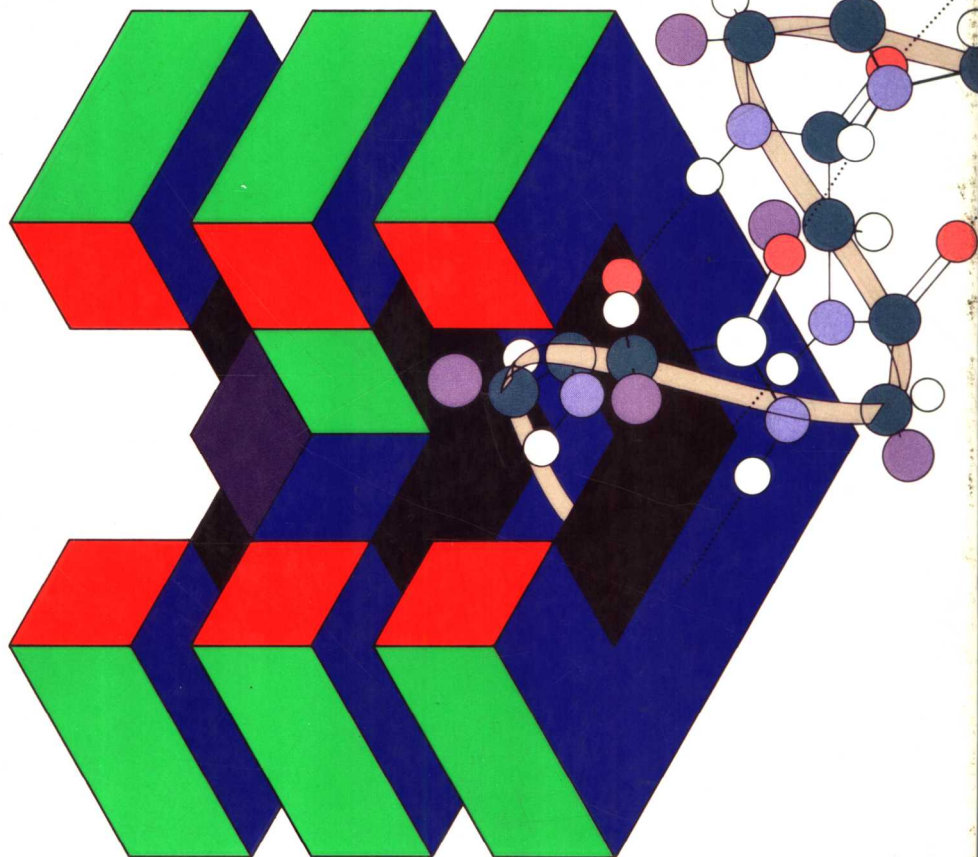


# 応用生物学の基礎

板垣 博・高島文三

都築 清・中村経紀・松香光夫／編



講談社サイエンティフィック

# 応用生物学の基礎

板垣 博・高島文三

都築 清・中村経紀・松香光夫／編

講談社サイエンティフィク

## 編者紹介

いさかき 博  
板垣 博

1953年 東京文理科大学生物学科卒業  
現在 麻布大学獣医学部教授

なかむら 経紀  
中村経紀

1950年 北海道大学理学部動物学科卒業  
現在 麻布大学獣医学部教授

たかしま 文三  
高島文三

1944年 東京大学理学部植物学科卒業  
現在 帝京大学薬学部教授

まつかみ 光夫  
松香光夫

1964年 玉川大学農学部農学科卒業  
1969年 東京大学大学院理学系生物化学  
修了  
現在 玉川大学農学部教授

つづき 清  
都築 清

1945年 千葉大学文学部生物学科卒業  
現在 日本獣医畜産大学教授



NDC 460 278 p. 21cm

応用生物学の基礎

定価3200円

1986年4月1日 第1刷発行

編者 板垣 博・高島文三・都築 清  
中村経紀・松香光夫

発行者 野 間 惟 道

発行所 株式会社 講 談 社

〒112 東京都文京区音羽 2-12 21  
電話 (03) 945 1111(大代表)

編集 株式会社 講談社サイエンティフィック  
代表 加 藤 勝 久

〒162 東京都新宿区新小川町9 25 日商ビル  
電話 (03) 235 3701

印刷所 株式会社 廣濟堂

製本所 株式会社 堅省堂

落丁本・乱丁本は、講談社書籍製作部宛にお送り下さい。  
送料小社負担にてお取り替えいたします。

© H. Itagaki, B. Takashima, K. Tsuzuki,  
T. Nakamura, M. Matsuka, 1986

Printed in Japan

ISBN4-06-139664-1(0) (KS)

