

事例Ⅰ 生物の共通性と多様性

1. 授業展開例

時限	学習内容	活動とねらい	指導上の留意点
1	思考学習： 分類の考え方 【資料】 P. 15～18	歴史的な経緯をたどりながら、分類の考え方を理解させ、細胞の構造の比較が重要であることに気付かせる。	○生物学の学習への導入編として、既知の試料を取り上げ、思考過程を通じた関心喚起をねらいとしている。 ○マーギュリスらが提唱する五界説までを主に考えさせるが、現代の分類体系においては3ドメイン説が主体となってきたことも踏まえておく。 (→「生物」(標準4単位) (5)生物の進化と系統 イ生物の系統)
2	実験： 細胞の構造の比較 【資料】 P. 19～20	未知の試料(イシクラゲ・ワカメ・コカナダモ)を観察させ、細胞の構造の比較から、分類上の位置付けを考察させる。	○細胞の構造の共通性と多様性を実感させる。 ○観察結果(大きさの比較)とともに、独自のDNAをもつことを提示し、葉緑体の細胞内共生説に言及する。
	課題研究 【資料】 P. 20	イシクラゲに関連する学習項目を提示し、資料学習を通して発展的な内容へつなげさせる。	○「窒素固定」・「休眠」に着目し、生息環境との関係を考察させる。(→大単元 (3)イ(7)生態系と物質循環) ○「生物の進化と地球環境の変化」に着目し、光合成による酸素放出が大気の組成変化をもたらし、地質時代における地層形成への影響、紫外線照射量の変化による生物進化などに触れる。 (→「生物」(標準4単位) (5)生物の進化と系統 ア(7)生命の起源と生物の変遷) ○扱われる内容の断片的な理解に留めないためにも、教材試料を取り上げることによって内容を関連させ、生物現象を総合的に理解させる。

2. 教材試料について

(1) イシクラゲ (*Nostoc commune*) の分類上の位置付け

原核生物のラン藻(藍藻: blue-green algae) 類、ネンジュモ属 (*Nostoc* 属) の一種である。

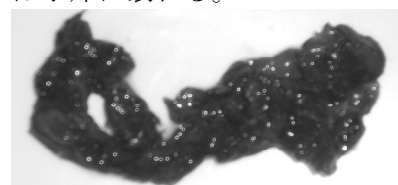
「blue-green algae」は、細胞の構造が細菌と類似しているため、生物学分野では国際的にほとんど「cyanobacteria」で置き換えられており、その訳としては「シアノバクテリア」が一般的である。学習指導要領の改訂にあたっては、国際標準・大学教育の基礎生物学に準じて内容・用語を見直していることから、本事例では「シアノバクテリア」を用いる。

(2) 野外での生育状況

イシクラゲは、日本全国の住宅街の空き地、田の畔や校庭の端の方の土壌、芝生の表面やコンクリート上などに、肉眼的な大きさのコロニーを作って生育している。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、色は黒味がかった緑色から褐色である。乾燥した時(休眠

状態)は黒色の乾燥ワカメのような薄い皮膜状を示し、手で揉めば小片に壊れる。

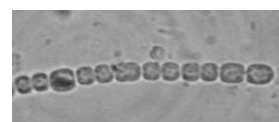
世界中に広く分布し、南極の湿土上やコケ群落上にも生育している。こうした他の植物が生育しにくい環境とイシクラゲの生理を関連させて考察させることも考えられる。



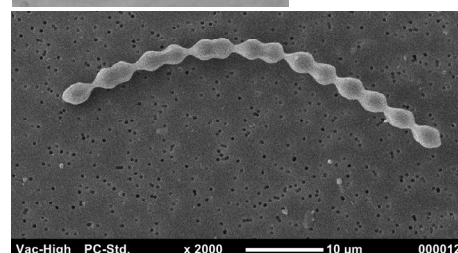
イシクラゲの群体

(3) イシクラゲの細胞の構造から考察できること

① イシクラゲをスライドガラス上で柄付き針などで細かくほぐし、顕微鏡で観察すると、寒天質の基質の中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。この形から *Nostoc* 属はネンジュモ(念珠藻)と称されている。細胞内には核の他、ミトコンドリア、葉緑体など細胞小器はなく、原核生物であることが分かる。1,000倍程度での顕微鏡観察で、細胞内は貯蔵物質の顆粒が認められることがあるが、細胞小器官ではない。



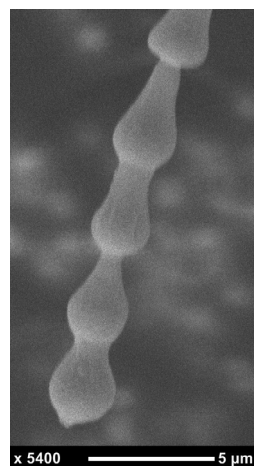
(×400)



球形細胞の糸状体 (×2000)

② 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おり、細胞自体が葉緑体の機能をもっている。光合成の結果、緑色植物などと同様に酸素を発生させる。

