

理系総合のための

# 生命科学 第2版

## Contents

序	3
---	---

### 第 I 部 生物学の基本概念

#### 1章 生物の基本概念と基本構造 14

1 さまざまな生物と1つの生物学	14	6 種	20
2 生命体の基本的属性	16	7 生物の大分類	20
3 細胞と細胞膜	16	8 生物の多様性と微生物	22
4 原核生物と真核生物	19	9 このあとの展開	23
5 単細胞生物と多細胞生物	19		

コラム ●細胞説をめくって…18 ●生物の名前の付け方…20 ●人間からみた微生物…23  
●自然の中での微生物…24

#### 2章 生物の増殖 25

1 細胞は分裂により増える	25	3 生物の生活環	29
■細胞の分裂と細胞周期 ■原核細胞の分裂 ■真核細胞の分裂		■二倍体が優勢な生物 ■一倍体が優勢な生物	
2 有性生殖と無性生殖	27	4 胚発生による多細胞体の形成	31
■ゲノムと倍数性 ■無性生殖		5 生物の増殖・成長と環境	31
		6 第II部以降での展開	35

コラム ●有性生殖の意義…28 ●イチョウの精子の発見…32 ●桜はなぜいつせいに咲くのだろう…34

#### 3章 遺伝と生物情報 36

1 形質	36	7 染色体とゲノム	40
2 メンデル遺伝	36	8 伴性遺伝	41
3 メンデルの独立の法則	37	9 連鎖	41
4 遺伝因子と染色体	37	10 集団としてみた遺伝子プール	42
5 遺伝子の変異と優性・劣性	38	11 遺伝子の本体はDNAである	43
6 機能獲得型の変異	40	12 第II部以降での展開	44

コラム ●フェニルチオカルバミドと苦味…38 ●メンデルの法則に合わない母性遺伝…39  
●遺伝性疾患と確率…42 ●遺伝子はDNAであること…43 ●アルカプトン尿症の発見…44

## 4章 ATPと酵素 46

- 1 生物の生きざまを決める  
酵素セット .....46
  - 2 エネルギー通貨としてのATPと  
NADH・NADPHの役割 .....46
  - 3 エネルギーと物質の流れの基礎 .....48
  - 4 細胞内の代謝 .....50
  - 5 酵素の基本的性質 .....53
    - 酵素の特異性と反応機構 ■ 酵素反応速度論
  - 6 第II部以降での展開 .....56
- コラム ●ATPはうまみのもと...48 ●熱力学の法則：自由エネルギー変化と平衡定数...49 ●無細胞系における発酵...52 ●酵素の結晶化...53 ●ミカエリス・メンテンの式の導き方...55

## 5章 環境応答と恒常性 57

- 1 外部環境と内部環境の  
ホメオスタシス .....57
  - 2 ホメオスタシスのしくみ .....58
    - 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
  - 3 自律神経系 .....61
    - 交感神経系 ■ 副交感神経系
  - 4 内分泌系 .....62
    - ホルモンとは ■ ホルモンと受容体の多様性
  - 5 神経系と内分泌系の協調 .....64
    - 体温のホメオスタシス
    - 体液のホメオスタシス
    - 血糖量のホメオスタシス
  - 6 第II部以降での展開 .....68
- コラム ●なぜ海水魚は海水を飲むのか...60 ●フィードバック調節...63 ●血漿タンパク質の役割...65 ●食欲の調節...67

# 第II部 生命現象の基本的なしくみ—物質を中心に

## 6章 生命の物質的基盤 70

- 1 生命を構成するもの .....70
    - 生命をつくる元素 ■ 生命をつくる分子
    - 生命を構成する有機化合物
  - 2 タンパク質 .....71
    - 単位としてのアミノ酸 ■ ペプチド結合
    - タンパク質の構造 ■ タンパク質の機能と高次構造の形成 ■ タンパク質の修飾 ■ タンパク質の変性
  - 3 脂質 .....75
    - 脂肪酸 ■ グリセロ脂質 ■ スフィンゴ脂質
    - ステロイド
  - 4 糖質 .....78
    - 五炭糖と六炭糖 ■ グリコシド結合 ■ 多糖類
    - 糖タンパク質
  - 5 核酸 .....83
    - 単位としてのヌクレオチド ■ 核酸
    - DNAは二本鎖である ■ RNAは一本鎖である
- コラム ●鏡像タンパク質...71 ●トランス型不飽和脂肪酸...76 ●エーテル型グリセロ脂質...76 ●直鎖状の糖分子と環状の糖分子...80 ●グリコバイオロジー...81 ●血液型...82 ●DNAの変性・再会合...83 ●DNAは細くて長い糸である...84 ●多くの原核生物は環状、真核生物は直鎖状の二本鎖DNAをもつ...85 ●ワトソン、クリックによるDNA分子構造の提唱...86