## 執筆者一覧（執筆章）

* 松	か	みづ	お	玉川大学農学部教授（1，6章）
大	香	光	夫	
板	し	昌	衛	麻布大学教養部教授（2章）
* 都	森			
高	垣		博	麻布大学獣医学部教授（3章）
山	が		清	日本獣医畜産大学獣医畜産学部教授（4，9章）
宮	き			
福	づ		三	帝京大学薬学部教授（5章）
* 中	島	ぶん	宏	帝京大学文学部教授（7，12章）
石	し			
	岸		平八郎	前 麻布大学教養部教授（8章）
	や		秀	麻布大学教養部助教授（8，11，13章）
	ま		雄	
	山		紀	麻布大学獣医学部教授（10，11章）
	お		のり	
	か		経	麻布大学獣医学部教授（13章）
	が		まこと	
	井		恂	

〈\*は編者，執筆順〉

## 緒 言

大学の教養課程における“生物学”の講義内容は、それを担当する教師によって、とりあげられる生物学の分野や重点の置きどころは千差万別であるが、一般的には対象となる学生が文科系の学生と理科系の学生とでは、かなり違った内容のように見受けられる。同じ理科系といっても医学、歯学、農学、獣医学、薬学、などの応用生物系の学生を対象とした教養課程の“生物学”の講義内容は、専門課程の授業科目と、高校における“生物”の履修内容の中間にあって、絶えず専門課程の教師と学生の双方から問題を投げかけられ、論議的となっている。すなわち専門課程からは“生物学の基礎をしっかりと教えて欲しい、さもないと専門科目の授業の前に生物学から入らねばならない”という声が聞かれ、学生側からは“高校生物の焼直しで興味がない”というのから“高校で生物を全然履習しなかったので授業について行けない”というのまで種々雑多である。生物系学部における教養課程“生物学”の講義内容は、専門課程からの要望と高校での“生物”履習事情を加味しながら、担当教師がそれぞれ独自のプログラムを組み、講義要目を作成している場合が多いため、既刊の生物学教科書は60種類以上あるが、正規の教科書として学生に購入させるものはなかなか見当たらない。しかしながら、学生は一般にノート講義より教科書による講義を望むので、参考書として2、3の生物学教科書を紹介することになっている。

最近における生命科学やバイオテクノロジーの進歩は目覚ましいばかりの日進月歩で、これらの生物学教科書の多くが増補改訂の必要に迫られているようである。このようなときに、“応用生物系”に進む学生を対象として教養課程“生物学”の教科書をまとめてはどうかとの話があった。各大学からの要望やこれまでの経験をもちより本書の刊行ということになったわけである。

応用生物系といっても広範な領域であるので、本書としては生物学の全分野にわたって簡潔化をはかり、骨格が明快になるように記述することとした。第

## 緒言

1章は“生物学とは何か”を掲げ、生物学の歴史や最近のライフサイエンス、バイオテクノロジーの問題を概観して、生物学とその応用への興味と見通しを抱かせる配慮をし、生物学の全分野を13章に分けてカバーしながら、専門課程の基礎となる事項を今日的角度から取り上げることを試みた。最後の第13章では、最近の応用生物学分野のトピックとしていわゆる“バイオ”問題すなわち生物学を利用した最先端技術を解説した。

特に重点指向の分野については、本書をテキストとする担当教員がユニークな肉付けをしてくれるだろうが、専門課程に進んでも、基礎の部分が筋として残っており、折にふれて開いて役に立つ内容にしたつもりである。そのために見開きの左ページに簡潔な本文を、右ページに関連の代表的な図表をできる限り多く取り入れ、術語のアドバンス的説明や英語訳、人名など入れて、学生諸君の理解に役立つよう配慮した。不備な点多々あろうかとおもいますが、お教えいただきながらより一層使いやすく役に立つ教科書に改めていきたいと考えている。

おわりに、ご多忙の中をご執筆いただいた諸先生方のご協力に対して心より厚く御礼申し上げるとともに、企画の当初から編集委員のそれぞれの発言をユニークな体裁に整えて下さった武藤修一氏をはじめ、講談社サイエンティフィクの皆様にご心より感謝の意を表したい。

