

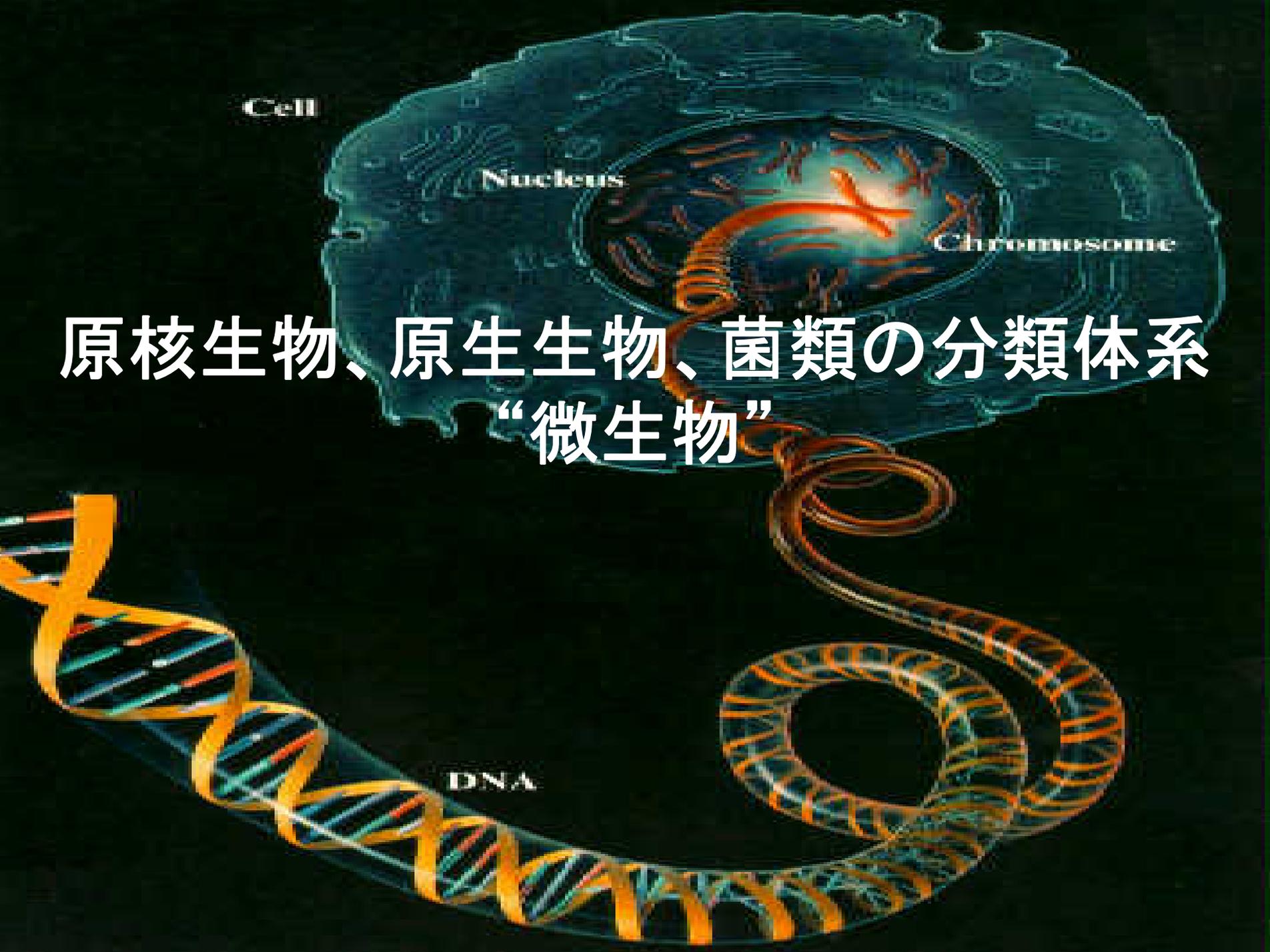
Cell

Nucleus

Chromosome

原核生物、原生生物、菌類の分類体系 “微生物”

DNA



生物の種の分類

現生生物の種は200万種にのぼる。

生物界の多様性は**進化**の結果、生まれた。

生物界の多様性を理解するために**生物の進化**に基づく分類体系として**系統分類**がある。

生物の分類

生物種における共通的特性(クライテリオン)
を基準とするヒエラルキー(階層)分類である。
分類単位をタクソンという。

界	kingdom
門	division
亜門	subdivision
綱	class
目	order
科	family
属	genus
種	species

例 アカパンカビ

菌界
真菌門
子囊菌亜門
核菌綱
タマカビ目
アカパンカビ科
<i>Neurospora</i> 属
<i>Neurospora crassa</i>

種の定義

生物の分類における最少単位。

「種」とは、実際に交配を行っているか、またはその可能性を有する自然集団で、他の群とは生殖的隔離機構によって交配が制限されており、特定の環境に適応して生活や、形態および生態が類似した個体の集まりとして認識できるもの。

生物界の分類は

類型分類 → 規格分類 → 系譜分類
へと発展してきた。

類型分類：事象の観念をイメージ的に捉え
クライテリオンを自由に設定

規格分類：数量的属性によって区別

系譜分類：時間軸による系譜、関係性に基づく分類

植物分類の系譜

人為分類

ギリシャ時代から18世紀まで

高木、低木、半低木、草・・・**類型分類**

18世紀 リンネ

おしべ、めしべの数・・・**規格分類**

自然分類

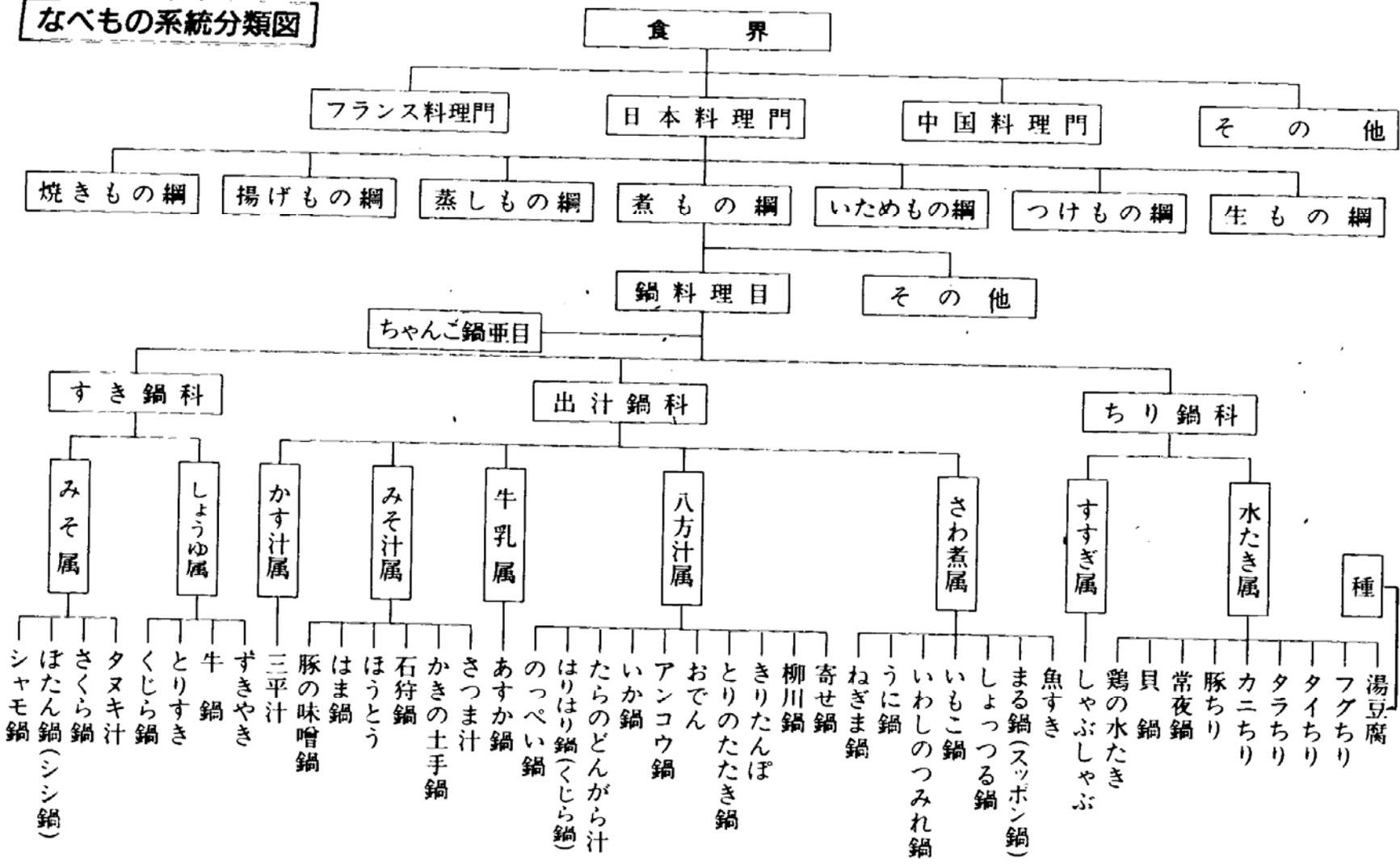
19世紀

化石植物学 生物進化と系統関係を考慮した分類・・・

系譜分類

鍋物分類学で類型分類をイメージすると。

なべもの系統分類図



第13図 なべもの系統分類図(NHK総合テレビ<ひるのプレゼント>1984)

生物界の理解の系譜

2界説→5界説

2界説



3界説



4界説



5界説





2界説

2界説 リンネ 生物を分類する最も大きな階級を動物界と植物界を設定した。

動物界 「動き、食べる」

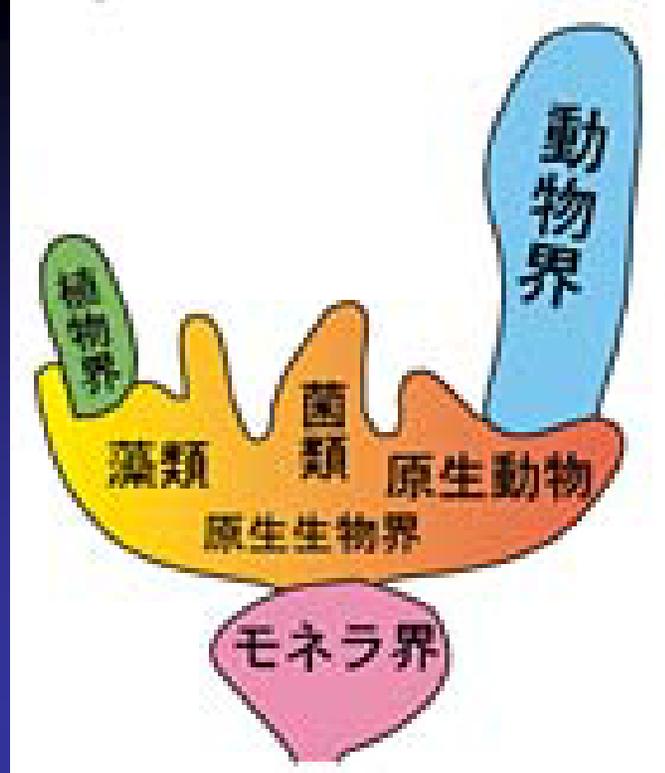
植物界 「動かず、食べない」



3界説

動物界、植物界、プロティスタ界(単細胞生物)
ヘッケル (1866)