## 7章 複製 88

- 1 遺伝情報の伝達と遺伝情報の発現 .....88
- 2 細胞増殖とDNA複製 .....88
  - 細胞増殖は細胞の最も基本的な機能
  - DNA複製の特殊性
- 3 遺伝子とDNA .....90
  - 遺伝子とは ■ ゲノムとは ■ 生物のDNA量
  - 生物の遺伝子数 ■ 真核生物は遺伝子でないDNA領域をたくさんもっている ■ エキソンとイントロン ■ 転写調節領域

**4 DNAの複製のしくみ** .....92

■ DNA複製のアウトライン ■ DNAポリメラーゼ ■ 複製には鋳型を必要とする ■ 複製は不連続である ■ 複製のプライマー ■ 複製開始点と複製終了点がある ■ 複製開始の調節 ■ DNAの損傷と修復

- コラム** ●エキソンシャッフリング...92 ●半保存的複製を示したメセルソンとスタールの実験...94  
 ●複製の正確さ...95 ●複製にかかわる酵素はたくさんある...96 ●末端複製問題...97  
 ●DNA複製後の塩基修飾と遺伝情報複製...98

## 8章 転写 99

**1 遺伝子の転写と発現** .....99

■ セントラルドグマ ■ 遺伝子の暗号 ■ DNAのセンス鎖 ■ 遺伝子の発現

**3 転写後の修飾** .....105

■ RNAの切断 ■ 塩基の修飾 ■ mRNAプロセシング ■ RNAの細胞質への輸送

**2 遺伝子の転写** .....101

■ RNAの種類 ■ 転写の特徴 ■ 転写の基本

- コラム** ●RNA合成阻害剤...103 ●RNA複製と逆転写...104 ●逆転写酵素とcDNA...105  
 ●mRNAのエディティング...106

## 9章 翻訳 109

**1 アミノアシルtRNAの合成** .....109

■ tRNAの構造 ■ アミノアシルtRNA合成酵素 ■ ホルミルメチオニルトRNA

**4 タンパク質合成** .....111

■ 翻訳の開始 ■ ペプチド鎖の延長 ■ 翻訳の終了 ■ ポリソーム

**2 リボソーム** .....110

**5 転写と翻訳の協調** .....113

**3 mRNAの構造** .....111

**6 高次構造形成と翻訳後修飾** .....115

**7 変異と多型** .....115

- コラム** ●21番目のアミノ酸...110 ●タンパク質合成阻害剤...114 ●シャペロン...115

## 10章 遺伝子発現の調節 117

**1 発現からみた遺伝子の種類** .....117

■ すべての生物でハウスキーピング遺伝子が働く ■ 多細胞生物ではさらにラクシャリー遺伝子が働く ■ 1人のヒトの体細胞は同じ遺伝子をもつ ■ 発現が調節される遺伝子と調節されない遺伝子

■ ヌックな制御とは ■ ヒストンコード ■ 遺伝情報を担うもの

**2 原核生物の遺伝子発現調節** .....118

■ 大腸菌のβガラクトシダーゼ遺伝子は正と負に調節される

**5 小型RNAなどによる遺伝子発現調節** .....126

■ miRNAの合成と働き ■ miRNAの機能的役割 ■ RNAiという現象 ■ 無意味なDNAなどないのかもしれない

**3 真核生物の遺伝子発現調節** .....121

■ 転写調節と転写後調節 ■ 真核生物はより複雑な転写調節機構をもつ ■ クロマチンリモデリングによる調節

**6 再び遺伝子とは** .....129

■ 遺伝子は形質を支配する何ものかである ■ 遺伝子はDNAである ■ 遺伝子はアミノ酸をコードするDNA部分である ■ イントロンも遺伝子に含める ■ 構造遺伝子と調節遺伝子 ■ 1遺伝子1タンパク質ではない場合 ■ タンパク質の情報をもたない遺伝子 ■ 調節領域を含めて遺伝子とする場合もある ■ 遺伝子の数 ■ 再びゲノムとは ■ 染色体ゲノムと染色体外ゲノム

