

「循環」再ハッケン!

# 月刊日本館

Issue

07

特集 | Feature

輝け!  
ウルトラ藻類



# When Algae and Humanity Unite, Our Earth's Future Will Shine Brighter.

藻類と人が、力を合わせたら  
地球の未来は、  
きっともっとよくなっていく。

issue 07

Shine! Ultra Algae

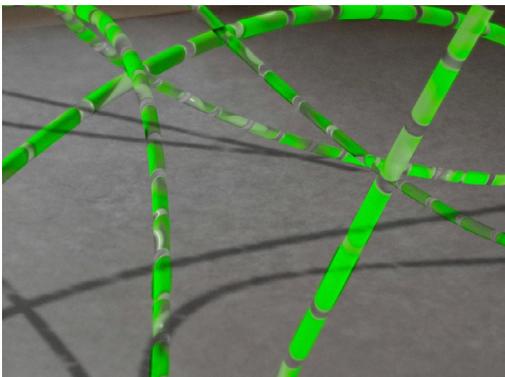
## 特集記事



### おいしいワカメを守るため。 味噌汁からはじまる藻類ストーリー

実はいま、ワカメに危機が迫っています。その背景には、地球環境の異変が...? ちょっと不思議な冒険ストーリーで、藻類についてお勉強。

**p.04**



### ワカメや昆布の仲間を活用した 「藻類バイオマスエネルギー」って なんだ?

石油の代替燃料としての活用が期待される藻類バイオマスエネルギー。50年にわたり取り組んできた研究が目指すのは、世界平和?

**p.14**



## おいしいワカメを守るため。 味噌汁からはじまる藻類ストーリー



日本人にとって日常の食卓に並ぶ最も身近な海藻といえば、ワカメ。そんなワカメに、実はいま、ひそかに危機が迫っています。その背景には、地球環境の異変が...? 一杯の味噌汁からはじまる、ちょっと不思議な冒険ストーリーを読みながら、藻類について学んでみましょう。

