

## ま え が き

「高温・低温，酸性 pH・アルカリ性 pH，高塩濃度など，この地球上には生命にとって過酷な自然環境が存在している。最近の研究により，このような極限環境にも多くの微生物が存在することが明らかになってきた。」

いまから約 30 年前，科学技術振興機構・戦略的創造研究推進事業・ERATO の研究領域として掘越特殊環境微生物プロジェクト〔総括責任者：掘越弘毅，東京工業大学教授・理化学研究所主任研究員（当時）〕が走り始めた当時の現状を表した文章である。すなわち，1980 年代においては，極限（特殊）環境微生物はまだマイナーな“変わり者”の微生物という位置づけであった。この ERATO プロジェクトにより，多くの極限環境微生物が新たに分離され，これまで断片的に行われてきた極限環境微生物研究が学問として体系化された。また，世界に先駆け，有機溶媒耐性微生物というまったく新しい概念の極限環境微生物を提唱したのも，きわめて大きな成果といえる。

さて，初期の極限環境微生物研究は応用研究が先導し，洗剤添加用アルカリ酵素や PCR 用耐熱性 DNA ポリメラーゼの開発など，輝かしい実績を上げてきた。そして今日においても，極限環境微生物が生産する新しい産業用酵素がつつぎつぎと市場に供給されている。一方で，基礎研究の進展にも目を見張るものがある。加圧条件下，なんと 122℃ で生育可能な微生物が発見され，これまでの生物の最高生育温度の記録が塗り替えられた。また，150℃ 近くまで変性しないタンパク質も見出されており，生命存在限界の理解に向け，重要な知見が蓄積されつつある。これらの研究成果はすべてわが国の研究者によるものであることを，ここで強調しておきたい。

現在，極限環境微生物のカテゴリーとして，好熱性微生物，好冷性微生物，好アルカリ性微生物，好酸性微生物，好塩性微生物，好圧性微生物，乾燥耐性

微生物，重金属耐性微生物，放射線耐性微生物，有機溶媒耐性微生物などが提唱されている。また，次世代シーケンサーの普及により環境中の難培養性微生物のゲノム解析も可能となり，今後もさまざまな極限環境から多くの難培養性極限環境微生物が発見されるであろう。いまから約40億年前，この地球上に最初に誕生した生物は好熱性微生物といわれている。その後，生物はさまざまな環境にさらされ，それらに適応するように進化することで，現在の生物多様性が形成された。その意味で，極限環境微生物は決してマイナーな生物群ではなく，地球上の生物多様性を担う一員としてきわめて重要な生物群といえる。

極限環境微生物研究の高まりを受け，1999年に「極限環境微生物学会」が設立され，2010年には「極限環境生物学会」と改名している。極限環境に生育する生物の研究が，微生物だけにとどまらず，動物や植物，さらには地球外生命にまで広がりを見せるようになったことによる。

本書は，極限環境生物学会に所属する気鋭の若手研究者が書き下ろしたものである。現在もなお大きな進展を見せつつある極限環境生物（生命）の基礎と応用について学ばせることで，極限環境における生命現象に関する理解を深め，生命とは何かについて，さらには生命の多様性と起源について考えさせるのが本書の狙いである。学部2～3年次学生を対象とする教科書を想定し，なるべく平易な表現を心がけ，また，本書を読み進める際に必要な最低限の知識を盛り込んだ。極限環境生物の応用をめざす一般研究者にとっても格好の入門書といえる。

本書を学習するにあたって，あらかじめ学習しておくのが望ましい科目は，基礎生物学，基礎生化学，基礎化学，基礎微生物学である。

本書の出版にあたっては，初期の企画段階から編集に至るまで，コロナ社にたいへんお世話になった。担当者の粘り強いサポートがなければ，本書が世に出ることはなかったと思う。ここに記して，感謝の意を表したい。

2014年9月

著者一同

# 目 次

## 1. 環境と微生物

### — 極限環境微生物とは —

1.1 地球の環境	1
1.2 地球の誕生と環境変化	2
1.3 生命の誕生と代謝系の進化	4
1.4 真核生物の誕生	5
1.5 リボソーム RNA による生物の分類	6
1.6 極限環境微生物	8
1.6.1 極限環境微生物とは	8
1.6.2 歴史的背景	9
1.6.3 極限環境微生物の生息場所	9
1.6.4 極限環境動物	10
1.6.5 好○○性微生物と耐○○性微生物	11
1.6.6 今後の展開	12
引用・参考文献	12