1986年3月

宮山 平八郎

# 目 次

<b>1 章 生物学とライフサイエンス</b> .....	1
1.1 生物学の歴史 .....	1
1.2 ライフサイエンスとバイオテクノロジー .....	4
1.3 生物学の解剖 .....	10
<b>2 章 生命の起原と進化</b> .....	13
2.1 地球上における生命系物質の起原と進化 .....	13
2.2 地球上における初期生命の発達 .....	16
2.3 植物界の進化 .....	18
2.4 動物界の進化 .....	22
2.5 ダーウィン学説の展望 .....	26
2.6 系統分類と系統進化学 .....	28
<b>3 章 生物の分類</b> .....	34
3.1 分類法 .....	34
3.1.1 分類体系 .....	36
3.1.2 命名法 .....	38
3.2 生物の分類 .....	40
3.3 動物の分類 .....	40
3.3.1 原生動物亜界 .....	40
3.3.2 刺胞動物門 .....	40
3.3.3 扁形動物門 .....	42
3.3.4 線形動物門 .....	42
3.3.5 軟体動物門 .....	42

## 目次

3.3.6	環形動物門	42
3.3.7	節足動物門	42
3.3.8	棘皮動物門	44
3.3.9	原索動物門	44
3.3.10	脊椎動物門	44
3.4	植物と菌類の分類	44
3.4.1	植物界	46
3.4.2	細菌門	50
3.5	細菌とウイルスの分類	52
3.5.1	細菌門	52
3.5.2	ウイルス	52
<b>4章</b>	<b>生体の構成と機能</b>	<b>54</b>
4.1	細胞の構造と機能	54
4.1.1	原形質	54
4.1.2	後形質	62
4.2	細胞の増殖と分化	62
4.2.1	細胞の増殖	62
4.2.2	細胞の分化	66
4.3	動物の組織・器官と器官系	68
4.3.1	動物の組織	68
4.3.2	動物の器官と器官系	72
4.4	植物の組織・組織系と器官	78
4.4.1	植物の組織	78
4.4.2	組織系	80
4.4.3	植物の器官	80
<b>5章</b>	<b>物質代謝とエネルギー</b>	<b>84</b>
5.1	生体構成物質	84
5.1.1	タンパク質	86
5.1.2	脂質	86

5.1.3	糖質	88
5.1.4	無機質	88
5.1.5	核酸	88
5.2	栄養と代謝	90
5.2.1	動物の栄養	90
5.2.2	植物の栄養	92
5.3	酵素	95
5.3.1	酵素発見の歴史	96
5.3.2	酵素反応因子	96
5.3.3	酵素反応機構	98
5.3.4	アロステリック効果	100
5.3.5	酵素の種類	100
5.4	ATPの産生と利用	103
5.4.1	ATP	103
5.4.2	呼吸	104
5.4.3	クエン酸回路	105
5.4.4	水素と電子伝達系	107
<b>6章</b>	<b>生体における反応と調節</b>	<b>108</b>
6.1	生体反応と調節	108
6.2	神経系による調節	110
6.2.1	感覚器官	110
6.2.2	ニューロンと興奮の伝導	110
6.2.3	興奮の伝達とその経路	114
6.2.4	神経系と脳	114
6.3	ホルモンによる調節	116
6.3.1	ホルモンの種類と研究法	116
6.3.2	ホメオスタシス	120
6.3.3	性転換	122
6.3.4	植物のホルモン	122
6.3.5	開花の調節と光周性反応	124

## 目次

6.4 免疫の機能と生体防御 .....	124
6.4.1 食作用と細胞性免疫 .....	126
6.4.2 抗原-抗体反応 .....	126
6.4.3 免疫グロブリンの構造とその産生 .....	127
<b>7章 動物の行動</b> .....	<b>130</b>
7.1 本能と学習 .....	130
7.1.1 生得的行動 .....	130
7.1.2 学習された行動 .....	130
7.2 生体のリズム .....	136
7.2.1 概日リズム (サーカディアンリズム) .....	136
7.3 フェロモン .....	136
7.4 動物の社会 .....	138
7.4.1 社会関係 .....	138
<b>8章 遺伝と変異</b> .....	<b>148</b>
8.1 メンデル遺伝 .....	148
8.1.1 メンデルの法則 .....	148
8.1.2 形質遺伝学 .....	148
8.2 遺伝子と染色体 .....	150
8.3 突然変異 .....	152
8.3.1 遺伝子突然変異 .....	152
8.3.2 染色体突然変異 (染色体異常) .....	152
8.3.3 体細胞突然変異 .....	152
8.3.4 人為突然変異 .....	154
8.4 連関 (連鎖) と組換え .....	154
8.4.1 連関 .....	154
8.4.2 連関の検出 .....	154
8.4.3 交叉価 (交叉率) .....	156
8.5 染色体地図 .....	156
8.5.1 遺伝子地図 .....	156