## 登場人物



### まよちゃん

小学校5年生の女の子。ちょっと食いしん坊で、お母さんが作るお味噌汁に入ったワカメが大好き。思い込んだら、のめりこんじゃうタイプ。



### そうるい博士

藻類を研究していて、海藻のことも時に詳しくすぎる解説を丁寧にしてくれる。



## ワカメン

ワカメの妖精？ 正体不明。感情の動きがどうも人間とは違う様子。

まよちゃんは、ちっちゃい頃から、ワカメが大好き。大好きなワカメのことを、もっとよく知りたい！ 選んだ夏休みの自由研究のテーマも、ワカメ。

**まよちゃん** ワカメの何を調べようかな？ だいたいワカメって、何なんだろう？ はっぱ？ くらげの仲間？ よく考えると、分からないことばかりだなあ

なかなか研究は進みません。夢にまでワカメが出てきて、まよちゃん、最近はやっと寝不足気味の様子。

**まよちゃん** とりあえず、お味噌汁のワカメを食べてから考えよっと

夏休みも半ばを過ぎた、ある日の晩ご飯どき。いつものようにお椀をすすっていると、どこからともなく、ちいさな声が聞こえてきました。

**謎の声** まよちゃん…… タス… ケテ…

**まよちゃん** え！ 何!?

じっと耳を澄ませてみると、その声はなんと、お味噌汁の中から聞こえてくるようです。

**まよちゃん** 誰なの？ 何が起きているの？

まよちゃんがのぞき込むと、あら不思議。どんどん体がちいさくなって、お椀の中に吸い込まれていくではありませんか。

**まよちゃん** ええー、どうなってるの～



味噌汁の中に吸い込まれていった、まよちゃん。気付くと、そこには人影らしきものが…。

**まよちゃん** ここはどこ？ そして、あなたたちは…!?

**そうるい  
博士** ここは海の中。わしはそうるい博士じゃ！

**ワカメン** ぼくの名前はワカメン。まよちゃん、来てくれてありがとう！ 実はぼくたち海藻がピンチなんだ！

**そうるい  
博士** まよちゃんには、ワカメンの声が聞こえるんだね。まよちゃんの力を貸してくれるかい？

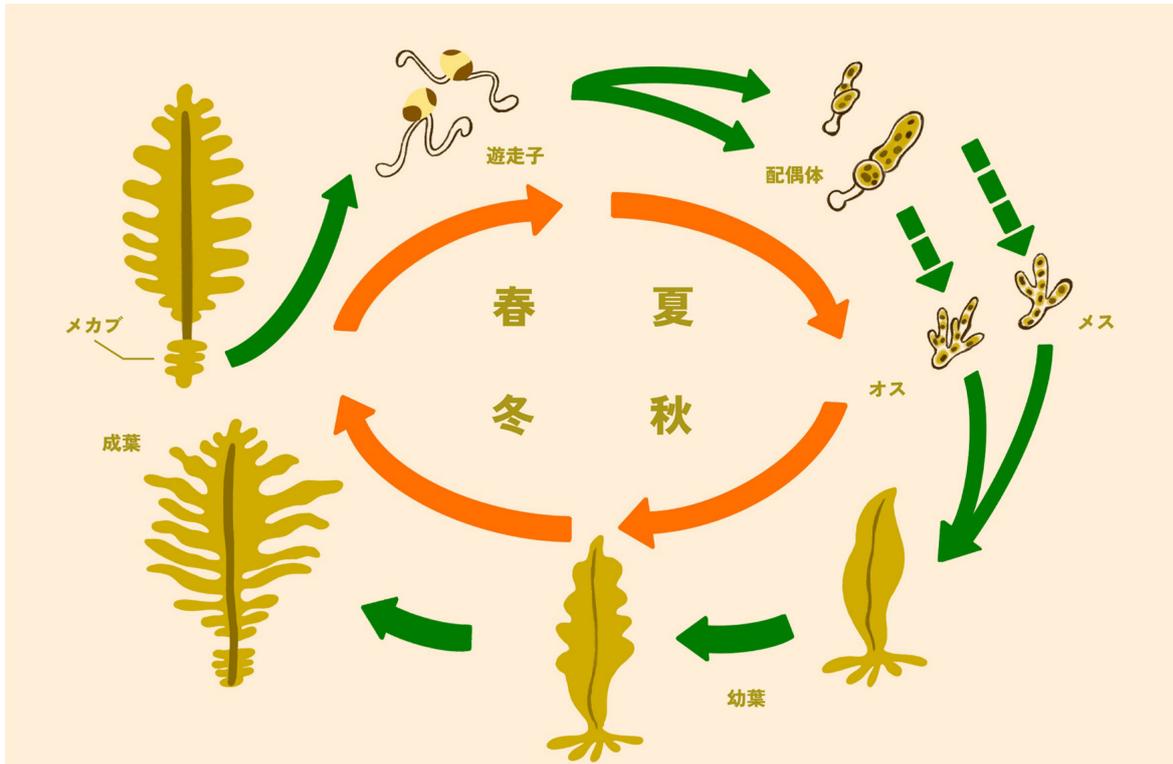
**まよちゃん** も、もちろん！

**そうるい  
博士** さて、まずは問題じゃ。まよちゃんはワカメとメカブの関係について知っているかな？

**まよちゃん** 親戚みたいなもの？

**そうるい  
博士** 惜しい！ 正解は、メカブはワカメの一部分。ワカメの根と葉の間にあるヒダを、メカブと呼ぶんじゃよ

**まよちゃん** そうだったんだ！

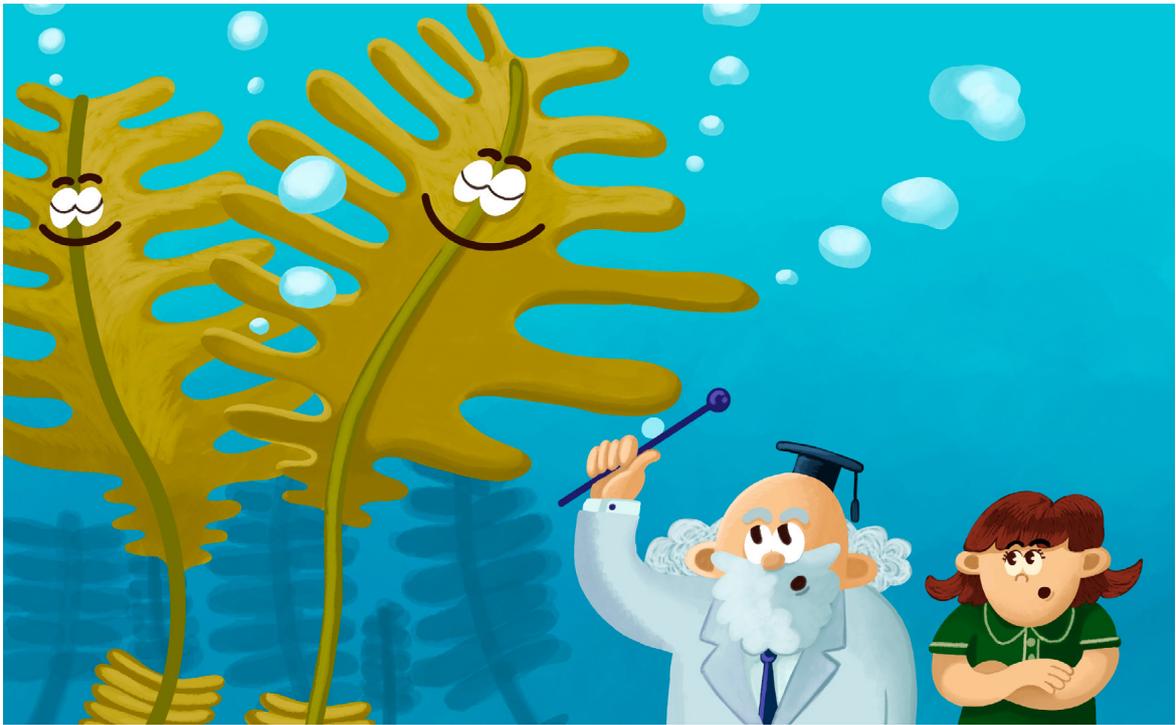


●博士のワンポイント藻類

ワカメの根と葉の間のヒダ、メカブには遊走子ゆうそうしと呼ばれる胞子の一種が1億個以上含まれています。遊走子はべん毛を持っていて、水中を自由に泳ぐことができます。遊んで走るこどものように、ワカメにも海中を泳ぐ時期があるのです。遊走子が泳いで岩に付着すると、微小な配偶体はいぐたいとなり、夏から秋の高い水温と、藻食動物そうじきの食害の影響をやり過ごします。水温が低下する冬に雌の配偶体に卵が、雄の配偶体には精子ができ、受精してワカメの赤ちゃんが誕生します。ワカメは春にかけて伸び、遊走子を放出して、初夏までにすべて枯れます。

