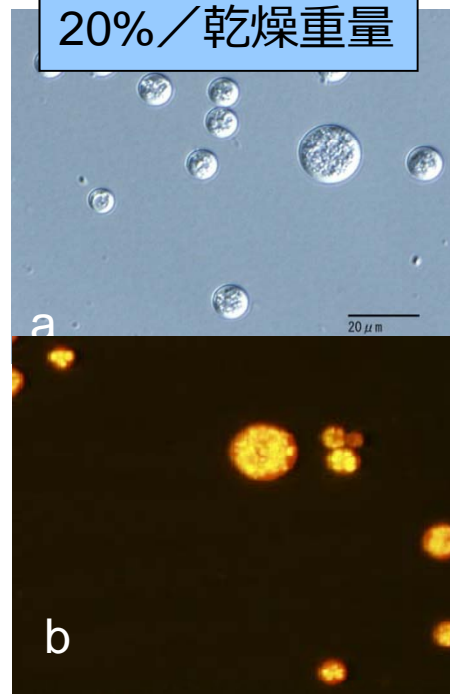
固体培地での培養

# 藻類バイオマスファーム構想（オーランチオキトリウム 筑波大学 University of Tsukuba

## オーランチオキトリウムの増殖速度



炭化水素濃度は20% / 乾燥重量



a: *A. sp.* 18W-13a  
b: ナイルレッドで染色  
炭化水素が黄色に蛍光



スクアレン (squalene)  $C_{30}H_{50}$  健康食品 (サプリメント)、化粧品などに利用





**従属栄養性：光合成は行わず、有機物を分解してオイルを生産する  
ボトリオコックスと栄養様式で補完的！**

## 18w-13aの4～12日目のバイオマス量とスクアレンの含量

4日目がバイオマス量、スクアレン含量の双方で最も高く、スクアレン濃度はバイオマスあたりで20%、収量は約1.3g/Lとなる。

Day after inoculation	Biomass g/L	Total Lipid g/L	Squalene g/L	Squ.% in Biomass
4 days	6.5	3.90	1.29	20
8 days	5.5	1.53	1.04	19
12 days	5.2	1.29	0.89	17

Medium: 2% Glu, proteose-peptone 1% and yeast extract 0.5%  
Condition: 25°C, 100 rpm.

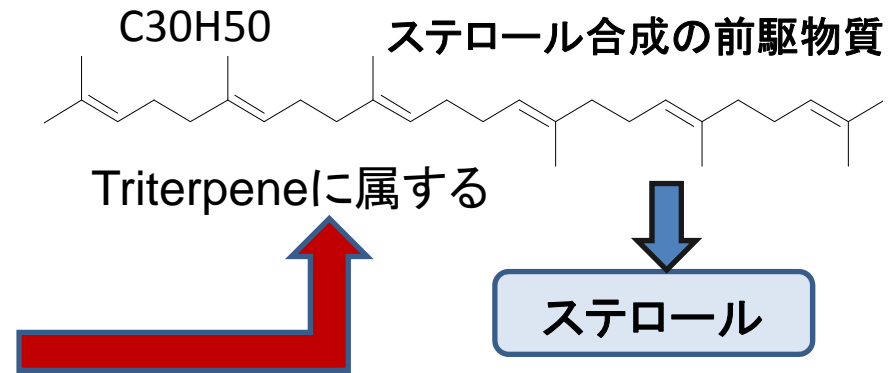
- オーランチオキトリウムは高価値炭化水素スクアレンを乾燥重量あたり約20%合成でボトリオの1/3
- オーランチオキトリウムの倍加時間は炭化水素生産効率の高い25°Cで3時間:ボトリオ(倍加時間は25°Cで6日)の48倍
- 48/3で16倍のオイル生産効率となる。
- 4日間で 1.3 g/L (1.3kg/m<sup>3</sup>) のオイル量がとれるので、深さ1.5mでのオイルの日生産量は 485g/m<sup>2</sup>とボトリオコッカス(10g/m<sup>2</sup>)の48.5倍となる。

2011年5月、藻類バイオマスが生産した炭化水素を混合燃料として、トラクターでの実証運転に成功(揮発油等の品質の確保等に関する法律の上限である3%混合燃料を利用)