③ 数珠のように並んでいる糸状体の中に、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(heterocyst)といい、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ないことが知られている。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、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。空中窒素を固定できるのは原核生物に限られており、シアノバクテリアの他、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。



樽型細胞の糸状体

(4) イシクラゲの細胞と植物の細胞を比較して考察できること

イシクラゲの細胞の大きさ(3~6 μm)とカナダモの葉緑体の大きさ(長径3~10 μm)を測定すると、ほぼ等しいことが分かる。単細胞性のシアノバクテリアにも、陸上植物の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。このことから、シアノバクテリア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。その他の根拠として、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。

- 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。
- 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。
- 原核生物の細菌と同様のリボソームが含まれている。
- 細菌の抗生物質は、葉緑体にも同様の作用を示す。

真核生物の祖先が単細胞性のシアノバクテリアを取り込み、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細胞内共生説であり、現在は強く支持されている。

(5) イシクラゲを題材とした発展的学習 ～生物の進化と地球環境の変化～

イシクラゲが属しているシアノバクテリアは地球上で最初に酸素発生型の光合成を行った生物であり、地球上に約30億年前に出現したと考えられている。(イシクラゲの属するネンジュモ科の生物には窒素固定を行う異質細胞があるが、これと考えられる細胞をもつシアノバクテリアの化石が、約19億年前の北アメリカのガンフrint層より見つかった。)

シアノバクテリア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。シアノバクテリアは光合成の原料として硫化水素に代わって水 (H_2O) を利用するようになり、その結果、光合成の副産物として酸素を発生した。

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 (O_2) はほとんど存在しなかったが、約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され、次第に酸素濃度が高くなっていった。

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。それが層を成し、現在産出している縞状鉄鉱石になった。

現在の酸素濃度の 1/100 (0.2%) になったとき、発酵 (無気呼吸) を行っていた生物から酸素呼吸を行う生物が進化により生じて、効率良くエネルギーを利用できるようになった。また、大気中の酸素濃度の増加に伴って、太陽からの紫外線は水面下数cm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したカンブリア紀初期 (約5.7億年前) に当たる。

さらに大気中の酸素濃度が増し、現在の酸素濃度の 1/10 (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に当たる。

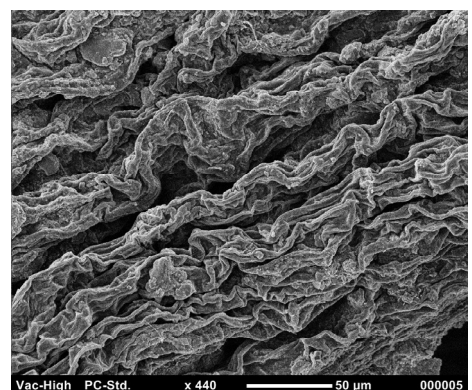
シアノバクテリアは、真核生物が現れる以前は、唯一の酸素発生型光合成生物であり、地球環境や生物の進化に重要な役割を果たした生物である。(真核生物の出現は化石の記録から約14億年前とされている。)

(6) イシクラゲを題材とした発展的学習 ～休眠と生息環境～

イシクラゲは休眠孢子 (アキネート *akinete*) を分化せず、乾燥状態で無代謝状態となって生命を維持する能力 (クリプトビオシス *cryptobiosis* : 「隠された生命活動」の意) を示すことが知られている。100年以上乾燥状態で保存されていた標本を培養液に浸すと増殖し始めたという報告がある。乾燥したイシクラゲのコロニーにはトレハロースという糖が蓄積しており、細胞外多糖とともに極限的な乾燥耐性に深く関わっていると考えられている。

クリプトビオシスを行なう生物として、クマムシ (緩歩動物門)、ワムシ (輪形動物門)、ネムリユスリカ (節足動物門) が挙げられる。いずれも乾燥状態になるにつれて、体内にトレハロースを蓄積している。その作用は、分子の運動を制限する状態を維持するためにガラス化して組織を保持するという説と、水の代わりに入り込む水置換説があるが、それらの作用が複合的に関与しているとも考えられている。

アルテミアやミジンコなどでは、耐久卵がクリプトビオシスに当たる。これらの動物では生息環境の水が無くなると親は死滅し、卵のみが乾燥に耐えて生存する。ミジンコでは、環境条件の