## 2. 好熱性微生物

2.1 はじめに	13
2.2 好熱菌・超好熱菌の分類および系統的位置づけ	13
2.3 生物の生育上限温度	15
2.4 DNA の安定化	17

2.5 RNA の安定化	20
2.6 生体分子を安定化するその他の化合物	23
2.7 細胞膜脂質	24
2.8 社会に役立つ(超)好熱菌由来酵素 — DNA を 100 万倍に増幅する技術 —	27
引用・参考文献	28

## 3. 好冷性微生物

3.1 好冷性微生物とは	31
3.2 地球上における好冷性微生物の分布	32
3.3 低温が生命に与える影響	33
3.4 細胞膜と低温適応	35
3.5 タンパク質の低温適応	39
3.6 低温下での核酸の構造	42
3.7 産業への応用	43
引用・参考文献	45

## 4. 好アルカリ性微生物

4.1 はじめに	46
4.2 歴史的背景	47
4.3 好アルカリ性微生物とは	48
4.4 生態学と多様性	49

4.4.1	生態学	49
4.4.2	自然界のアルカリ性環境	49
4.4.3	人工起源のアルカリ性環境	52
4.4.4	最も高い pH で生育する微生物	53
4.4.5	多様性	53
4.5	好アルカリ性 <i>Bacillus</i> 属細菌のアルカリ適応機能	54
4.5.1	好アルカリ性細菌のゲノムから明らかになったタンパク質の等電点の特徴	54
4.5.2	好アルカリ性細菌の細胞内溶質の緩衝能	55
4.5.3	細胞表面層	55
4.5.4	細胞膜	57
4.5.5	好アルカリ性細菌の生体エネルギー論	58
4.6	好アルカリ性微生物の産業応用	61
4.6.1	アルカリセルラーゼ	61
4.6.2	アルカリアミラーゼ	62
4.6.3	アルカリキシナーゼ	64
4.6.4	その他の産業応用例	64
	引用・参考文献	65

## 5. 好酸性微生物

5.1	はじめに	66
5.2	好酸性微生物の定義	66
5.3	生態学と多様性	67
5.3.1	分布	67

5.3.2	真核生物における多様性	68
5.3.3	原核生物における多様性	69
5.3.4	原核生物の中で最も酸性環境で生育する生物サーモプ ラズマ目	70
5.4	好酸性細菌の酸性適応機構	70
5.4.1	好酸性細菌の生体エネルギー論	70
5.4.2	好酸性細菌における pH ホメオスタシス	72
5.4.3	好酸性微生物の細胞膜はプロトンに対して高い不透過性を示す	73
5.4.4	膜チャンネル	74
5.4.5	有機酸による脱共役作用	74
5.5	好酸性微生物の産業応用	74
5.5.1	バイオリーチング	74
5.5.2	バイオリーチングの原理	75
5.5.3	好酸性酵素	77
	引用・参考文献	77

## 6. 好塩性微生物

6.1	微生物と塩	78
6.2	好塩性微生物の定義と分類	78
6.2.1	低度, 中度好塩性微生物	79
6.2.2	高度好塩性微生物	80
6.3	好塩性微生物の浸透圧調節機構	82

6.3.1	低度, 中度好塩性細菌に おける浸透圧調節	82
6.3.2	高度好塩性古細菌における 浸透圧調節	84
6.4	好塩性微生物の細胞表層構造	85
6.4.1	低度, 中度好塩性細菌の 細胞表層	85
6.4.2	高度好塩性古細菌の細胞表層	86
6.5	好塩性微生物の膜機能とエネ ルギー転換系	88
6.5.1	非好塩性微生物のエネルギ ー転換系	89
6.5.2	低度, 中度好塩性細菌の エネルギー転換系	90
6.5.3	高度好塩性古細菌のエネ ルギー転換系	91
6.6	高度好塩性古細菌のレチナール タンパク質	91
6.7	高度好塩性古細菌のカロテノイド	94
6.8	高度好塩性古細菌タンパク質の 高塩濃度環境への適応機構	95
6.9	高度好塩性古細菌の分子生物学	97
6.9.1	全ゲノム解析	97
6.9.2	宿主-ベクター系	98
	引用・参考文献	100

## 7. 好圧性微生物

7.1	研究の歴史	101
7.2	好圧性微生物とは	102

7.3	高圧と生命	103
7.3.1	高圧がタンパク質に与える 影響	104
7.3.2	高圧が細胞膜に与える影響	106
7.3.3	ピエゾライト	106
7.4	研究に用いる方法	107
7.5	モデル生物を用いた研究例	109
7.5.1	<i>Photobacterium profundum</i> SS9	109
7.5.2	<i>Shewanella violacea</i> DSS12	111
7.5.3	好圧菌と呼吸鎖電子伝達系	113
7.6	産業への応用	115
	引用・参考文献	116

## 8. メタン生成古細菌

8.1	はじめに	117
8.2	細胞学的特徴	118
8.3	分類と系統	122
8.4	生 態	124
8.5	メタン生成代謝経路	126
8.6	メタン菌の功罪 — 大気中の メタンとメタン発酵 —	129
	引用・参考文献	130