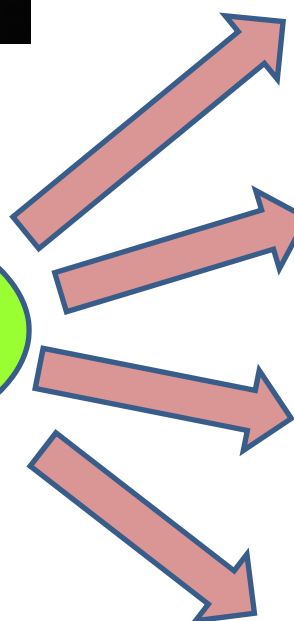


# バイオマスの展開可能性(スクアレン)

## スクアレン



抗酸化作用、鎮痛作用  
免疫促進作用、殺菌作用  
浸透作用、細胞賦活作用  
保湿効果



**健康サプリメント**

スッキリや健康をサポート



**医薬部外品**

はだあれ、にきび、しもやけ等治療



**インフルエンザワクチン**

ワクチン効果を増進



**化粧品**

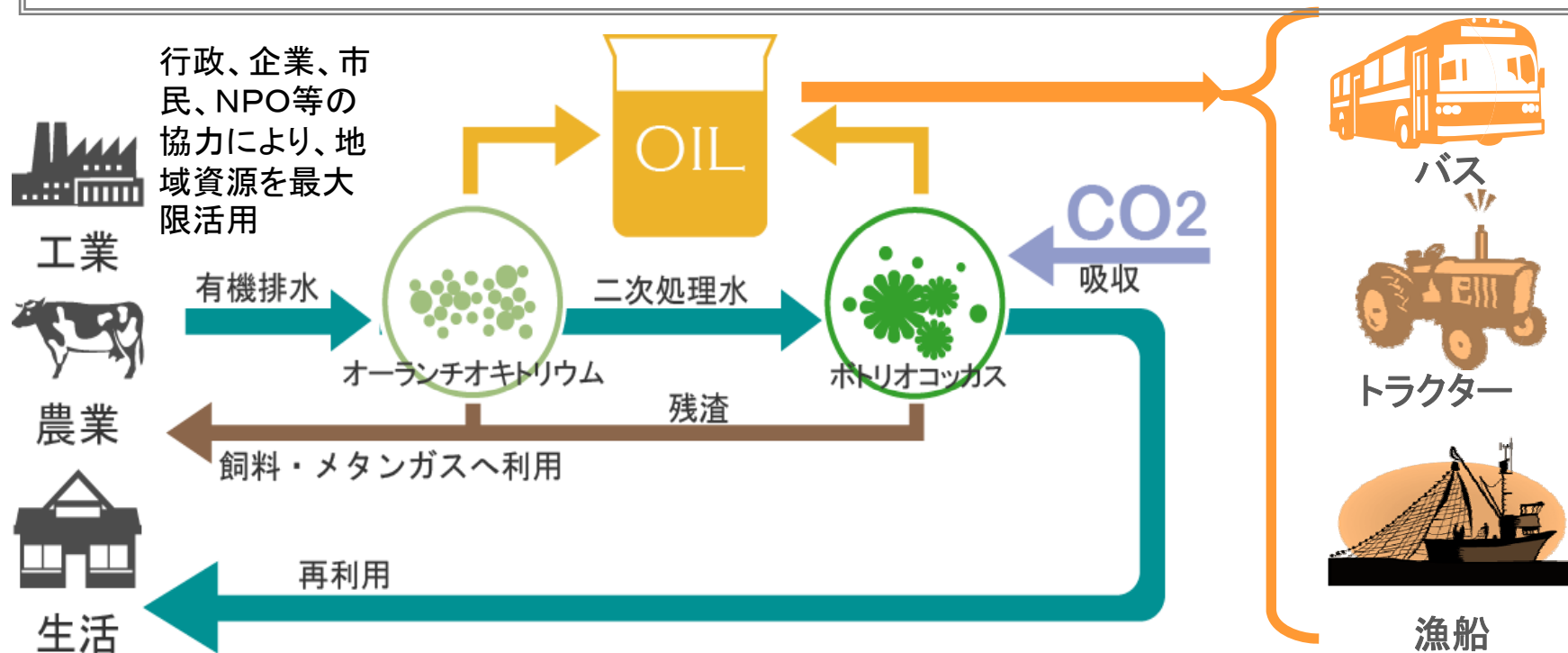
美肌効果

# 筑波大学での取り組み その3

## ハイブリッドシステムで炭化水素生産

ポトリオコッカスとオーランチオキトリウムとのハイブリッドで、CO<sub>2</sub>の吸収と廃水処理を行いながら、生産された炭化水素を燃料として利用する循環システムを構築する。

- 例えば、バス燃料とすることにより、高齢者・子どもとその家族、高台からの通勤者などへの移動手段として、新エネルギーを暮らしに還元し、住みやすい社会を実現する（エコモデルタウン）。
- 自動車用燃料、船舶用燃料としての利用可能性については、地元関係機関や企業の協力を得て、実証を進め、世界へ発信する。





# ご清聴ありがとうございました

UNIVERSITY OF TSUKUBA, GRADUATE SCHOOL OF LIFE AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

## A pioneer of the new algae economy

**J**apan leads the world in interdisciplinary research aimed at establishing algae-based hydrocarbon production as a core component of a future low-carbon society.

Tsukuba is home to a unique research project aimed at establishing algal fuel technology as a replacement for conventional fossil fuels. This Japan-led international research collaboration has already sparked intensive interdisciplinary research in biology, chemistry and engineering.

Microalgae are microscopic photosynthesizing organisms that are ubiquitous in freshwater and marine environments. They are thought to



**Leaders of the microalgae project. Clockwise from bottom left: Makoto M. Watanabe, Yoshihiro Shiraiwa, Kunimitsu Kaya, Makoto Shiho and Isao Inouye**

by an order of magnitude. The project team is composed of biology, chemistry and engineering research groups that work in close collaboration. The biology group, under the leadership of Yoshihiro Shiraiwa, is investigating how to increase hydrocarbon production by screening for other strains and species and by genetic engineering. The chemistry group led by Kunimitsu Kaya is developing low-cost, energy-conservative extraction and refinement methods for the hydrocarbons and other metabolites, as well as investigating the use of the products in society. The engineering group, led by Makoto Shiho, is carrying out detailed life-cycle assessments involving outdoor test plants