休眠状態のイシクラゲの表面

良い時期には単為発生によって繁殖し、条件が悪くなると雄が生じて交尾により卵を産むが、この卵のみが耐久卵になる。

3. 単元の学習評価例について

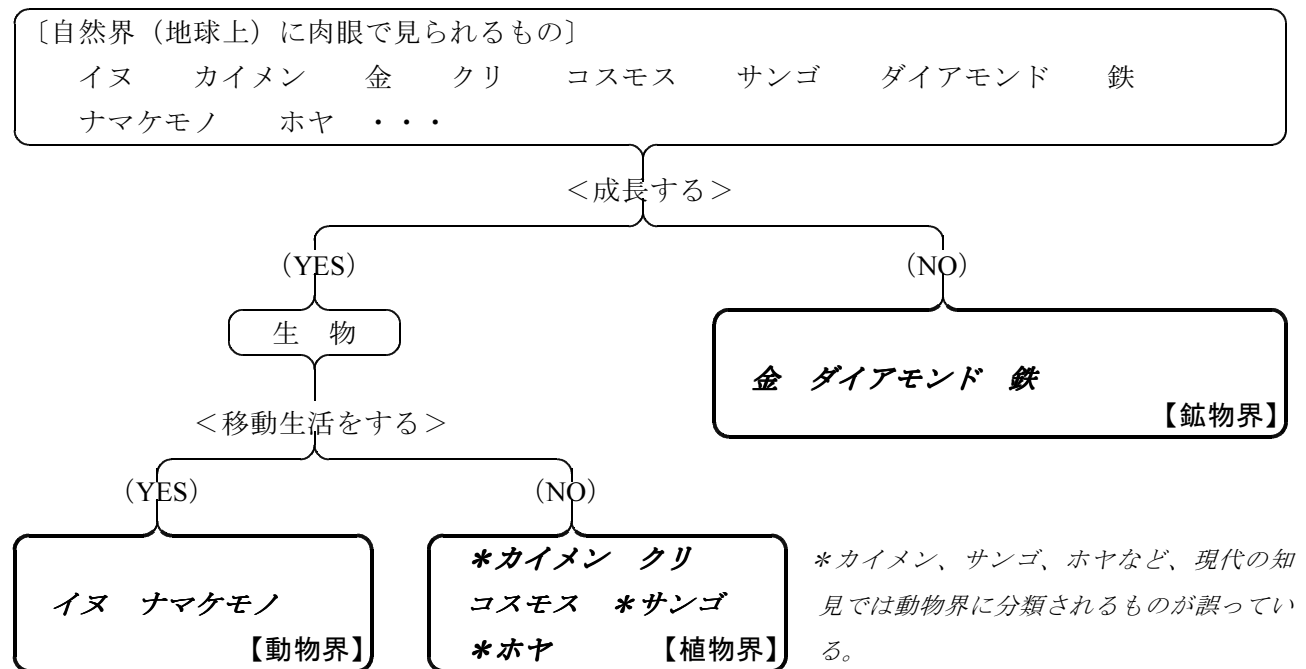
観点	関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
評価基準	○日常生活との関連を図りながら身近な生物やその生息環境に関心をもっている。 ○生物の共通性と多様性について関心を持ち、意欲的にそれらを探究しようとする。	○生物や生物現象の中に、多様であっても共通の性質や構造があることを見いだしている。 ○探究する過程を通して、事象を科学的に考察している。 ○予想や結果、導き出した考えを文章やスケッチで的確に表現している。	○顕微鏡での観察に適したプレパラートを作製している。 ○顕微鏡の基本操作を習得している。 ○作製したプレパラートを検鏡し、細胞や細胞小器官の大きさを測定している。 ○実験の過程や結果を的確に記録、整理し、自然の事物・現象を科学的に探究する技能を身に付けている。	○生物が、起源の共有に由来する共通性を保ちながら進化し多様化してきたことを理解し、その知識を身に付けている。
方法	・ワークシート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・ノート	・ワークシート ・ノート ・課題レポート ・テスト	・実験レポート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・テスト	・ワークシート ・テスト ・課題レポート ・学習振り返りシート

4. 参考資料

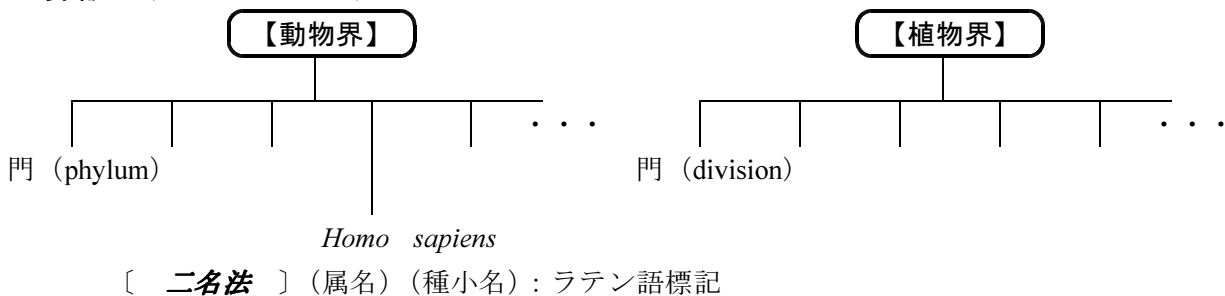
- ・原核生物ネンジュモの一種「イシクラゲ」の教材化 2005.12
平成16年度日産科学振興財団 理科・環境教育助成金報告書
島根大学教育学部自然環境教育講座（生物学担当） 大谷修司
<http://physics.edu.shimane-u.ac.jp/energy/picture/Nostoc.pdf>
- ・界（分類学）
[http://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%95%8C_\(%E5%88%86%E9%A1%9E%E5%AD%A6\)](http://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%95%8C_(%E5%88%86%E9%A1%9E%E5%AD%A6))