**4 エピジェネティックな遺伝子発現調節** .....124

■ ヘテロクロマチンとユークロマチン ■ クロマチン構造と遺伝子発現調節 ■ エピジェネティ

- コラム** ●リンバ球だけは遺伝子が異なる...118 ●複数の遺伝子を同時に発現調節するオペロン...119  
 ●オペロンとレギュロン...120 ●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...122 ●DNAのメチル化、発生、体細胞クローン動物...125 ●人工siRNAは応用価値が高い...127 ●その他の小型RNA...128

## 11章 細胞の構造 132

- 1 生体膜 ..... 132
  - 2 原核細胞に特徴的な構造 ..... 134
  - 3 真核細胞の構造 ..... 136
    - 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 ■液胞
  - 4 細胞骨格 ..... 139
    - アクチン繊維 ■微小管 ■中間径繊維
  - 5 細胞外基質 ..... 142
  - 6 細胞接着と組織構築 ..... 143
    - 上皮細胞の細胞接着 ■細胞と細胞外基質との接着 ■細胞同士の接着 ■細胞の極性
- コラム ●イオンチャネルの分子構造解明の歴史…135 ●コラーゲン繊維とビタミンC不足…143

## 12章 細胞内輸送 147

- 1 タンパク質の合成と細胞内輸送の基本 ..... 147
    - 膜結合ポリソームと遊離ポリソーム ■輸送小胞
  - 2 膜結合ポリソームで合成されたタンパク質の輸送 ..... 149
    - タンパク質の合成場所の決定 ■小胞体への移行 ■粗面小胞体からゴルジ体、ゴルジ体から細胞内小器官への輸送 ■輸送過程における高次構造形成と翻訳後修飾
  - 3 遊離ポリソームで合成されたタンパク質の輸送 ..... 153
    - 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
  - 4 原核細胞におけるタンパク質の輸送 ..... 157
  - 5 エキソサイトーシス ..... 157
  - 6 エンドサイトーシス ..... 158
  - 7 プロテアソーム・ユビキチン化 ..... 159
  - 8 オートファジー ..... 159
- コラム ●小胞体で合成されるタンパク質の品質管理…152 ●ゴルジ体におけるリソソーム酵素の選別と輸送…154 ●輸送小胞や細胞内小器官の運搬…158

# 第Ⅲ部 生命現象の基本的なしくみ —細胞を中心に

## 13章 細胞周期 162

- 1 細胞周期の概要 ..... 162
    - 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 ..... 166
    - 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 ..... 168
    - DNA損傷チェックポイント
  - 4 細胞増殖開始の制御 ..... 170
    - 正と負の制御 ■正と負の制御を可能にする分子装置 ■細胞増殖開始までのシグナル伝達
- コラム ●細胞周期は進んだり止まったりする…165 ●細胞質分裂…166 ●細胞周期研究黎明期…167 ●さまざまな時期で働く細胞周期チェックポイント…169 ●DNA複製フォークの構築…170 ●細胞周期とがん…172

## 14章 シグナル伝達の基本 173

- 1 シグナル伝達とは ..... 173
    - タンパク質の分解によるシグナル伝達
  - 2 細胞内シグナル伝達の基本 ..... 174
    - タンパク質のリン酸化と脱リン酸化 ■Gタンパク質 ■低分子の二次メッセンジャー
  - 3 細胞間のシグナル伝達 ..... 179
    - ホルモン ■細胞増殖因子
- コラム ●低分子量Gタンパク質…176 ●イノシトールリン脂質…178 ●アポトーシス…180

## 15章 細胞内シグナル伝達のしくみ 183

- 1** 受容体を介した細胞内シグナル伝達経路 .....183  
■ 酵素型受容体 ■ Gタンパク質共役型受容体 ■ チャンネル型受容体 ■ 転写因子型受容体, 核内受容体 ■ シグナル伝達のクロストーク
- 2** がん .....188
- コラム ●ドメインの話...184 ●二次メッセンジャーとしてのカルシウムイオンの発見...186 ●ピロリ菌と胃がん...189 ●がん遺伝子...191 ●チロシンリン酸化阻害によるがん治療...192