## 9. 有機溶媒耐性微生物

9.1	有機溶媒耐性微生物研究の背景	131
9.2	有機溶媒耐性微生物とは	132
9.3	有機溶媒耐性微生物の分離	132

9.4	有機溶媒の微生物に対する毒性 .....	133
9.5	大腸菌の有機溶媒耐性.....	136
9.6	グラム陰性細菌の疎水性有機 溶媒耐性機構.....	137
9.6.1	RND型薬剤排出ポンプ.....	137
9.6.2	リン脂質.....	139
9.6.3	リポ多糖.....	139
9.6.4	その他の有機溶媒耐性機構 .....	140
9.7	有機溶媒耐性微生物の有機 溶媒-培養液の二相反応系 への応用.....	140
9.7.1	有機溶媒-培養液の二相 反応系.....	141
9.7.2	有機溶媒-培養液の二相 反応系の応用例.....	142
9.8	バイオ燃料の生産.....	144
9.9	有機溶媒耐性酵素.....	144
	引用・参考文献.....	145

## 10. 難分解性有機物分解微生物 (含む環境浄化)

10.1	環境を汚染する物質.....	146
10.1.1	大気汚染物質.....	146
10.1.2	硫黄酸化物.....	147
10.1.3	窒素酸化物.....	147
10.1.4	重金属.....	147
10.1.5	有機化合物.....	148
10.2	微生物による環境浄化.....	148
10.2.1	汚染物質分解微生物の分離 .....	148

10.2.2	土壤汚染の環境修復技術 .....	149
10.2.3	重金属汚染の浄化.....	150
10.2.4	微生物による有機化合物 の分解性.....	152
10.2.5	脂肪族炭化水素の分解.....	152
10.2.6	芳香族化合物 (ベンゼン) の分解.....	152
10.2.7	芳香族化合物 (酸性雨の 原因物質) の分解.....	153
	引用・参考文献.....	155

## 11. 放射線耐性微生物

11.1	放射線と放射能.....	157
11.2	地球環境と放射線.....	158
11.3	放射線の生物作用.....	159
11.4	<i>Deinococcus</i> の発見.....	161
11.5	その他の放射線耐性細菌.....	163
11.6	放射線耐性をもつ古細菌.....	164
11.7	放射線耐性をもつ真核生物.....	165
11.8	放射線耐性の分子機構.....	166
11.9	放射線抵抗性細菌の利用.....	169
11.10	放射線耐性獲得の進化的起源 .....	170
	引用・参考文献.....	172

## 12. 乾燥耐性生物

12.1	はじめに.....	173
12.2	クリプトビオシスによる乾燥 耐性.....	173
12.3	乾眠動物.....	175

12.3.1	動物界に散在する乾眠能力 .....	175
12.3.2	緩歩動物 (クマムシ類) .....	177
12.3.3	ネムリユスリカ.....	177
12.3.4	アルテミア.....	178
12.3.5	線形動物 (線虫).....	178
12.4	乾眠を支える分子.....	179
12.4.1	トレハロース.....	179
12.4.2	トレハロースの合成と輸送 .....	180
12.4.3	トレハロースに依存しな い乾眠.....	182
12.4.4	LEA タンパク質.....	182
12.4.5	LEA タンパク質の特徴.....	183
12.4.6	その他の熱可溶性タンパ ク質.....	186
12.4.7	ストレス応答タンパク質 .....	187
12.5	多様な乾眠のメカニズム —産業応用に向けて—.....	188
	引用・参考文献.....	189

### 13. 深海生物

13.1	はじめに:「深海」とは.....	190
13.1.1	極限環境としての「深海」 .....	190
13.1.2	光合成で支えられている 陸上の環境.....	190
13.1.3	光が届かない深海.....	191

13.1.4	潜水技術開発の歴史でも ある深海生物発見の歴史 .....	192
13.1.5	空間を埋める媒体の密度 の違い.....	193
13.1.6	深海環境の特徴のまとめ .....	193
13.2	「暗黒」が生物にもたらす変化 .....	194
13.2.1	発光現象の多様な利用.....	194
13.2.2	感覚器の変化.....	196
13.2.3	「光合成」の恵みから遠ざ かる深海.....	198
13.2.4	「貧栄養」を覆す共生と いう戦略.....	199
13.3	生物のタンパク質の進化を促す 「高水圧」.....	200
13.4	終わりに.....	203
	引用・参考文献.....	206

### 14. 地球外生命

14.1	化学進化.....	207
14.2	生命の起源.....	207
14.3	生命起源の痕跡.....	210
14.4	火星での生命探査.....	210
14.5	ハビタブルゾーン以外での 生命探査.....	213
14.6	微生物の宇宙曝露実験.....	214
	引用・参考文献.....	216

