

# 原核生物ネンジュモの一種「イシクラゲ」の教材化

2005.12 島根大学教育学部自然環境教育講座 大谷修司(生物学担当)

## 1. イシクラゲの野外での生育状況

藍藻(blue-green algae)のネンジュモ属(*Nostoc* 属)の一種であるイシクラゲ(*Nostoc commune*)は校庭の土壤などの表面に肉眼的な大きさのコロニーを作る藻類である。藍藻は原核生物であり、細胞の構造が細菌と類似しているため、最近では、藍色細菌(シアノバクテリア, cyanobacteria)と呼ばれることが多い。



図1. 芝生や土壤表面に生育する藍藻類イシクラゲ。島根県松江市産。道路脇の土壤やコケの表面に生育(2005年11月27日)。



図2. 室内で図1と同じ場所のイシクラゲを撮影。湿っており、触ると寒天状の感触がある。(2005年11月27日)。

イシクラゲは、土壤、芝生の表面やコンクリート上などに生育し、雨の後など藻体が湿っているときは寒天のような感触があり、色は黒味がかかった緑色から褐色である(図1, 2, 4)。乾燥した時は黒色の乾燥ワカメのような薄い皮膜のような形状を示す(図5)。世界中に広く分布し、南極の湿土上やコケ群落上に生育している(図3)

著者のこれまでの大学生に聞いてみた経験では、本種は身近に生育しており、多くの学生が見た経験はあるのだけれど、正体については知らないようである。大学生の多くは、校庭で見たことがある、踏んで滑ったことがある、ワカメのようなものであるなどという、理解にとどまっている。



図3. 南極の土壤やコケの表面に生育するイシクラゲ。昭和基地近くのラングホブデ雪鳥沢産(1988年2月17日)。



図4 降雪後の湿ったイシクラゲのコロニー。島根大学産(2004年3月4日)。



図5 乾燥したイシクラゲのコロニー。島根大学産(2004年3月3日)。図3と同一コロニー。

## 2. 原核生物・光合成生物・窒素固定生物であるイシクラゲ

本種を顕微鏡で観察すると、寒天質の基質のなかに多数の球形から樽型の細胞が数珠のようにならんでいる(図6)。この形質から *Nostoc* 属の種類はネンジュモ(念珠藻)と称されている。本種は原核生物であるため、細胞小器官はなく、顕微鏡で観察しても細胞内には核、ミトコンドリア、葉緑体などは確認することができない。1000倍程度での顕微鏡観察で、藍藻の細胞内は貯蔵物質である顆粒が認められることがあるが、細胞小器官ではないので注意したい。細胞自体が葉緑体の機能をもっており、細胞内に光合成色素(クロロフィル a、フィコシアニン、フィコエリトリン)や炭酸同化を行う酵素が存在している。光合成の結果、藍藻デンプンを生成すると同時に、緑色植物などと同様に酸素を発生させる。

糸状体の中に透明感があり、一回り他の細胞より大きく細胞壁の厚い細胞がある。これを異質細胞(ヘテロシスト、heterocyst)という(図7, 中央矢印)。この異質細胞で空気中の窒素をアンモニアに換える窒素固定が行われている。この細胞の中では酸素発生を伴う反応系が



図6 数珠のように細胞が連なる。各糸状体は寒天質の粘液に覆われている。島根大学校内産(2004年3月5日)。

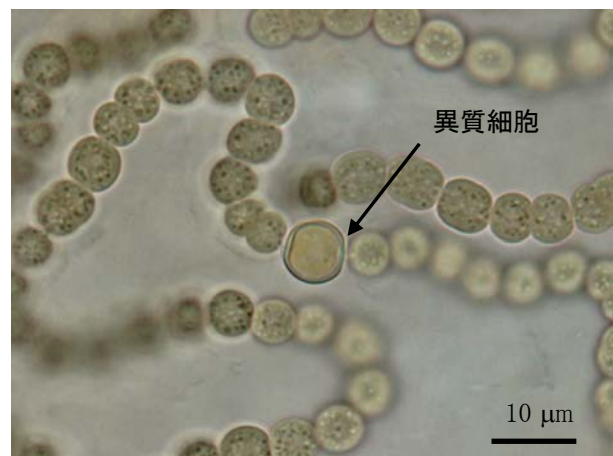


図7 他の細胞より大きく、細胞壁が厚い異質細胞。窒素固定が行われる。島根大学校内産(2004年3月5日)。

ないことが知られている(藤田・大城, 1989)。窒素固定酵素, ニトロゲナーゼは酸素によって不可逆的に活性を失うことが知られており(ダーリー, 1987), 窒素固定を行う細胞が, 酸素から保護されるよう特殊化しているのは興味深い。空中窒素を固定できるのは原核生物に限られており, 藍藻の他, マメ科植物に共生する根粒菌やアゾトバクターなどの細菌類が知られている。