**まよちゃん** ヘー、ワカメの一生って、こんななんだね。一人っ子を大切に育てればいいのに、なんでワカメはひとりで1億個も種たねを産むの？

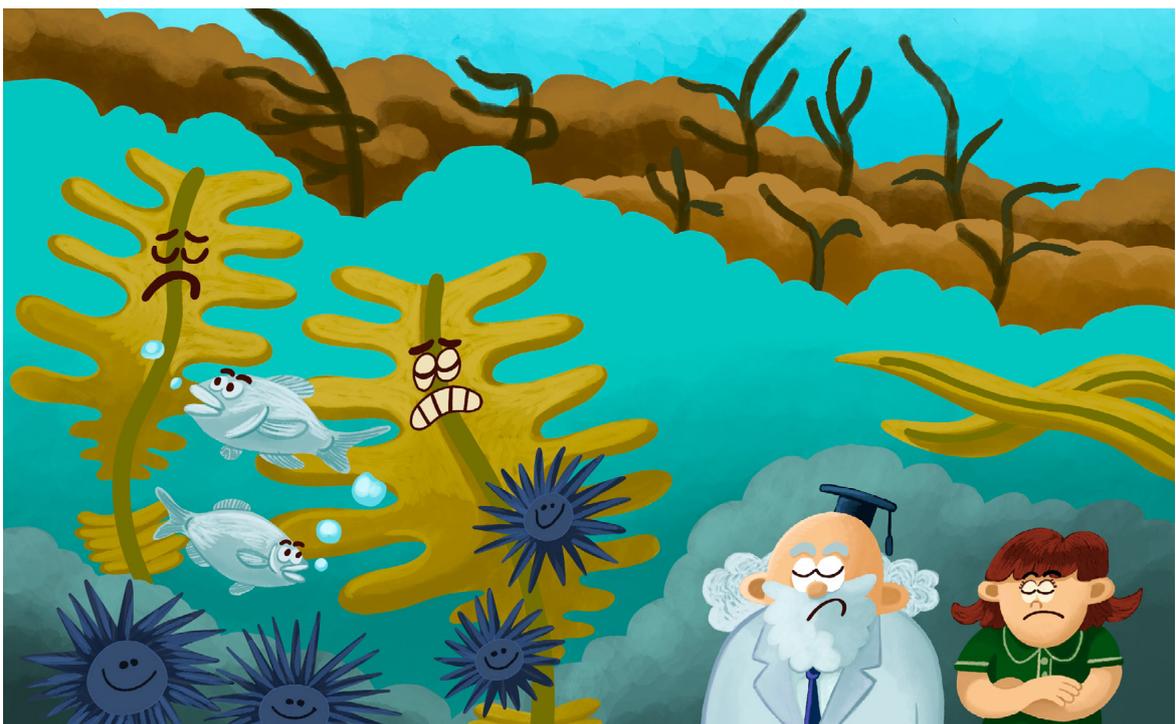
**ワカメ** ぼくたちは高い水温に弱いし、おいしいのでウニや魚に食べられてしまうから、最終的にはふたりくらいのこどもしか生き残れないんだ。だからたくさん産んでおくんだよ



**まよちゃん** そうなんだね…。ところでワカメン。「タスケテー」って声が聞こえたけど、あれはどういうこと？

**ワカメン** このままだと、ぼくたちは、海にいられなくなってしまうかもしれないんだ…

**そうい博士** いま、海の温暖化によって、水温が低くなるはずの冬から春でもウニや魚が活発に海藻を食べるようになってきているんじゃ。藻場と呼ばれるワカメンたちのすみかは、どんどん失われつつあってな。すでに海藻が一本も生えていない、砂漠のような景色が広がっている海もあるんじゃよ



---

### ●博士のワンポイント藻類

藻食動物の食害による藻場の衰退を「磯焼け」といいます。「磯焼け」が進む過程でも、10～15年の間はワカメが増えることがあり、藻場が戻ってきたように錯覚することがありますが、それはあくまでも一時的なもの。藻場がなくなる前兆現象で、その後、結果的には海藻が生えない海になってしまいます。ワカメをはじめとする海藻は、多くの二酸化炭素を吸収し、酸素を作り出すことで海藻の水質浄化に大きな役割を果たしています。また、魚の産卵場や隠れ蓑となったり、魚の食料として食物連鎖の土台となるなど、水生生物の生活を支えています。磯焼けによって海藻が減少すると、地球のあらゆる生物にとって危機的な状況になりかねないのです。

---

**まよちゃん** もしかして、もうワカメを食べられないってこと？ そんなのイヤだよ...

**そうい博士** そういうことではないじゃよ。まずはワカメたち海藻のことを、もっともっと深く知ってほしいのじゃ。藻場のある環境を守ることは、地球環境全体を守ることにもつながる。ひとつの種だけを守るのではなく、生物全体にとってよりよい行動を取ることが大事じゃと思うぞ

**ワカメン** どんどんゆでて、どんどん食べて、どんどん養殖して、そしてもっと食べてね!

**まよちゃん** (どういう感情なんだろう...)



---

### ●博士のワンポイント藻類

スジアオノリのピザやアイス、トサカノリを使ったチョコレート、海藻の醤油とワイン。これらは、「シーベジタブル」の石坂秀威シェフが考案したレシピ。「シーベジタブル」は、海藻を研究し、海藻食文化の発展を目指している日本の企業です。カゴを使って外敵から海藻を守る海面養殖や、海藻の新しい食べ