分類の考え方

博物学での三界（～18世紀）

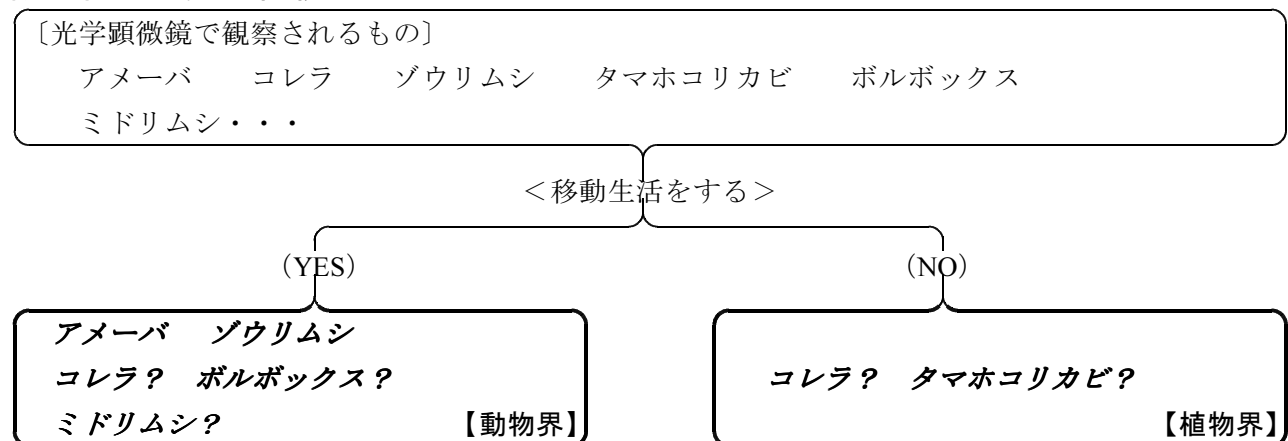


二界説（1735 C. v. Linné）



微生物の知見の蓄積（～19世紀）

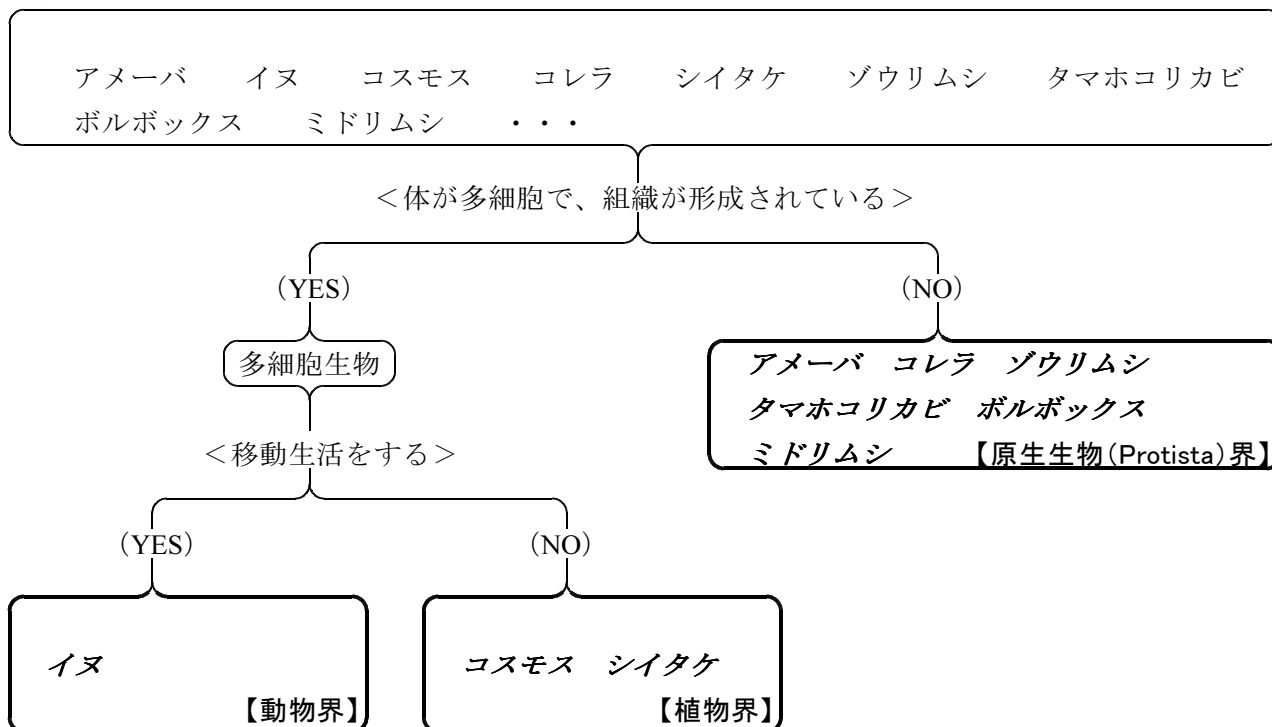
（※R. Hooke 「ミクログラフィア」(1665)～）



*着目する形質によって、多数の種が双方に属することになった。

顕微鏡が発明されたことなどにより、二界説では説明が不十分であることが分かった。

三界説 (1878年 E. H. P. A. Haeckel)