3つの生物界を対等に位置付けている。原核生物をプロティスタ界の一部として組み入れている。

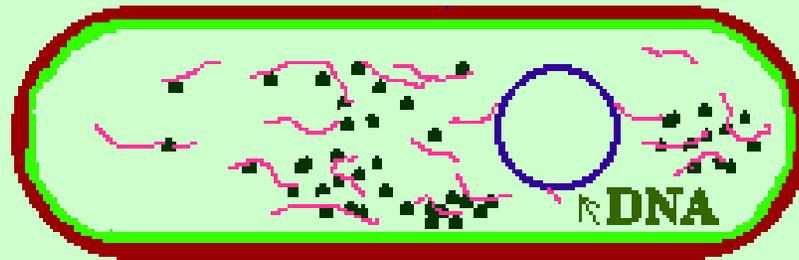


4界説

動物界、植物界、モネラ界、プロティスタ界
コープランド (1959)

- ・原核生物と真核生物の違いを明確に捕らえ、生物を2つの大きな仲間から構成されているとする。
- ・藻類、菌類、粘菌は植物界から除かれプロティスタに分類された。

A Prokaryotic Cell



mRNA → リボソーム

原核生物

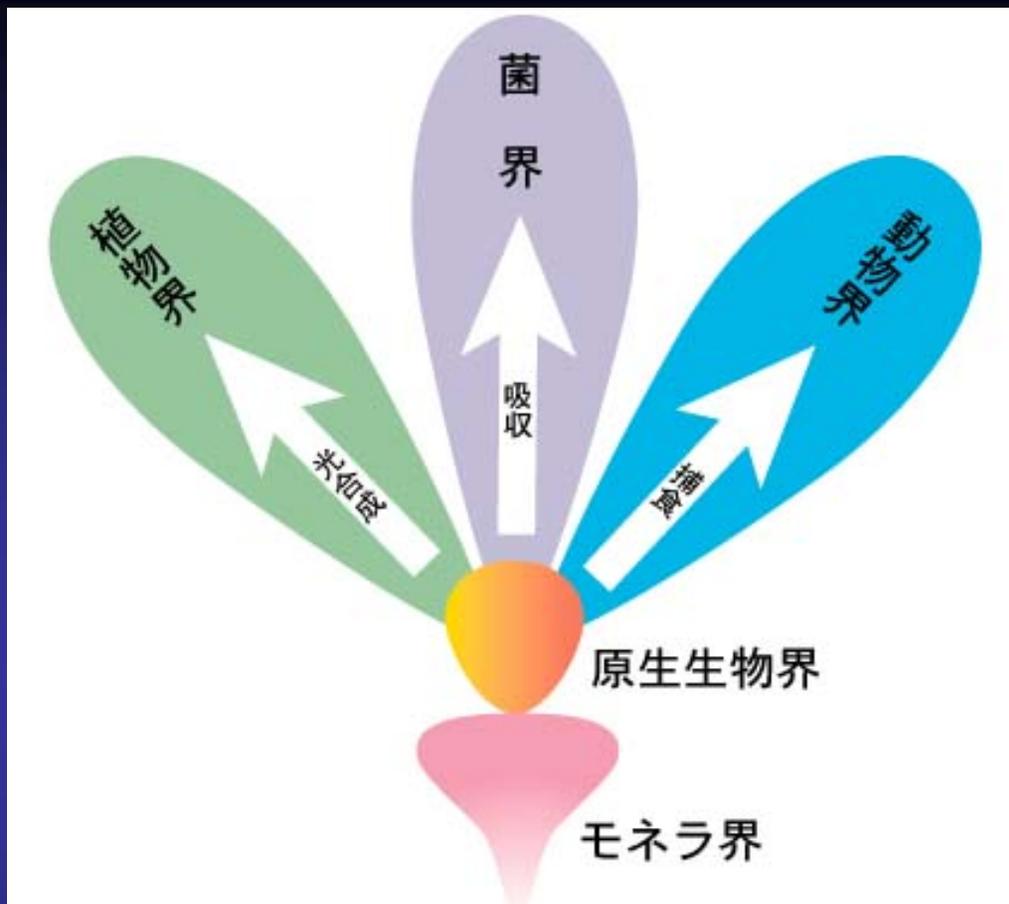
A Eukaryotic Cell



真核生物

原核生物と真核生物の比較

	原核生物	真核生物
細胞の大きさ	1~10 μm	5~100 μm
細胞小器官	なし	核、ミトコンドリア、葉緑体、小胞体
DNA	細胞質中に環状のDNA	長い線上のDNA 核膜に包まれている
RNAとタンパク質	RNAとタンパク質は同じ区画で合成される	RNAは核内で合成されプロセッシングされる タンパク質は細胞質で合成される
細胞質	細胞骨格、細胞質流動なし	タンパク質からなる細胞骨格、細胞質流動

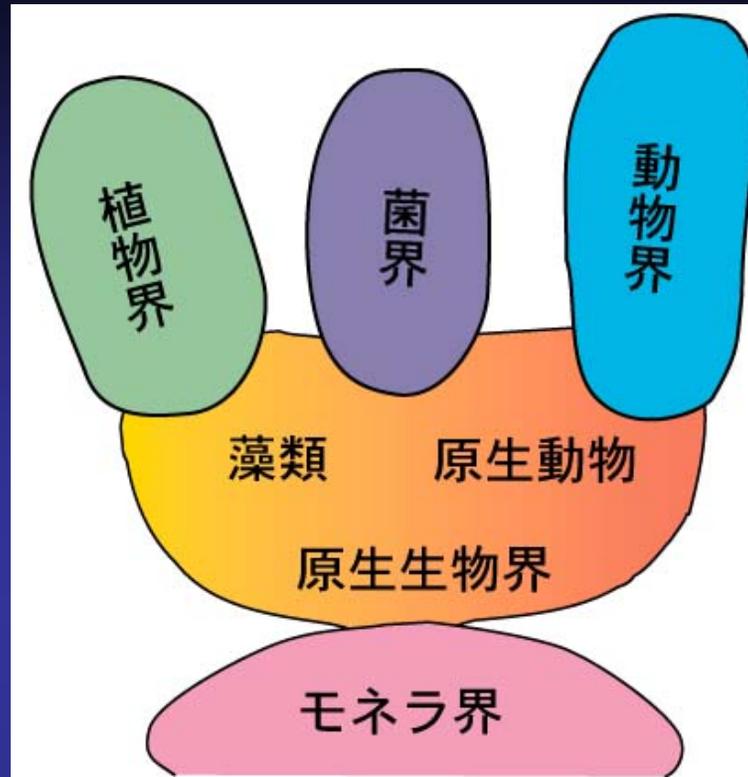


5界説

動物界、植物界、菌類界、モネラ界、プロティスタ界

ウィタッカー (1969)

・真核生物の分類基準として栄養摂取の様式に注目 植物(生産者)、動物(消費者)菌類(分解者)とし、栄養様式の進化を採用

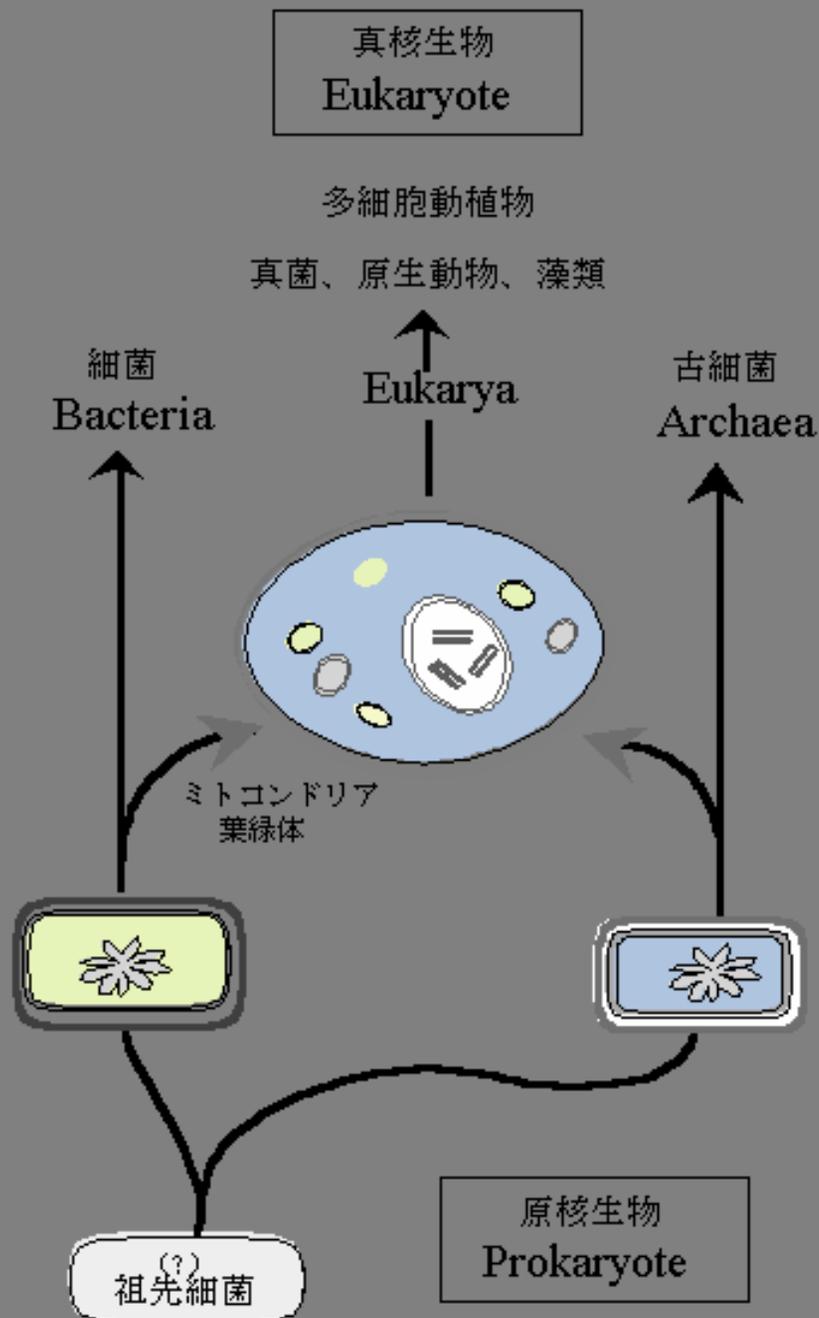


5界説

マルグリスとシュワルツ (1982) の5界説

共生による細胞進化を前提とした系統。複数の生物が協調して一つの別の生物に進化する。

(形態学、生化学、生理学、化石資料の検討によりクライテリオンを設定)

