

理系総合のための 生命科学 第4版

Contents

序	3
初版の序	5
執筆者一覧	7

第Ⅰ部 生命科学の基本概念

1章 生物の基本概念と基本構造 18

① 生物の多様性と共通性	18
② 生命の基本的属性	19
■ 5つの属性 ■ 生物学の変遷	
③ 生命を構成する物質	20
■ 生命をつくる元素 ■ 生命をつくる分子	
④ 細胞	21
■ 細胞膜 ■ 遺伝物質	
⑤ 原核生物と真核生物	22
■ 原核生物と真核生物の差異 ■ 細胞内共生	
⑥ 単細胞生物・多細胞生物と 生物にみられる階層性	23
⑦ 種概念	24
⑧ 生物の系統と分類	25
⑨ 進化	26

(Column) ●細胞内小器官に進化しつつある共生細菌…23 ●生物の名前の付け方…24
●3ドメイン生物の違い…26

2章 生物の増殖と恒常性 28

① 細胞の増殖	28
■ 細胞の分裂と細胞周期 ■ 原核細胞の分裂 ■ 真核細胞の分裂	
② 有性生殖と無性生殖	30
■ 核相 ■ 有性生殖 ■ 無性生殖	
③ 生物の生活環	32
■ 二倍体が優勢な生物 ■ 二倍体・一倍体がどちらもある生物 ■ 一倍体が優勢な生物	
④ 胚発生による多細胞体の形成	33
⑤ 外部環境と内部環境の恒常性	35
⑥ 恒常性のしくみ	36

(Column) ●有性生殖の意義…31 ●利他行動はどうして進化したのだろうか?…34
●なぜ海水魚は海水を飲めるのか?…38

3章 個体-環境相互作用 39

① 生物圏と環境への適応	39
■ さまざまな環境要因 ■ 環境への適応: 自然選択の作用 ■ 環境変動に応じた生活史の適応 ■ 環境への応答	
② 生態系の構造と動態	42
■ 食物網 ■ 生態系のエネルギー流 ■ 光合成による生産 ■ 葉の光合成 ■ さまざまな生態系における生産	

(Column) ●ヒマラヤ山脈を越えて渡りをするインドガン…40
●繁殖期に生殖と性行動はどのようにして同期的に調節されるのだろうか?…41
●生物時計のいろいろ(時間生物学)…44

第Ⅱ部 生命現象のしくみ —遺伝、膜構造、代謝を中心に

4章 タンパク質と酵素

50

1 タンパク質	50
■ 単位としてのアミノ酸 ■ ペプチド結合	
■ タンパク質の構造 ■ タンパク質の立体構造と機能 ■ タンパク質の変性 ■ タンパク質の修飾	
2 生物の生き様を決めるさまざまな酵素	54
■ 生命の化学反応 ■ 酵素の分類	

(Column) ●抗体…55 ●ミカエリス・メンテンの式の導き方…57

5章 核酸の構造とDNAの複製

61

1 DNAと遺伝子、その伝達と発現	61
■ 遺伝情報の伝達と発現 ■ DNA複製：遺伝情報を伝える ■ 遺伝子発現：遺伝情報を使う ■ ゲノムとは ■ 生物の遺伝子数	
2 核酸	62
■ 構成単位としてのヌクレオチド ■ 核酸 ■ DNAの二本鎖構造	

(Column) ●多くの酵素が複製にかかわる…66 ●複製の正確さ…67
●染色体ゲノムと染色体外ゲノム…70

6章 遺伝子の発現

71

1 セントラルドグマ	71
■ セントラルドグマとは ■ 遺伝暗号 ■ DNAのセンス鎖	
2 原核生物の遺伝子	72
3 真核生物の遺伝子	73
■ 真核生物の遺伝子構造の特徴 ■ クロマチン	
4 転写のしくみ	74
■ RNAポリメラーゼと転写 ■ 重要な転写開始：プロモーターとRNAポリメラーゼの結合 ■ mRNAの延長反応と終結	

(Column) ●遺伝暗号はどのように解読されたか?…73 ●DNA複製後の塩基修飾と遺伝情報複製…74
●スプライシングの微妙な調節…78 ●遺伝子の定義の歴史的変遷…79