8.5.2	細胞学的地図	158
8.6	細胞質遺伝	158
8.6.1	色素体	158
8.6.2	雄性不稔	162
8.6.3	カッパー粒子	162
8.6.4	細菌にみられる細胞質遺伝	164
8.7	集団遺伝	164
8.7.1	ハーディー・ワインベルグの法則	164
8.7.2	遺伝子頻度の変化	166
8.7.3	小集団における近交係数の増加	168
<b>9章</b>	<b>核酸と遺伝情報</b>	<b>170</b>
9.1	遺伝子としてのDNA	170
9.1.1	DNAが遺伝子とされた直接的な証拠	170
9.1.2	核酸の構造・種類・機能	174
9.2	遺伝暗号と解読	178
9.2.1	トリプレットコード説	180
9.2.2	セントラルドグマ	180
9.2.3	DNAの複製	180
9.3	タンパク質合成	182
9.4	遺伝子作用の調節と形質発現	186
9.4.1	オペロン説	186
9.4.2	真核細胞における調節	188
<b>10章</b>	<b>性と生殖</b>	<b>191</b>
10.1	生殖法	191
10.2	減数分裂と配偶子形成	191
10.2.1	減数分裂	191
10.2.2	配偶子の形成	192
10.2.3	生殖支配のホルモン作用	196
10.3	受精	196

## 目次

10.3.1	単精と多精	196
10.3.2	動物の受精	198
10.3.3	植物の受精	198
10.4	性の決定	198
10.4.1	遺伝的な性	200
10.4.2	生殖腺の性	200
10.5	性の成熟と性周期	202
10.5.1	雄	202
10.5.2	雌	202
<b>11章</b>	<b>発生と分化</b>	<b>205</b>
11.1	初期発生	205
11.1.1	カエルの初期発生	206
11.1.2	哺乳動物の初期発生	208
11.2	分化	210
11.3	器官形成	212
11.4	発生の調節	214
11.5	老化と寿命	215
<b>12章</b>	<b>生態系と環境</b>	<b>216</b>
12.1	生物の集団と環境	216
12.2	個体群の変動	216
12.2.1	個体群	216
12.2.2	個体数の変動	218
12.2.3	個体数増加の法則	218
12.3	生物群集と生態系	224
12.3.1	生物群集と食物連鎖	224
12.3.2	生態系	224
12.3.3	生物生産	226
12.3.4	生態系の遷移	228
12.3.5	人類と生態系	232

<b>13章 バイオテクノロジー</b> .....	235
13.1 バイオテクノロジーの展開 .....	235
13.1.1 バイオテクノロジーとバイオインダストリー .....	235
13.1.2 分子生物学の発展とバイオテクノロジー .....	236
13.2 遺伝子工学 .....	238
13.2.1 遺伝子の操作法 .....	238
13.2.2 実際の成果 .....	240
13.3 細胞工学 .....	240
13.3.1 染色体移植 .....	240
13.3.2 核移植 .....	242
13.3.3 動物細胞の融合 .....	242
13.3.4 植物細胞の融合 .....	246
13.3.5 動物受精卵移植 .....	248
13.3.6 ウシの採卵移植 .....	248
13.4 発生工学 .....	252
13.4.1 キメラ動物の作製 .....	252
13.4.2 人為的雌性発生の技術 .....	256
13.4.3 植物の再分化と個体発生 .....	258
13.5 バイオテクノロジーと社会 .....	258
参考書 .....	262
索引 .....	263