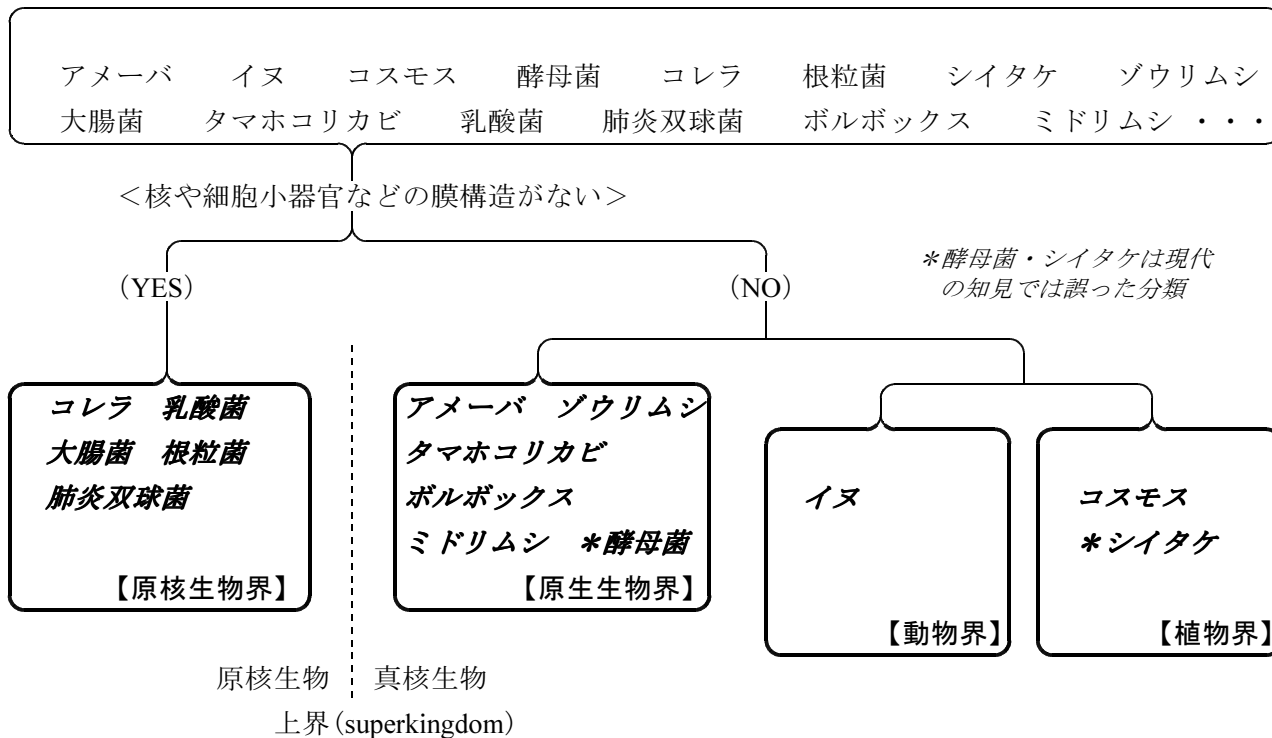


四界説 (1938年 H. Copeland)