7章 有性生殖と個体の遺伝

82

1 メンデルの法則と遺伝子	82
2 連鎖と遺伝的組換え	83
■ さまざまなタイプの変異 ■ 伴性遺伝 ■ 連鎖と遺伝的組換え ■ 遺伝学的地図	

3 酵素の基本的性質	54
■ 酵素の特異性と反応機構 ■ 酶素反応速度論	
4 酵素活性の調節例	58
■ アロステリック調節 ■ リン酸化による調節 ■ 代謝経路の進化多様性と合成生物学	

3 DNA複製のしくみ	64
■ DNA複製のアウトライナ ■ DNAポリメラーゼ ■ 半保存的複製 ■ 2つのDNA上で異なる伸長方法 ■ 複製のプライマー ■ 複製開始点と複製終了点 ■ 複製開始の調節	
4 DNA損傷と修復	68
■ DNA損傷と変異 ■ DNA修復	

5 転写後の修飾	75
■ RNAの種類 ■ mRNAプロセシング ■ RNAの細胞質への輸送	
6 翻訳のしくみ	79
■ リボソームと翻訳 ■ tRNAの構造とアミノアシルtRNA ■ アミノアシルtRNA合成酵素 ■ mRNA上のコドンとアミノアシルtRNAの出会い ■ 翻訳の開始、終了 ■ 原核生物での翻訳 ■ ポリソーム	

3 減数分裂における染色体の挙動と遺伝的組換え	86
■ 減数分裂とは ■ 減数分裂の意義 ■ 配偶子の形成	
4 受精	92

(Column) ●メンデルの法則に合わない母性遺伝…83 ●ハーディー・ワインベルクの法則…84
●遺伝性疾患と確率…85 ●組換えの開始はホットスポットで起こる…87
●卵の老化と不妊症・染色体異常の関係、おばあちゃん効果…89 ●植物の配偶子形成と受精…91

8章 バイオテクノロジー

93

- | | | | | | |
|----------|---|----|----------|---|-----|
| 1 | 核酸の操作と計測 | 93 | 3 | 形質変化をもたらす遺伝子導入技術 | 100 |
| | PCR法 DNAシークエンシング法 遺伝子診断 | | | 細胞に対する外来遺伝子の導入 トランスジェニックマウス ノックアウトマウス トランスジェニック植物 ゲノム編集 | |
| 2 | タンパク質の操作と計測 | 97 | | | |
| | イメージングとレポーター遺伝子 モノクローナル抗体を用いる方法 質量分析によるタンパク質の解析 | | | | |

9章 生体膜と細胞の構造

106

- | | | | | | |
|-------------------|-------------|----------------------|------------------|--------------|-----------|
| 1 生体膜 | 106 | 4 原核細胞に特徴的な構造 | 113 | | |
| ■ 脂肪酸 | ■ グリセロ脂質 | ■ 膜脂質の特徴 | | | |
| 2 膜タンパク質 | 109 | 5 真核細胞の構造と | | | |
| ■ 膜貫通タンパク質 | ■ 表在性膜タンパク質 | 細胞内小器官の機能 | 113 | | |
| 3 物質の生体膜通過 | 110 | ■ 核 | ■ 小胞体 | ■ ゴルジ体 | ■ リソソーム |
| ■ 受動輸送 | ■ 能動輸送 | ■ ベルオキソソーム | ■ エンドソーム | ■ 輸送小 | |
| ■ 受容体によるシグナル伝達 | | 胞と分泌小胞 | ■ 独自のDNAを含む細胞内小器 | 官ミトコンドリアと色素体 | ■ ミトコンドリア |
| | | | | ■ 色素体 | ■ 液泡 |

Column

- 脂肪酸と融解温度…107 ●ステロイドホルモンと内分泌搅乱物質…108
- スフィンゴ脂質と糖脂質…109 ●イオンチャネルの分子構造解明の歴史…111
- ミトコンドリアをもたない真核生物…117