## 16章 エネルギー生産と代謝経路 193

- 1** ATP合成のしくみ (キナーゼとATP合成酵素) .....193  
■ 呼吸鎖と各代謝経路の関係 ■ 呼吸鎖とH<sup>+</sup>輸送の共役 ■ ATP合成酵素
- 2** 呼吸と発酵: 解糖系 .....194
- 3** 呼吸: クエン酸回路・呼吸鎖 .....194  
■ 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
- 4** 光合成 .....201  
■ 概要 ■ 明反応 ■ 暗反応 ■ C3植物とC4植物
- 5** ミトコンドリアと葉緑体のトポロジー .....205
- コラム ●H<sup>+</sup>の電気化学的勾配という高エネルギー状態...194 ●ATP合成酵素の回転の実証...200 ●光合成が可視光を効率よく利用するしくみ...201 ●呼吸鎖と光合成の電子伝達反応の比較...203 ●光合成の炭酸固定経路図(カルビン回路)...204 ●共役と光によるATP合成酵素の調節...205 ●地球大気の大気中の二酸化炭素濃度の変遷と光合成...206

## 17章 細胞運動と神経・筋収縮 207

- 1** 細胞運動 .....207  
■ ミオシン ■ ダイニンとキネシン ■ 細胞の興奮と膜電位の変化 ■ 活動電位の伝導 ■ シナプスによる興奮の伝達
- 2** 神経細胞の興奮とその伝達 .....211
- 3** 筋収縮の制御 .....216
- コラム ●ミオシン分子の立体構造の変化と筋収縮...209 ●細菌の鞭毛運動...210 ●細胞の移動運動と細胞骨格の再構築...212 ●電位依存性Na<sup>+</sup>チャンネル...214 ●アセチルコリン受容体とその働き...217 ●筋収縮のしくみの解明...218

# 第IV部 生命現象の基本的なしくみ — 個体の形成と機能を中心に

## 18章 生殖 222

- 1** 有性生殖と無性生殖 .....222
- 2** 体細胞分裂と減数分裂 .....223
- 3** 減数分裂の意義 .....225
- 4** 遺伝的組換え .....226
- 5** 配偶子の形成 .....228
- 6** 配偶子の特殊化 .....230
- 7** 受精 .....231  
■ 植物での受精の過程 ■ 動物での受精の過程
- 8** 世代交代 .....233
- 9** 種と性 .....233
- コラム ●性の決定と性転換...224 ●アグロバクテリウムと遺伝子組換え植物...226 ●連鎖と組換え, DNA多型...227 ●クローン動物...234

## 19章 動物の発生 235

- 1 動物の形態と分類 .....235
  - 2 初期発生 .....235
    - 卵割 (多細胞化) ■ 細胞の特殊化
    - 胚の方向性の決定
  - 3 形態形成運動 .....243
  - 4 細胞分化と幹細胞 .....244
- コラム ●線虫の細胞系譜…238 ●ホメオティック遺伝子…240 ●逆転している背腹軸…241  
●オーガナイザーの発見…242

## 20章 脳と神経 246

- 1 感覚 .....246
    - 感覚受容の一般的な性質 ■ 空間的情報の処理
  - 2 中枢神経とその制御 .....250
    - 中枢神経系の構造 ■ 大脳新皮質の機能
    - 大脳新皮質の階層構造 ■ 記憶
  - 3 効果器への出力制御 .....256
    - 骨格筋の運動制御 ■ 概日リズムの制御
- コラム ●視細胞の光受容機構…251 ●認知症とアルツハイマー病…256 ●統合失調症…259

