

イシクラゲ—藻類の多様性と可能性—

尾張 智美

はじめに

「イシクラゲ」と聞いて、皆様は何を想像するだろうか？クラゲの仲間と思われる方、キクラゲの仲間と思われる方が多いだろう。なかには、ご存じの方もいるかもしれない。道端や駐車場などに生えている黒いぶよぶよの塊である。

その正体は微細藻類の一種である。しかし、“微細”藻類にもかかわらず手でつかめるほど成長する。光合成を行うにもかかわらず緑色ではない。乾燥すると生きていない海苔状態になってしまうにもかかわらず雨が降ると再びぶよぶよになり成長し始める。このように他に類を見ないフォルムと生態をしているため、だれが見てもイシクラゲとわかる。雑草のように生えているこれが食べられるのだから、実に興味深い藻類である。

筆者は学生の頃より藻類の多様性に魅惑され、現在はさまざまな藻類事業を手掛ける（株）ちとせ研究所（ちとせグループ）で働いている。会社としてイシクラゲを専門に研究しているわけでも、イシクラゲを売り出すつもりも現時点ではないが、皆様に藻類の魅力を感じても

らおうと、個人的にイシクラゲを通して筆者の藻類への愛を語ろうと思う。

イシクラゲとは

学名 *Nostoc commune*、和名イシクラゲは、ネンジュモ目・ネンジュモ科・ネンジュモ属の原核生物・真正細菌・藍藻の一種である。藍藻はシアノバクテリアとも言われる酸素発生型光合成細菌である。緑色の光合成色素クロロフィルaと青色の光合成色素フィコシアニンが埋め込まれているチラコイド膜が存在しているため、青緑色の細胞をしている。顕微鏡で観察すると、直径約5 μmの球状の細胞が長さ500 μm以上に直鎖状に数珠状に連なっている細胞群で構成されていることがわかる（図1a）。この一本一本の細胞群をトリコームという。トリコームは緩くらせんを描く形態をしていて、教科書に載っているネンジュモの形態そのものである。イシクラゲの特徴は、細くて長いトリコームが積み重なってバイオマット状になっていることにある。細胞外多糖を大量に分泌していて、それが糊の役目となりトリコーム同士が接着している。このため微細藻類にもかかわらず手でつかめるほどの大きな塊になっているのだ（図1b）。

分布域は日本国内にとどまらず、暑いところは亜熱帯から、寒いところは南極まで世界中である。生息域は水中ではなく陸地であり、「陸棲藻」や「土壌藻」の分類に入る。土や砂利、コンクリートと一見植物も生えないような環境に生息することができる。この理由の一つは、イシクラゲは異質細胞（heterocyst）とよばれる窒素固定に特化した細胞を分化させて、空気中から窒素を取り込むことができるからである。窒素固定による窒素の確保と光合成によるエネルギーの確保により、さまざまな環境で成長することができる。

イシクラゲの乾燥・強光への耐性

イシクラゲの乾燥耐性は大変優れている。図2はイシクラゲの雨上がり後の膨潤状態と、3日間日照り後の乾燥状態の比較写真を示す。膨潤状態は深い鶯色で弾力のある不定形の盛り上がった塊である（図2a）。乾燥状態

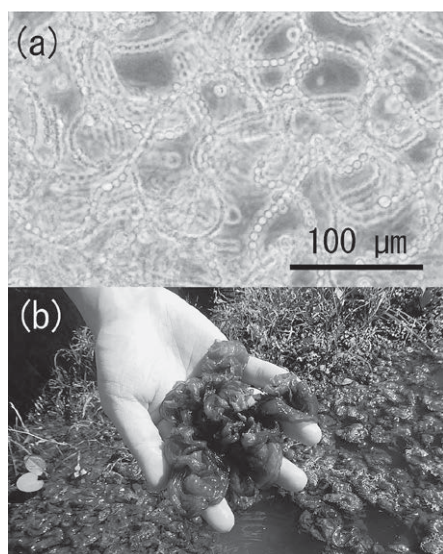


図1. イシクラゲの写真。(a) 細胞の様子、(b) 塊の様子。

著者紹介 株式会社ちとせ研究所 E-mail: satomi.owari@chitose-bio.com

(a) 膨潤したイシクラゲ（雨が降った後の様子）



(b) 乾燥したイシクラゲ（3日間の日照り後の様子）



図2. 野外のイシクラゲの様子。(a) 膨潤状態, (b) 乾燥状態.