### 3. イシクラゲから生物の進化と地球環境の変化を眺めてみよう

イシクラゲが属している藍藻は地球上に30億年前に出現したと考えられており, 地球上で最初に酸素発生型の光合成を行った生物である。出現時期は約35億年前という説(Shopf, 1993; ショップ 1998)と27億年前という説(丸山・磯崎, 1998)がある。イシクラゲの属すネンジュモ科の種類は異質細胞を有しているが, 異質細胞と考えられる細胞を有す藍藻の化石が19億年前の北アメリカのガンフリント層より見つかっている(Licari and Cloud, 1968)。イシクラゲのご先祖もかなり古い時代から存在していたようである。

藍藻が出現する以前の, 光合成細菌は二酸化炭素と硫化水素( $H_2S$ )などを用いて炭水化物を同化し, その副産物として硫黄などを沈積していた。藍藻は光合成の原料として硫化水素にかわって水( $H_2O$ )を利用するようになった。その結果, 光合成の副産物として酸素を発生した。

バークナー・マーシャル(1976)は「地球大気中の酸素の起源と濃度の上昇について」という論文を発表した。原著が1965年に発表されてからすでに40年が経過しているが, この中では酸素の発生をともなう光合成生物の出現が地球上の大気中酸素濃度の上昇と生物の進化に与えた影響が明快に論じられているので簡単に紹介する。彼らによると, 酸素発生型の光合成生物が現れるまでは地球上には酸素分子はほとんど存在しなかったが, 27億年前に酸素発生型の光合成生物が出現すると, その光合成によって酸素は大気中に蓄積しだいに酸素濃度が高くなっていった。

現在の酸素濃度の100分の1(0.2%)になったとき, 生物が発酵から酸素呼吸に切り替えた時期にあたり, 生物は効率よくエネルギーを利用できるようになった。また, 紫外線は水面から数センチのところに制限され, 生物が海全体や他の水域まで自由に広がることができた。時代としては生物の爆発的な進化がおきたカンブリア紀の始め(6億年前)としている。

さらに大気中の酸素濃度が増し, 現在の酸素濃度の10分の1(2%)になったとき, 紫外線をカットするオゾン層が成層圏に形成され, 生物は陸上に進出することができるようになった。この時期は初めて陸上生物の化石が産出する4.2億年前のシルル紀後期としている。以上がバークナー・マーシャル(1976)による説の概略である。

バークナー・マーシャル(1976)は27億年前の最初の酸素を発生させる光合成生物を緑藻またはその祖先と述べるに止まっているが, この生物こそ化石の証拠などから藍藻と考えられている(丸山・磯崎, 1998)。秋山(1984)によると, 藍藻などの光合成生物が産出した分子状の酸素は, 大気中に蓄積される前に, まず海洋を酸化させ, 大量の鉄を沈殿させたという。それが今の縞状鉄鉱石であると述べられている。藍藻は真核生物が現れる以前は, 唯一の酸素発生型光合成生物であり, 地球環境や生物の進化に重要な役割を果たした生きものである。秋山(1984)では, 真核生物の出現は化石の記録から約14億年前という説が紹介されている。

#### 4. 藍藻が葉緑体の起源(共生説)

イシクラゲの属する藍藻は、真核生物の葉緑体の元となった生物であると考えられている。その根拠であるが、まず、単細胞性の藍藻には、葉緑体の大きさとほぼ同じ大きさの種類が存在していることがあげられる(佐藤, 1988)。大きさだけでは根拠が薄いですが、葉緑体にはそれが独立した原核生物であったことを推察させる次のような特徴が知られている。その特徴として、1) 真核生物の細胞内にある葉緑体は細胞分裂に同調して自ら分裂して娘細胞に伝えられること、2) 細菌の抗生物質は葉緑体にも有効であること、3) 葉緑体には核とは異なる独自の葉緑体DNAが含まれていること、4) さらに原核生物の細菌と同様のリボゾームが含まれていることなどをあげることができる(佐藤, 1988, 井上, 2000, 千原 1999)。真核生物の祖先が単細胞性の藍藻を取り込み、消化せずに共生させた結果が現在の葉緑体と考えるのが共生説である。現在は共生説が生物学者に強く指示されている。