索引	.....	217
----	-------	-----

## 編集注記

本書では、微生物を、① 好（耐）〇〇性微生物、② 好（耐）〇〇菌、好（耐）〇〇性菌、③ 好（耐）〇〇性細菌、④ 好（耐）〇〇性古細菌のように、大きく分けて4通りで表記している。

①、②は、細菌（真正細菌、bacteria）と古細菌（アーキア、archaea）の両方を含む場合、あるいはどちらか一方のみを含む場合がある。③はいうまでもなく細菌、④は古細菌を意味している。①は②とほぼ同じだが、最も小さくくりとして表記する場合に使用しており、したがって章のタイトルとしてはこれを使用している。

なお、①、③、④の好（耐）〇〇性を使用する際、〇〇に「アルカリ性」「中性」「酸性」が来た場合は、冗長を避けるために、例えば単に好アルカリ性微生物（好アルカリ性微生物とはせずに）のように表記している。

bacteria, archaea という分類名の和名に関しては議論があり、統一されていない（詳細は、1章末のコラムを参照）。本書では、高校生物の教科書に記載がありかつ広く用いられていることから、bacteria の和名を細菌として、そして archaea の和名を古細菌として表記を統一している。ただし、2章のみ著者の要望により、古細菌をアーキアと表記している。

### 執筆分担

伊藤 政博	1章, 4章, 5章, コラム
道久 則之	1章, 9章, 10章
鳴海 一成	11章, 14章
東端 啓貴	2章
為我井秀行	3章, 7章
國枝 武和	12章
伊藤 隆	8章
佐藤 孝子	13章
中村 聡	6章



---

---

# 1

## 環境と微生物

### — 極限環境微生物とは —

---

---

#### 1.1 地球の環境

現在の地球の地表の平均気温は 14℃ 程度であり、気圧は 1 気圧、酸素濃度は 20% 程度である。河川の pH は、日本では pH7 付近の場合が多く、海の pH は pH8.0~8.5 程度である。また、海水の塩濃度は約 3% 程度である。しかし、地球上にはこのような平均的環境とは大きく異なる環境がある。例えば、砂漠や熱帯雨林では、気温が 60℃ 近くにもなる。また、海底下約 10 000 m の深海では、圧力は約 1 000 気圧になる。アフリカ タンザニアのナトロン湖は pH9~10.5 のアルカリ性である。一方、群馬県の草津白根山の湯釜（酸性湖）は pH1 付近の酸性である。イスラエルとヨルダンに接する死海の塩濃度は約 30% である。地球には、このように人間の快適な生活環境を考えると極限的ともいえる環境が多数あるが、そのような環境でも多様な生物が生存している。生物の生育は、栄養源、温度、pH、酸素、圧力、塩濃度などの環境因子に影響されるが、これらの環境因子に対する生物の好みや耐性は、生物種によって異なる。地球が誕生してから現在に至るまでに、地球に誕生した原始的な生物が地球のさまざまな環境変化に適応し、現在の地球の多様なニッチ（生育環境）で生き残ることができたものと考えられる。

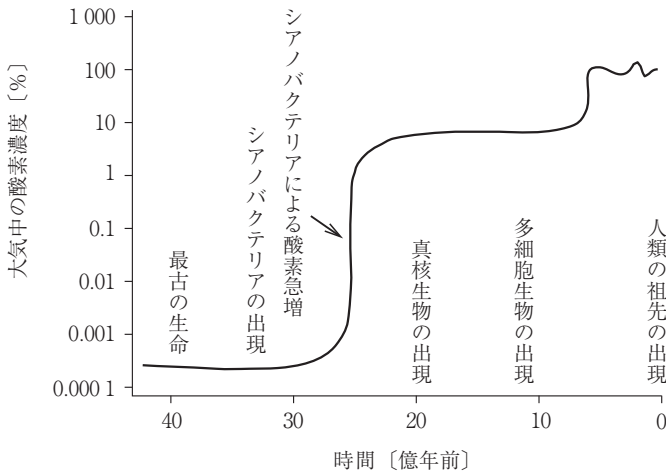
## 1.2 地球の誕生と環境変化

銀河系を含む宇宙は約 138 億年前にビッグバンにより誕生したとされる。宇宙進化の過程で、銀河の片隅に位置していた大きな星の**超新星爆発**が起こり、放出された塵<sup>ちり</sup>が集まった原始星雲から太陽系が形成された。原子星雲の中の塵が固まってできた小さな隕石がつぎつぎと集まって、微惑星をつくり、微惑星はさらに衝突・合体を繰り返し、地球がつけられた。地球化学的な年代測定法によると、地球誕生は約 46 億年前であると考えられている。微惑星同士の衝突のエネルギーで、誕生したばかりの地球はマグマの熱球であった。地球表面のマグマの海は**マグマオーシャン** (magma ocean) と呼ばれている。