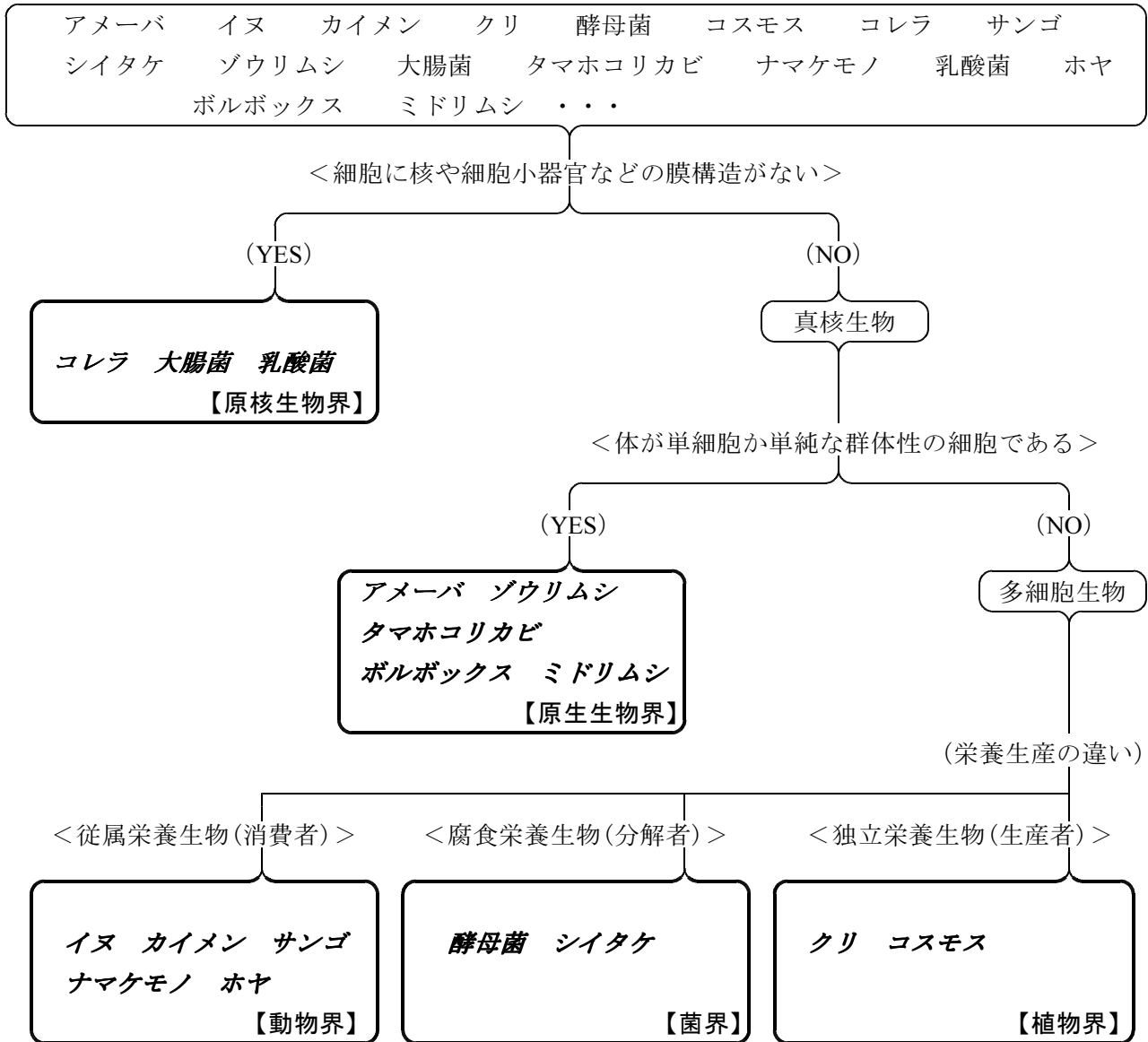
(※1932年 E. Ruska らが電子顕微鏡を発明)

細菌類の細胞構造が、他の生物と根本的に異なっていることが発見される（核や細胞小器官などの膜構造がない）。それらを真核生物と分け、モネラ（Monera）や細菌（Bacteria）と呼び、現在は原核生物界と呼ばれる。

なお、1937年、E. Chatton は、原核生物と真核生物の分類が根本的なものであるとして、生物を原核生物と真核生物の二つの上界(superkingdom) に分けた。この考えが、現在のドメインに発展することとなる。

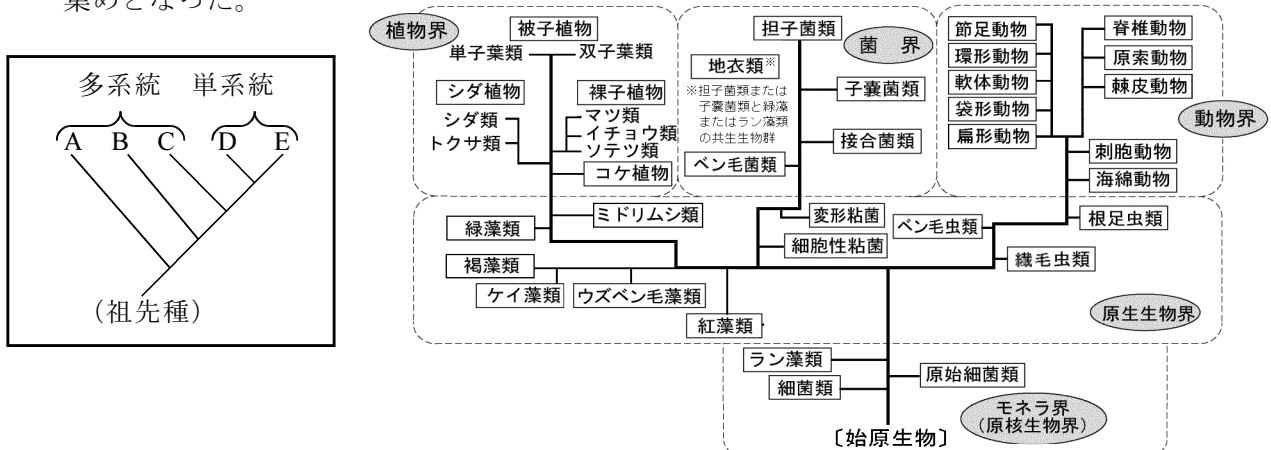


五界説 (1969年 R. H. Whittaker) 栄養生産の違いに基礎を置く一般的な標準分類体系



1980年代：分岐分類学の発展により、動物界・植物界・菌界の単系統性の再評価がなされた。

→それまでの植物からすべての高等藻類、菌類から粘菌類・卵菌類を原生生物界へと移す提案がなされた (1978年 L. Margulis)。ただし、この変更により、原生生物はますます雑多な生物の寄せ集めとなった。



六界説

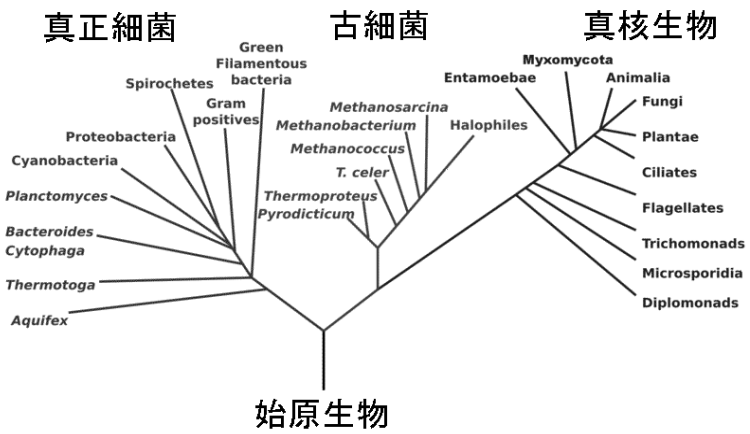
1977年 C. R. Woese は、rRNA の研究を基礎にして、原核生物を真正細菌界と古細菌界に分けた。
(→ 3 ドメイン説)

1984年には Lake らが、好熱古細菌と真核生物が互いに近縁であることを示した。

現在の界・界以上の分類

1990年、C. R. Woese は、真正細菌 (Bacteria) ・ 古細菌 (Archaea) ・ 真核生物 (Eucarya) を三つの基本的な系統とみなし、これらをドメイン (domain : 領域) に格上げした。(superkingdom : 原核生物と真核生物の差が、真核生物内部での植物と動物の差より大きいものと考えられるようになったこと、また古細菌の発見によって原核生物内の多

様性が想像以上に大きいことが分かってきたことによって、界より上のランクを設定した方がよい、との判断が生まれてきたことによる。基礎的なゲノムの進化の違いを反映して行われる。) この3ドメイン説は、従来の2上界説(原核生物界と真核生物界)にかわって、界以上の分類法の標準となっている。



<分類学の主な変遷>

提唱者	リンネ	ヘッケル	コーブランド	ホイタッカー	マーギュリス	ウーズ	ウーズ
年	1735	1878	1938	1969	1978	1977	1990
説	二界説	三界説	四界説	五界説	(分岐分類学)	六界説	3ドメイン説
分類群		原生生物界	モネラ界	モネラ界		真正細菌界	真正細菌
						古細菌界	古細菌
			原生生物界	原生生物界	(高等藻類、粘菌類・卵菌類)	原生生物界	真核生物
				菌界		菌界	
	植物界 動物界	植物界 動物界	植物界 動物界	植物界 動物界	(移行)	植物界 動物界	

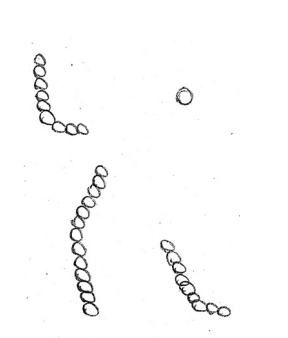
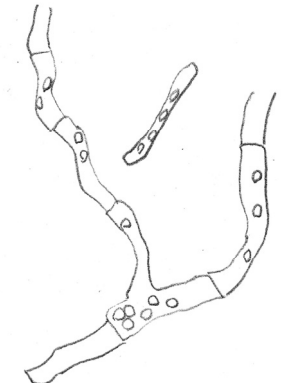
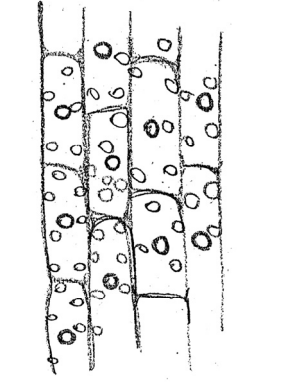
実験

どんな生物だろうか？

【目的】 未知の生物の細胞を比較し、生物の共通性と多様性を調べ、分類する。

【試料】 未知の生物3種類（A、B、C）の細胞（*今回はイシクラゲ・ワカメ・コカナダモを用いた。）

【準備】 光学顕微鏡、スライドガラス、カバーガラス、ピンセット、柄付き針、ろ紙、
マイクロメーター（15×40のとき、2.5μm/1目盛とする）、酢酸オルセイン溶液

予想	試料	A (イシクラゲ)	B (ワカメ)	C (コカナダモ)
1	生物名は何だろうか。	のり？ コケ？ 藻類 ワカメ？ イシクラゲ	ワカメ	水草？ オオカナダモ クロモ
2	どのような生物群に属しているだろうか。	植物 コケ 藻類	植物	植物
3	生息場所はどこだろうか。	港の堤防 海 岩場 水たまり 日陰 沼	岩場 海	川 水槽 沼 用水路
観察	これらの生物を知るために、細胞の様子を調べる。 (試料の小片をスライドガラスに置き、柄付き針とピンセットでよくほぐす。カバーガラスをかけ、その上から軽く押さえながら左右に動かして広げ、検鏡する。)			
1	細胞の配列の仕方	 青緑色で球形の細胞		
2	細胞の形			
3	細胞の色			
4	細胞の大きさ (マイクロメーター使用)	長径 3～6 μm	長辺 60～140 μm	長辺 82.5～125 μm
5	細胞小器官の様子・大きさ	葉緑体は見られない	葉緑体は長径が約 3～10 μm	葉緑体は長径が約 3～10 μm
6	酢酸オルセイン液に対する反応	核は見られない	核が見られる	核が見られる
考察	観察結果を基に、次の項目を考える。			
1	これらの生物の共通点は何か。	細胞膜で覆われている。 細胞が丸い。		
2	相違点から、どの生物群に属するか。	原核生物界 藍色植物門 (シアノバクテリア) 藍藻綱 ネンジュモ目 ネンジュモ科 イシクラゲ	原生生物界 不等毛植物門 褐藻綱 コンブ目 チガイソ科 ワカメ	植物界 被子植物門 単子葉植物綱 トチカガミ目 トチカガミ科 コカナダモ

【まとめ】() にあてはまる語句を記入せよ。

試料A (原核生物・イシクラゲ) の細胞は長径 (3~6) μm 、試料C (真核生物・コカナダモ) の葉緑体の大きさは長径 (3~10) μm なので、(ほぼ等しい) 大きさである。

また、

- ・植物の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。
- ・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。

これらから、真核生物の祖先が単細胞性のシアノバクテリアを取り込み、消化せずに共生させた結果が現在の葉緑体と考えられる。これを (細胞内共生説) という (1970年 L. Margulis)。

<葉緑体・ミトコンドリアの由来(細胞共生説)>

ミトコンドリアは、(好気性細菌) が、原始的な細胞の内部に入り込んで (共生) することで生じた。植物の葉緑体は、(シアノバクテリア) が、原始的な (真核生物) に (共生) することで生じたと考えられている。

【発展】課題研究

1. 次の事柄について調べ、それらからイシクラゲと生息環境との関係を考察する。

(1) 窒素固定

本種は窒素固定を行う異質細胞を有しており、空中窒素固定 ($\text{N}_2 \rightarrow \text{NH}_4^+$) を行っている。窒素固定に必要な酵素ニトロゲナーゼは、酸素があると失活する。異質細胞には酸素発生を伴う反応系が無いことが知られている。

窒素固定能は、原核生物の細菌類とシアノバクテリアに限られている。マメ科の植物は共生細菌の窒素固定による。これらは、窒素固定作用により獲得した NH_4^+ を材料として窒素同化できることから、窒素成分の乏しいやせた土壌などの環境下でも生育できる。

(2) 休眠

乾燥したイシクラゲのコロニーにはトレハロースという糖が蓄積しており、細胞外多糖とともに極限的な乾燥耐性に深く関わっていると考えられている。このはたらきにより、乾燥状態で無代謝状態となって生命を維持することで、降雨時と晴天時を繰り返す環境下でも生息できる。

2. 光合成細菌とシアノバクテリアの光合成を比較する。特に光合成の結果、グルコース(ブドウ糖)以外で生成されるものに注目する。

シアノバクテリアは緑色植物と同様に酸素発生をともなう光合成を行う。

シアノバクテリアより先に地球に現れた光合成細菌(紅色硫黄細菌など)は酸素を発生せず、硫黄等を蓄積する。

3. シアノバクテリアが地球に現われなかったら、どんな地球になったか考えてみる。

シアノバクテリア類は27億年程度前には地球上に出現した。これは酸素発生をする最初の光合成生物であり、その結果、地球大気中の酸素濃度が増加したこと、地層中に鉄鉱石の層が形成されたこと、生物の酸素呼吸が始まったこと、オゾン層が形成され陸上生物が進化したことなど、地球環境と生物の進化に大きな影響を与えた。

シアノバクテリアが地球に現われなかったら、現在の地球環境と生物は存在せず、嫌気的な生物のみが生息することが考えられる。