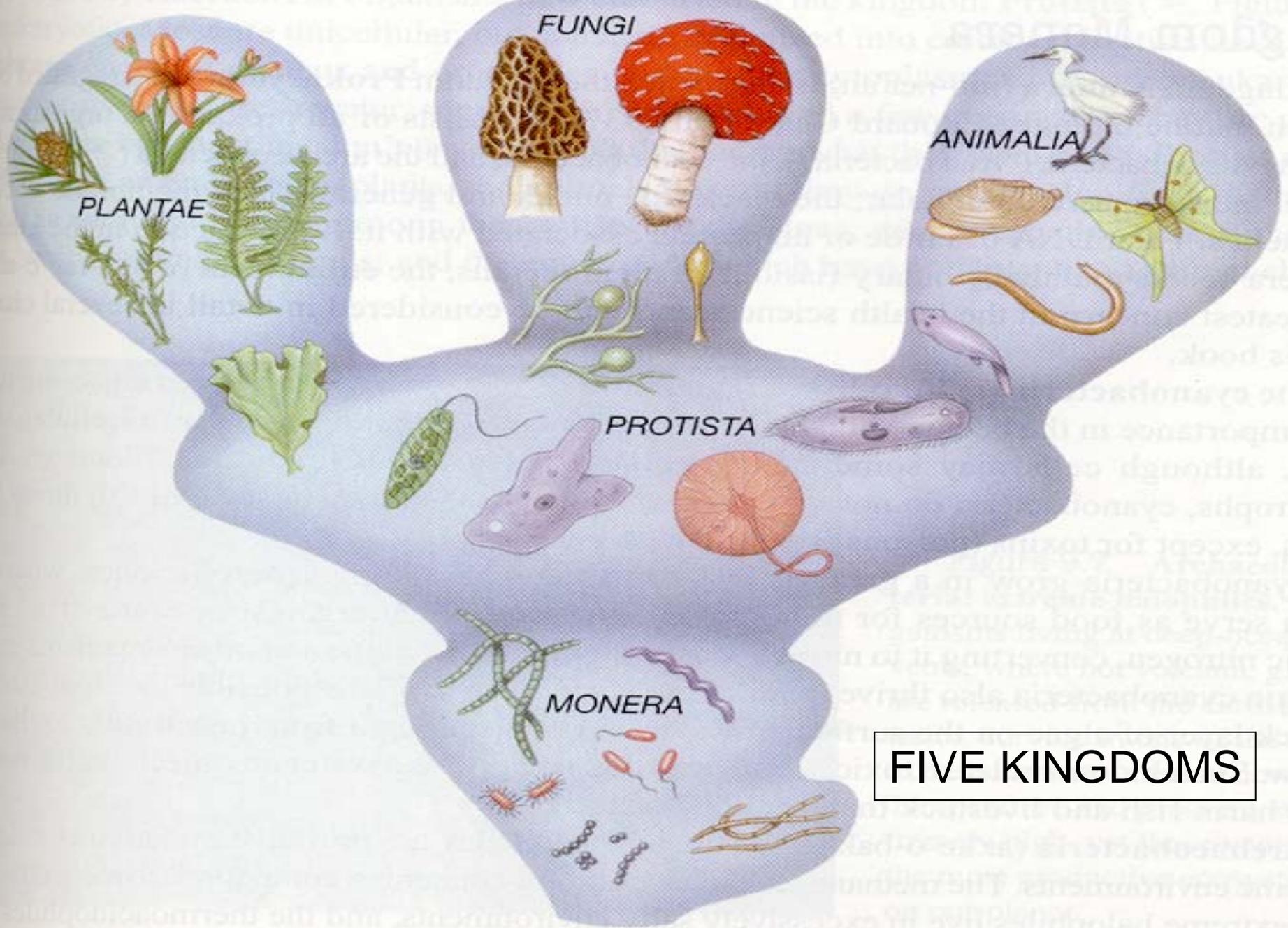


共生進化

細胞内共生により複雑な細胞構造が生み出された。

マルグリスとシュワルツ (1982) の5界説

- ・動物界は配偶体世代(核相= n)をもたない多細胞の従属栄養生物で、卵と精子による生殖を行う。
- ・植物界は胚発生を行い、孢子体(核相= $2n$)と配偶体(核相= n)の世代交代を行う多細胞の光合成生物
- ・菌界は単相で孢子体世代(核相= $2n$)を欠き、また孢子を形成し生活環いかなる時期においても鞭毛をもつ細胞を形成しない。
- ・プロティスタ界 体制が単純で不完全な有糸分裂を行う真核生物
紅藻、緑藻、褐藻、鞭毛菌、粘菌、海綿
- ・モネラ界 原核生物



FIVE KINGDOMS

分子系統学の発展

種々の情報分子(タンパク質、核酸)を用いて解析

生物界を網羅する系統樹作成に適した分子の条件

1. 全生物に存在する分子であること。
2. 構造、機能上大きな変化がなく構成成分の置換率が低いこと。
3. 構成成分の一次配列の決定が容易であること。

リボソームRNA

- ・リボソームは全生物の細胞に存在するタンパク質合成装置である。
- ・置換率が低く、系統的に遠縁の生物種の系統を比較するのに都合が良い。

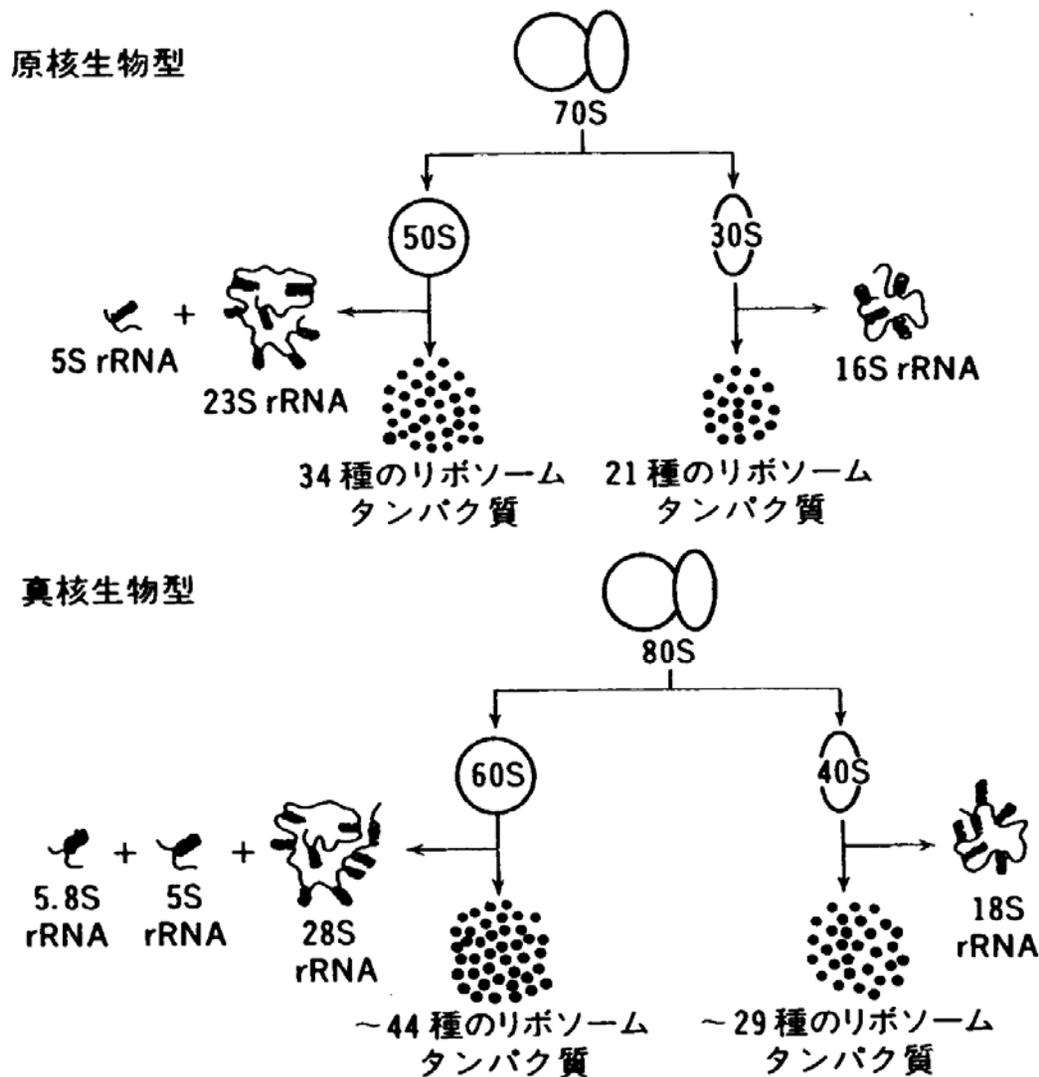
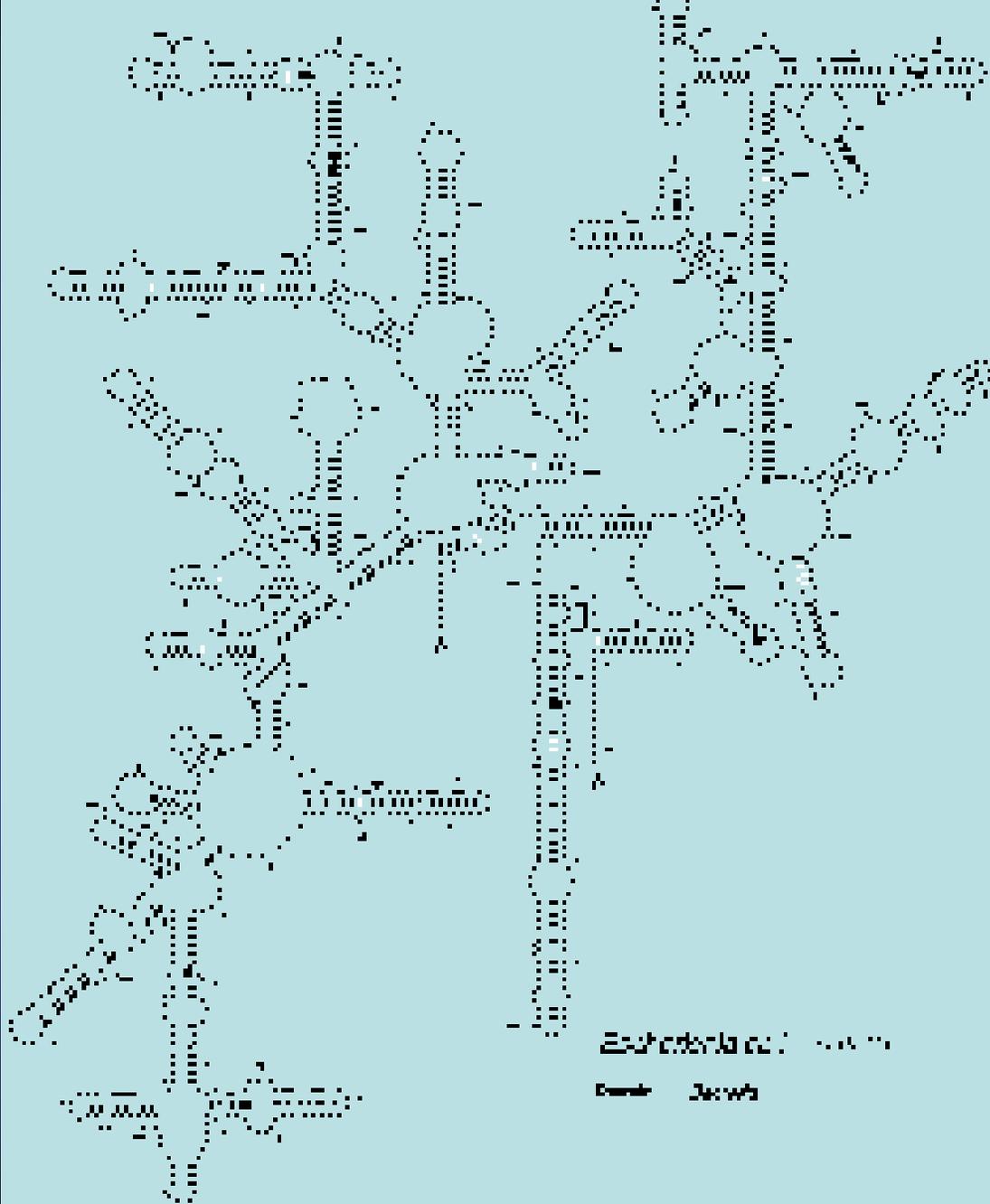