マグマオーシャンの時代には、地球の表層は部分的に溶け、重い鉄はマグマオーシャンの底に沈み、落下する鉄の解放する落下エネルギーによって、地球内部は急激に高温になるとともに核 (コア) が形成された。また、軽い成分のケイ素は地表に浮かび上がった。このためコアの上に、鉄とケイ素とさまざまな酸化鉱物からなるマントル層、さらにその上を酸化鉄とアルミニウムとケイ素の化合物からなる玄武岩の層ができた。これらが**地殻**である。また、マグマオーシャンが形成されるころには、微惑星の衝突による衝撃によって地球内部のガスが放出され、また衝突し、爆発・蒸発した微惑星からも大量の水蒸気と二酸化炭素が脱ガスした。したがって、この時期の大気の組成は主に水蒸気と二酸化炭素であった。

原始地球の大気の組成については<sup>いま</sup>未だわからないことが多いが、地殻が形成され、激しい火山活動が始まると、マグマとともに水蒸気、二酸化炭素、アンモニア、メタン、窒素、一酸化炭素などのガスがさらに放出され、厚い雲が地球を覆うようになったと考えられている。大気には酸素はわずかしか含まれておらず、還元的であったとされる。一方、地球の大気は酸化的であったとする説もある。

地球に衝突する微惑星の数も減り、火山活動も収まると、地表の温度も低下し、冷やされた水蒸気により激しい雨が大地に降り注いだ。この結果、原始の海が形成されたと考えられている。現在の地球に残された最古の岩石である約40億年前の変成岩から、40億年前には海ができていたことが考えられる。後で述べるように、生命の誕生は約40億年前と考えられており、化学進化によって生命が誕生した期間は原始の海ができてから数億年の間であると考えられる。化学進化については14章を参照されたい。32億年前にシアノバクテリア(cyanobacteria, らん藻)のような光合成細菌が出現し、大気中の酸素濃度が増加していった(図1.1)。この結果、多量の嫌気性細菌が絶滅した。また、これまでの研究から、地球史上少なくとも3回、約6億年前、約7億年前、約22億年前に、全球凍結が起きたと考えられている。これは、スノーボールアース仮説(snowball earth hypothesis)と呼ばれている。全球凍結した地球でも、凍結した氷は地球内部からの熱で溶かされるため、1000 m程度の氷の下には、液体の水が残り、そこで生物が生き延びたと考えられる。全球凍結後、生物進化のカンブリア大爆発が起きており、全球凍結が多細胞生物の



酸素濃度は、現在の大気の濃度を100%とした

図1.1 大気中の酸素濃度の変化 (Kump 2008)

進化の引き金になった可能性がある。また、いまから6500万年前には、巨大な隕石が地球に衝突し、その当時存在していた恐竜が絶滅したと考えられている。隕石の衝突により巨大な津波が発生し、巻き上げられた粉塵によって、太陽光が数ヶ月間遮られた。この結果、気温の低下や光合成の停止などにより、大型の生物が絶滅してしまった。このように、現在までに、さまざまな地球環境の大きな変化があった。

### 1.3 生命の誕生と代謝系の進化

原始地球では、化学進化によって生成した有機化合物が原始海洋に高濃度に蓄積し、**原始スープ** (primordial soup) ができた。生命の起源については14章を参照されたい。最初の生命は、原始スープ中の有機物を利用し、増殖したと考えられる。シアノバクテリアが現れるまでは、酸素分子を利用することは困難であり、無酸素条件下で可能なエネルギー生産の機構が利用された。有機物がなくなると、無機化合物の化学反応のエネルギーを利用して、二酸化炭素から有機物を合成できる生物が現れた。また、光エネルギーを利用して、二酸化炭素から有機物を合成できる生物も誕生した。シアノバクテリアは植物と同様に光を吸収して、水を分解して酸素を発生し、二酸化炭素を固定できる(光合成)。シアノバクテリアのような酸素発生型光合成生物の出現により、地球の大気中に酸素が蓄積していった。多量に発生する酸素分子は強い毒性を示すことから、それまでの低酸素濃度で繁栄していた嫌気性細菌類は大量に絶滅したと考えられる。一部の嫌気性細菌は地中などの酸素濃度が低い場所で生き延びた。

生物は、生育に必要なエネルギー源およびおもな炭素源によって分類することができる。エネルギー源では、光エネルギーを利用する**光合成生物**と化学エネルギーを利用する**化学合成生物**に分けられる。また、炭素源では二酸化炭素で生育できる独立栄養生物と有機炭素源を必要とする従属栄養生物に分けることができる。この結果、**光合成独立栄養** (photoautotrophic, 光をエネルギー