# 1 章 生物学とライフサイエンス

## 1.1 生物学の歴史

生物学<sup>1)</sup>を学び、それを基礎としてその応用をはかって人類の福祉に役立てようとする諸君は、まず生物学とはどんな学問なのかを把握しておく必要がある。高等学校までの教育課程では主として理科、あるいは生物という科目で、いろいろな生物の構造や機能、また生物界のしくみに関する知識を得てきたわけである。大学で扱う生物の範囲も、広がりこそすれ同じ生物を扱うのであるが、学問としての生物学は記憶するための知識ではなくて、論理的なつながりをつけて理解すべきものであろう。そのようにしてこそ、科学本来の予見性が満たされ、応用して役に立つものとなるはずである。

一つの筋書として、時間的な流れを中心とした歴史的な把握の仕方がある。ものごとが現在あるのは、何らかの意味で過去の積み重ねの結果と考えてよい。現在の生物学も同様に過去の多くの先人の業績の上に築きあげられたものにちがいない。実験科学<sup>2)</sup>としての生物学を支えてきたのは、

- (1) 意識を持った観察眼による詳細な観察<sup>3)</sup>結果に基づき、
  - (2) その観察された事象について論理的な仮説<sup>4)</sup>を組み立て、
  - (3) 仮説を検証するために次の段階の実験<sup>5)</sup>を行って、(1)に戻る
- ということを前提とした、いわゆる実験的な手法である。

したがって、生物学上の業績をたずねてみれば、それが形になるまでの背景、その時点までの問題点、実験・思考上の工夫など、一定の結果が得られた必然性が理解できるはずである。残念ながら、一つ一つの場合に立ち入って検討するいとまはないので、生物学の歴史の概略を新しい分野の形成という観点から

## 1. 生物学とライフサイエンス

拾いながら年表として表 1.1 にまとめた。

学問の始めは哲学<sup>6)</sup>である。ギリシアの哲学者たちは生命とは何かを思案し、ターレスは機械論<sup>7)</sup>的に、ピタゴラスらは生氣論<sup>8)</sup>的に生物の根源をとらえようとした。これらの考え方はその後の生物学の発展を通じて盛衰があり、現代では総合化されている。一方で、目の前にいる生物たちを観察してみると、たいへんに変化に富んでおり、多様性をもったものであることに気がつく。この事情はギリシア時代から変わるものではなかったにちがいない。アリストテレスやその弟子のテオフラストスが、それぞれ動物や植物を観察してまわったことは、形態の観察とそれに基づく分類であった。紀元前 4 世紀の頃の記録は動物、植物ともに約 500 種ぐらいから出発している。この伝統は進歩の遅速はあったものの、18 世紀にリンネの二名法による整理と、交通手段の飛躍的發展とによって急速に広がり、現在では命名された生物種の数に 150 万を下らない（第 2 章参照）。

初めは「種」<sup>9)</sup>は変化しないものとして扱われたが、ダーウィンの「種の起源」<sup>10)</sup>以来、進化を念頭において生物を認識できるようになり、進化の道筋を踏まえた分類学、すなわち系統分類学<sup>11)</sup>が成立した。系統を明らかにするためにあらゆる手段を動員する必要がある、現在の分類学は新しい学問となっている。

年表（表 1.1）をみると、権威を解釈するような発展性の少ない時期（特記事項のないいわゆる暗黒時代）を経て、15 世紀頃のルネサンス<sup>12)</sup>によって目が開かれると、比較や、いわゆる実験による新しい発見が相次いだことがわかる。顕微鏡<sup>13)</sup>のような技術の進歩によって微生物<sup>14)</sup>の存在が明らかになると、一方で発達した化学的な取り扱いとかみあって、パスツールを旗手とする応用微生物学、発酵化学が発展してきた。

20 世紀の到来と同時にメンデルの遺伝の法則が再発見されると、遺伝学<sup>15)</sup>的現象こそ生物の本質としてあらゆる生物に共通の事象であることが明らかにされてゆく（第 8、9 章参照）。また、生物化学<sup>16)</sup>の発展は代謝生理、ビタミン、ホルモンなどの生理活性物質の研究を通じて、生物の物質的根拠を確立してきたのである。20 世紀も後半に入ると、DNA 分子が生物の根源に君臨していることが明らかになり、全ての生物が同じ基盤の上に立っていることを意識したセントラル・ドグマ<sup>17)</sup>が強調されるようになった。初期の多様性の生物学から、統

表 1.1 生物学史(年表)