図 6-4 リボソームの構成(原核生物型と真核生物型)。一般に原核生物型から真核生物型に移行するにつれて 16S rRNA は 18S rRNA になるなど分子が大きくなり、分子種の数も多くなる。真核生物型には新しく 5.8S rRNA が加わる。5S rRNA は約 120 ヌクレオチドの長さで、ほぼ同じ大きさであるが、二次構造は変化する。

16S rRNA遺伝子配列

細胞内小器官であるリボソームに含まれるRNA鎖をコードしている遺伝子の配列であり、細菌では約1500個の塩基の配列となっている。16S rRNA遺伝子配列は、すべての生物に存在しており〔真核生物では18S rRNA遺伝子と呼ばれる〕、且つ進化速度が比較的遅いことから、分子時計として全生物の類縁関係や系統進化距離(種分化した時期の古さ)を推定するのに広く用いられている。



塩基配列の違いは系統の歴史(進化)の長さを反映している。



配列の違いを比較すると系統の近縁性を判定できる。

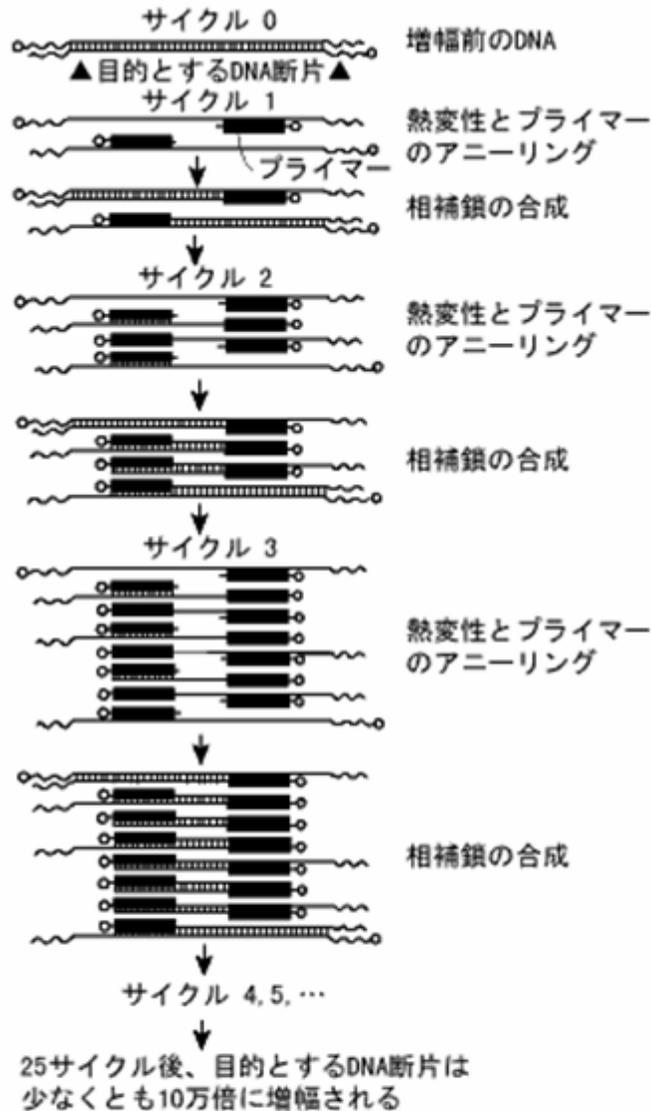


図6 ポリメラーゼ連鎖反応(PCR)法の原理

rDNAのPCR法による増幅

P: polymerase (複製酵素)

C: chain (連鎖)

R: reaction (反応)

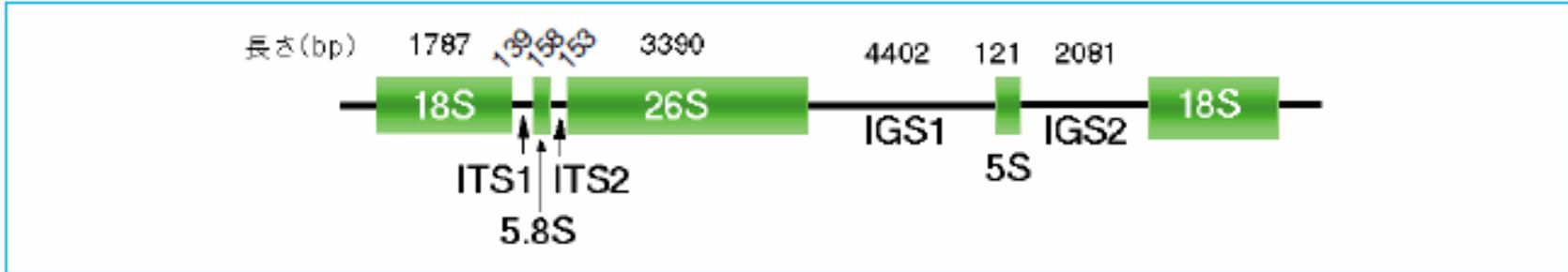
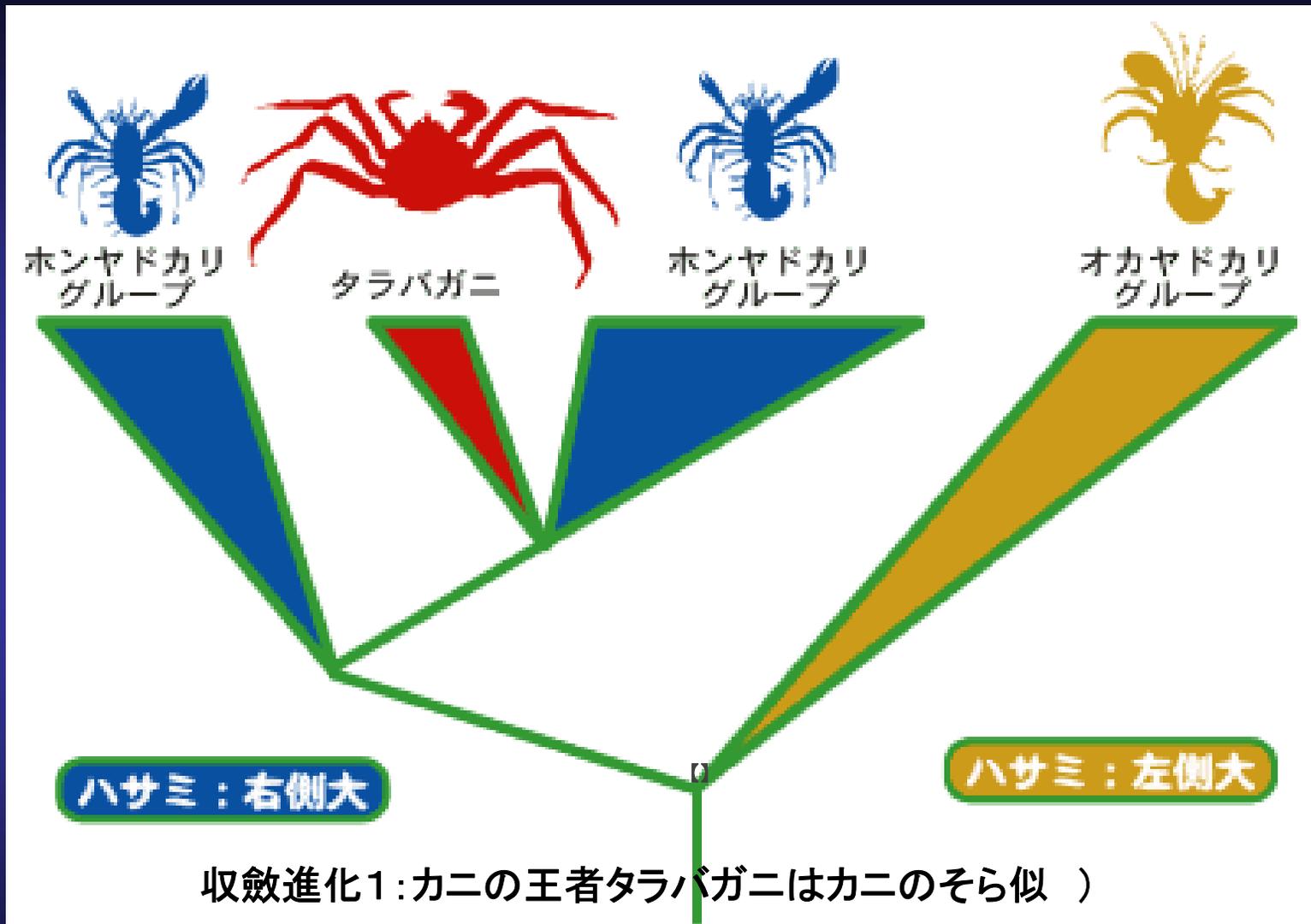


図1 : *Candida albicans*のrDNAの模式図 ITS, internal transcribed spacer; IGS, intergenic spacer

	網 (Class)	科 (Family)	属 (Genus)	種 (Species)	株 (Strain)
18S	—————			
D1/D2 26S	—————			
ITS				—————
IGS				—————	—————

図2 : rDNAの各領域の同定の上の位置付け



18SリボソームRNAに基づくヤドカリの分子系統樹

※ホンヤドカリの一系統から形態がカニに酷似したタラバガニが分岐していることに注意。

(JT生命誌研究館 宮田 隆氏)

TABLE 12.1

Signature sequences from 16S or 18S rRNA defining the three domains of life

Oligonucleotide signatures ^a	Approximate position ^b	Occurrence among ^c		
		Archaea	Bacteria	Eukarya
CACYYG	315	0	>95	0
CYAAYUNYG	510	0	>95	0
AAACUCAAA	910	3	100	0
AAACUAAAAG	910	100	0	100
NUUAAUUCG	960	0	>95	0
YUYAAUUG	960	100	<1	100
CAACCYCR	1110	0	>95	0
UUCCCG	1380	0	>95	0
UCCUG	1380	>95	0	100
CUCCUUG	1390	>95	0	0
UACACACCG	1400	0	>99	100
CACACACCG	1400	100	0	0

^a Y, Any pyrimidine; R, any purine; N, any purine or pyrimidine.