#### 5. イシクラゲを食べる

本種を文献で調べてみるとネンジュモ属のアシツキ(*Nostoc verrucosum*)とともに昔から食用とされている(広瀬, 1972; 広瀬・山岸編, 1977; 竹中, 2004)。著者は、イシクラゲのコロニー内部には土壌や微小な生物がいるので良く洗った後、少量を湯通しして三杯酢で食べてみた(図7)。味はほとんどないが、コリコリとした食感がある。

本種の変種である髪菜(*Nostoc commune* var. *flagelliforme*)は中国で古くから不老長寿の食べものとして重用されており、髪菜には発ガン性や毒性がないことが明らかにされている(竹中, 2004)。



図7. 湯通したイシクラゲ。色が少し鮮やかになる。島根県八雲村産(2002年11月)。

#### 6. 教科書での取り扱いと教材化

本稿の中で述べてきたように、藍藻は、1) 原核生物、2) 光合成生物、3) 窒素固定生物、4) 地球の大気組成と生物の進化、5) 共生説というキーワードでまとめることができる。これらの内容はいずれも高校生物 I, II で扱われる内容である(文部科学省, 1999)。しかし、多くの生徒が学習する生物 I だけの場合、3), 4), と5) は学習指導要領の範囲からははずれてしまう。生徒が生物 I, II を学習する場合は、扱われる内容を断片的な理解に留めないためにも、藍藻イシクラゲを取り上げることによって、お互いに内容を関連させ、生物現象を総合的に理解する教材として利用してはどうであろうか。資料4に数時間を使ったイシクラゲを用いた授業について提案させて頂いた。今後、実践をして改良を加えていきたい。

## 引用文献

秋山雅彦(1984) 生命の誕生. —先カンブリア時代・カンブリア紀—. 共立出版, 東京, pp. 146.

バークナー, L. V., マーシャル, L. C. (1976) 地球大気中の酸素の起源と濃度の上昇について. ルーベイ, W., バークナー, L. V., マーシャル, L. C. 著, 竹内均訳, 海水と大気の起源, 講談社, 東京, pp. 85-165.

千原光雄編(1999) 藻類の多様性と系統. 裳華房, 東京, pp. 346.

ダーリー, W. M. (1987) 藻類の生理生態学. 手塚泰彦他訳, 基礎微生物学 9, 培風館, 東京 pp. 199.

広瀬弘幸(1972) 藻類学総説. 内田老鶴圃新社, 東京, pp. 506.

広瀬弘幸, 山岸高旺編(1977) 日本淡水藻図鑑. 内田老鶴圃新社, 東京, pp. 933.

井上勲(2000) 藻類の多様性. 新たな生物の世界が見えてきた. 国立科学博物館, 東京, pp. 56.

Licari G. R. and Cloud P. E. (1968) Reproductive structures and taxonomic affinities of some nannofossils from the Gunflint Iron Formation. Proc. Natl Acad. Sci. USA 59: 1053-1060.

丸山茂徳・磯崎行雄(1998) 生命と地球の歴史. 岩波新書, 岩波書店, 東京, pp. 275.

文部科学省(1999) 高等学校学習指導要領解説. 理科編, 理数編, 大日本図書, 東京, pp. 315.

佐藤七郎(1988) 細胞進化論. 東京大学出版会, 東京, pp. 493.

Shopf, J. W. (1993) Microfossils of the Early Archean Apex chert: new evidence of the antiquity of life. Science 260: 640-646.

シヨップ, W. J. (1998) 失われた化石記録. 阿部勝巳訳, 講談社, 東京, pp. 342.

竹中裕行(2004) 生命の源マイクロアルジェ. —健康・美容・食糧・環境問題の救世主—. 成山堂書店, 東京, pp. 171.

## Copyright

すべての写真は 大谷が撮影。

本稿は、平成 16 年度日産科学振興財団、理科・環境教育助成金報告書の一部抜粋である。