源とし、二酸化炭素をおもな炭素源とする)、**光合成従属栄養** (photoheterotrophic, 光をエネルギー源とし、有機化合物をおもな炭素源とする)、**化学合成独立栄養** (chemoautotrophic, 化学エネルギーを用い、二酸化炭素をおもな炭素源とする)、**化学合成従属栄養** (chemoheterotrophic, 化学エネルギーを用い、有機化合物をおもな炭素源とする) の四つのタイプに分類することができる。大気中の酸素濃度が急速に増大したと考えられる約 20 億年前までに、上記の四つのタイプの原核生物が出そろった。

## 1.4 真核生物の誕生

大気中に酸素が出現してから、真核生物が現れた。真核細胞は、2 種類の微生物の共生から始まったとされている。ある微生物に別の微生物が侵入し、共存できるようになった。侵入された大きいほうの細胞を**宿主** (**宿主** <sup>しゆくしゅ</sup>), 小さいほうの細胞を**シンビオント** (**共生者**) と呼ぶ。このような共生は**細胞内共生** (endosymbiosis) と呼ばれており、マーグリス (L. Margulis) によって提案された (図 1.2)。細胞内共生関係になったあと、シンビオントは多くの遺伝子を捨て、一部は侵入した細胞の染色体に移した。この結果、シンビオントは、真核生物の細胞内でエネルギーの生産を担う細胞小器官であるミトコンドリアになった。ミトコンドリアの内部には、退化し縮小した小さな DNA が残っている。また、同様なシナリオで宿主にシアノバクテリアに近い細菌が侵入して、共生関係となり光合成を担うクロロプラストになったとされる。クロロプラストの細胞内にも DNA が残っている。真核細胞の基になった宿主は高度好熱性、嫌気性の硫黄代謝性古細菌であったと考えられている。また、シンビオントとなったのは、ミトコンドリアについては寄生性細菌のリケッチア、クロロプラストについては酸素発生型光合成細菌 (シアノバクテリアに近い細菌) であると考えられている。核や小胞体などについては、ロバートソン (J. D. Robertson) が唱えた、細胞膜が細胞内部にくびれこんで細胞小器官ができたとする**単位膜** (unit membrane) 説が支持されている。

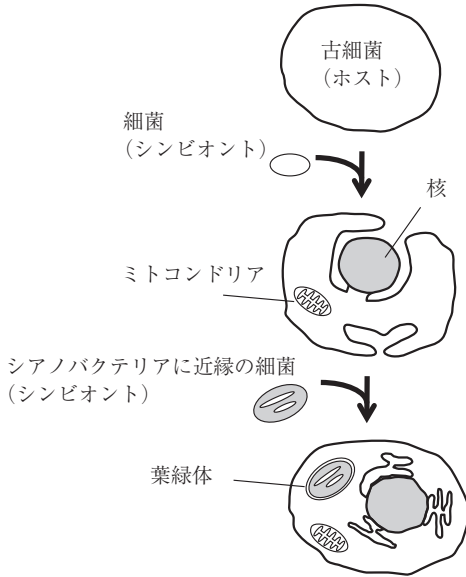


図 1.2 真核生物の形成過程

## 1.5 リボソーム RNA による生物の分類

19 世紀後半のダーウィンの進化論を背景に、生物の類似性から系統分類学が成立し、1969 年にホイタッカー (R.H. Whittaker) によって古典的分類法である **5 界分類法** が提唱された。5 界分類法では、生物を動物、植物、菌類、原生生物、モネラ (バクテリア) の五つの界に分ける分類法である。また、細胞構造に基づく分類もなされるようになり、細胞内に核をもつ **真核生物** (eukaryotes) と核をもたない **原核生物** (prokaryotes) とに分けられた。

これに対して、アメリカ イリノイ大学のウーズ博士 (C.R. Woese) は、リボソーム RNA の配列に基づく分類を試みた。リボソームは大小二つのサブユニットからなり、どちらのサブユニットも RNA と多数のタンパク質からできている。小さいほうのサブユニットにはどんな生物でも RNA が 1 種類しか存在せず、全生物を比較するのに都合がよい。ウーズは、小サブユニットのリボソーム RNA を調べることにより、生物は三つの大きな群に分かれることを発