10 章 代謝と生体エネルギー生産

119

- | | | | |
|--------------------------|-----|---------------------------------------|-----|
| 1 細胞活動と代謝 | 119 | 5 ATP 合成のしくみ | 123 |
| 2 生体エネルギー通貨 | 119 | ■ キナーゼによる ATP 合成 ■ ATP 合成酵素による ATP 合成 | |
| ■ ATP ■ NADH, NADPH | | | |
| 3 基本的な代謝の流れ | 121 | 6 呼吸と発酵：解糖系 | 124 |
| ■ 代謝の3段階 ■ 従属栄養生物と独立栄養生物 | | | |
| 4 糖質 | 123 | 7 呼吸：クエン酸回路・呼吸鎖 | 125 |
| | | ■ クエン酸回路 ■ 酸化的リン酸化と化学浸透説 | |
| | | ■ 碳酸運送蛋白質・酸化還元蛋白質 ■ 呼吸鎖 | |

●熱力学の法則：自由エネルギー変化と平衡定数…120 ●炭素と窒素の同化回路…124
●代謝経路はなぜ「丸い」？…127 ●H⁺の電気化学的勾配という高エネルギー状態…129
●ATP合成酵素の回転の実証…130

11 章 光合成

132

- | | | | |
|-----------------------|--------|------------------------|---------|
| 1 光合成とは | 132 | 5 炭酸固定と光呼吸 | 138 |
| 2 太陽光 | 132 | ■炭酸固定経路 | ■光呼吸 |
| 3 葉緑体 | 133 | 6 C4 植物と CAM 植物 | 141 |
| 4 チラコイドで行われる反応 | 133 | ■C4 植物 | ■CAM 植物 |
| ■光吸収と励起状態の移動 | ■光化学反応 | | |
| ■電子伝達 | ■ATP合成 | | |

Column

- 陸上植物の葉とシアノバクテリアの光吸收戦略…136
- 夜のATP分解を防ぐ：光によるATP合成酵素の調節…139
- 地球上で最も多いタンパク質ルビスコ (RubisCO) …140
- 光合成の効率：葉緑体から生態系へのスケールアップ…142
- 大気中の二酸化炭素濃度の上昇と地球温暖化…143

第Ⅲ部 生命現象のしくみ

—増殖、形態形成、恒常性と環境応答を中心に

12章 細胞内輸送と細胞内分解

146

- ① タンパク質の合成と
細胞内輸送の基本 146
 - タンパク質の合成場所の決定
- ② 遊離ポリソームで合成された
タンパク質の輸送 147
 - 核への輸送 ■ ミトコンドリア、葉緑体、ペルオキシソームへの輸送
- ③ 膜結合ポリソームで合成された
タンパク質の輸送 148
 - 小胞体への移行 ■ 小胞体における高次構造形成と翻訳後修飾

(Column) ●小胞体で合成されるタンパク質の品質管理… 150
●酵母を用いたオートファジー遺伝子の発見… 154

- ④ 小胞輸送 150
 - 輸送小胞 ■ 小胞輸送による細胞内輸送
- ⑤ エキソサイトーシス 152
- ⑥ エンドサイトーシス 152
- ⑦ オートファジー 153
- ⑧ ユビキチン・プロテアソーム系 154
- ⑨ 原核細胞における
タンパク質の輸送 154

13章 細胞骨格と細胞運動

156

- ① 細胞骨格 156
 - アクチン繊維 ■ 微小管 ■ 中間径繊維
- ② 細胞運動 158
 - 細菌の鞭毛運動… 158
 - ミオシン分子の立体構造の変化と筋収縮… 159
 - 細胞の移動運動と細胞骨格の再構築… 162
 - 細胞分裂の紡錘体機能にかかるモータータンパク質… 163
 - 筋収縮のしくみの解明… 166

- ③ モータータンパク質 159
 - ミオシン ■ キネシン ■ ダイニン
- ④ 筋収縮の制御 164

14章 細胞間シグナル伝達系

167

- ① シグナル伝達とは 167
 - シグナルの選別受容と発信 ■ シグナルの受容と細胞の応答
- ② 細胞外シグナル分子の分類と作用機序 168
 - シグナル伝達における制御系とシグナル分子の分類 ■ 脂溶性シグナル分子の作用機序 ■ 水溶性シグナル分子の作用機序
- ③ ホルモン（内分泌系） 169

- ④ 増殖因子、サイトカイン（免疫・炎症系） 171
- ⑤ 神経伝達物質（神経系） 172
- ⑥ 細胞間質に分泌される細胞外基質 172
- ⑦ 細胞-細胞間および
細胞-細胞外基質間の接着 172
 - 上皮組織の細胞-細胞間接着 ■ 細胞と細胞外基質との接着

15章 細胞内シグナル伝達系

176

- ① 細胞内シグナル伝達の基本 176
- ② 翻訳後修飾 176
 - リン酸化と脱リン酸化 ■ 糖類・脂質の付加
 - 具体例からみるシグナル伝達①：EGF受容体
- ③ タンパク質間の相互作用 178
 - GTP/GDPが結合するGタンパク質 ■ 低分子の二次メッセンジャー ■ cAMP

- カルシウムイオン ■ アロステリック調節
- 具体例からみるシグナル伝達②：アドレナリン受容体 ■ 具体例からみるシグナル伝達③：アセチルコリン受容体
- ④ タンパク質分解を介したシグナル伝達 183
- ⑤ 転写因子型受容体、核内受容体 185
- ⑥ シグナル伝達のクロストーク 185

(Column) ●受容体のタイプ… 177 ●ドメインの種類… 179 ●低分子量Gタンパク質… 180
●二次メッセンジャーとしてのカルシウムイオンの発見… 181 ●アボトーシス… 184

16章 神経系の機能と生体恒常性

187

1 神経細胞	187
2 神経細胞の興奮とその伝達	188
■ 膜電位の変化 ■ 細胞の興奮 ■ 活動電位の伝導 ■ シナプスによる興奮の伝達	
● 電位依存性 Na^+ チャネル … 189	● 逆行性神経伝達ならびに神経伝達物質の運命 … 192
● 受容体とアゴニスト, アンタゴニスト … 192	● 食欲の調節 … 195
3 恒常性の維持と神経	193
■ 血糖量の恒常性 ■ 血糖量の恒常性の破綻と糖尿病	

17章 細胞周期

197

1 細胞周期の概要	197
■ 細胞周期とは ■ M期 ■ G1期 ■ S期 ■ G2期	
2 細胞周期制御因子	
サイクリン-CDK複合体	201
■ 細胞周期エンジン ■ サイクリン-CDKの活性調節	
● 動物細胞の細胞質分裂 … 200	● 植物細胞の細胞質分裂と原形質連絡 … 201
● 細胞周期とがん … 203	● 個体における細胞周期：筋細胞分化と筋再生を例として … 204
● 細胞周期研究黎明期 … 205	
3 細胞周期のチェックポイント機構	202
4 細胞増殖開始の制御	203
■ 細胞増殖開始までのシグナル伝達 ■ 負に調節するタンパク質群	

18章 動物の発生

206

1 発生生物学の歴史	206
2 動物の発生の概要と形態学的な分類	206
3 初期発生：卵割と細胞の特殊化	207
■ 卵割（細胞数の増加） ■ 細胞の特殊化と三胚葉形成 ■ 胚の方向性の決定	
● ホメオティック遺伝子 … 208	● オーガナイザーの発見 … 210
● 脊椎動物の左右軸形成 … 213	● 選択的スプライシングの制御による性決定 … 215
● 雌の蝶だけを擬態させる分子メカニズム … 216	● クローン動物 … 217
4 形態形成	211
5 体の形態変化	213
■ 体節の形成 ■ 肢・翅の形成 ■ 変態	
6 細胞分化と幹細胞	214

19章 植物の発生

218

1 植物の基本体制	218
■ 器官構成 ■ 植物体の対称性	
2 細胞の分裂と成長	219
■ 分裂組織 ■ 細胞の成長	
3 種子形成と休眠・発芽	219
■ 種子の形成 ■ 種子の発芽	
4 根の成長と分枝	221
■ 根端分裂組織の構造と維持 ■ 根の分枝と植物ホルモン	
● 植物ホルモン … 222	● 植物ホルモンの情報伝達 … 224
● 屈性 … 227	● オーキシンの極性輸送 … 226
● 光受容体 … 229	● 春化 … 228
● 花成ホルモンの同定 … 230	
5 茎の成長と分枝	223
■ シュート頂分裂組織を支える分子機構 ■ 茎の伸長と肥大 ■ 頂芽優勢	
6 葉の形成	226
7 花成	228
■ 光周性花成 ■ 春化	
8 花器官の形成	228

20章 遺伝子発現の制御 231

① 遺伝子発現の制御の重要性	231
■ 一生同じ遺伝子をもちつづける個体内の細胞	
■ 遺伝子の発現制御が起こる場面	
② 転写調節の基本が学べる	
原核生物の例	232
■ 負の調節 ■ 正の調節	
③ 真核生物の転写調節はより複雑に	233
■ シスエレメント ■ エンハンサー配列の存在	
■ 転写後調節	
④ 真核生物の染色体構造による遺伝子発現調節	236
■ クロマチンリモデリングによる調節 ■ ヘテロクロマチンとユーコロマチン ■ エピジェネティックな制御とは ■ ヒストンコード	
⑤ 真核生物の翻訳レベルでの遺伝子発現調節	239
■ mRNAの寿命の調節 ■ miRNAによる標的 mRNAの翻訳調節 ■ miRNAの機能的役割	
⑥ タンパク質情報をもたないncRNA	241

(Column) ● リンパ球だけは遺伝子が変化する… 233
● 真核生物に見られる主なシスエレメントと転写因子… 235 ● DNAのメチル化と発生… 238

21章 ゲノムと進化 242

① ゲノムとは	242
■ ゲノムの解読	
② 進化と分子系統生物学	242
■ 形態学的特徴からゲノム比較へ ■ ゲノム配列でみる比較生物学、分類学 ■ 進化の理論	
■ 中立進化と分子時計	
③ ゲノムの変化	244
■ ゲノムの垂直伝播 ■ ゲノムの垂直伝播と多様性 ■ 遺伝子の水平伝播	
(Column) ● 系統樹のつくり方（最節約法）… 244 ● 生命科学のタイムマシーン：古代DNA・古代ゲノム解析… 249	
④ 生命の起源の学説	246
■ 地球の歴史と生命 ■ 地球環境の変化と化学進化	
⑤ ゲノム解読とこれからの生物学	247
■ 個体間の遺伝的差異：SNPとCNV ■ トランスクリプトーム ■ プロテオーム	

22章 生物群集と生物多様性 251

① 生物群集と多様な種の共存	251
■ 相互作用のネットワーク ■ 群集を構成する多様な種の共存 ■ 非平衡共存説を支持する例	
■ 植生の遷移	
② 生物多様性	254
■ 生物多様性とは ■ レッドデータ ■ 生物集団の絶滅リスク	
(Column) ● 外来生物… 255 ● 生物多様性国家戦略… 259	
③ 生態系の保全	256
■ 物質循環と人間活動 ■ 森林生態系の保全	
■ 热帯林の保全 ■ 水域生態系の保全	

Advance ヒトと生命科学

23章 感染と免疫

262

1 人類と感染症の戦い	262
2 微生物と感染	262
■ 感染とは ■ 細菌の感染 ■ 真菌の感染 ■ ウィルスの感染 ■ 感染から症状発生へ至るしくみ	
3 免疫とは何か	266
■ 免疫系の成り立ち ■ 自己と非自己 ■ 免疫を担う細胞と組織 ■ 抗原とそれを認識するタンパク質	
〔Column〕 ● 抗菌薬と耐性菌…263 ● ワクチン…265 ● 自己免疫疾患…266	
● MHCと移植片の拒絶…268 ● 制御性T細胞：その多彩な役割…269	
● 花粉症とアレルギー…271 ● 免疫チェックポイント阻害薬によるがん治療…272	

24章 がん

274

1 がんの発症と進展	274
■ がんのさまざまな原因 ■ 細胞の極性の喪失 ■ がんのクローニング増殖	
2 がん遺伝子	275
■ 増殖シグナルとがん遺伝子 ■ 慢性骨髄性白血病とBCR-ABL	
3 がん抑制遺伝子	277
■ がん遺伝子とがん抑制遺伝子 ■ RB遺伝子と網膜芽細胞腫 ■ がん抑制遺伝子p53	
〔Column〕 ● がんの代謝学的特徴…279 ● がん幹細胞…281 ● がんの骨転移…282 ● がんのゲノム医療…283	

25章 創薬と生命科学

285

1 新薬開発の歴史	285
■ 鍵と鍵穴 ■ 創薬の創生期（1890年代～1970年代） ■ 創薬の発展期（1970年代～現在）	
2 新薬開発の過程	287
■ 創薬コンセプトとバイオアッセイ ■ ステップ①：探索研究 ■ ステップ②：最適化研究と前臨床研究 ■ ステップ③：臨床試験	
〔Column〕 ● ヒト臨床でのPOCの確保とバイオマーカー…289 ● リード化合物創出の実例…292 ● 低分子医薬品とバイオ医薬品の割合…293	
3 新薬開発の実際	289
■ 化合物ライブラリーと薬らしさ ■ 探索研究における注意点 ■ インシリコ・スクリーニング ■ ホモロジーモデリング ■ ヒット化合物からリード化合物の創出過程 ■ リード化合物最適化過程：医薬品候補化合物の創出	
4 アンメットメディカルニーズに応えるバイオ医薬品	292

26章 生活・環境と微生物

294

1 人間から見た微生物	294
■ 微生物および微生物機能の発見 ■ 微生物の世界	
2 土壤および汚水浄化と微生物	295
■ 土壤における微生物 ■ 汚水の分解・浄化	
3 ヒトと微生物の共生	296
4 発酵と食品微生物	297
■ いろいろな発酵 ■ 食を担う微生物	
5 微生物の多様性	299
■ 大きさと多様性 ■ 何を微生物と呼ぶか？ ■ 「遺伝子の多様性」 ■ 「遺伝子の多様性」と種の多様性の対応 ■ 微生物代謝の多様性 ■ 難培養微生物という課題	

〔Column〕 ● 生物多様性条約と微生物…300

27章 生物の情報科学

303

1 膨大な生物情報	303
■確率的思考の重要性 ■情報のオープン化	
2 計算機を用いた生命科学の夜明け	304
■相同意識とその評価 ■局所アライメント ■E-value (イーバリュー)	
3 相同意識という概念	305
■類似と相同 ■大域アライメント ■相同意識の評価 ■局所アライメント ■E-value (イーバリュー)	
4 タンパク質の構造予測	308
■構造予測における諸問題 ■構造予測のアプローチ	
●人類の進化…304 ●多重アライメントとモチーフ…306 ●動的計画法とアライメント…308 ●クラウドソーシング…310 ●ハブ、クラスター、モジュール…312	

28章 脳

314

1 脳の構造	314
■中枢神経系と末梢神経系 ■脊椎動物の脳 ■小脳と脳幹 ■間脳 ■大脳	
2 感覚受容	316
■2種類の感覚器 ■神経情報の符号化 ■光・音・匂いの受容	
3 大脳の機能局在	319
■視覚系の情報処理	
●感覚情報と価値判断…316 ●涙からフェロモン!?!…317 ●鳥のさえずり学習…319 ●学習変異体…321 ●海馬の場所細胞…322 ●ミツバチはどのようにして餌場までの距離を測るのか?…323	

付録

倫理に対する配慮と法の整備

1 遺伝子組換え技術に対する考え方	325
2 実験動物に対する考え方	325
3 DNA配列と個人情報に対する考え方	326
4 ヒトの胚や幹細胞を用いる研究に対する考え方	326

索引

327

遺伝子名の表記について

現在、動物では遺伝子名の表記については、ヒト遺伝子での名前を標準に統一がはかられている。そこで本書では遺伝子名は大文字のイタリック表示

タンパク質名はそのローマン表示

を原則とすることにする。出芽酵母、シロイヌナズナでもこの方式に沿っている。マウスやニワトリなど最初の文字だけ大文字表記とする生物も多いため、その方式で表示される場合もある。しかし、研究対象の生物ごとに慣習が違うので、今後専門分野に入った際には、それぞれ生物ごとのルールに慣れる必要がある。

遺伝子では大文字表記は優性遺伝子を示し、それに対する劣性遺伝子は小文字イタリックで表されることが多い。その際に劣性遺伝子の方が端緒となって研究が進むと小文字表記の遺伝子名で通されることも多い。