## 21章 免疫 260

- 1 免疫と生体防御 .....260
    - 免疫現象と免疫系とは ■ 自然免疫と獲得免疫は共同して働く ■ 免疫現象の分子細胞生物学的な側面
  - 2 免疫系の細胞と組織の成り立ち …261
    - 免疫細胞は骨髄から作られる ■ 免疫細胞の系譜と分化段階 ■ 免疫細胞増殖の場である一次免疫器官と二次免疫器官
  - 3 免疫応答の開始 .....264
    - 免疫系に向けて発せられる危険信号 ■ マクロファージと炎症応答 ■ 獲得免疫応答の開始とMHC遺伝子産物のかかわり ■ T細胞の活性化 ■ 細胞性免疫応答と体液性免疫応答
  - 4 免疫応答におけるエフェクター機構 .....267
    - 免疫系が寄生体と戦うしくみ ■ 細胞性免疫応答におけるエフェクター機構 ■ 抗体の構造と機能 ■ 体液性免疫応答におけるエフェクター機構
- コラム ●ワクチン…261 ●サイトカイン, ケモカインとそれらの受容体…264 ●MHCと移植片の拒絶…266 ●アレルギー…267 ●ギランバレー症候群…270 ●「新型」インフルエンザの流行…271

## 22章 植物の発生 273

- 1 植物の基本体制 .....273
  - 2 細胞の分裂と成長 .....274
  - 3 種子形成と休眠・発芽 .....275
  - 4 根の成長と分枝 .....279
  - 5 茎の成長と分枝 .....280
  - 6 葉の形成 .....282
  - 7 花成 .....283
  - 8 花器官の形成 .....284
- コラム ●植物ホルモン…277 ●オーキシンの極性輸送…278 ●光受容体…278 ●屈性…280 ●植物ホルモンの情報伝達…281 ●ついに花成ホルモンが見つかった…285

# 第V部 種としての生命のあり方

## 23章 生物圏と環境

288

### 1 生物圏と環境への適応……………288

■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

### 2 群れの社会生物学……………290

■縄張りとその機能 ■親による子の保護 ■昆虫やクモ、ダニの社会性 ■脊椎動物の社会性

### 3 生物間相互作用と個体群動態……………292

■種内競争と密度効果 ■種間競争とニッチ分化 ■食う—食われるの関係

コラム ●ヒマラヤ山脈を越えて渡りをするインドガン…289 ●ニッチ分化と形質置換…294  
●自然界における個体数の大変動…295 ●中規模攪乱説…296

### 4 生物群集と多様な種の共存……………296

■栄養段階と食物連鎖 ■群集を構成する多様な種の共存 ■非平衡共存説と捕食説 ■生物群集の遷移

### 5 生態系の構造と動態……………298

■食物網 ■生態系のエネルギー流 ■生態系の物質循環

## 24章 生物進化とゲノム

303

### 1 ゲノムとは……………303

■ゲノム解読 ■ゲノムからみた生物種 ■細胞内小器官とゲノム

### 2 分子系統生物学……………307

■形態学的特徴でみる比較生物学、分類学 ■核酸の配列でみる比較生物学、分類学 ■分子系統学の問題点

### 3 ゲノムの変化……………309

■ゲノムの垂直伝播 ■ゲノムの垂直伝播と多様性 ■ゲノムの水平伝播

コラム ●フレデリック・サンガー：生命科学研究に大きく貢献した天才…304 ●系統樹の作り方（最節約法）…308 ●ハプロタイプから病気の原因遺伝子を探す…315

### 4 生命の起源の学説……………311

■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……………313

■個体間の遺伝的変異：SNPとCNV ■トランスクリプトーム ■プロテオーム：細胞にあるタンパク質とその修飾を系統的に解析する ■エピゲノム：真核細胞の記憶システム

## 付録

## 生命科学研究で使われる実験手法

317

### 1 生命科学実験を行う前に……………317

■実験動物に対する考え方 ■遺伝子組換え実験に対する考え方 ■生物情報へのアクセス方法

### 2 核酸や分子生物学研究に関する実験手法……………318

■抽出、分離方法 ■DNAの構造と塩基の相補性

### 3 タンパク質や生化学研究に関する実験手法……………322

■タンパク質の分離・精製 ■タンパク質の電気泳動

泳動 ■抗体 ■ウエスタン解析 ■エピゲノム解析のためのChIP-seq法 ■質量分析

### 4 細胞生物学研究の実験手法……………327

■細胞培養 ■細胞の可視化—顕微鏡 ■蛍光タンパク質 ■*in situ*ハイブリダイゼーション ■抗体染色 ■細胞に対する外来遺伝子の導入 ■RNAi

### 5 遺伝子組換え……………330

■遺伝子操作マウス ■遺伝子組換え生物

## 索引

332

## 執筆者一覧

343