年代	人名	内容
B.C.4C	ヒポクラテス (460? - 375?) アリストテレス (384-322) テオフラストス (372? - 287?)	医学の祖 動物学の祖「動物誌」「動物発生論」 植物学の祖「植物誌」
A.D.1C	ディオスコリデス	「薬物誌」
2C	ガレノス (129? - 200?)	「医学・解剖学・生理学」131巻
1543	A. ベサリウス	「人体の構造」
1570	アクアペンデンテのファブリキオ	比較解剖学, 発生学
1590	ヤンセン父子	複式顕微鏡発明
1628	W. ハーベイ	「心臓と血液の運動」近代生理学
1669	J. スワンメルダム	「無血動物概観」(昆虫の変態ほか)
1674	A. van レーウェンフック	原生動物(滴虫類の発見)
1694	J. P. de トゥルヌフォール	「基礎植物学」(属の概念確立)
1709	貝原益軒	「大和本草」
1735	C. von リンネ	「自然の体系」(分類学の基準, 命名法確立)
1766	A. von ハラー	「人体生理要綱」刺激生理学
1766	J. G. ケールロイター	植物の性および交雑の研究
1777	A. L. ラホアジェ	呼吸と酸素の関係を究明
1780	L. スパランツァーニ	動物の受精, 発生, 再生の研究
1796	E. ジェンナー	種痘を発明
1801	J. B. ラマルク	「無脊椎動物の体系」「生物学」造語
1820	E. J. サンチレル	「解剖哲学」比較解剖学
1822	F. マジャンデー	神経などの実験生理学
1828	K. E. von ベーア	「動物の発生」卵から胚葉の形成

(5頁に続く)

- 1) biology
- 2) experimental science
- 3) observation
- 4) hypothesis. 仮説を立てるに至る推理の様式として, 類推(analogy), 帰納(induction), 演繹(deduction)が重要である。
- 5) experimentation

- 6) philosophy
- 7) mechanism. 生命は物理的, 化学的に説明できるとする考え方
- 8) vitalism. 生命は物理・化学的なものでない超自然的な力によって営まれていると考える
- 9) species
- 10) 「Origin of Species」
- 11) phylogenetic systematics
- 12) Renaissance
- 13) microscope
- 14) microorganism
- 15) genetics
- 16) biochemistry
- 17) central dogma. 9章参照

## 1. 生物学とライフサイエンス

一性の生物学とでも呼ぶべきものになってきたといえる。

ただし同じ原理で説明ができるからといって、多様性が減じたわけではない。一つの原理が150万種類以上の生物に対応するのであるから、これからの生物学は、“調節の”あるいは“制御の”生物学と考えることができる。

### 1.2 ライフサイエンスとバイオテクノロジー

科学<sup>18)</sup>という名が示す通り、生物学においてもいろいろな分野が細分化されて枝葉の茂った大木のようになった。これまでの生物学すなわち生命の科学としてのライフサイエンス<sup>19)</sup>は発展して応用技術を伴い、ヒトの生活に入り込んでそれを支える立場になったのである。最近では広い意味での生命と生活の科学をかたかな書きでライフサイエンスと表現することが多くなった。ライフサイエンスは新しい概念であるので、その全容が定式化されているわけではなく、観点によっていろいろに見ることができる。ここではライフの持つもう一つの意味、人生というものを中心にすえ、充実した生活を支える生物学分野の枠組みとしてとらえてみよう。そうしたときにライフサイエンスは次の3本の柱を考えることができる。すなわち、

#### A. バイオサイエンス<sup>20)</sup>

生物に関する科学、すなわち従来の生物学である。ライフサイエンスにあっては、基礎的な部分を構成している。次節にその内容を紹介するが、この本の取り扱い範囲は、ほぼバイオサイエンスに重なっている。

#### B. バイオテクノロジー<sup>21)</sup>

基礎生物学を土台にそれを応用する技術、応用生物学<sup>22)</sup>といってもよい分野である。最近では遺伝子工学などが脚光を浴びており、いわゆるバイオインダストリー<sup>23)</sup>などの先端技術が話題にもなっているので、それらについては第13章で扱うが、本来のバイオテクノロジーは、生物学的成果を応用する例えば農学、医薬学などの分野を含むものと考えればよい。ただし、それぞれの分野の発展の歴史は基礎的生物学の上にあるのではなく、例えば栽培植物の育成や農耕技術などの経験、病気のような現象の理解と対処が先あって独自の歴史を持っているので、専門分野に進んだときに、改めて学ぶであろう。現在では技術として応用されたものも集大成されて、それぞれが独立した学問分野となっ