方を提案して高級レストランなどにおろしてその価値を高める活動を展開し、環境的にも経済的にも継続性のある海藻保護の取り組みを行っています。

**まよちゃん** お味噌汁だけでなく、海藻は、おいしいピザにもなるんだね

**そうるい博士** もうちょっとだけ解説じゃ！ さて、最後は海じゃなくて、山の話じゃぞい

**まよちゃん** 山？ 海藻なのに、どうして？

**そうるい博士** 海も山も川も、自然は全部、つながっているんじゃよ



### ●博士のワンポイント藻類

藻食動物の食害のほか、藻場を減少させているもうひとつの原因は、山から流れてきた泥です。泥が海底に堆積すると、海藻の遊走子が岩に付着しなくなってしまうのです。一方、海底から湧き出す湧水ゆうすいの多い場所では、泥が積もらず海藻が生えています。さまざまな養分や酸素を取り込んだ湧水は、元をたどると山に降った雨水。木を間伐することで森の貯水量を増やすなど、適切に人の手を入れることが健全な森を守ること、そして豊かな海を育むことにつながるのです。

**ワカメン** ぼくたち海藻は、海だけじゃなくて、大地や森ともつながっているんだ！ それが循環という考え方なのさ

**まよちゃん** なんかすごく深いね...

**ワカメン** つながっているのは、ぼくたちと人間も同じさ。人と藻類が力を合わせて、ともに幸せになる道があるって信じているよ

**まよちゃん** 海も、山も、そこで生きる海藻もきのこも、たけのこも、全部つながっていて...そしておいしそうで.....あれ、なんだかいい匂いが...

「まよちゃん、まよちゃん。ご飯よ。ワカメのお味噌汁が冷めちゃうから起きなさ〜い!」  
キッチンからお母さんの声が聞こえます。

**まよちゃん** お味噌汁.....ワカメン...?

気付くとそこは、いつもの食卓。どうやらまよちゃんは、居眠りをしていたようです。



**まよちゃん** おいしいワカメを食べ続けるため。そして、地球の環境を守るため。みんなに藻類のお話を伝えなくっちゃ。でもその前に、まずはお味噌汁っと。いただきまーす!

「.....ケテ...タスケテ...」

**まよちゃん** え!? また?

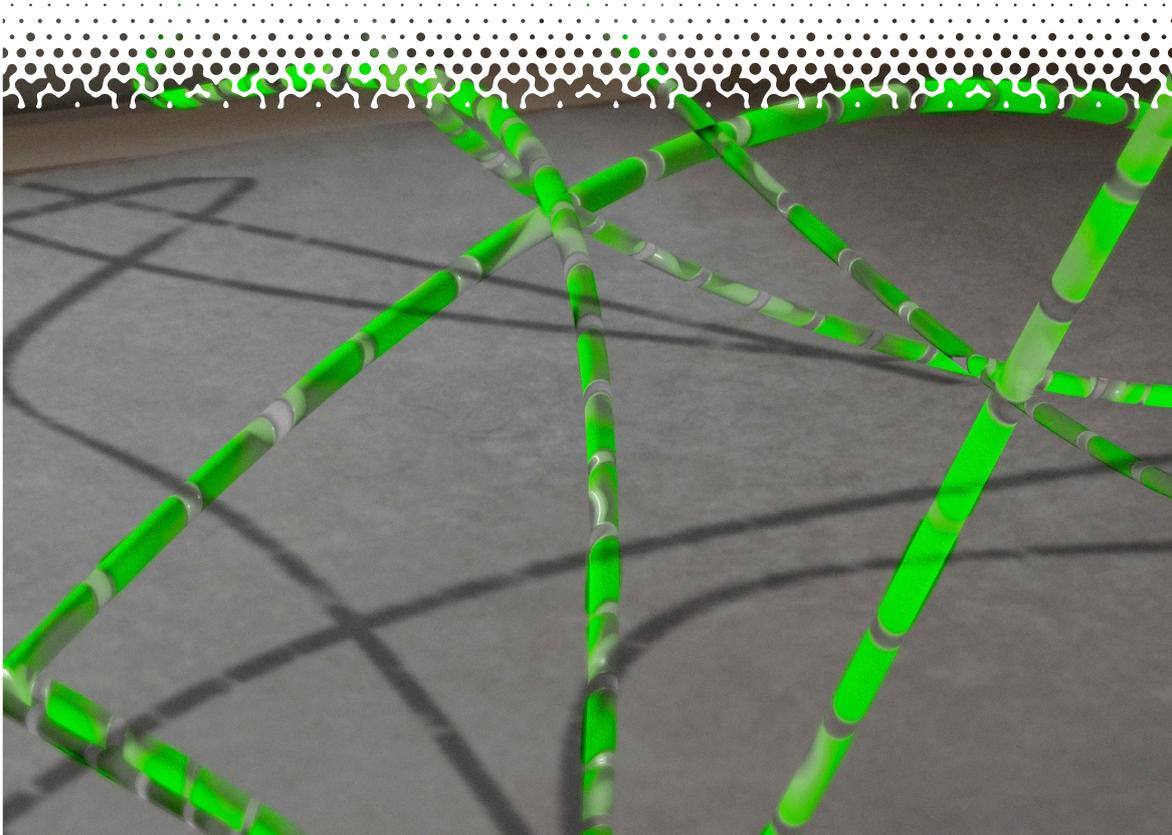
監修：新井章吾

株式会社海藻研究所所長、合同会社シーベジタブル海藻生態研究担当、一般社団法人グッドシー理事長などを兼任。藻食動物の食害による磯焼け、浮泥の堆積による磯荒れの研究に取り組んでいる。磯焼け対策として海面と海底養殖藻場の拡大、磯荒れ対策として海底湧水を増やすための森の間伐と自宅の庭でもできる雨庭づくりを提案している。

イラスト：KAORU SATO



# ワカメや昆布の仲間を活用した 「藻類バイオマスエネルギー」 ってなんだ？



## Index

- ・ バイオマスに利用される「藻類」ってなに？..... 15
- ・ 藻類から地球の成り立ちが見えてくる ..... 17
- ・ 藻類で日本の原油輸入量と等しいエネルギーが生まれる？..... 18
- ・ 藻類研究の行き着く先は世界平和？..... 20

水中に生息し、光合成を行う生物「藻類」。いかにも地味な存在ですが、長い時間をかけて地球の大气に酸素をもたらし、生命の発展を支えた立役者でもあるのです。近年は藻類が持つオイルを活かした、バイオマスエネルギーの開発も活発になっています。

藻類学者であり、藻類産業創成コンソーシアム理事長でもある渡邊信さんは約20年以上にわたり「藻類バイオマスエネルギー」の実用化に向けた研究をしてきました。乗り越えなければならない課題も多く、決して平坦な道のりではありませんが、藻類バイオマスエネルギーの可能性を信じ、研究を続けています。渡邊さんへのインタビューを通じて、藻類の持つ可能性に目を向けてみましょう。

本記事では、地球のいたるところに存在する藻類の3DCGアニメーションをビジュアルアーティストのTakuma Nakataさんに制作していただきました。あなたの身近なところに存在している藻類が、バイオマスエネルギー発展の立役者になるかもしれません。



## バイオマスに利用される「藻類」ってなに？

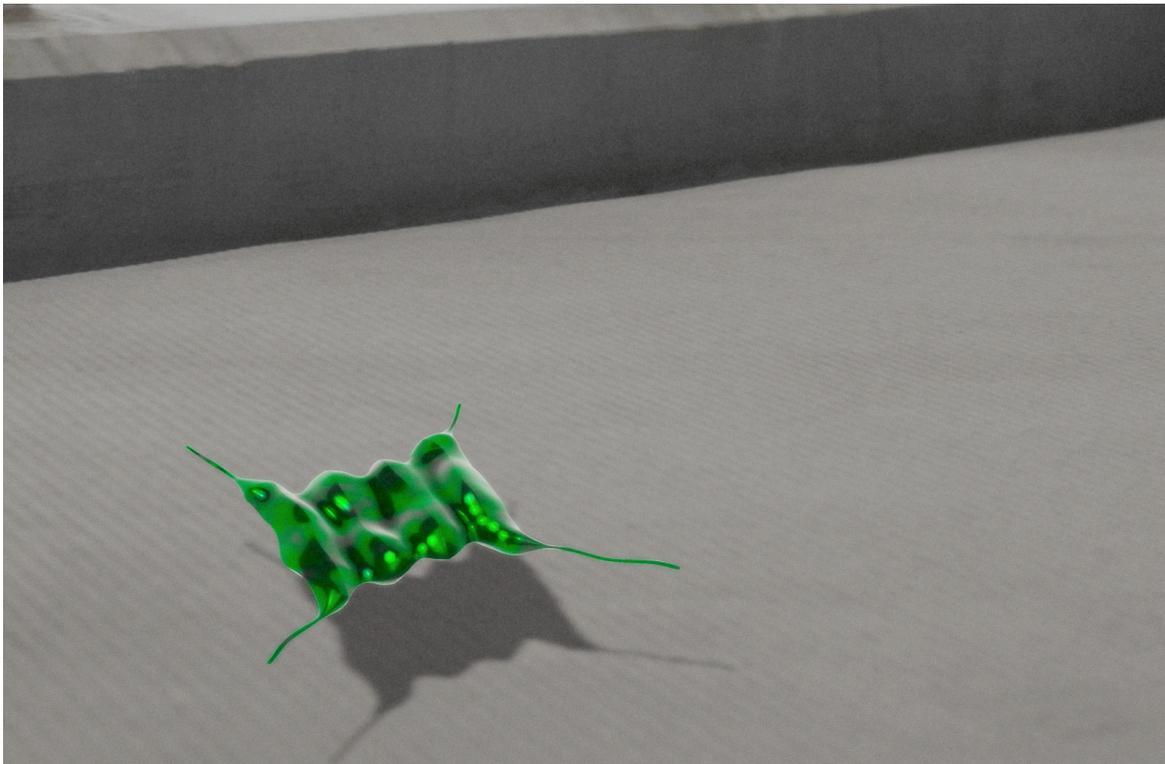
——はじめに「藻類」について教えてください。

**渡邊さん** ざっくり定義すると「主に水中に生息し、光合成を行う陸上植物以外の生物」の総称です。根・葉・茎の区別がない点も特徴といえます。

藻類はみなさんの生活のいたるところにあふれており、身近な例でいうとワカメや昆布などが挙げられます。これらは大型の部類ですが、中にはうんとちいさな「微細藻類」という種類も存在します。大きさをいうと数 $\mu\text{m}$ （マイクロメートル※）から数100 $\mu\text{m}$ ほどで、顕微鏡を使わないと観察できません。

こうした定義や特徴に必ずしも当てはまらない種類がいることも藻類の面白いところ。何しろ、自然界には30万から1000万種の藻類がいると考えられており、そのうちの4万種しか存在を把握できていないんです。

※) 1 $\mu\text{m}$ は、1000分の1mm



——では、これら藻類を利用した「藻類バイオマスエネルギー」について教えてください。

**渡邊さん** 「藻類バイオマスエネルギー」は、藻類の細胞内に含まれているオイル(バイオ原油)を活用した再生可能エネルギー。化石燃料の代替エネルギーとして世界中で注目を集めています。

藻類バイオマスはカーボンニュートラルの面でも有効です。というのも、藻類は光合成をする際に大気中の二酸化炭素を吸収し、酸素を放出するからです。このため、エネルギーとして燃焼させても、トータルで見ればもともと光合成で吸収したCO<sub>2</sub>が排出されるわけですので、カーボンニュートラルとなります。

「バイオマス」と聞いて、トウモロコシを使った「穀物バイオマス」を連想する人も多いでしょう。一時期話題になっていましたが、穀物バイオマスは食品利用と競合してしまい、穀物をエネルギーとして利用した分、食料としての穀物が供給できなくなってしまう。そうすると、価格高騰のリスクにつながります。ですが、藻類バイオマスはそのような問題は起こりません。

また、オイルの生産性においても、藻類バイオマスは穀物バイオマスよりも優れています。例えば、生産量で見るとトウモロコシの場合は、1ヘクタールで年間172Lのオイルが生産できます。これに対して、藻類は理論上年間136,900Lのオイルを生産できます。これらの数値はあくまでも一例ですが、藻類が桁違いにオイル生産効率が高いことは確かです。我々が進めているプロジェクトは下水処理場で藻類を培養する仕組みなので、新たに藻類培養廃水処理施設をつくる必要がありません。そのため、生産にかかるコストを低下させることができます。



## 藻類から地球の成り立ちが見えてくる

### ——なぜ、渡邊さんは藻類バイオマスを研究しようと思ったのですか？

**渡邊さん** 順を追って説明すると、最初の入り口は藻類全般の研究でした。かれこれ50年近く研究を続けていますが、藻類はみなさんが思っている以上に奥が深く、魅力あふれる生物です。世間から注目を集めることは滅多にありませんが、藻類が存在しなければ、いまの私たちの生活もなかったかもしれません。

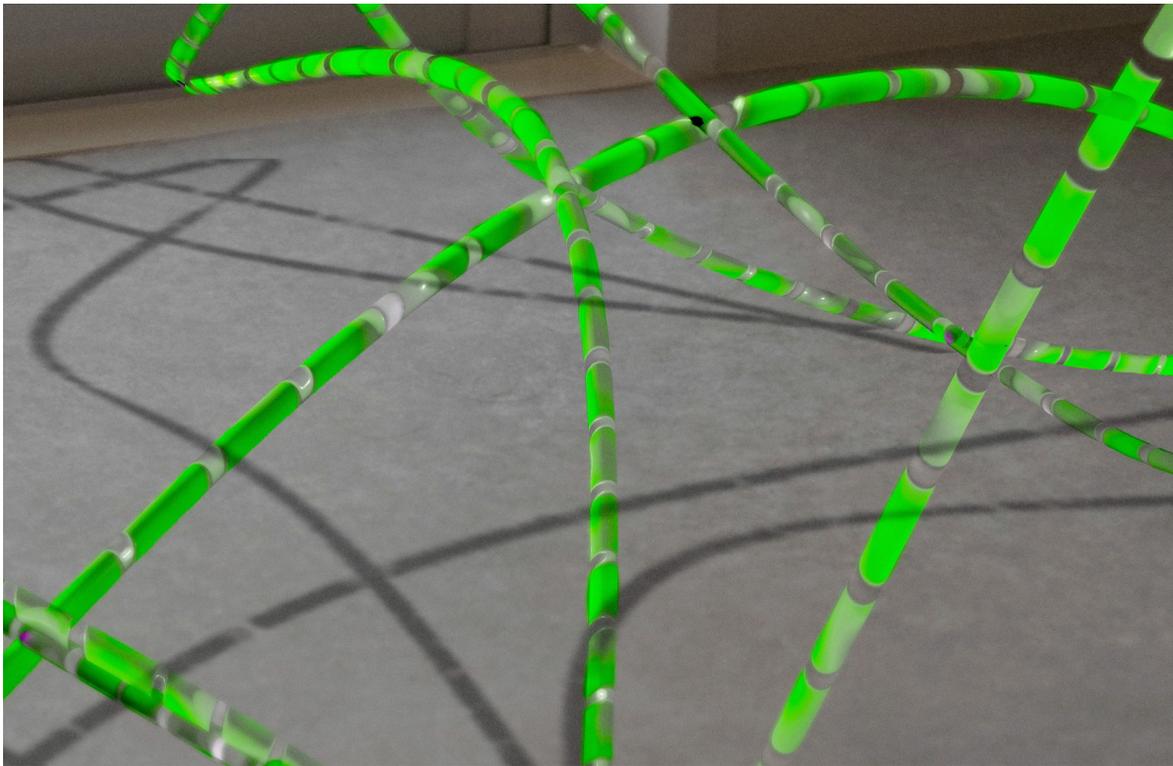
なぜなら、地球の大気は藻類によってつくられたものだからです。いまからおよそ45億年前、地球の大気は二酸化炭素が大部分を占めていました。しかし、約35億年前にはじめて光合成をする藻類「藍藻」が現れ、状況が変わります。藍藻が光合成を繰り返すことで、地球の大気に酸素が蓄積され、やがてオゾン層が形成されます。これにより有害な紫外線がカットされ、生物は陸上に進出できるようになったのです。

### ——藻類を研究すると地球の成り立ちが見えてくる……？

**渡邊さん** おっしゃるとおり、藻類の研究なくして、地球環境にまつわる諸問題は解決できないと考えています。つまり、藻類が地球の未来を握っている、と。これだけ研究しがいのあるテーマがほかにあるでしょうか。とても「ロマン」の一言では言い表せませんよ（笑）。

藻類バイオマスの研究に着手したのは、2005年頃からです。その前年あたりから石油の価格が高騰しており、「石油資源が枯渇するのでは」と声高に叫ばれていました。そこで代替資源を確保しようと、トウモロコシやサトウキビ由来のバイオマスが取り沙汰されるようになりました。しかしながら、穀物バイオマスは食品利用との競合がネックになる。あれでもない、これでもないと世界各地でさまざまな原料が検討されるなかで、最終的に残ったのが藻類バイオマスだったのです。

とはいえ、日本国内ではほとんど開拓されていない分野でした。それならば、私たちがその先駆けになろうじゃないかと本格的に動き出したのです。



——海外でも藻類バイオマスの研究が進んでいるそうですね。

**渡邊さん** 藻類バイオマスの研究に最初に取り組んだのはアメリカです。1970年代の第一次オイルショックをきっかけとし、アメリカのエネルギー省が「藻類からバイオ燃料を」というプロジェクトを立ち上げたのです。

それから18年間ほどプロジェクトが進められましたが、結局、原油価格が安値で安定し、研究は一時失速してしまいました。大手の石油会社エクソンモービル社は、巨額の予算を投じて藻類バイオマスの研究を進めていましたが、2013年の時点で「実用化にはあと25年かかる」と公言しています。

近年は、中国で藻類バイオマスの研究が進んでおり、存在感を高めている印象です。しかし、実用化はたやすいことではありません。我々のプロジェクトにも当てはまりますが、生産コストの高さをどうクリアするかが大きな課題となっています。現在の原油価格が1L約80円なので、少なくとも同程度の価格まで抑えなくてはなりません。たとえ実用化にこぎつけても、1Lあたり500円になってしまうのであれば高すぎて誰も利用してくれませんしね。



## 藻類で日本の原油輸入量と等しいエネルギーが生み出せる？

——渡邊さんが進めているプロジェクトはどういったものなのでしょうか？

**渡邊さん** 下水処理場を利用して、藻類のオイルを生産するプロジェクトを進めています。下水には、有機物や窒素、リンが大量に含まれています。これが藻類にとって格好の“エサ”になります。藻類は光合成を繰り返しながら、“エサ”を食べて増えていきます。この過程によって下

水が浄化されるので、有機物や窒素などを取り除くコストが大幅に削減できます。

つまり、藻類の大量培養と下水処理を一体化させる一石二鳥の仕組みというわけです。このプロジェクトはカリフォルニア大学バークレー校の研究がベースにあり、計算上では原油と比べて低コストでオイルが生産できることが示されています。

説明するまでもなく、下水処理場は私たちが生活する上で欠かせない施設です。日本には2,000か所以上の下水処理場が点在しており、これらの3分の1の処理場で藻類を培養すれば、日本の年間原油輸入量に相当する1億3,600万トンのオイルが生産できることがわかっています。こうして大量培養した藻類をペレット状に濃縮し、高温・高圧処理を施してオイルに変換する流れです。

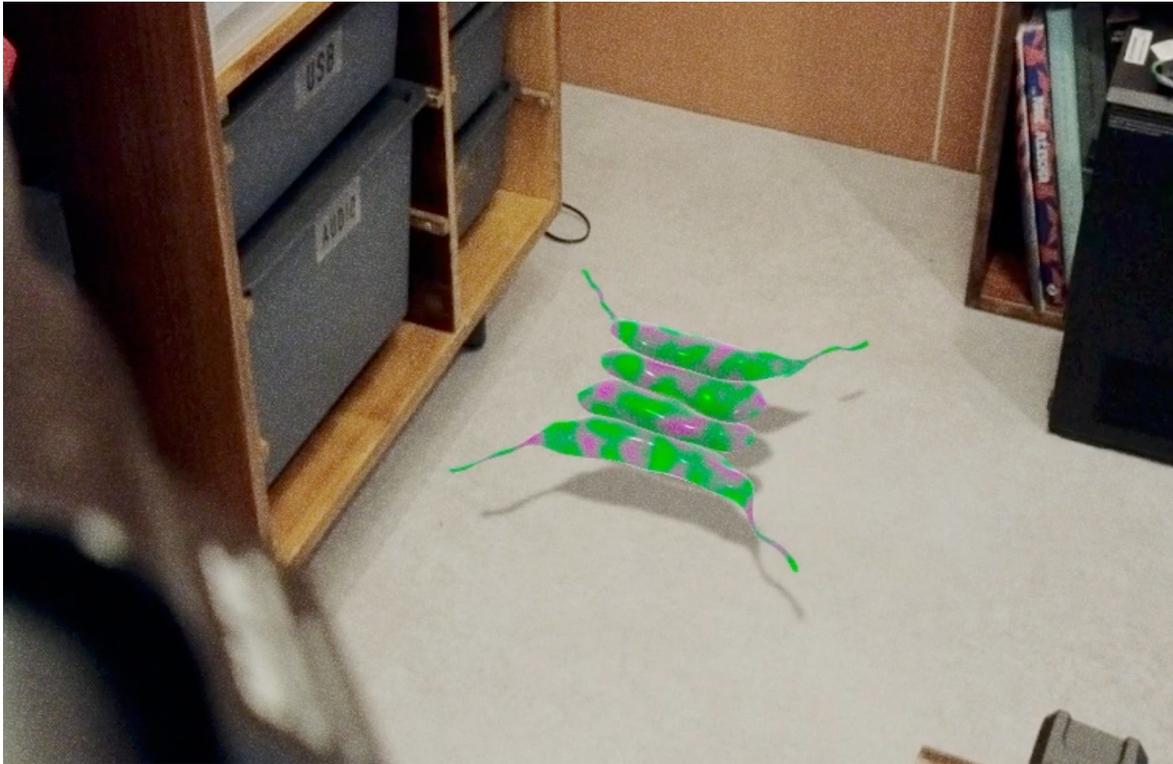
**——先ほど、藻類は4万種の存在が確認されているとおっしゃっていました。渡邊さんのプロジェクトにはどのような藻類が利用されているのでしょうか。**

**渡邊さん** プロジェクトがスタートした当初は「ボツリオコッカス」と「オーランチオキトリウム」で進めていました。藻類のオイルは一般的に食物油に近い成分なのですが、これら二種が多くつくりだすのは石油の主成分にあたる「炭化水素」のオイルになります。抽出したオイルは、ほぼそのままの状態ですぐに燃料に使えるすぐれもの。おまけに培養しやすく、オイルの生産性も高い。いわば、ボツリオコッカスとオーランチオキトリウムは“エリート藻類”というわけです。

しかし、プロジェクトを進めていくなかで、弱点も見えてきました。二種の“エリート藻類”は環境の変化を受けやすく、とくに気温が低く寒い地域では増殖のスピードがガクッと落ちます。好ましい環境を維持しようと思ったら、ランニングコストが余計にかかってしまいます。ラボ内で管理する分には問題ありませんが、プラントをつくってオイルを安定供給するとなると現実的とはいえません。

そこで、我々は下水処理場の周辺に生息するさまざまな藻類で構成される“土着藻類”に着目しました。“土着藻類”は土地ごとの気候や環境に適応しています。それならば、季節を問わず培養できるのではないかと考えたのです。

そして、実証実験を行ったところ予想が的中。一年を通して、安定して増殖したのです。それ以降、“土着藻類”を使ったポリカルチャー（多種混合培養）でプロジェクトを進めています。



## 藻類研究の行き着く先は世界平和？

——2022年に、渡邊さんのプロジェクトが国土交通省の「下水道応用研究」(下水道革新的技術実証事業)にも採択されたようですね。

**渡邊さん** 決まったときは「やっと下水道行政を行う国に認めてもらえたか」と、胸を撫でおろしましたよ。国交省から出た予算は、茨城県にある小貝川東部浄化センターでの実証実験にあてました。これは下水中の汚濁物を取りのぞいた一次処理水を使って、藻類を培養する試みです。100Lの容器を用意して、自然に近い状態でどこまで増えるのかを検証しました。この実験により、光が水中に届きにくい容器でも藻類が増殖することがわかりました。増殖した藻類を、水熱液化装置で高温高圧下で10～30分程度処理すると、藻類有機物の50%程度がバイオ原油に変換されます。この原油が原油精製会社の技術により燃料として生産されることとなります。このプロジェクトは我々だけの力ではなく、石油精製企業や下水処理場の協力があってこそ成り立つものです。今後はさらに規模を拡大して実験を行っていく予定です。それにともなって、高温・高圧処理するための水熱液化装置を大量に調達する必要があるでしょう。

——これだけ藻類のことを考えていると、愛着が芽生えてきそうですね。

**渡邊さん** 藻類とは半世紀近い付き合いですからね。もはや、人生のパートナーのようなものです(笑)。研究は苦勞が絶えませんが、好きだからここここまでやってこれました。

藻類は世界中のいたるところに生息しています。また、下水処理場は生活に欠かせないインフラとして世界各地に存在します。これらをふまえると、我々のプロジェクトは日本のみならず

らず、海外でも再現が可能だといえます。依然として生産コストの課題は残りますが、もし実用化できれば、エネルギー資源の供給に大きなインパクトをもたらすことができるのではないのでしょうか。そうすれば、エネルギー資源をめぐる紛争も回避されることでしょう。

つまり、藻類が世界平和に役立つかもしれないんです。壮大なスケールですが、藻類が持つ可能性を考えたら、あながち夢物語ではありません。

### 3DCGアニメーション：Takuma Nakata



藻類学者／藻類産業創成コンソーシアム 理事長

わた なべまこと

**渡邊信**

1948年宮城県生まれ。71年東北大学理学部生物学科卒業。北海道大学大学院理学研究科博士課程修了。国立環境研究所生物圏環境部長、筑波大学生命環境科学研究科教授などを経て、現在、藻類を利用したバイオマスエネルギーの研究に従事。2010年に有志とともに藻類産業創成コンソーシアムを立ち上げ、理事長を務める。現在、新たに立ち上げたベンチャー企業であるフィコケミー株式会社にてCEOを務める。