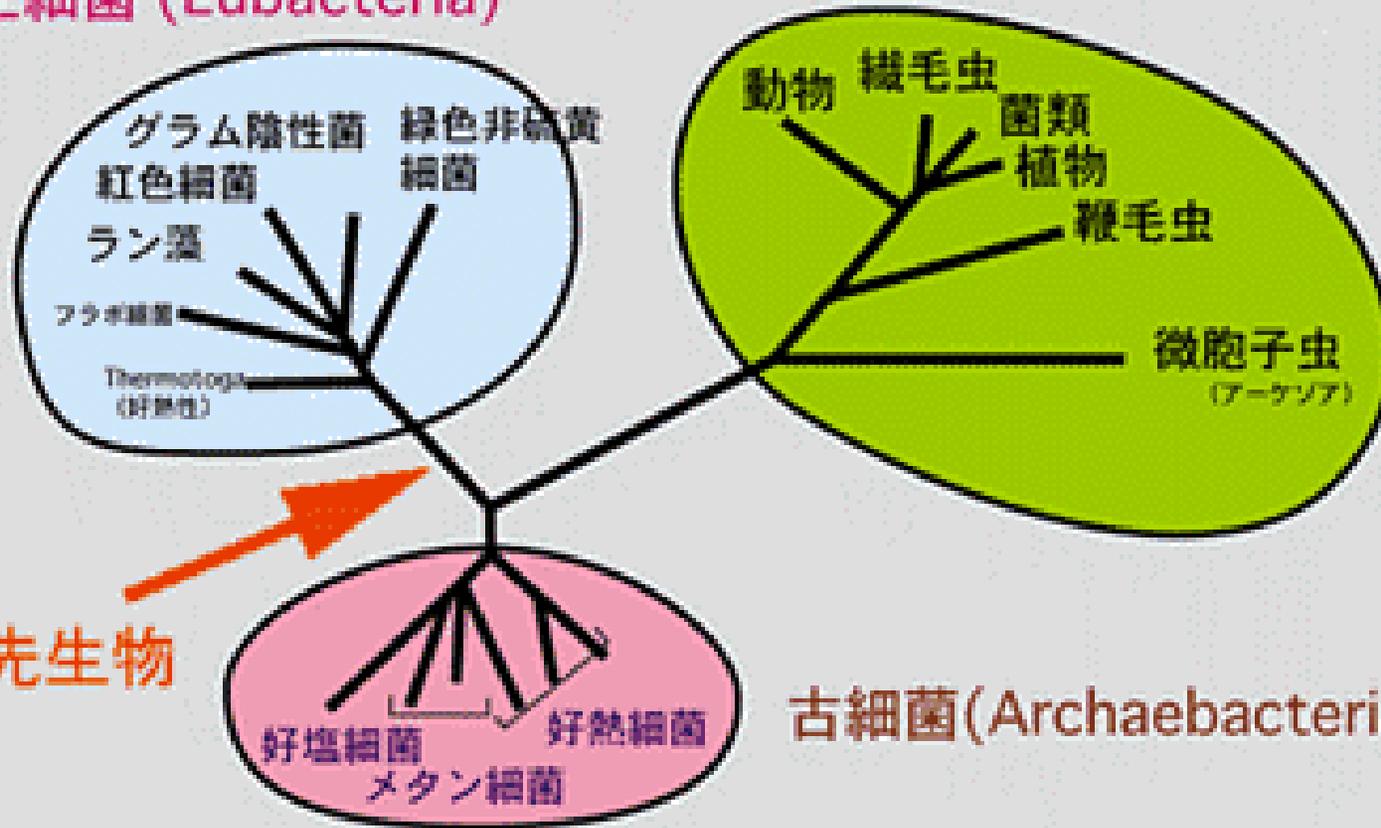
^b Refer to Figure 12.7c for numbering scheme of 16S rRNA.

^c Occurrence refers to percentage of organisms examined in any domain that contain that sequence.

生物の3つの仲間 (Woose et al. 1987)

真正細菌 (Eubacteria)

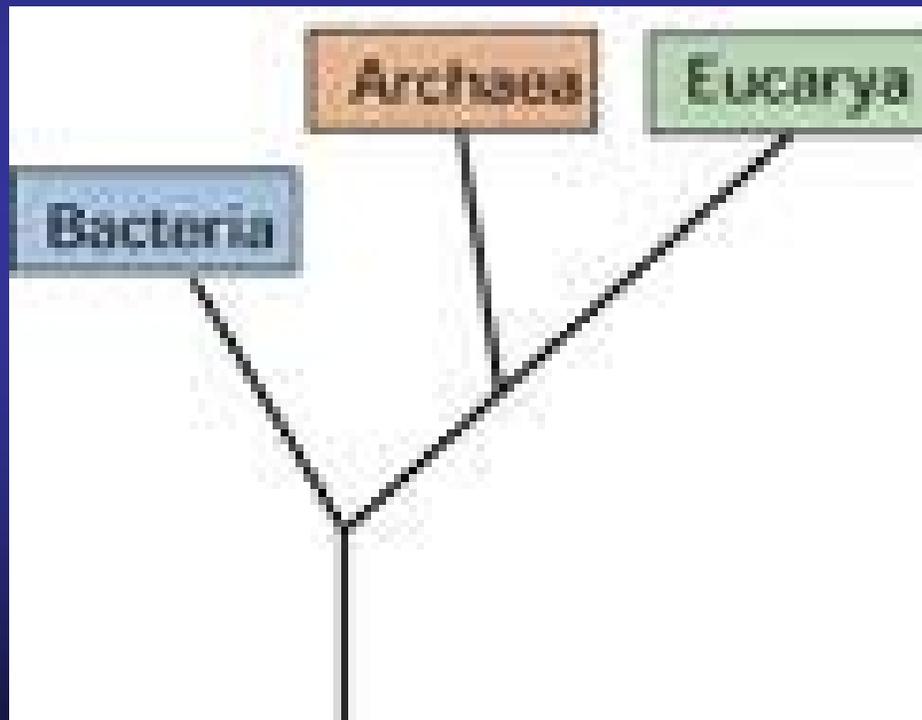
真核生物 (Eukaryota)



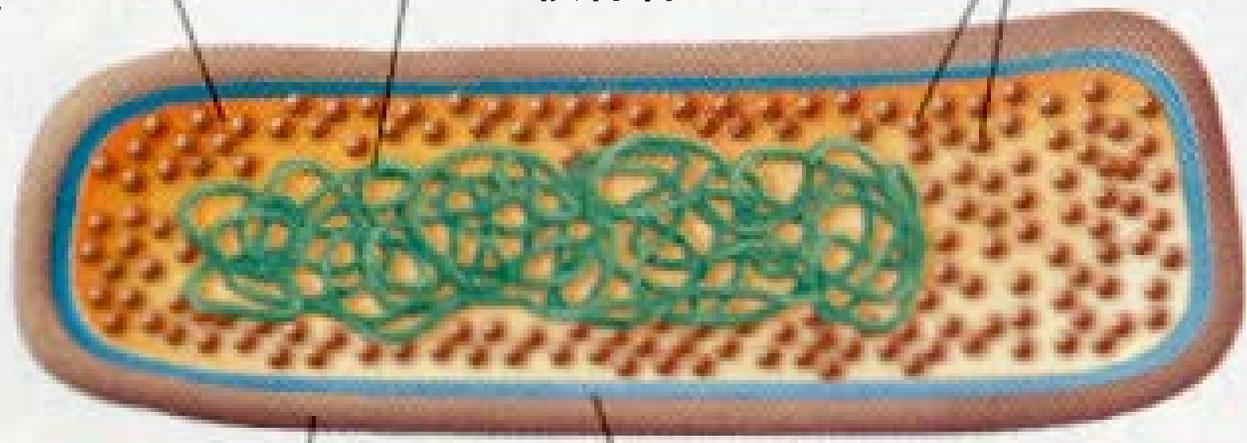
界より上位に階層ドメイン(超界)を設定する。
これは、細胞の構成で(動物界、植物界、原生生物界などが含まれる)真核生物、細菌、古細菌として分ける説である

微生物界の多様性

モネラ界（原核生物）



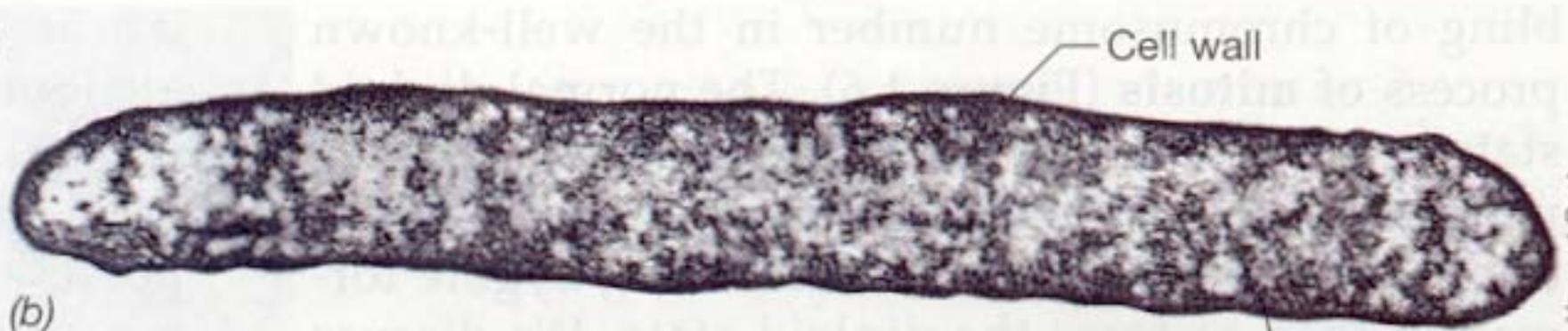
Cytoplasm 細胞質 Nucleoid 核様体 Ribosomes リボゾーム



(a)