# 索引

<b>【あ】</b>	エウロパ	213	岩石パンスベルミア	215	
アーキア	7, 31	液体状の水	33	乾燥適応仮説	171
アーキオール	121	エステル型脂質	85	緩歩動物	165, 177
アクウィフェクス門	69	エーテル型脂質	86	乾 眠	174
アクチノバクテリア門	69	エンケラドゥス	214	<b>【き】</b>	
アクチベーター	138	<b>【お】</b>		キシラナーゼ	64
アダプタータンパク質	138	オイルフライ	132	機能未知遺伝子	167
圧力応答プロモーター	112	欧州宇宙機構	214	求エルゴン反応	125
アデニン	17	オキシゲナーゼ	153	吸収線量	157
アデノシン三リン酸	16	オスマライト	106	休眠シスト	178
アデノシン二リン酸	17	オルト開裂	153	共 生	200
アニオンポンプ	91	オルト開裂経路	153	共生者	5
アポトーシス	186	<b>【か】</b>		共輸送系	90
アルカリ湖	49	化学化石	210	極限環境微生物	8
アルカリ浸出	52	化学合成共生生物	200	<b>【く】</b>	
アルテミア	178	化学合成従属栄養	5	グアニン	17
暗黒分子雲	207	化学合成生物	4	クマムシ	165, 174, 177
アンチポーター	90	化学合成独立栄養	5	グラニュール	130
アンヒドロビオシス	174	化学合成微生物	200	グラム陰性	49
<b>【い】</b>		化学進化	3, 206	グラム染色	49
硫黄酸化物	146	各種極限環境微生物	204	グラム陽性	49
イオンスカベンジャー	185	過酸化脂質	160	クリプトビオシス	10, 174
イオンポンプ	91	火 星	210	グリーンフィールド	149
一価不飽和脂肪酸	38	活性汚泥法	129	クレンアーキオータ門	69
一酸素添加酵素	153	活性化体積	105	<b>【け】</b>	
遺伝子工学用試薬	169	活性酸素種	159	形質転換	98
<b>【う】</b>		活性酸素種	188	形質転換体	99
宇宙航空研究開発機構	215	芽 胞	162	ゲノム解析	109
宇宙塵	207	ガラス化モデル	179	原核生物	6
宇宙生物学	206	顆粒状凝集体	130	原始スーブ	4
宇宙放射線	158	カルジオリピン	57	原始生命	208
<b>【え】</b>		カルドアーキオール	121	<b>【こ】</b>	
エイコサペンタエン酸	38	カルボニル化タンパク質	160	好圧性微生物	101
栄養共生	125	カロテノイド	94	好アルカリ性細菌	46
		管状眼	196		





長鎖ポリアミン	22	バイオステイミュレーション	149	プロテオバクテリア門	69
超新星爆発	2	バイオ脱硫	154	プロトン駆動力	58, 71, 89
		バイオプレシピテーション	150	プロトンポンプ	91
<b>【つ】</b>		バイオリアクター	52	分岐型ポリアミン	22
通性好圧性微生物	102	バイオリーチング	74	分子シールドモデル	185
通性好アルカリ性細菌	48	バイオレメディエーション	52, 149	分子振動	102
		胚種広布説	215	<b>【へ】</b>	
<b>【て】</b>		バクテリアマット	200	米国航空宇宙局	211
低度好塩性微生物	79	バクテリアリーチング	151	ベクター	98
ディープアクアリウム	201	バクテリオルベリン	95	偏性(絶対)好アルカリ性細菌	48
適合溶質	24, 83, 179	バクテリオドロブシン	91		
テトラエーテル脂質	73	発エルゴン反応	125	<b>【ほ】</b>	
電子伝達	113	ハビタブルゾーン	213	放射性物質	156
転写制御因子	138	ハロドロブシン	91	放射線	156
天然原子炉説	171	半減期	157	放射線過重係数	157
電離放射線	156	パンスペルミア説	215	放射線感受性変異株	167
				放射線抵抗性細菌	160
<b>【と】</b>				放射線誘導性タンパク質	168
凍結保護材	33	<b>【ひ】</b>		放射能	156
独立栄養微生物	200	ピエゾライト	106	ホスト	5
ドコサヘキサエン酸	38	光化学オキシダント	146	ポリアミン	22
突然変異	160	光サイクル	93		
ドナン効果	56	ビクロフィラス属古細菌	70	<b>【ま行】</b>	
ドメイン	31	非好塩性微生物	78	膜脂質	24
トランスポーター	138	ヒストン	18	マグマオーシャン	2
トレーサー	35	ヒストン様タンパク質	18	水代替モデル	179
トレハロース	179	微生物タンパク質	131	ムレイン	86, 121
		ビッグバン	2, 158	メタ開裂	153
<b>【な行】</b>				メタ開裂経路	153
ナトリウム駆動力	58, 90	<b>【ふ】</b>		メタロチオネイン	151
ナトリウムポンプ	90	ファミリー	137	メタン菌	117
二酸素添加酵素	153	ファーミキューテス門	69	メタン生成古細菌	7, 117
二相反応系	140	フェレドキシン	96	メタン発酵法	129
ニトロスピラ門	69	フェロプラズマ属古細菌	70	モノオキシゲナーゼ	153
二本鎖切断	160	フォボドロブシン	91		
熱ショックタンパク質	187	フォルディング	39	<b>【や行】</b>	
熱水噴出孔	208	複製開始点	98	薬剤排出ポンプ	138
熱変性	27	不凍タンパク質	33	有機溶媒耐性	136
ネムリユスリカ	177	プトレシン	22	有機溶媒耐性微生物	132
ノックス	147	負の超らせん	19	ユーリアーキオータ門	69
		浮遊粒子状物質	146		
<b>【は】</b>		ブラウンフィールド	149	<b>【ら行】</b>	
バイオアキュミュレーション	150	プラスミド	98		
バイオオーギュメンテーション	149	ブラックスモーカー	199	らん藻	3