は、黒色の平らな海苔のような様相である(図2b)。乾燥状態では生命活動が停止して休眠状態(クリプトビオシス)になっている¹⁾。ここから水を約30倍吸収して膨潤状態に戻り細胞増殖を復活することができる。乾燥状態のイシクラゲは非常に耐久性が良く、博物館に所蔵されていた乾燥標本を87年後に再度膨潤させたところ、再び増殖を始めたという報告がある²⁾。

このイシクラゲの乾燥耐性の理由は、イシクラゲが分泌する細胞外多糖にある。この細胞外多糖は、保水能力はもちろん、強光阻害から細胞を守る日焼け止め機能³⁾や抗酸化機能⁴⁾があることが明らかにされている。紫外線吸収物質として、イシクラゲ特有のマイコスポリン様アミノ酸(Mycosporine-like amino acids: MAAs)と、サイトネミン(Scytonemin)が同定されている^{3,5-7)}。サイトネミンは黄土色であるため、イシクラゲの塊は鶯色になると考えられる。

イシクラゲの食用利用

イシクラゲは、日本や中国、台湾などでは亜種も含めて長い食経験がある。形態が異なる亜種には、中国で縁起の良い食材として珍重される毛髪状の「髪菜」(*Nostoc commune* var. *flagelliforme*)と、生薬として知られる球状の「葛仙米」(*Nostoc commune* var. *sphaeroids*)がある⁸⁾。乾燥時の栄養組成は、粗タンパク質30%、脂質0.5%、炭水化物60%、無機質10%で、炭水化物を占め

る細胞外多糖は新しい食物繊維になりうるといわれている⁹⁾。

ちなみに、筆者は道端から採取し、湯通ししたイシクラゲを食べたことがある。味はまったくなく、臭いもなかった。食感は見ただけの弾力性はなく、やわらかい膜を食べている感じである。何か異様なものを食べているような印象はなく、日常的に取り入れられるものであった。

イシクラゲの極限環境への耐性性質からの展開

乾燥などの極限環境で生育できるイシクラゲは、その特徴を生かした展開がされている。

並外れた乾燥や強光への耐性があり、食経験からの安全性の確保がされているため、保湿剤やサンスクリーン剤としての可能性を秘めている。現にイシクラゲを材料に用いた化粧品が海外で販売されている。

さらにイシクラゲは、高真空(10^{-5} Pa)、ガンマ線、重粒子線、高温(100°C)という宇宙を見据えた過酷な極限環境に耐性が高いことが示されている¹⁰⁾。現在、NASAやJAXAなどの世界14機関で構成される国際宇宙探査共同グループが作成する国際宇宙探索ロードマップでは、火星の宇宙農業構想が提唱されている。そのなかで、火星の栄養のない無機物土・レゴリスを野菜が育てられる有機土壌にするために、保水力が強く、強光に強く、窒素固定能力があり、光合成により酸素を生成で

き、食糧にできるイシクラゲは、宇宙農業の立役者となりうる生物として研究されている。実際に、2006年にイシクラゲは国際宇宙ステーションに持ち込まれている。

イシクラゲを通してみる藻類の世界

図3は近年の生物全体の系統樹の一つである。分子系統学の発展により、読者の多くが教科書で習った生物の分類体系であるホイットカーの五界説（モネラ界，原生生物界，植物界，菌界，動物界）とは生物のとらえ方がまったく変わっている。現在も分類体系について活発に議論がされている。

イシクラゲと名前が似ている、キクラゲは菌類・担子菌類である。クラゲは動物・刺胞動物門である。いずれもオピストコンタ界の生物である。我々が普段目にする生物はオピストコンタ界と、陸上植物の所属するアーケプラスチダ界だけである。稀に大型藻類の昆布、わかめの所属するSAR界・ストラメノパイルの褐藻に出くわすだろうが、我々が認識できる世界に住む生物は、全生物の中の本当にわずかであることがお分かりいただけるだろう。

イシクラゲの所属する藍藻は藻類の一群であるが、真核生物の藻類の起源となるという点で一線を画している。藍藻を真核生物が取り込み葉緑体化して生まれたのが、アーケプラスチダ界に含まれる灰色藻・紅藻・緑藻である。陸上植物は緑藻から進化している。また、アーケプラスチダ界の藻類を真核生物がさらに取り込み葉緑体化して生まれたのが、珪藻・ユーグレナ藻・渦鞭毛藻などさまざまな界に点在する藻類である。藻類の元を辿

ると、すべて藍藻に行き着くのである。

イシクラゲが含まれる藍藻は、30億年前に過酷な環境の中、酸素を作り出した地球の開拓生物として重要な役割を果たした。藻類は多様な進化を経て陸上植物となり、また水中では動物を支える生産者となり、今も生命活動の基盤を作っている。

そして生物が地球を飛び出すときも、最初に登場する生物が藍藻のイシクラゲを研究しているというのは、地球史から考えると当然かもしれない。

おわりに

2004年ごろに世界的な原油高騰から始まった藻類ブームは、現在は各国が本腰を入れて研究を粛々と続けている。ちとセグループでも、たとえば、緑藻ボツリオコッカスを用いたジェット燃料開発事業、藍藻スピルリナを用いたタンパク質源大量生産開発事業、同じくスピルリナを用いた月面での食糧生産システム開発事業を手掛けている。系統樹に示す通り広範囲の生物を含む藻類は、まだまだ未知の領域であり、藻類ビジネスの可能性も無限に広がっているだろう。この寄稿を読んでくださった皆様がイシクラゲを見かけて、藻類があった！と認識し、一人でも手に採り藻類は面白い！と思っていただけなら幸いである。

ちとセグループでは藻類ビジネス情報サイト「Modia (藻ディア)」を運営し、藻類の基礎知識からビジネストレンド、コラムなど幅広いカテゴリで藻類情報を発信している。一度ウェブサイトを覗いていただきたい (Modia URL ; <https://modia.chitose-bio.com/>)。皆様一人ひとりにとって、興味がある藻類の記事を見つけられるのではないだろうか。もし見当たらなければ、ぜひ筆者までご連絡いただきたい。

—おまけ—イシクラゲの食べ方

イシクラゲを試食してみたいという方に、実際に筆者がイシクラゲを採取して食べた経験から、お勧めの食べ方を紹介する。まず雨上がりの膨潤状態のイシクラゲを採取し、よく水洗いをする。次に沸騰したお湯に30秒ほどくぐらせる。すると深い青緑色からくすんだ緑色になる。お湯に細胞外多糖が溶出するためとろみがつくので、沸騰中は吹きこぼれに注意する。味がないので、お刺身のツマなどにして食べることをお勧めする(図4)。晴天続きで乾燥状態のイシクラゲしか手に入らないときは、採取後30分浸水して膨潤状態に戻してから丹念に水洗いをする。砂や枯れ枝などを取り除ききれないため、湯通しすると土臭く砂利を噛んだような食感になる。香

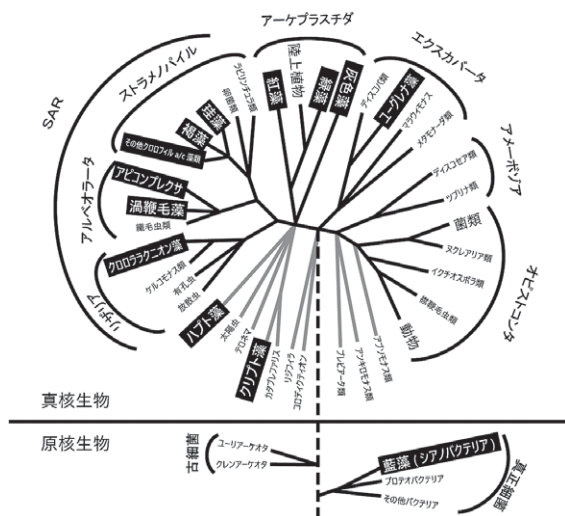


図3. 全生物の系統樹. 白字が藻類を示す(文献11より作図. わかりやすくするため, 一部の生物群を省略している.).



図4. イシクラゲの調理例. イシクラゲを刺身のつまに用いた.

りと舌触りを他の食材と調和させるため、荒めに破碎した魚粉だしのお味噌汁などにイシクラゲを入れて食べる

のがお勧めである. なお, 自己責任で召し上がってください.

文 献

- 1) Potts, M.: *Trends Microbiol.*, **9**, 553 (2001).
- 2) Lipman, C. B.: *Bull. Torrey Bot. Club*, **68**, 664 (1941)
- 3) Böhm, G. A. *et al.*: *J. Biol. Chem.*, **270**, 8536 (1995).
- 4) Li, H. *et al.*: *Carbohydr. Polym.*, **83**, 1821 (2011).
- 5) Ferroni, L. *et al.*: *Mar. Drugs*, **8**, 106 (2010).
- 6) Wright, D. *et al.*: *J. Biol. Chem.*, **280**, 40271 (2005).
- 7) Siezen, R. J.: *Microb. Biotechnol.*, **4**, 1 (2011).
- 8) 竹中裕行, 山口裕司: 藻類ハンドブック, p. 651, NTS (2012).
- 9) Hori, K. *et al.*: *Plant Foods Hum. Nutr.*, **40**, 223 (1990).
- 10) Arai, M.: *Int. J. Microgravity Sci. Appl.*, **30**, 105 (2013).
- 11) Adl, S. M. *et al.*: *J. Eukaryot. Microbiol.*, **59**, 429 (2012).