Cell wall Cytoplasmic membrane

細胞壁 細胞質膜

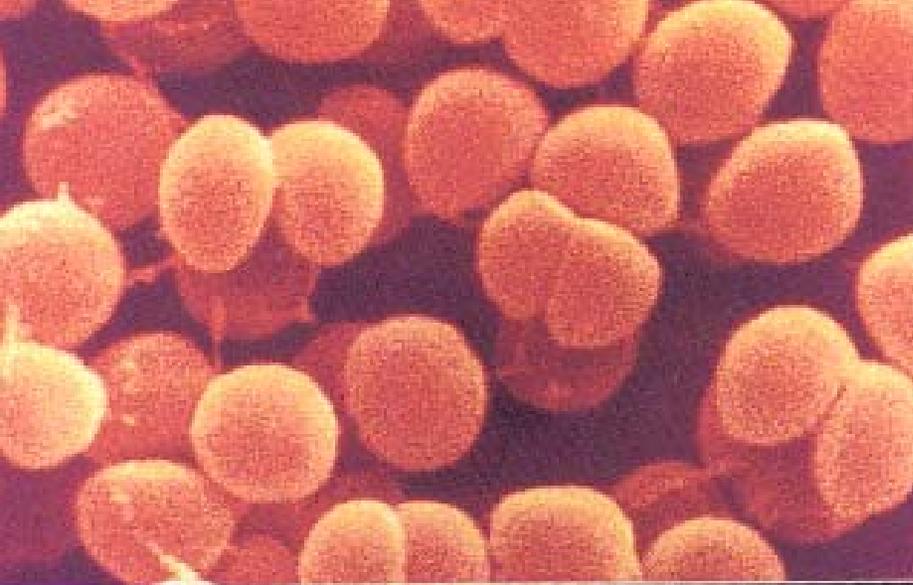


(b)

Cell wall

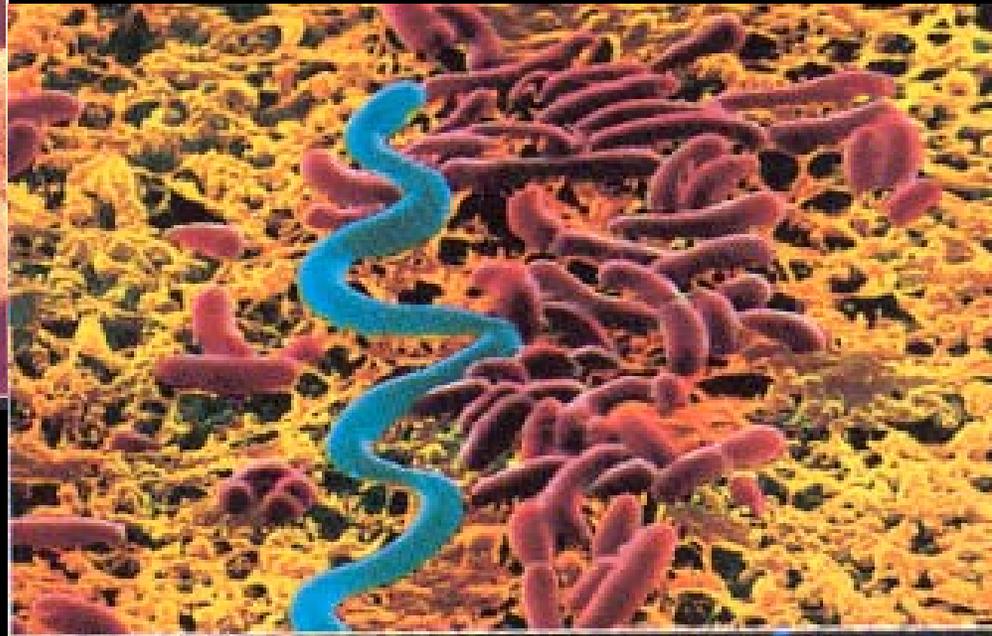
Cytoplasm

Howard Gest



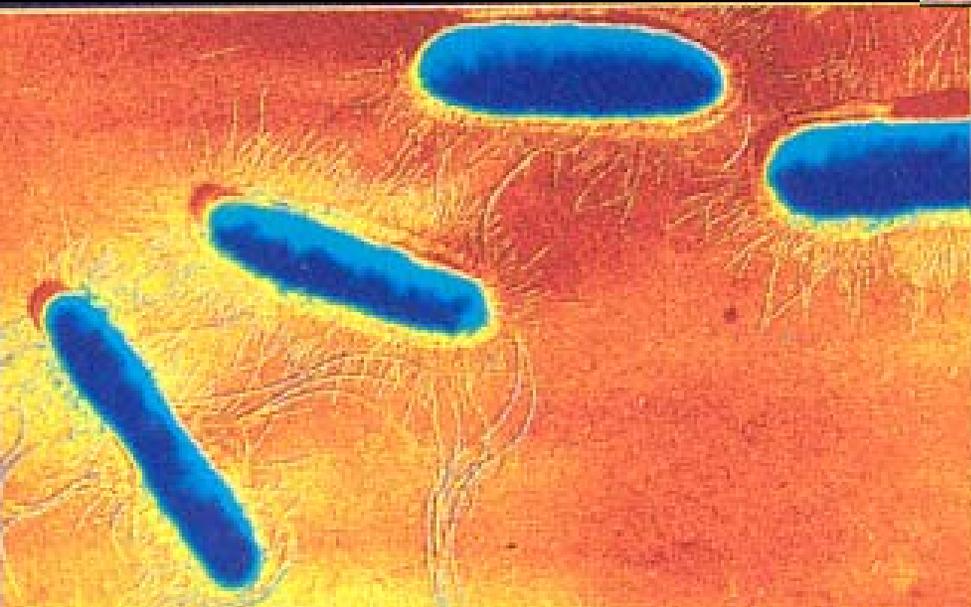
Coccus 球菌

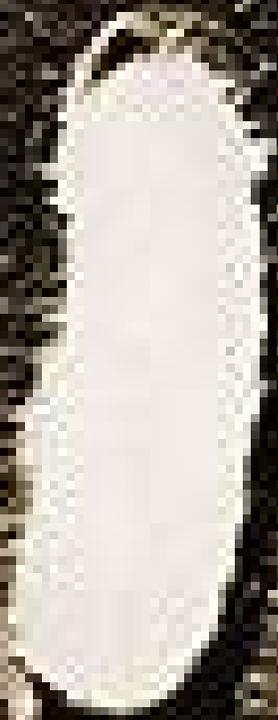
Bacillus 桿菌



Spirochaete

らせん菌



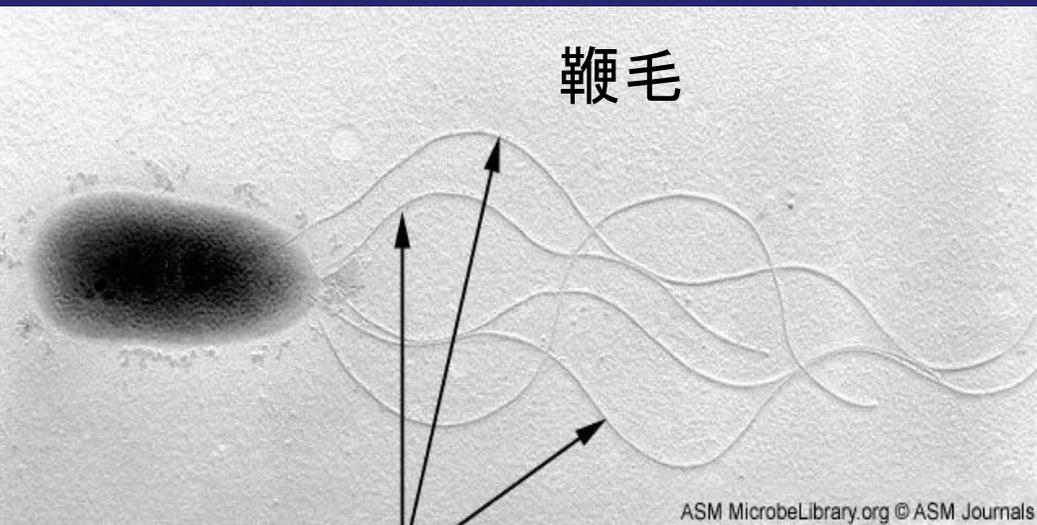


Salmonella

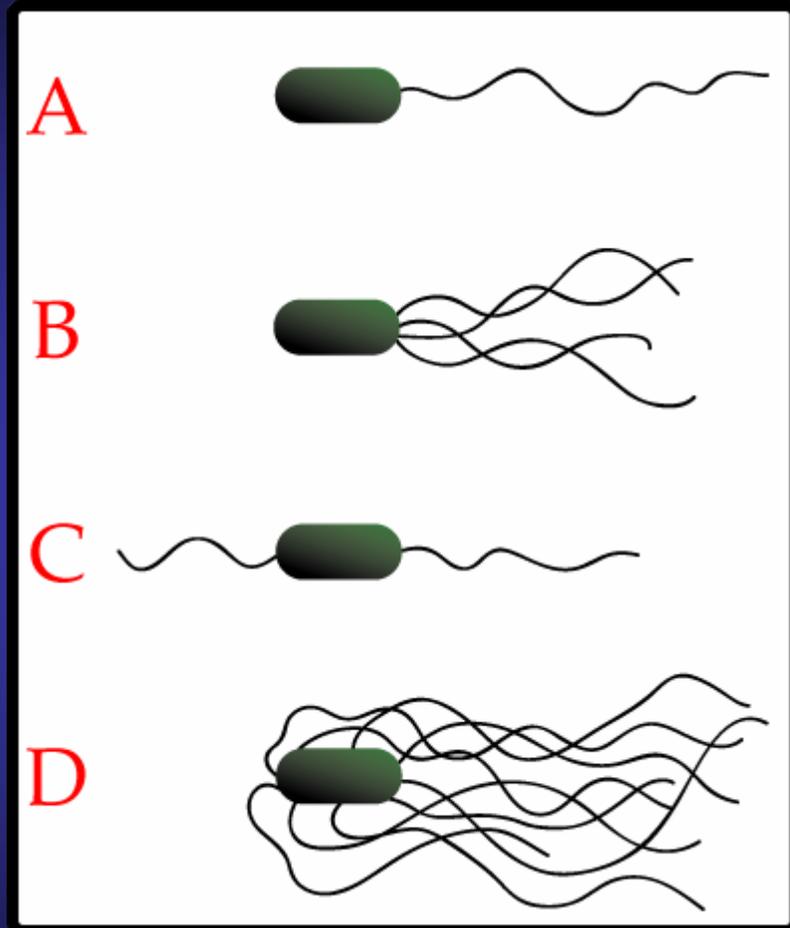
Budding *E. coli* cell



大腸菌



This transmission electron micrograph shows six polarly located flagella extending from the bacterium, *Pseudomonas putida*. In this case, the cell is 2 μm in length, and each flagellum is ~5 to 7 μm long.