リバースジャイレース	18	輪形動物ヒルガタワムシ類	165	ルシフェリン-ルシフェラ	
リボザイム	208			ーゼ発光現象	194
リポ多糖	139	リン脂質	139	レチナール	91
流動性	35				

<b>[A~C]</b>		JAXA	215	<i>Photobacterium profundum</i>	
A	17	<b>[L]</b>		SS9	109
ABC 型	137	LEA タンパク質	182	<i>Picrophilus oshimae</i>	70
ADP	17	log $P_{ow}$ 値	133	poly-extremophiles	46
AMD	75	LPS	139	<b>[R]</b>	
ARD	75	LUCA	209	RecD	110
ATP	16	<b>[M]</b>		RNA シャペロン	43
bR	91	<i>mar-sox</i> レギュロン	138	RNA ワールド仮説	208
C	17	MATE 型	137	RND 型	137
CAHS タンパク質	186	<i>Methanobacteriales</i> 目	122	ROS	160
CGTase	63	<i>Methanocellales</i> 目	123	<b>[S]</b>	
<b>[D]</b>		<i>Methanococcales</i> 目	122	SAHS タンパク質	186
DHA	38	<i>Methanomassiliicoccales</i> 目	124	SCP	131
DNA 修復	166	<i>Methanomicrobiales</i> 目	122	<i>Shewanella violacea</i> DSS12	111
DNA 防御	166	<i>Methanopyrales</i> 目	124	SMR 型	137
DNA ポリメラーゼ	27	<i>Methanosarcinales</i> 目	123	SOS 応答	168
DSB	160	MF 型	137	SOx	147
<b>[E]</b>		MIC	133	S 層	87, 121
EPA	38	<b>[N]</b>		<b>[T]</b>	
ESA	214	Na <sup>+</sup> 駆動力	58, 90	T	17
<i>Euryarchaeota</i> 門	122	Na <sup>+</sup> /H <sup>+</sup> アンチポーター	59	Taq ポリメラーゼ	28
<b>[F~H]</b>		NASA	211	TCA 回路中間体	153
FABP	187	NOx	147	ToxR	110
Fd	96	NtrB	112	<b>[U, X]</b>	
G	17	NtrBC	112	UASB 法	130
GC 含量	42	NtrC	112	xylanase	64
H <sup>+</sup> 駆動力	58, 71, 89	<b>[O]</b>		<b>[ギリシャ文字]</b>	
hR	91	ori	98	$\alpha$ -サイクロデキストリン	63
HSP	187	<b>[P]</b>		$\beta$ -サイクロデキストリン	63
<b>[I, J]</b>		PCR	27	$\beta$ 酸化	152
<i>in vitro</i>	19	Pfam	183	$\gamma$ -サイクロデキストリン	63
<i>in vivo</i>	19				
ISS	215				

— 著者略歴 (つづき) —

中村 聡 (なかむら さとし)

1978年 東京工業大学工学部化学工学科卒業  
1980年 東京工業大学大学院修士課程修了 (化学工学専攻)  
1980年 帝人株式会社研究員  
1989年 工学博士 (東京工業大学)  
1990年 東京工業大学助手  
1993年 東京工業大学助教授  
2002年 東京工業大学教授  
現在に至る

極限環境生命 — 生命の起源を考え、その多様性に学ぶ —

Extremophiles — Think about the Origin of the Life and Learn from the Diversity —

© Ito, Doukyu, Narumi, Higashibata, Tamegai, Kunieda, Itoh, Sato, Nakamura 2014

2014年11月12日 初版第1刷発行



検印省略

著者 伊藤政博  
道久則之  
鳴海一成  
東端啓貴  
為我井秀行  
國枝武和  
伊藤藤隆  
佐藤孝子  
中村聡

発行者 株式会社 コロナ社  
代表者 牛来真也  
印刷所 萩原印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話 (03) 3941-3131 (代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-06747-7

(金) (製本: 愛子製本所)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられております。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします