

理系総合のための

生命科学 第3版

Contents

序	3
初版の序	5

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	5 原核生物と真核生物	22
2 生命の基本的属性	19	■ 原核生物と真核生物の差異 ■ 細胞内共生	
■ 5つの属性 ■ 生物学の変遷		6 単細胞生物・多細胞生物と	
3 生命を構成する物質	20	生物にみられる階層性	23
■ 生命をつくる元素 ■ 生命をつくる分子		7 種概念	23
4 細胞	21	8 生物の系統と分類	24
■ 細胞膜 ■ 遺伝物質		9 進化	27

Column ● 生物の名前の付け方…24 ● 3ドメイン生物の違い…25 ● 人間から見た微生物…26

2 章 生物の増殖と恒常性 28

1 細胞の増殖	28	4 胚発生による多細胞体の形成	33
■ 細胞の分裂と細胞周期 ■ 原核細胞の分裂		5 外部環境と内部環境の恒常性	34
■ 真核細胞の分裂		6 恒常性のしくみ	35
2 有性生殖と無性生殖	30	■ 体液とその緩衝作用の概要 ■ 体液調節とは： 回遊魚を例として	
■ 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			

Column ● 有性生殖の意義…31 ● なぜ海水魚は海水を飲むのか…37

3 章 個体－環境相互作用 38

1 生物圏と環境への適応	38	2 生態系の構造と動態	41
■ さまざまな環境要因 ■ 環境への適応：自然選 択的作用 ■ 環境変動に応じた生活史の適応		■ 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	
■ 環境への応答			

Column ● ヒマラヤ山脈を越えて渡りをするインドガン…39 ● 桜はなぜいっせいに咲くのだろう…41

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 48

- 1 タンパク質 48
 - 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 52
 - 生命の化学反応 ■ 酵素の分類
- 3 酵素の基本的性質 52
 - 酵素の特異性と反応機構 ■ 酵素反応速度論
- 4 酵素活性の調節例 55
 - 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

Column ● ミカエリス・メンテンの式の導き方... 55 ● タンパク質研究の歴史... 57

5章 核酸の構造とDNAの複製 59

- 1 遺伝情報の伝達と発現 59
- 2 細胞増殖とDNA複製 59
 - 細胞増殖は細胞の最も基本的な機能 ■ DNA複製の特殊性
- 3 核酸 60
 - 構成単位としてのヌクレオチド ■ 核酸
 - DNAの二本鎖構造 ■ RNAの一本鎖構造
- 4 DNA複製のしくみ 63
 - DNA複製のアウトライン ■ DNAポリメラーゼ ■ 半保存的複製 ■ 2本のDNAの異なる伸長方法 ■ 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

Column ● DNAは細くて長い糸である... 61 ● DNAの変性・再会合... 62 ● 複製の正確さ... 64
● 半保存的複製を示したメセルソンとスタールの実験... 64 ● DNAポリメラーゼ... 65
● 末端複製問題... 66 ● 複製にかかわる酵素はたくさんある... 67
● ワトソン、クリックによるDNA分子構造の提唱... 68

6章 遺伝子の構造 69

- 1 遺伝子とDNA 69
 - 遺伝子とは ■ ゲノムとは ■ 生物のDNA量
 - 生物の遺伝子数 ■ 原核生物の遺伝子構造の特徴
 - 真核生物の遺伝子構造の特徴 ■ 転写調節領域
- 2 クロマチン 72
- 3 遺伝子の損傷と修復 74
 - 遺伝子の損傷 ■ 遺伝子の修復

Column ● ゲノム... 70 ● mRNAのエディティング... 71 ● DNA複製後の塩基修飾と遺伝情報複製... 72
● 遺伝子の定義の歴史的変遷... 73

7章 遺伝子の発現 77

- 1 セントラルドグマ 77
 - セントラルドグマとは ■ 遺伝暗号 ■ DNAのセンス鎖 ■ RNAの種類
- 2 転写のしくみ 80
 - RNAポリメラーゼ ■ プロモーターとRNAポリメラーゼの結合 ■ mRNAの延長反応 ■ 転写の終結
- 3 転写後の修飾 80
 - mRNAプロセッシング ■ RNAの細胞質への輸送
- 4 タンパク質合成の材料と場 82
 - tRNAの構造 ■ アミノアシルtRNA合成酵素 ■ リボソーム
- 5 翻訳のしくみ 83
 - 翻訳の開始 ■ ペプチド鎖の延長 ■ 翻訳の終了 ■ リボソーム ■ 大腸菌の転写と翻訳

Column ● スプライシングの微妙な調節... 82

8章 有性生殖と個体の遺伝 87

- 1 メンデルの法則と遺伝子.....87
- 2 連鎖と遺伝的組換え.....88
 - 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 減数分裂における染色体の挙動と遺伝的組換え.....91
 - 減数分裂とは ■減数分裂の意義
- 4 配偶子の形成.....94
- 5 受精.....96

Column ●メンデルの法則に合わない母性遺伝...88 ●ハーディー・ワインベルクの法則...89
●遺伝性疾患と確率...90 ●組換えの開始はホットスポットで起こる...92
●卵の老化と不妊症・染色体異常の関係、おばあちゃん効果...94 ●植物の配偶子形成と受精...96

9章 生体膜と細胞の構造 98

- 1 生体膜.....98
 - 脂肪酸 ■グリセロ脂質 ■膜脂質の特徴
- 2 膜タンパク質.....100
 - 膜貫通タンパク質 ■表在性膜タンパク質
- 3 物質の生体膜通過.....102
 - チャンネルとトランスポーターによる受動輸送
 - ポンプによる能動輸送 ■輸送方向による分類
 - 受容体によるシグナル伝達
- 4 原核細胞に特徴的な構造.....104
- 5 真核細胞の構造.....106
 - 核 ■小胞体 ■ゴルジ体 ■リソソーム
 - ペルオキシソーム ■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 ■液胞

Column ●脂肪酸と融解温度...101 ●スフィンゴ脂質と糖脂質...103 ●ステロイドホルモンと内分泌攪乱物質...104 ●イオンチャンネルの分子構造解明の歴史...105 ●古細菌の膜脂質...106
●脂質二重膜の重要性...109

10章 代謝と生体エネルギー生産 111

- 1 細胞活動と代謝.....111
- 2 生体エネルギーの通貨.....111
 - ATP ■NADH, NADPH
- 3 基本的な代謝の流れ.....113
 - 代謝の3段階 ■従属栄養生物と独立栄養生物
- 4 糖質.....115
- 5 ATP合成のしくみ.....115
 - キナーゼによるATP合成 ■ATP合成酵素によるATP合成
- 6 呼吸と発酵：解糖系.....116
- 7 呼吸：クエン酸回路・呼吸鎖.....117
 - クエン酸回路 ■酸化的リン酸化と化学浸透説
 - 酸化還元反応と酸化還元電位 ■呼吸鎖
 - 呼吸鎖とH⁺輸送の共役 ■ATP合成酵素

Column ●熱力学の法則：自由エネルギー変化と平衡定数...112 ●炭素と窒素の同化回路...114
●代謝経路はなぜ「丸い」？...119 ●H⁺の電気化学的勾配という高エネルギー状態...120
●ATP合成酵素の回転の実証...122

11章 光合成 123

- 1 光合成とは.....123
- 2 太陽光.....123
- 3 葉緑体.....124
- 4 チラコイドで行われる反応.....124
 - 光吸収と励起状態の移動 ■光化学反応
 - 電子伝達 ■ATP合成
- 5 炭酸固定と光呼吸.....128
 - 炭酸固定経路 ■光呼吸
- 6 C4植物とCAM植物.....131
 - C4植物 ■CAM植物

Column ●陸上植物の葉とシアノバクテリアの光吸収戦略…126 ●夜のATP分解を防ぐ：光によるATP合成酵素の調節…128 ●地球上で最も多いタンパク質ルビスコ（RubisCO）…130
●光合成の効率：葉緑体から生態系へのスケールアップ…133 ●大気中の二酸化炭素濃度の上昇と地球温暖化…134

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 136

1 タンパク質の合成と細胞内輸送の基本……………136	4 小胞輸送……………140
■タンパク質の合成場所の決定	■輸送小胞 ■小胞輸送による細胞内輸送
2 遊離ポリソームで合成されたタンパク質の輸送……………137	5 エキソサイトーシス……………143
■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	6 エンドサイトーシス……………143
3 膜結合ポリソームで合成されたタンパク質の輸送……………138	7 原核細胞におけるタンパク質の輸送……………143
■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	8 細胞内消化……………144
	9 オートファジー……………145

Column ●小胞体で合成されるタンパク質の品質管理…140

13章 細胞骨格と細胞運動 146

1 細胞骨格……………146	3 モータータンパク質……………149
■アクチン繊維 ■微小管 ■中間径繊維	■ミオシン ■キネシン ■ダイニン
2 細胞運動……………148	4 筋収縮の制御……………154

Column ●細菌の鞭毛運動…148 ●ミオシン分子の立体構造の変化と筋収縮…149 ●細胞の移動運動と細胞骨格の再構築…152 ●細胞分裂の紡錘体機能にかかわるモータータンパク質…153
●筋収縮のしくみの解明…156

14章 細胞間シグナル伝達系 157

1 シグナル伝達とは……………157	4 増殖因子，サイトカイン（免疫・炎症系）……………160
■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	5 神経伝達物質（神経系）……………162
2 細胞外シグナル分子の分類と作用機序……………158	6 細胞間質に分泌される細胞外基質……………163
■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	7 細胞－細胞間および細胞－細胞外基質間の接着……………164
3 ホルモン（内分泌系）……………160	■上皮組織の細胞－細胞間接着 ■細胞と細胞外基質との接着

Column ●フィードバック調節…162

15章 細胞内シグナル伝達系 166

1 細胞内シグナル伝達の基本 166

2 翻訳後修飾 166

■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 168

■GTP/GDPが結合するGタンパク質 ■小分子の二次メッセンジャー ■サイクリックAMP
■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 173

5 転写因子型受容体，核内受容体 175

6 シグナル伝達のクロストーク 175

Column ●受容体のタイプ…167 ●ドメインの種類…169 ●低分子量Gタンパク質…170 ●二次メッセンジャーとしてのカルシウムイオンの発見…171 ●アポトーシス…174

16章 神経伝達と機能 177

1 神経細胞 177

2 神経細胞の興奮とその伝達 178

■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

3 恒常性の維持と神経 183

■血糖量の恒常性

Column ●電位依存性Na⁺チャネル…179 ●逆行性神経伝達ならびに神経伝達物質の運命…182
●受容体とアゴニスト，アンタゴニスト…182 ●食欲の調節…185

17章 細胞周期 186

1 細胞周期の概要 186

■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 189

■細胞周期エンジン ■サイクリン-CDKの活性調節

3 細胞周期のチェックポイント機構 191

4 細胞増殖開始の制御 192

■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

Column ●動物細胞の細胞質分裂…190 ●植物細胞の細胞質分裂と原形質連絡…191 ●細胞周期とがん…192 ●個体における細胞周期：筋細胞分化と筋再生を例として…193 ●細胞周期研究黎明期…194

18章 動物の発生 195

1 発生生物学の歴史 195

2 動物の発生の概要と形態学的な分類 195

3 初期発生：卵割と細胞の特殊化 196

■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

4 形態形成 200

5 体の形態変化 201

■体節の形成 ■肢・翅の形成 ■変態

6 細胞分化と幹細胞 204

Column ●線虫の細胞系譜…198 ●ホメオティック遺伝子…200 ●オーガナイザーの発見…201
●ヒトの発生…202 ●クローン動物…205

19章 植物の発生 206

- 1 植物の基本体制 206
 - 器官構成 ■ 植物体の対称性
- 2 細胞の分裂と成長 207
 - 分裂組織 ■ 細胞の成長
- 3 種子形成と休眠・発芽 207
 - 種子の形成 ■ 種子の発芽
- 4 根の成長と分枝 209
 - 根端分裂組織の構造と維持 ■ 根の分枝と植物ホルモン
- 5 茎の成長と分枝 211
 - 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 214
- 7 花成 216
 - 光周性花成 ■ 春化
- 8 花器官の形成 216

Column ●植物ホルモン…210 ●植物ホルモンの情報伝達…212 ●オーキシンの極性輸送…214
●屈性…215 ●光受容体…217 ●花成ホルモンの同定…218

20章 遺伝子発現の制御 219

- 1 遺伝子発現の制御の重要性 219
 - 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 220
 - 負の調節 ■ 正の調節
- 3 真核生物の転写調節はより複雑に 221
 - シスエレメントとトランスファクター ■ 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 224
 - 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クロマチン ■ 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 227
 - 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 229

Column ●リンパ球だけは遺伝子が変わる…220 ●真核生物における主なシスエレメントとトランスファクター…223 ●DNAのメチル化と発生…227 ●RNAiという現象…228

21章 ゲノムと進化 230

- 1 ゲノムとは 230
 - ゲノムの解読
- 2 進化と分子系統生物学 230
 - 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 232
 - 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
- 4 生命の起源の学説 235
 - 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 236
 - 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

Column ●系統樹のつくり方（最節約法）…231 ●ハプロタイプから病気の原因遺伝子を探す…237
●オミックス解析…238

22章 生物群集と生物多様性 239

- 1 生物群集と多様な種の共存**……………239
■ 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**……………242
■ 生物多様性とは ■ レッドデータ ■ 生物集団の絶滅リスク
- 3 生態系の保全**……………244
■ 物質循環と人間活動 ■ 森林生態系の保全
■ 熱帯林の保全 ■ 水域生態系の保全
- Column** ● 外来生物…243 ● 生物多様性国家戦略…247

Advance ヒトと生命科学

23章 感染と免疫 250

- 1 人類と感染症の戦い**……………250
- 2 微生物と感染**……………250
■ 感染とは ■ 細菌の感染 ■ 真菌の感染
■ ウイルスの感染 ■ 感染から症状発生へ至るしくみ
- 3 免疫とは何か**……………255
■ 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
- 4 免疫応答のしくみ**……………258
■ 免疫系が感染源の攻撃を感知して応答するしくみ ■ 体液性免疫と細胞性免疫 ■ 免疫応答の制御と自己免疫
- Column** ● 抗菌薬と耐性菌…251 ● 「新型」インフルエンザ…253 ● MHCと移植片の拒絶…256
● 抗体…257 ● 花粉症とアレルギー…259 ● ワクチン…260 ● 自己免疫疾患と感染症の間にあるもの…261

24章 がん 263

- 1 がんの発症と進展**……………263
■ がんのさまざまな原因 ■ 細胞の極性の喪失
■ がんのクローン性増殖
- 2 がん遺伝子**……………264
■ 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**……………266
■ 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
- 4 がんの浸潤と転移**……………268
■ がんの広がり ■ がん微小環境 ■ がんと血管新生 ■ がんの発生から転移巣の形成まで
- 5 多段階発がん機構**……………271
- Column** ● がん幹細胞…269 ● がんの骨転移…270 ● がんのテーラーメイド医療…271

25 章 創薬と生命科学 273

- 1 新薬開発の歴史 273
 - 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 275
 - 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
- 3 新薬開発の実際 277
 - 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 280

Column ● ヒト臨床でのPOCの確保とバイオマーカー… 277 ● リード化合物創出の実例… 280
● 低分子医薬品とバイオ医薬品の割合… 281

26 章 生活・環境と微生物 282

- 1 食の生産 282
 - 育種とは
- 2 土壌および汚水浄化と微生物 283
 - 土壌における微生物
 - 汚水の分解・浄化
- 3 ヒトと微生物の共生 284
- 4 発酵と食品微生物 285
 - いろいろな発酵
 - 食を担う微生物
- 5 微生物の多様性 287
 - 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
 - 難培養微生物という課題
 - 微生物代謝の多様性

Column ● 生物多様性条約と微生物… 288

27 章 生物情報科学 291

- 1 膨大な生物情報 291
 - 確率的思考の重要性
 - 情報のオープン化
- 2 生物情報学の誕生 293
- 3 相同性という概念 293
 - 類似と相同
 - 大域アライメント
 - 相同性の評価
 - 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 296
 - 構造予測における諸問題
 - 構造予測のアプローチ
- 5 生命科学の新しいアプローチ 298
 - システム生物学
 - 数理的アプローチの重要性
 - 合成生物学
- 6 学際研究の重要性 299
 - オミックス解析とネットワーク
 - ネットワーク解析の例
 - 再び確率的思考とは
 - ゲノムワイド関連解析

Column ● 人類の進化… 292 ● 多重アライメントとモチーフ… 294 ● 動的計画法とアライメント… 296
● クラウドソーシング… 298 ● ハブ、クラスター、モジュール… 300

28章 脳 302

1 脳の構造302	4 記憶308
■ 中枢神経系と末梢神経系 ■ 脊椎動物の脳	■ 短期記憶と長期記憶 ■ 海馬
■ 小脳と脳幹 ■ 間脳 ■ 大脳	
2 感覚受容304	5 効果器への出力制御309
■ 2種類の感覚器 ■ 神経情報の符号化	■ 運動単位 ■ 反射
■ 光・音・匂いの受容	
3 大脳の機能局在306	6 心身問題310
■ 視覚系の情報処理	
Column ● 視覚のメカニズム①：網膜のしくみ...305 ● 視覚のメカニズム②：光受容...306	
● 視覚のメカニズム③：情報の伝達...310	

付録 1 バイオテクノロジー 312

1 遺伝子工学312	3 遺伝子改変生物316
■ PCR ■ 遺伝子診断 ■ 遺伝子治療	■ マウスの場合①：トランスジェニックマウス
	■ マウスの場合②：ノックアウトマウス
2 細胞工学314	■ 植物の場合
■ 細胞に対する外来遺伝子の導入	4 その他の実験手法318
■ 蛍光タンパク質 ■ モノクローナル抗体	■ DNAマイクロアレイ ■ 質量分析
	■ エピゲノム解析のためのChIP-seq法
	■ 次世代シーケンサー

2 倫理に対する配慮と法の整備 321

1 遺伝子組換え実験に対する考え方321	3 DNA配列と個人情報に対する考え方322
2 実験動物に対する考え方322	

索引 323

執筆者一覧 334