細菌の分類

パラメータとしては、以下があげられる。

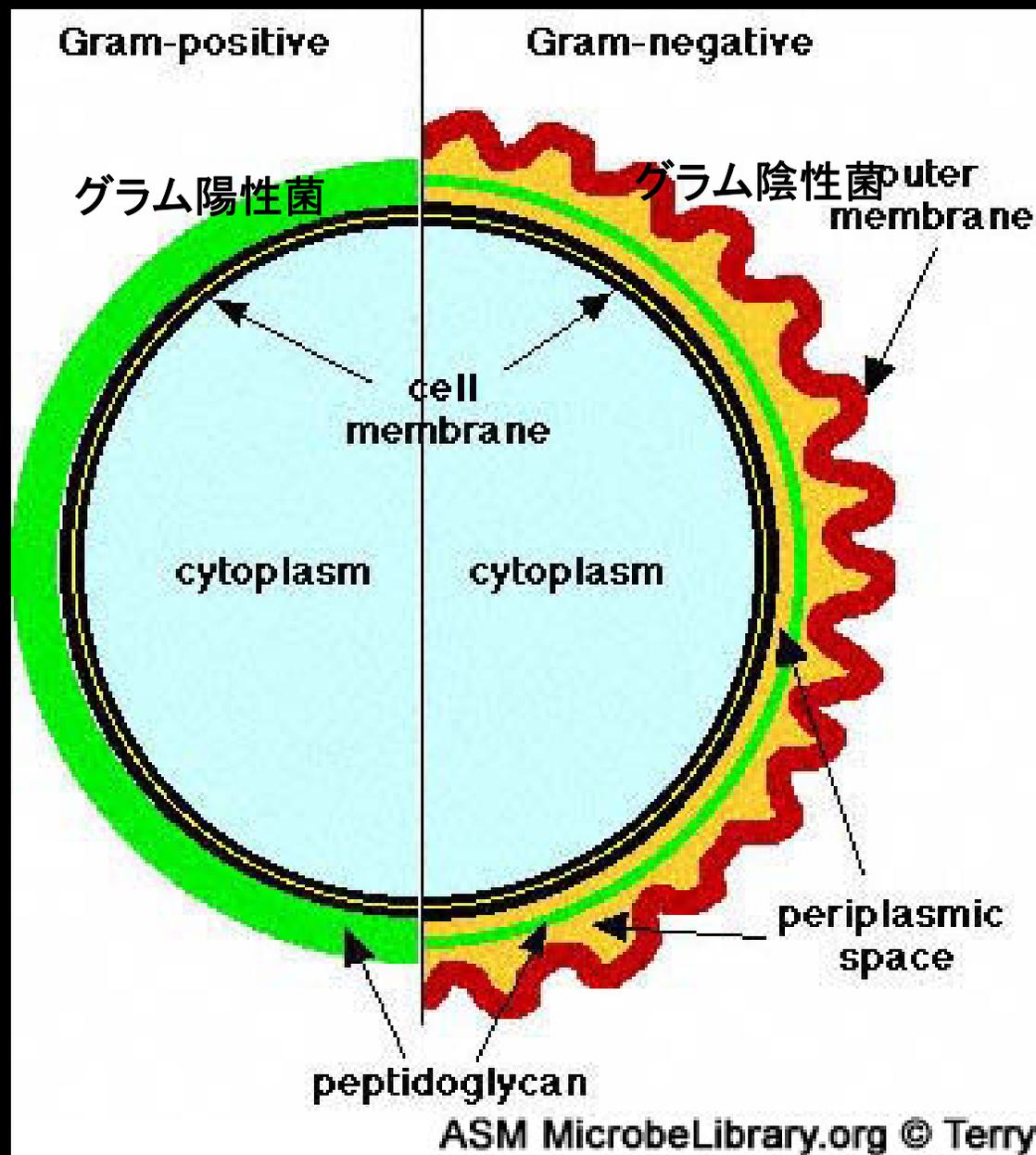
- ・グラム染色(陰性か陽性か)
- ・構造的あるいは解剖学的性質(直接観察)
- ・生化学的性質(脂質の構造など)
- ・生理学的性質(代謝系)
- ・生態学的性質(生育環境、他微生物や宿主との相互作用など)

動植物においては最も重要な構造的解剖学的性質の決定が微生物では困難なために3つの機能的属性に依存して分類が行われてきた。グラム染色法は有用なツールのひとつである

グラム染色

グラム染色はChristian Gramによって開発され広く使われている細菌染色法である。この染色法による細菌を青紫色に染まるグラム陽性菌とうすい赤色に染まるグラム陰性菌に染めわけることができる。ほとんどの細菌はグラム陽性か、陰性に大別でき、細菌の分類や同定の最も重要な指標として欠く事ができない。この分類は細菌の細胞壁の構成に基づいている。

グラム陽性菌の細胞壁が単純で厚いペプチドグリカン層から形成されているのに対し、グラム陰性菌の細胞壁はペプチドグリカン層は薄く、リポ多糖などの脂質を多く含んだ外膜で覆われている。このためグラム陰性菌の細胞壁はアルコールによって破壊されやすく、最初に染色したクリスタルバイオレット-ヨウ素複合体が容易に溶出して脱色される。



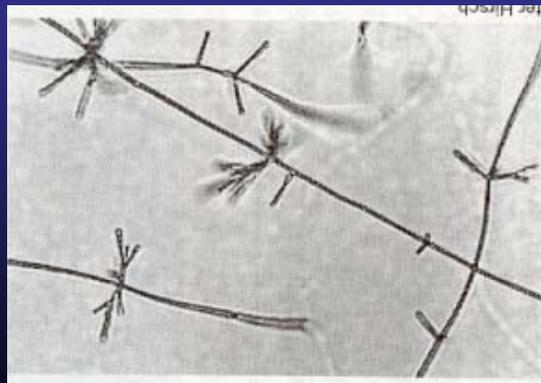
ペプチドグリカン: *N*-アセチルグルコサミン(GlcNAc)と*N*-アセチルムラミン酸(MurNAc)という2種のアミノ糖の交互の繰り返しを単位

真正細菌	古細菌
アクチノバクテリア (グラム陽性菌)	Euryarchaeota (ユリアーキオータ)
ファーミキューテス (グラム陽性菌)	Crenarchaeota (クレンアーキオータ)
プロテオバクテリア	Korarchaeota (コルアーキオータ)
バクテロイデス-フラボバクテリウム	Nanoarchaeota (ナノアーキオータ)
デイノコックス-サーマス	
プランクトミセス、クラミジア	
緑色硫黄細菌	
緑色非硫黄細菌	
スピロヘータ	
シアノバクテリア	
好熱性水素細菌	

アクチノバクテリア綱（グラム陽性高GC含量細菌） 菌糸状のグラム陽性菌

放線菌目 (*Streptomyces* : ストレプトマイシン生産菌)
ジフテリア菌、*Mycobacterium* : 結核菌)
放線細菌 (*Bifidobacterium* : 乳酸菌 (ビフィズス菌)、

- 糸状菌に類似した菌糸を形成する。
- 殆んどの放線菌は孢子を形成する。
- *Streptomyces* 500種以上. 主として土壤中に棲息する。
- *Streptomyce* から50以上の抗生物質 – ストレプトマイシン類。



ファーミキューテス門(グラム陽性低GC含量細菌)

非孢子形成グラム陽性菌:

- ・ *Staphylococcus*. 高い塩濃度で生育できるヒト、動物病原性菌
- ・ *Streptococcus*. 多様な属を含む: ヒト、動物病原細菌, 虫歯
- ・ *Lactobacillus*. 発酵乳製品、ピクルスの生産.

ファーミキューテス門(グラム陽性低GC含量細菌)

内生孢子形成グラム陽性菌:

内生孢子:極めて耐久性の高い細胞構造。芽包ともいう。

多くのヒト、動物病原細菌が含まれるが、いずれも本来的には土壤に棲息する腐生菌である。

多様な二次代謝産物を生産する:毒素、抗生物質など

Bacillus subtilis: 枯草菌、納豆菌、

B. anthracis: 炭疽菌、

B. thuringensis: BT菌

稲わらを用いた伝統的な納豆は、煮沸した稲わらを使って煮た大豆を包んで製造するが、これは煮沸によって雑菌が死滅し、枯草菌の一種である納豆菌(*Bacillus subtilis* var. *natto*)の芽胞だけが生残る性質を利用したものである。



内生孢子の形成

プロテオバクテリア

全ての属はグラム陰性である。

動物病原性、植物病原性菌のグラム陰性菌の大部分がここに所属する。代謝的に多様なグループを含む。

紅色硫黄細菌

- ・ H_2S を電子供与体として光合成を行う。



光合成細菌は光合成色素としてバクテオクロロフィルをもち、硫化水や硫黄などを電子の供与体としている。硫化水素や硫黄などの物質が存在する場所は火山や限られているために、生息域が限られ硫黄を含む熱水に存在する。あるいは H_2S が蓄積した湖水に棲息する。

硝化細菌

- ・ 自然界で連続的に作用して硝酸を生産する細菌。
- *Nitrosomonas* はアンモニアを酸化し、亜硝酸を生産する。
- *Nitrobacter* は亜硝酸を酸化し、硝酸を生産する。

Pseudomonads:

- 多様なグループを含む.
- 植物病原細菌: *Xanthomonas* spp.
- 動物病原細菌 *Pseudomonas aeruginosa*.

酢酸細菌:

- *Acetobacter*. エタノールを酢酸に酸化する.
$$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O}$$
- 食酢の生産

窒素固定細菌:

- *Azotobacter, Azomonas.*
- 空気中の窒素を還元してアンモニアを生産

腸内細菌:

- *Escherichia coli*: 大腸菌、
- *Salmonella typhi*: チフス菌
- *Shigella dysenteriae*: 赤痢菌
- *Vibrio cholerae*: コレラ菌
- *V. parahaemolyticus*: 腸炎ビブリオ

シアノバクテリア

- 酸素を生産する光合成細菌。
- シアノバクテリアはこれまで考えられてきたように藻類の一部ではなく細菌に所属する。
- しばしば大増殖して赤潮や水の華(アオコ)を形成する。
- 最も古い光合成生物の化石(ストロマトライト)の主体がシアノバクテリアで、特に初期地球上の酸素の供給を担っていたと考えられている。
- 他の生物の細胞内外に共生することがあり、真核光合成生物の葉緑体の起源生物とも言われている。

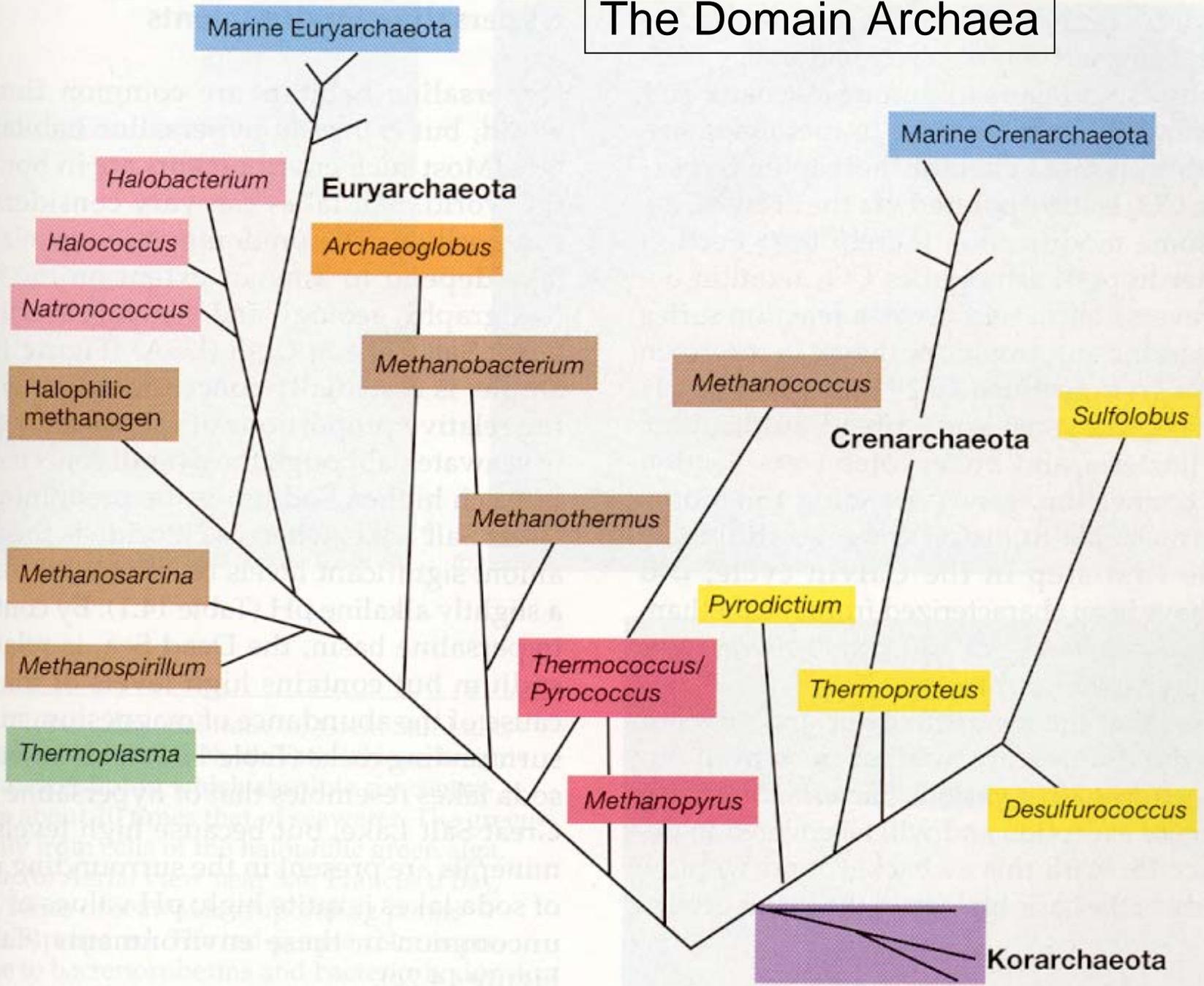


Cyanobacteria bloom: *Microcystis* Baltic sea



Cyanobacteria bloom: *Microcystis* Baltic sea

The Domain Archaea



古細菌は真正細菌と異なる

- 古細菌の細胞壁はペプチドグリカンを含まない。
- 古細菌の脂質構造: グリセロール骨格と炭化水素鎖がすべてエーテル結合で結合している。一方、他の生物ではエステル結合である。
- 古細菌のDNAは真核生物に類似し、ヒストン様タンパク質を含みクロマチン様構造をとっている。
- DNA依存RNAポリメラーゼのサブユニット構成が真核生物に類似している。
- 古細菌は多様なグループを含んでいるが地球上の生態的には特殊な環境で棲息している。
- 古細菌は生態的に制限されたところに棲息する。例:
“Korarchaeota は *Obsidian Pool* – イエローストーン国立公園の一つの温泉にのみ生育する。
- 系統発生と地球上における生命の初期の進化を知る上で古細菌は重要な位置にある。

Euryarchaeota

ユリアーキオータは極限環境に適応すべく様々な進化を遂げている。古細菌は細胞内共生説のホストとしての役割を果たしたという説がある。好酸性好熱性古細菌の *Thermoplasma* 属は細胞壁を持たない。この原始古細菌がその後シアノバクテリアや好気性細菌を取り込み、真核細胞へ進化したという考え。

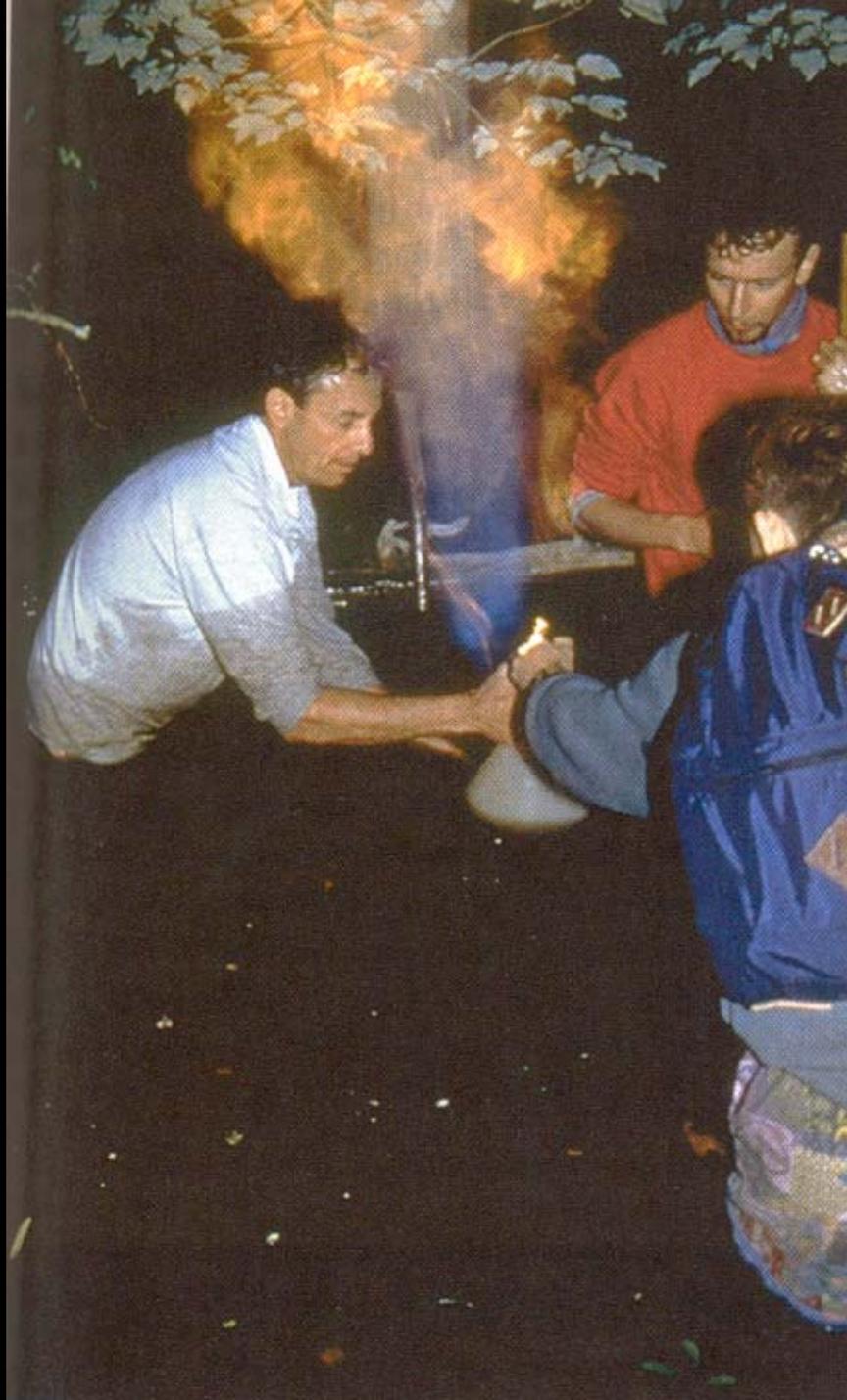
Thermoplasmatales.

超好酸菌 好熱菌

- ・ *Thermoplasma*: 細胞壁を欠いている。
- ・ *T. volcanicum* and *T. acidophilum*. 特徴的な細胞膜構成をもつ。
- ・非常に小さいゲノム構造をもつ。

Methanogens (メタン生産菌):

- ボルタの実験.
- 棲息地: 1. 沼地 2. 動物の消化管 3. 熱水 4. 原生生物の共生菌
- メタン生産に至る代謝系にはいくつかの経路がある。
- 形態的に多様である.



ボルタの実験

沼地の上に大きな漏斗を設置し、メタンを集め、燃焼させた。

200年前にアレサンドロ ボルタによって成された実験

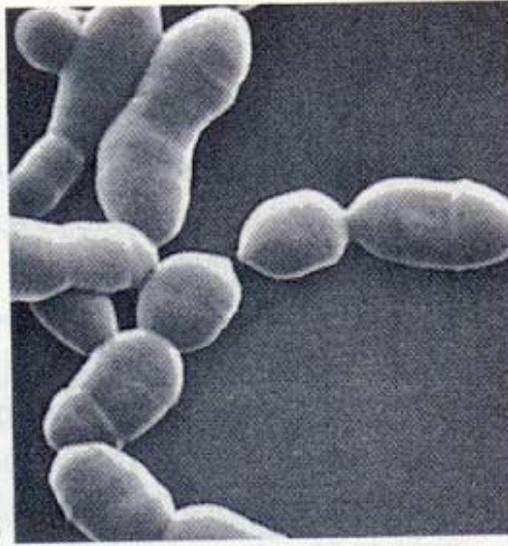
The Volta Experiment.

Large funnel over anoxic swamp collects methane. Experiment was performed over 200 years ago by physicist Alessandro Volta.



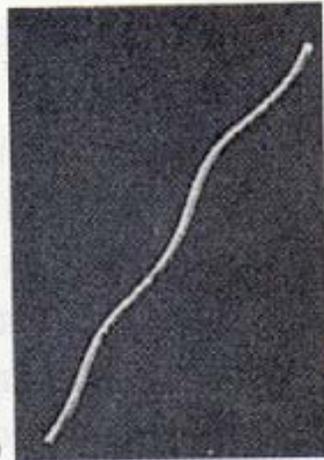
Alexander Zehnder

(a)



Alexander Zehnder

(b)



Alexander Zehnder

(c)



Alexander Zehnder

(d)

様々な形態をもつ
メタン生産古細菌

Morphological diversity in
methanogenic archaea.

Halobacterium (超好塩菌):

高塩濃度に強いだけでなく、むしろ高塩濃度を要求する。
至適増殖NaCl濃度が2.5–5.2M
最初に発見された古細菌

超好熱菌

- *Thermococcus*, *Methanopyrus*, *Pyrococcus*の至適生育温度は80°C以上。
- *Thermococcus* と *Pyrococcus* は 嫌氣的熱水中に棲息する。
- 深海の熱水鉱床で見つかる。

Crenarchaeota.

温泉、深海 熱水鉱床から氷中などの地球上の極限環境で棲息する。

- *Sulfolobus*: 高酸性で硫黄を含む温泉に棲息する。
- *Thermoproteus*: 中性の温泉に棲息する。
あらゆる生物の中で最も好熱性の生物である。



Yellowstone: A microbial World Apart.

Acidic Iron-Rich Geothermal Spring
(*Sulfolobus*)



Sulfotaras



Imperial Geyser. Typical Boiling Spring of Neutral pH.







BACTERIA
MAT

95 9 20





